

Návrh nástroje pro výrobu dílu podvolantového modulu automobilu

Bc. Petr Slovák

Diplomová práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Petr Slovák

Osobní číslo: T16141

Studijní program: N3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Výrobní inženýrství

Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Návrh nástroje pro výrobu dílu podvolantového modulu automobilu

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma.**
- 2. Vyhotovení 3D modelu dílu podvolantového modulu.**
- 3. Provedení návrhu nástroje pro výrobu zadaného dílu.**
- 4. Ověření návrhu pomocí tokových analýz.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- 1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.**
- 2. ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Bednařík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2019

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 6. února 2019

L.S.

prof. Ing. František Buňka, Ph.D.

děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 13.5.2019

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

V této diplomové práci je popsána konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl, kterým je zadní kryt páčky podvolantového modulu osobního automobilu.

Teoretická část práce je zaměřena na problematiku technologie vstřikování polymerů, konstrukci výrobků a také na konstrukci vstřikovacích forem. Popisuje nejdůležitější funkční části vstřikovací formy.

Praktická část diplomové práce popisuje zvolený plastový díl a konstrukci vstřikovací formy dle požadovaných parametrů od zadavatele. Praktická část také obsahuje analýzy vstřikovacího procesu v programu Moldex 3D R16. Pro konstrukci formy byl využit program Catia V5R19 a forma byla sestavena s použitím výrobce normálií Meusburger.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce, plastový díl

ABSTRACT

In this master thesis is described design of injection mold for plastic part, which is bottom cover of steering column module's lever.

Theoretical part is focused on injection of polymers, part design and also design of injection molds. Also describes main functional parts of injection mold.

Practical part of master thesis describes chosen plastic part and injection mold's design by customer's parameters. Practical part includes analysis of injection process in program Moldex 3D R16. Program CATIA V5R19 was used for mold's design with support of Meusburger standard parts.

Keywords: injection, injection mold, design, plastic part

Velice rád bych poděkoval Ing. Martinu Bednařkovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při psaní této diplomové práce. Také bych chtěl rád poděkovat firmě KOSTAL CR, spol. s r.o. za možnost použít všech potřebných materiálů k vypracování praktické části diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
1.1 CYKLUS VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.2 POLYMERNÍ MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.2.1 Termoplasty.....	13
1.2.2 Reaktoplasty	14
1.2.3 Elastomery.....	14
1.2.4 Termoplastické elastomery	14
1.2.5 Přísadové prvky.....	14
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	16
2.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	17
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	18
2.3 ŘÍZENÍ A OVLÁDÁNÍ STROJE	19
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	20
3.1 KONSTRUKCE FOREM	21
3.1.1 Výkres dílu	21
3.1.2 Tvar dílu	21
3.1.3 Násobnost.....	22
3.1.4 Volba vstřikovacího stroje	22
3.1.5 Zaformování	23
3.1.6 Tvarová dutina	23
3.1.7 Smrštění.....	24
3.2 VTOKOVÁ SOUSTAVA	24
3.2.1 Studená vtoková soustava (SVS)	25
3.2.2 Vyhřívaná vtoková soustava (VVS).....	28
3.3 VYHAZOVACÍ SYSTÉM	30
3.3.1 Mechanické vyhození.....	30
3.3.2 Pneumatické vyhození	32
3.3.3 Hydraulické vyhození	32
3.4 TEMPERACE FOREM.....	32
3.4.1 Temperační prostředky.....	33
3.4.2 Příklady temperace	34
3.5 ODVZDUŠNĚNÍ.....	36
3.6 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ	38
3.7 MATERIÁLY FOREM.....	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	42
4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	43
5 PRODUKOVANÝ DÍL	44

5.1	POPIS TVAROVÝCH ČÁSTÍ	44
5.2	ZVOLENÝ MATERIÁL	46
6	VSTŘIKOVACÍ STROJ	47
7	KONSTRUKCE FORMY	48
7.1	NÁSOBNOST FORMY	49
7.2	ZAFORMOVÁNÍ	49
7.3	VTKOVÁ SOUSTAVA	56
7.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	58
7.5	ODVZDUŠNĚNÍ	62
7.6	TEMPERACE FORMY	63
7.7	PODPŮRNÉ FUNKČNÍ DÍLY	66
7.8	CELKOVÁ KONSTRUKCE FORMY	67
8	ANALÝZY PROCESU	69
8.1	UMÍSTĚNÍ VTKOVÉHO ÚSTÍ	69
8.2	ČAS PLNĚNÍ	70
8.3	TLAK PŘI PŘEPNUTÍ NA DOTLAK	71
8.4	TEPLOTA NA KONCI CHLAZENÍ	72
8.5	TEPLOTNÍ ROZDÍL PO OCHLAZENÍ	73
8.6	RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE	74
8.7	VZDUCHOVÉ KAPSY	75
8.8	STUDENÉ SPOJE	76
8.9	ODHAD OBLASTÍ VZNIKU PROPADLIN	77
8.10	CELKOVÉ DEFORMACE	78
8.11	PRŮBĚH TLAKU V ČASE	79
9	DISKUZE VÝSLEDKŮ	80
	ZÁVĚR	82
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	85
	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
	SEZNAM TABULEK	90
	SEZNAM PŘÍLOH	91

ÚVOD

Technologie vstřikování plastů je považována za nejrozšířenější a nejvíce využívaný proces při výrobě plastových výrobků. V některých publikacích je uvedeno, že až třetina všech druhů termoplastických materiálů je vstřikována. Od druhé poloviny dvacátého století nastal díky využívání plastových výrobků v automobilovém nebo i v elektronickém průmyslu velký rozmach v masové produkci. [5]

Vstřikováním lze vyrobit výrobky velmi složitých tvarů bez nutnosti jakýchkoliv dokončovacích operací s velkou rozměrovou přesností. Výrobě vstřikovací formy předchází mnoho operací, mezi které se řadí tvarový návrh dílu podložený analýzami, návrh a konstrukce formy dle požadavků. Jelikož je výroba vstřikovací formy časově a finančně velmi nákladná, nabízí specializované firmy možnost využít normalizovaných dílů, které zmíněná negativa zmírní. [9]

Diplomová práce v teoretické části popisuje základní informace o vstřikování plastů a základech konstruování vstřikovacích forem. V praktické části se práce zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro zvolený plastový díl z prostředí automobilového průmyslu dle konkrétních požadavků zadavatele.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

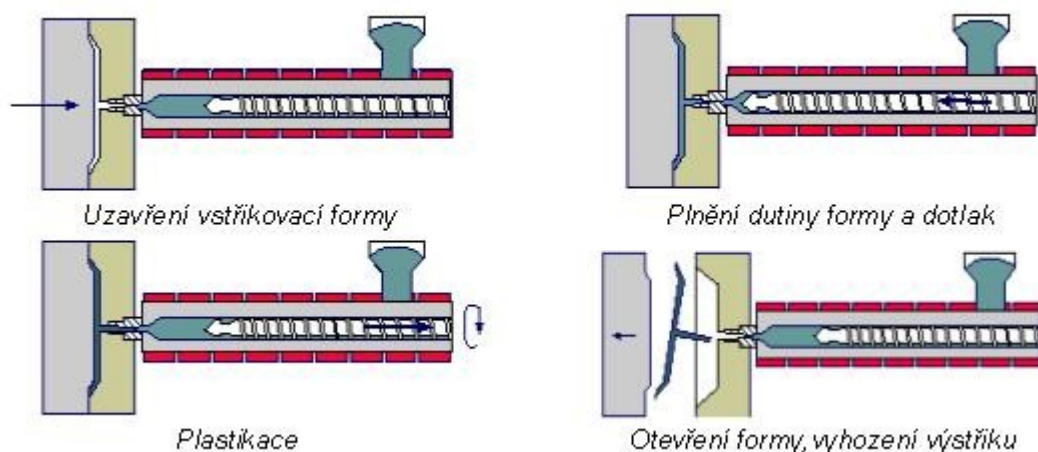
Technologie vstřikování plastů je považována za jednu z nejrozšířenějších metod výroby plastových dílů na světě. Tato technologie spočívá v součinnosti polymeru, vstřikovacího stroje a vstřikovací formy, kdy se roztavený polymer vstřikuje za působení vysokých tlaků a rychlosti pomocí vstřikovacího stroje do dutiny formy, kde tento polymer chladne a vznikne tak požadovaný tvar dílu. [1]

Výroba závisí na zvolení správného technologického postupu, vhodného typu polymeru a vhodnosti konstrukce vstřikovací formy.

1.1 Cyklus vstřikování

Vstřikovací cyklus se děje na vstřikovacím stroji, kdy se potřebná dávka, nejčastěji granulátu, nejprve roztaví, zhomogenizuje a vstříkne do dutiny formy.

Vstřikovací cyklus probíhá tak, že nejprve dochází k plastikaci při otáčení šneku a jeho posuvném zpětném pohybu. Šnek dopravuje zplastikovaný materiál ke vstřikovací trysce současně při uzavírání formy. Za stavu, kdy je forma uzavřena, přisune se plastikační jednotka a vstříkne dávku požadovaného množství s dotlakem. Když materiál ve formě chladne, plastikační jednotka se přesouvá zpět do počáteční polohy a začíná proces plastikace nové dávky, zároveň dochází k otevření formy a vyhození dílu z formy. Forma i plastikační jednotka jsou opět ve výchozích polohách připravené pro opakování celého cyklu. [14]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus. [11]

1.2 Polymerní materiály pro vstřikování

Polymer je přírodní nebo syntetická látka, ve které se opakovaně a to i několikanásobně objevuje monomer, který je základním článkem řetězce. [1]

Polymery se dělí na dvě základní skupiny, které jsou plasty a elastomery. Plasty se dále dělí na termoplasty, jejichž struktura může být amorfní nebo semikrystalická a dále reaktoplasty.

Díly vyráběné metodou vstřikování se ve velké části produkují z plastů majících na rozdíl od kovů s jasně definovanou strukturou skládajících se z krystalických mřížek strukturu skládající se z makromolekulárních řetězců. [4]

1.2.1 Termoplasty

Jsou to polymerní materiály, které mají řetězce přímé (lineární polymery) nebo s bočním vedením (rozvětvené polymery). Dle jejich vnitřního uskupení se dělí:

- amorfní – řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány
- semikrystalické – řetězce jsou ve většině pravidelně uspořádány a tvořící krystalické útvary, zbývající řetězce jsou v uspořádání amorfním.

Při zahřátí přechází ze stavu tuhého do stavu plastického, kdy se dají dále tvářet a zpracovávat. Při ochlazení přechází do tuhého stavu u plastů amorfních pod teplotou tečení T_f a v případě plastů semikrystalických pod teplotu tání T_m . Ohřev a ochlazení můžeme mnohokrát opakovat, protože při ohřevu nedochází ke změnám chemické struktury. [11]

Termoplasty jsou nejpoužívanější materiály pro vstřikování. Dle jejich vlastností a užití se dělí na komoditní, konstrukční a speciální. Komoditní termoplasty jsou vyráběny ve velkých objemech pro běžné užití jako obalový materiál a do této skupiny se řadí např. polystyren (PS) nebo polypropylen (PP). Konstrukčními materiály jsou materiály schopné vydržet namáhání v konstrukčních aplikacích a jsou to např. polyamid 6 (PA6) nebo polyethylentereftalát (PET) a mezi speciální materiály, které mají vysokou odolnost vůči vysoké teplotě, se řadí polyfenylsulfid (PPS) nebo také polyetheretherketon (PEEK). [11]

1.2.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymerní materiály, které byly dříve označovány jako termosety. Jejich největším rozdílem, který je odlišuje od termoplastů, je, že při ohřívání měknou a lze je tvářet, ale jen v limitované době. Pokud by došlo k překročení této doby, započala by chemická reakce za vzniku prostorově zesíťované struktury. Tato reakce se označuje jako vytvrzování. Produkty, u kterých již došlo k vytvrzení, není možné roztavit ani rozpustit, protože další ohřev by zapříčinil rozklad hmoty. Mezi reaktoplasty patří epoxidové pryskyřice nebo fenolformaldehydové hmoty. [13]

1.2.3 Elastomery

Elastomery jsou polymerní materiály, které lze stejně, jako je tomu u reaktoplastů, při počátečním stupni tvářet jen v limitované době. Při překročení této limitované doby dochází při neustálém ohřevu k chemické reakci a prostorovému zesíťování struktury. Tato reakce se nazývá vulkanizace. Nejvýznamnější vlastností elastomerů je vysoká schopnost vratné deformace. Základní surovinou pro výrobu elastomerních (pryžových) výrobků je kaučuk, který může být buď přírodní, nebo syntetický. [13]

1.2.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) jsou polymerní materiály založené na dvoufázových systémech s termoplastickou a elastomerní fází. Při zpracování se chovají jako termoplasty, ale za běžných teplot mají vlastnosti jako elastomery. Rozdíl mezi termoplastickým elastomerem a běžným elastomerem je ve vlastnostech uzlů sítě. Uzly termoplastických elastomerů mají fyzikální povahu, uzly elastomerů mají povahu chemickou. [10]

1.2.5 Přísadové prvky

Díky přísadovým prvkům lze měnit vlastnosti plastů na požadované parametry.

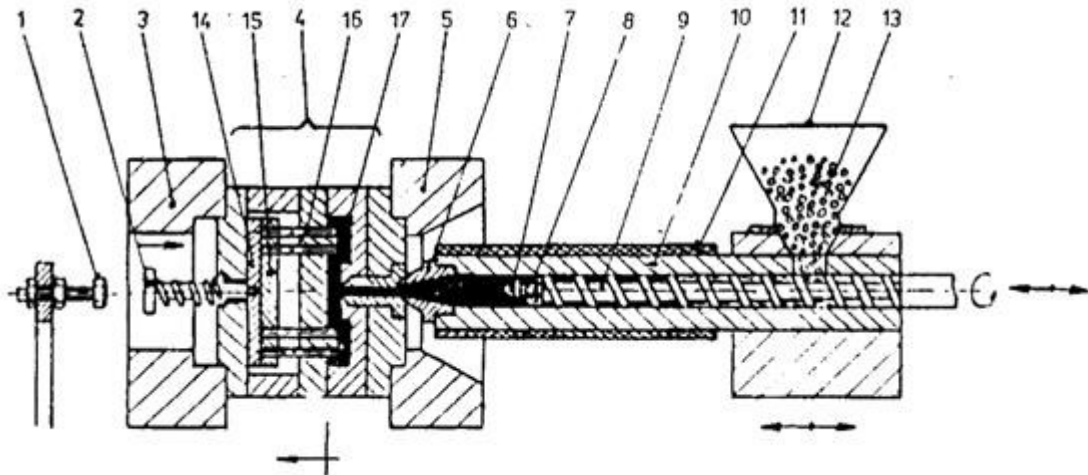
Přísady mohou být: [4]

- Prášková nebo vláknitá plniva mění mechanické a fyzikální vlastnosti plastu. Vláknitá plniva zvyšují pevnost hmoty a také ji vyztužují. Prášková plniva při vyšší koncentraci ovlivňují hmotu zcela opačně.
- Stabilizátory dávají hmotě schopnost odolávat vyšším teplotám při zpracování, stárnutí a také účinkům UV záření.

- Změkčovadla se používají pro zvýšení ohebnosti u tvrdých polymerů.
- Nadouvadla při zpracování uvolňují plyny a vytváří tak lehčenou strukturu.
- Barviva se používají pro dosažení žádaného odstínu.

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikování je proces automatizovaný. Moderní vstřikovací stroje dosahují vysoké produktivity při správně zvolených vstřikovacích podmínkách. Vysoká pořizovací cena strojů a forem charakterizuje vhodnost této technologie pro velkosériovou výrobu. [2]



Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje [11]

1 = doraz, 2 = tyč vyhazovače, 3 a 5 = upínací desky, 4 = forma, 6 = vstřikovací tryska, 7 = špice šneku, 8 = zpětný uzávěr, 9 = šnek, 10 = tavicí komora, 11 = topná tělesa, 12 = násypka, 13 = granule plastu, 14 = deska vyhazovačů, 15 = kotevní deska, 16 = vyhazovače, 17 = výrobek

Vstřikovací stroj se volí na základě: [14]

- velikosti vstřikovací formy (hlavní rozměr vzdálenost mezi vodicími sloupky),
- hmotnosti a rozměrů vstřikovaného dílu,
- minimálního a maximálního otevření stroje,
- plastikačního výkonu,
- velikosti uzavírací síly,
- přesnosti výrobku.

Hlavní části vstřikovacího stroje: [14]

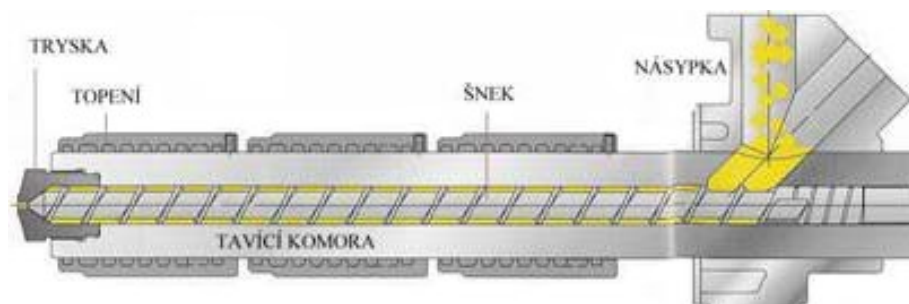
- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- řízení a ovládaní stroje.

2.1 Vstřikovací jednotka

Úkolem vstřikovací jednotky je připravit a dopravit materiál v takovém množství a technologických parametrech do formy, kolik je požadováno. Materiál je dopravován šnekem z násypky do tavného válce, kde šnekem postupuje zpravidla přes tři pásma, která jsou v pořadí vstupní, přechodové a výstupní. Dochází k plastikaci, homogenizaci a také nahromadění materiálu před čelem šneku při současném odtlačování do zadní polohy. [11]

Pro kapacitu vstřikovací jednotky platí omezení pro množství dopravovaného materiálu, aby nebylo příliš velké. Maximální únosné množství materiálu je 90% kapacity vstřikovací jednotky. Je také nutno kalkulovat s rezervou pro případné doplnění materiálu vlivem ochlazení, tedy smrštění. Pokud by naopak množství materiálu bylo moc malé, mělo by to za následek jeho degradaci díky setrvání plastu v jednotce po delší dobu. Optimální množství materiálu je okolo 80% kapacity vstřikovací jednotky. Vstřikovací jednotky mohou být otevřené nebo uzavíratelné. Otevřené jsou vhodné pro vstřikování materiálů vyšší viskozity a uzavíratelné pro materiály s nižší viskozitou. [11, 14]

Hlavní článek spojující vstřikovací jednotku s formou je tryska, která je vyhřívána. Tryska má kulové zakončení, aby bylo zajištěno přesné spojení dosednutím mezi tryskou a vtokovou vložkou formy. Důležité je dodržet sousost mezi tryskou a vložkou formy a také mít na trysce menší poloměr kulového zakončení a menší průměr otvoru, než je u vtokové vložky. V opačném případě by docházelo ke špatnému kontaktu mezi tryskou a vložkou a degradaci materiálu. [11]



Obr. 3. Vstřikovací jednotka [11]

2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje otevření nebo uzavření formy. Uzavření formy musí být takovou silou, aby nedošlo k jejímu otevření při působení vstřikovacím tlakem. Velikost uzavírací síly závisí, jak už bylo zmíněno, na velikosti vstřikovacího tlaku, ale i na ploše dutin a ploše vtoků v dělicí rovině. Rychlost otevírání a uzavírání formy lze nastavit, také je možné nastavit velikost uzavírací síly. Uzavírání formy by mělo nejprve probíhat v pozvolném a zvyšujícím se tempu a při dovírání formy by měla rychlost naopak poklesnout, aby nedošlo k poškození tvarových vložek vlivem velkého rázu způsobeného rychlým dovřením. [6]



Obr. 4. Hydraulická uzavírací jednotka [15]

Hlavní části uzavírací jednotky jsou: [11]

- opěrná deska pevná,
- upínací deska pohyblivá,
- vodící sloupky,
- uzavírací a přidržovací mechanismus.

Uzavírací mechanismus se dělí podle pohonu na hydraulický, mechanický, hydraulicko-mechanický a elektrický.

2.3 Řízení a ovládání stroje

Důležitou částí vstřikovacího stroje je jeho řídicí a regulační systém, který je zajištěn výkonnou procesorovou technikou. Dřívější textová forma nastavování technologických parametrů byla nahrazena do modernější grafické formy. Jednotlivé nastavení se promítají na displeji. Každá část pracovního cyklu je snadno kontrolovatelná a upravitelná. [14]

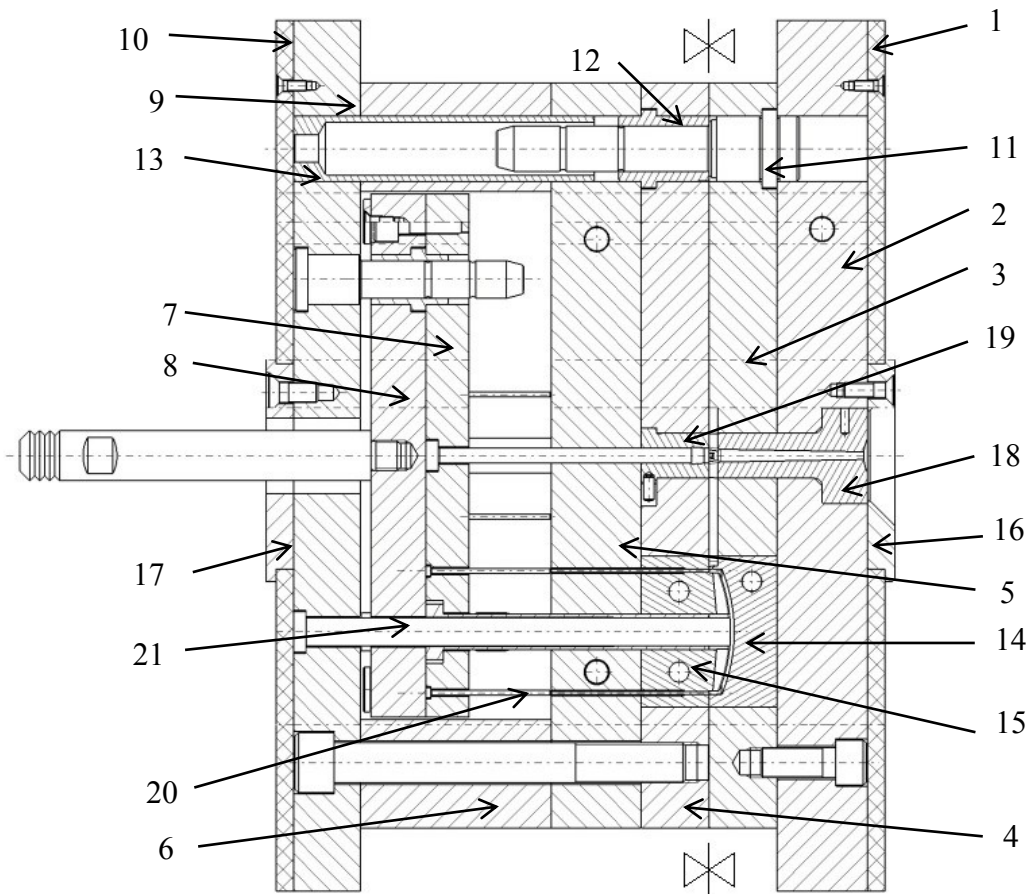
Nastavení a seřízení stroje je rozděleno na: [6]

- sestavení grafu vstřikovacího procesu,
- definice a nastavení parametrů,
- kontrolu procesu.

Řízení stroje ovlivňuje přesnost a jakost vstřikovaných dílů správným nastavením parametrů, mezi které patří vstřikovací tlak, dotlak, rychlost vstřiku a také chlazení.

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je nástroj udávající konečný tvar tavenině po ochlazení. Po technické stránce musí forma splňovat několik kritérií, mezi které patří opakovatelnost procesu v požadované kvalitě. Tento cíl je možno splnit vhodným návrhem temperace, správným vtokovým systémem, nebo způsobem vyhození z formy. Forma musí být také tuhá a pevná, aby odolávala vysokým tlakům při procesu, ale také mít vysokou přesnost funkčních ploch, umožňovat snadnou manipulaci, údržbu a obsluhu při výrobě. Z ekonomického hlediska je potřeba formu navrhnout tak, aby její životnost byla co nejdelší, pořizovací cena co nejnižší, a to za předpokladu vysoké produktivity. [4, 9]



Obr. 5. Rám vstřikovací formy [17]

1-izolační deska pravá, 2-upínací deska pravá, 3-tvarová deska pravá, 4-tvarová deska levá
5-opěrná deska, 6-rozpěrná deska, 7-kotevní vyhazovací deska, 8-opěrná vyhazovací deska
9-upínací deska levá, 10-izolační deska levá, 11-hlavní vedení, 12-vodicí pouzdro, 13-
středící trubka, 14-tvárník, 15-tvárnice, 16-středící kroužek pravý, 17-středící kroužek levý
18-vtoková vložka, 19-přidržovač vtoku, 20-vyhazovač, 21-trubkový vyhazovač

3.1 Konstrukce forem

Konstrukce a výroba vstřikovací formy je velmi náročná jak časově, tak i výrobně. Výrobou se zabývají specializované podniky, které mají dostatečně proškolené pracovníky a adekvátní strojní park. Při tvorbě vstřikovací formy spolupracují dvě nezávislé oddělení konstrukce a výroba. [2, 6]

Konstrukce vstřikovací formy se odvíjí od tvaru dílu, předepsaných tolerancí a jakosti povrchu předepsaných na výkrese dílu. Dalším z hlavních činitelů je násobnost formy, typ vstřikovacího stroje a další požadavky.

Výroba vstřikovací formy prochází etapami od přípravy výroby k výrobě vlastní až po odzkoušení funkčnosti.

3.1.1 Výkres dílu

Výkres dílu je zdrojem důležitých informací hlavně pro konstruktéra a pozdější kontrolu.

Výkres dílu by měl definovat: [4, 7]

- druh materiálu, jeho chemické a obchodní značení a jeho barevný odstín,
- tvar,
- hmotnost,
- rozměry s předepsanými tolerancemi,
- jakost povrchu (leštěné plochy, možnost dezénu, leptané plochy),
- označení míst, kde není možné dělení mezi vložkami, nebo umístění vyhazovačů,
- vyznačení místa vtoku nebo vtoků.

3.1.2 Tvar dílu

Vyráběný díl z plastu by měl svým tvarem odpovídat vlastnostem, které se od něj vyžadují. Tvar a rozměry dílu by měly umožnit jednoduchou výroby a také být samozřejmě výrobitelné metodou vstřikování. Je důležité dbát, aby na díle byly co nejmenší rozdíly v tloušťkách stěn. Pokud by takový přechod byl nutný, je dobré volit pozvolný. Ostré hrany by měly být zaoblené. Neméně důležité jsou sklony stěn kolmých k hlavní dělicí rovině, které umožňují snadné vyhození dílu z dutiny formy. [2, 4]

3.1.3 Násobnost

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení činitelů, kteří ji ovlivňují. Posuzování je dle hlediska: [4]

- charakteru a přesnosti dílu,
- požadovaného množství,
- velikosti a kapacity vstřikovacího stroje,
- termínu dodávky,
- ekonomiky produkce.

Násobnost forem je hlavně určena dle velikosti a tvarové složitosti dílu. Pokud je díl velkých rozměrů a vyznačuje se velkou tvarovou složitostí, vyrábí se většinou na jednonásobných formách. Pro vyšší rozměrovou přesnost vstřikovaného dílu je lépe volit co nejmenší. Z ekonomického hlediska je však nejvhodnější volit násobnost vyšší. [4]

Násobnost formy je určována podle: [2, 4]

- vstřikovací kapacity stroje,
- plastikačního výkonu,
- velikosti uzavírací síly.

3.1.4 Volba vstřikovacího stroje

pro správnou volbu vstřikovacího stroje je nutné zvážit faktory, které ji ovlivňují. Mezi tyto faktory patří: [1, 4]

- hmotnost a rozměry vyráběného dílu,
- požadovaná přesnost a kvalita,
- velikost formy.

Zvolený vstřikovací stroj musí mít: [3, 4]

- dostatečnou velikost uzavírací síly,
- dostatečnou vstřikovací kapacitu,
- vhodnou koncepci stroje.

Při volbě vstřikovacího stroje je nutné počítat s tím, aby množství hmoty potřebné při jednom zdvihu bylo menší, než je kapacita vstřikovací jednotky. Toto množství je závislé na plastikačním čase, kterým je určen vstřikovací cyklus. Plastikační výkon by se měl využí-

vat v rozmezí od 10 až 90 %. Nejvyšší hodnota 90% množství materiálu je z důvodu nutnosti rezervy zplastikovaného materiálu pro případné doplnění hmoty při úbytku smrštěním. [14]

Důležitým činitelem při volbě vstřikovacího stroje jsou jeho rozměry. Vstřikovací forma by neměla svými rozměry přesáhnout rozteč mezi vodicími sloupy stroje, vzdálenost mezi upínacími deskami stroje by měla být dostatečná pro otevření formy a vyjmutí dílu.

Kvalita stroje je dána jeho konstrukcí, přesností řízení jednotlivých parametrů stroje, reprodukovatelností a stálostí parametrů. Jelikož kvalita stroje ovlivňuje jakost a rozměry vyráběných dílů, je nutné zvážit, kterého výrobce zvolit.

3.1.5 Zaformování

Zaformování vstřikovaného dílu a vhodná volba dělicí roviny, případně dělicích rovin, patří k hlavním zásadám konstrukce formy. Na základě správné volby dělení na díle lze dodržet ekonomičnost při požadované jakosti a tvaru. [4, 9]

Dělicí rovina je většinou rovina rovnoběžná s upínáním formy, ale může být i šikmá nebo různě tvarovaná. Čím tvarově složitější dělicí rovina je, tím se zvyšuje obtížnost a náročnost na výrobu formy. U tvarově složitých dělicích rovin může docházet k nepřesnostem, které mohou způsobit neschopnost dovření formy během plnění a zapříčinit tak vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů dílu. [1, 6]

Parametry dělicí roviny: [4]

- umožnění snadného vyjmutí dílu z formy,
- pravidelný a jednoduchý geometrický tvar,
- snadno vyrobitelná,
- umístění na hranách dílu,
- nepůsobovat funkční nebo vzhledové vady,
- u dílu s více dělicími rovinami jich volit co nejméně.

3.1.6 Tvarová dutina

Rozměry a tvar budoucího vstřikovaného dílu se tvoří po uzavření vstřikovací formy uvnitř tvarové dutiny. Dimenzování tvarové dutiny je důležitou částí při konstruování, a pokud není správně provedeno, mohlo by dojít k nedodržení předepsaných rozměrů. V případě, že

je dimenzování provedeno špatně, lze rozměry korigovat úpravou technologických parametrů při produkci. Pokud však ani úpravou technologických parametrů nedosáhneme požadované změny, je nutné přistoupit k nákladným korekcím změnou v tvarové dutině. [4]

Tvar, rozměry a povrch dílu je určen přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy a skládá se většinou z tvárníku, tvárnice, tvarových vložek a jader. Přesnost dutin závisí na: [2]

- smrštění plastu,
- výrobních tolerancí,
- opotřebením.

3.1.7 Smrštění

Hodnoty smrštění materiálu jsou rozdílné v podélném a příčném směru ke směru toku. Nastane-li případ, že odhad smrštění bude nepřesný, dojde k nedodržení tvaru a požadovaných rozměrů. Správný odhad hodnoty smrštění je u tvarově složitějších dílů velmi těžké určit, proto je zvykem odkazovat se na zkušenosti z praxe, protože hodnoty uváděné od výrobců plastů se nemusí vždy shodovat s reálnými. [1, 9]

Hodnota smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem dílu a udává se v %. Hodnota závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činitelích.

Smrštění probíhá ve dvou časových fázích. První fáze je provozní a stanovuje se 24 hodin od produkce a velikost tvoří 90 % celkové hodnoty. Druhá fáze je zbytková, kde dochází k dodatečnému smrštění v závislosti na druhu materiálu. [1, 6]

Velikost smrštění je ovlivněna: [1]

- tvarem dílu (rozměry a tloušťka stěn apod.),
- konstrukcí formy (vtoková soustava, umístění vtoku, temperace apod.),
- technologické podmínky vstřikování (tlak, teplota taveniny apod.).

3.2 Vtoková soustava

Roztavený plast proudí vstřikovací jednotkou stroje do dutiny formy vtokovou soustavou. Naplnění dutiny formy by mělo proběhnout v co nejkratším možném čase a s minimálním odporem, vhodně zvolená soustava by měla zaručit správné a rovnoměrné naplnění dutiny formy a také snadné odtržení nebo oddělení vtokové soustavy od vstřikovaného dílu. [4, 7]

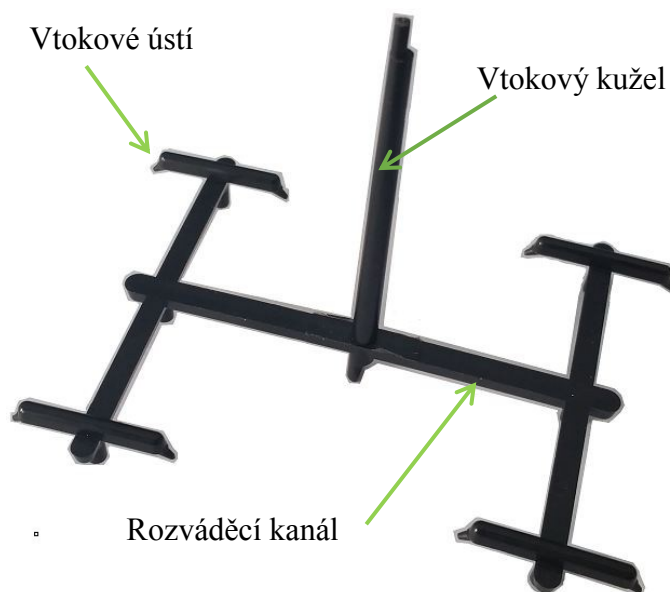
Tvar a uspořádání vtokové soustavy je určeno na základě násobnosti a konstrukci formy. Důležité je, aby tavenina u vícenásobných forem dorazila ke všem ústím vtoku ve stejnou dobu a také za stejného tlaku. [4]

Tvar a rozměry vtokové soustavy jsou ovlivněny: [4]

- rozměry,
- spotřebou materiálu,
- umístěním vtokového ústí,
- vzhledem a vlastnostmi dílu.

3.2.1 Studená vtoková soustava (SVS)

Při využití studené vtokové soustavy tavenina proudí vtokovou vložkou přes rozvodné kanály a proudí vtokovým ústím do dutiny formy. V celém průběhu proudění je viskozita na vnějším povrchu taveniny nejvyšší a uvnitř nejnižší. Důsledkem vysoké viskozity se na soustavu kladou vysoké nároky, ve které působí vysoké tlaky v rozmezí 40 – 200 MPa. [7]

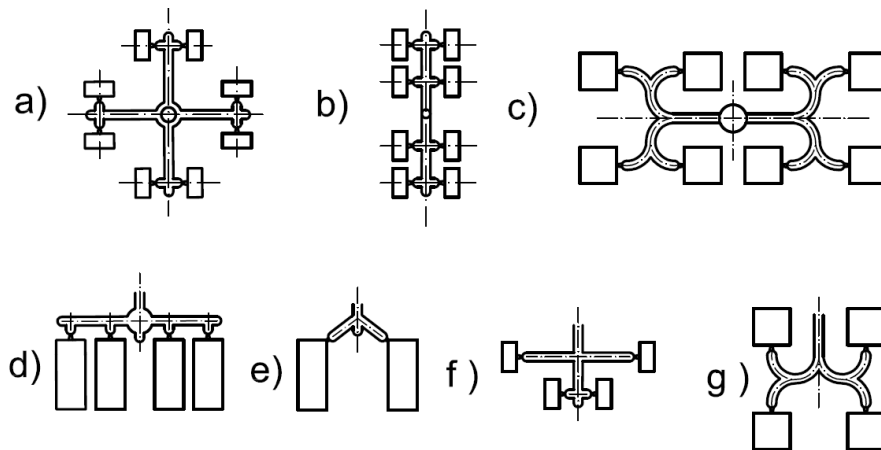


Obr. 6. Studená vtoková soustava

Funkční základy studené vtokové soustavy: [2, 4, 7]

- Dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy by měla být co nejkratší a to včetně tlakových a časových ztrát.
- Dráha toku musí být ke všem dutinám formy stejně dlouhá pro dosažení rovnoměrného naplnění.

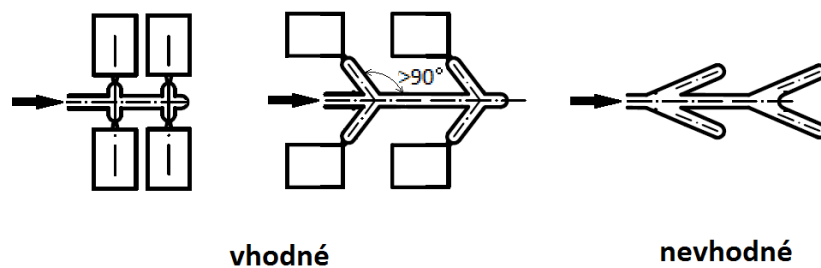
- Stejně musí být vtokové ústí, jeho průřez, poloha.
- V případě naplnění pomocí více vtokových ústí je ovlivněna velikost pnutí a vyskytují se místa se sníženou pevností (studené spoje), kde v takových místech, vlivem částečného ochlazení proudu taveniny, dochází k nekvalitnímu spoji. Z tohoto důvodu je dobré naplnit dutinu pouze jedním vtokem.
- Odstupňování průřezů kanálů u vícenásobných forem pro zachování stejné rychlosti proudění taveniny.



Obr. 7. Volby vtokových soustav [2]

a, c, e, f, g – vhodná řešení b, d – nevhodná řešení

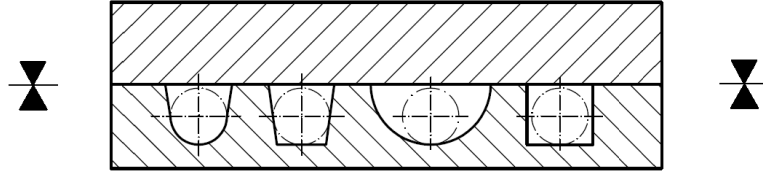
- Větvení vtokové soustavy nesmí být navrženo pod ostrým úhlem, ale větším než 90° .



Obr. 8. Větvení vtokové soustavy [2]

- Chladnější čelo proudící taveniny by mělo být zachyceno prodloužením rozvodného kanálu, aby se snížila možnost vzniku povrchových vad.
- Velikost průřezu vtokového kanálu musí být tak velká, aby po naplnění dutiny bylo jádro taveniny stále v plastickém stavu pro umožnění působení dotlaku.

- Vtokový kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez vedoucí k minimálním ochlazovacím ztrátám.



Obr. 9. Průřezy vtokových kanálů [2]

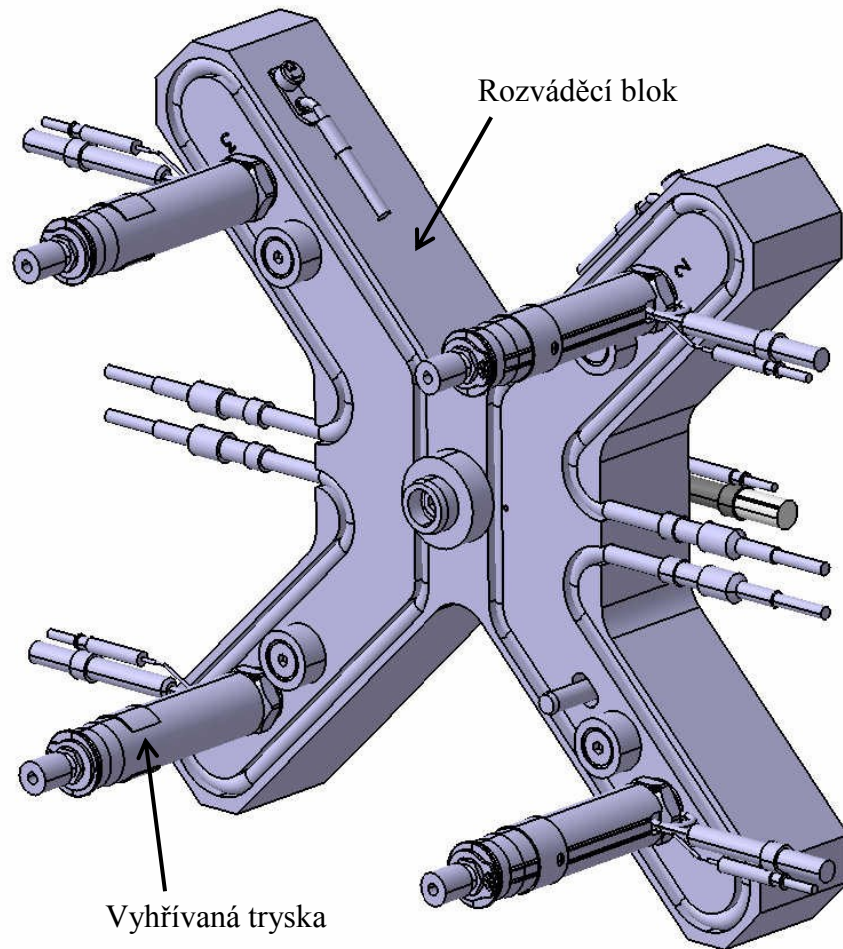
Typy vtokových ústí: [2, 4]

- **Plný kuželový vtok** je využíván v případech, kdy se naplňuje symetricky uložená dutina jednonásobné formy. Je vhodný pro tlustostěnné díly, tvarově méně složité a u dílů, u kterých nevádí stopa po odstranění vtokového zbytku. Využití u plastů s vysokou viskozitou s nutností delšího dotlaku.
- **Bodový vtok** je zúžené vtokové ústí většinou kruhového průřezu. Pro odtržení nutné použít systém třideskové formy, kdy dojde nejprve k oddělení mezi dílem a ústím a až pak k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou. Při odtržení může vzniknout na díle stopa nebo nastane vytržení materiálu. Bodový vtok není vhodné používat pro výrobky větších rozměrů a plastů méně viskózních a plněných.
- **Tunelový vtok** je speciálním případem bodového vtoku, kdy rozváděcí kanál a ústí vtoku leží v dělicí rovině jako díl, a proto není nutné použít systém třideskové formy. Při odformování vtokového zbytku od dílu je nutná existence ostré hrany. Oddělení vtokového zbytku nastává při otevírání formy, nebo při vyhození. Důležité je přidržet vtokový kanál na vyhazovací straně. Tento typ vtoku není vhodný pro křehké materiály, kterými jsou např. PS nebo PMMA.
- **Boční vtok** patří mezi nejběžněji používané vtokové ústí, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá většinou obdélníkový. Vtokový zbytek zůstává neoddělen od dílu.
- **Filmový vtok** se používá pro plnění kruhových a trubicových dutin. Tavenina je vedena do dutiny formy nerovnoměrně a s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu klesá tlak. Tuto nevýhodu lze eliminovat proměnnou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu.

3.2.2 Vyhříváná vtoková soustava (VVS)

Na základě technologických a ekonomických důvodů se začaly využívat systémy s vyhřívánými vtoky, které pracují s minimálními tlakovými i teplotními ztrátami.

Základem technologie vstřikování vyhřívánou vtokovou soustavou je, že po naplnění dutiny formy zůstává polymer stále v celé soustavě taveninou.



Obr. 10. Vyhříváný systém

Výhody VVS: [4, 8]

- automatizace výroby a zkrácení výrobního cyklu,
- snížení spotřeby materiálu a tím méně materiálu k recyklaci,
- regulace teploty systému,
- v případě ústění vtoku přímo na díl nevzniká odpad.

Nevýhody VVS:

- konstrukce forem s využitím VVS je komplikovanější,

- nutné regulátory a snímače teplot,
- energeticky náročnější a ekonomicky nákladnější v porovnání se SVS.

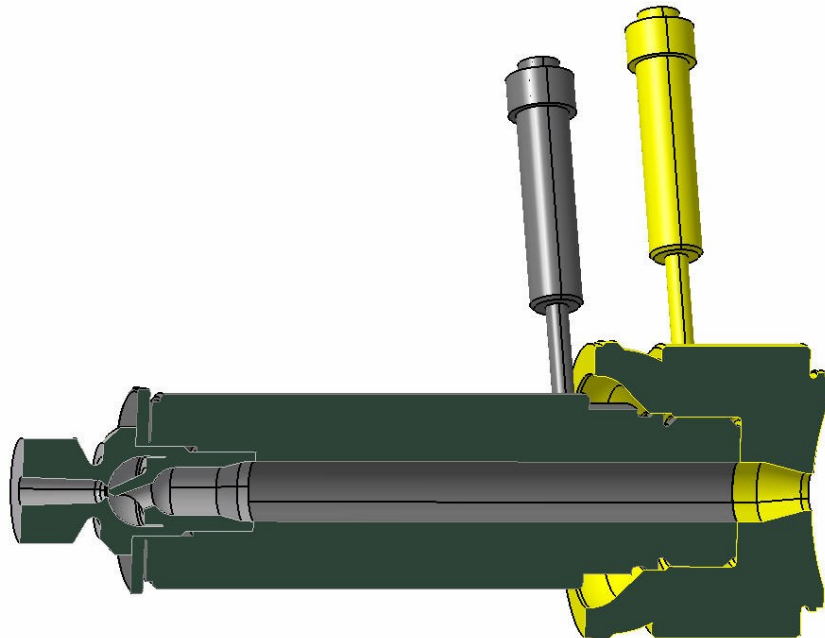
Jedním z představitelů VVS je vyhřívaná tryska, která propojuje vstříkovací stroj s dutinou formy za uchování stálé teploty taveniny. Tryska má zabudován topný článek, který je možné regulovat, nebo je ohřívána jiným zdrojem. Vyhřívané trysky jsou ohřívány přímo nebo nepřímo. [8]

Nepřímo vyhřívané trysky: [4, 8]

- Dotápěná tryska s vlastním zdrojem tepla s miniaturním topným tělesem zabudovaným v ocelovém pouzdře, kde špička pouzdra zasahuje do vyústění vtoku.
- Dotápěná tryska rozvodným blokem, kde se teplo přenáší z vyhřívaného rozvodu vtoků na trysku.

Přímo vyhřívané trysky:

- Trysky s vnitřním zdrojem tepla pracují tak, že tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpédo).
- Trysky s vnějším zdrojem tepla pracují tak, že tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Kolem tělesa je z vnější strany umístěno topení.



Obr. 11. Vyhřívaná tryska

U vícenásobných forem slouží k rozvodu taveniny do dutin forem vyhřívané rozváděcí bloky. Mohou být v kombinaci s vyhřívanými nebo izolovanými tryskami. Aby byla jejich funkce správná, je potřeba zajistit rovnoměrné vytápění, jinak by mohlo dojít k ovlivnění tokového chování taveniny a rozdílným hodnotám tlaků v tvarových dutinách. [4, 8]

Rozváděcí bloky se umísťují mezi upínací a tvarovou desku na pevné části formy. K dispozici bývá v tvarech I, H, X, Y a volba tvaru závisí na konkrétních konstrukčních potřebách v závislosti na poloze rozváděcích kanálů. [4]



Obr. 12. Rozváděcí bloky [16]

3.3 Vyhazovací systém

Je jedním z hlavních částí vstřikovací formy, který zajišťuje automatický cyklus výroby a má za úkol odstranit vstřikovaný díl z otevřené formy a to většinou z pohyblivé části, nebo v některých případech i pevné části. Další z funkcí vyhazovacího systému je také vyhození vtokového zbytku. Systém se pohybuje dopředným směrem, kdy dochází k procesu vyhození a směrem zpětným, kdy se vrací do své počáteční polohy. [5, 9]

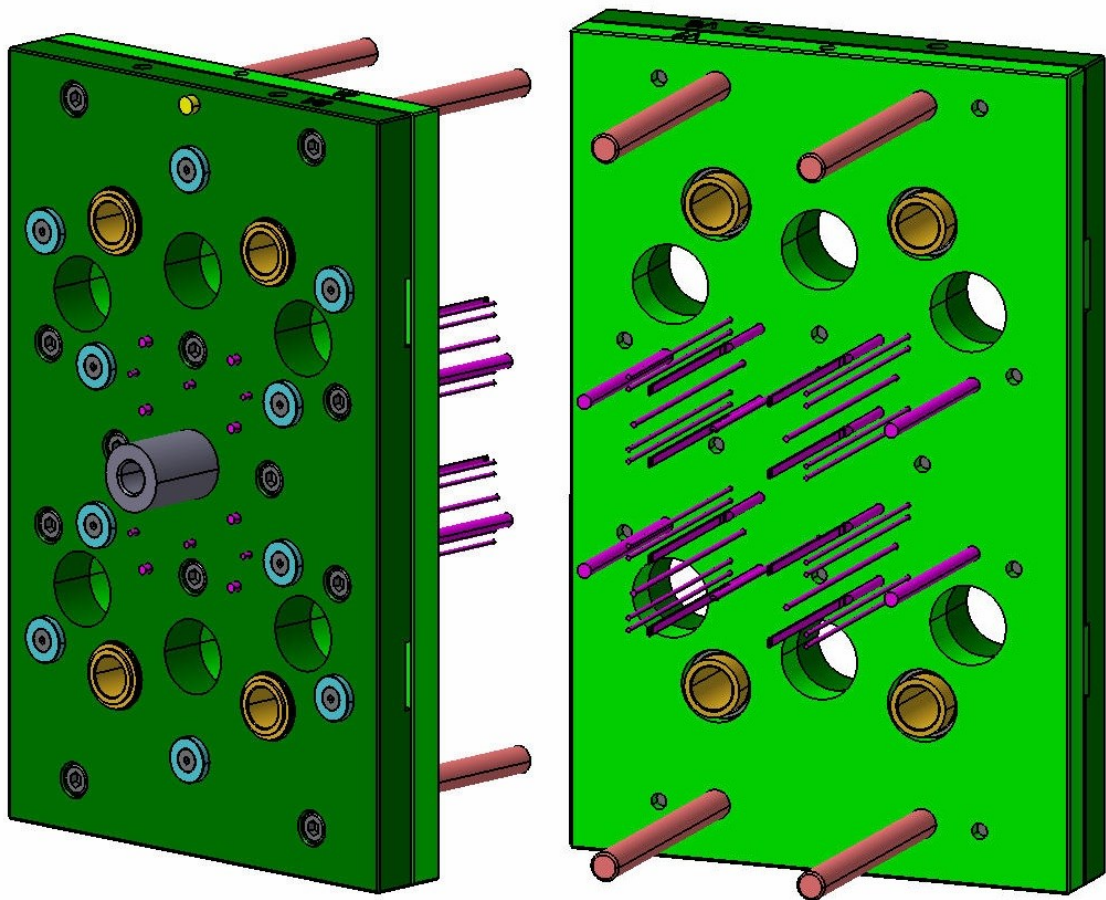
Pro správnost vyhazování je důležité: [2, 5]

- hladký povrch a úkosovitost stěn ve směru vyhození, úkos $> 30^\circ$,
- rovnoměrné vysouvání vyhazovacího systému,
- minimální stopy na díle od vyhazovačů,
- systém nesmí být v kolizi s ostatními částmi formy.

3.3.1 Mechanické vyhození

Mechanické vyhození dílu z formy je nejrozšířenějším systémem. Konstrukce bývají různých provedení: [5]

- Mezi nejrozšířenější a nejlevnější případy vyhození dílu z formy je s využitím vyhazovacích kolíků. Nejběžněji používané vyhazovací kolíky jsou válcového tvaru, ale mohou být i tvaru plochého, nebo dle potřeb různě tvarované. Kolíky by měly být dostatečně tuhé, aby nedošlo k jejich poškození během procesu vstřikování. Kolík je důležité umístit pod žebra nebo stěnu dílu. Vždy je potřeba dbát na to, aby vyhazovače byly správně umístěny a nedošlo tak k poškození dílu procesem vyhození.



Obr. 13. Vyhazovací systém s vyhazovacími kolíky

- Vyhození pomocí stírací desky je vhodné v případech, kdy je nutné vyjmout díl po celém jeho obvodu. Tento způsob vyhození má výhodu, že nezanechává na díle stopy po vyhazovačích a deformace jsou minimální. Vhodné využít při vyhazování tenkostěnných dílů a u vícenásobných forem a také pokud díl dosedá na stírací desku v rovině.

- Kombinaci mechanického vyhození vyhazovacími kolíky a stírací deskou představuje trubkový vyhazovač. Skládá se z válcového jádra pevně ukotveného v opěrné desce a trubky, která na díl působí plošně.
- V případě, že potřebujeme vyhodit z formy malé až středně velké díly, které mají malý vnitřní nebo vnější zápich, je vhodné použít šikmé vyhození. U tohoto provedení nejsou kolíky kolmé k dělicí rovině, ale svírají požadovaný úhel.
- Pokud je potřeba použít systém s dvoustupňovým vyhozením, takový systém se skládá ze dvou vzájemně se ovlivňujících částí. U tohoto způsobu lze vyhazovat s časovým odstupem a také s rozdílnou velikostí zdvihu. Použití pro vyhození tenkostěnných dílů.

3.3.2 Pneumatické vyhození

Systém pneumatického vyhození se používá hlavně u tenkostěnných dílů, které mají velkou výšku jako např. kbelíky nebo nádoby a které je nutné zavzdušnit pro eliminaci vzniku deformací. Hlavním důvodem pro volbu tohoto systému v porovnání s mechanickým je, že při vyhození dílu, jako je např. kbelík, by velikost rámu formy byla extrémně navýšena kvůli zdvihu vyhazovačů, což by mělo záporný dopad na délku vstřikovacího cyklu a pořizovací ceny formy. [5, 6]

Princip pneumatického vyhození spočívá v zavádění stlačeného vzduchu mezi díl a líc formy. Výsledkem je oddělení dílu od tvárníku a na díle nevznikají žádné stopy po vyhazovačích. [5]

3.3.3 Hydraulické vyhození

Hydraulický systém bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se k ovládní mechanických vyhazovačů. Hydraulická jednotka není součástí vstřikovací formy, ale využívá se k ovládní bočních posuvných čelistí. [5, 6]

3.4 Temperace forem

Temperováním forem docílujeme udržovaného konstantního teplotního pole uvnitř forem. Temperování má za cíl dosáhnout optimálního pracovního cyklu při zachování všech technologických požadavků. Temperováním se rozumí buď ochlazování formy, nebo ohřívání.

Před každou produkcí je potřeba nejprve formu nahřát na pracovní teplotu v závislosti na vstřikovaném materiálu. [1, 2, 5]

Roztavený vstřikovaný materiál se přivádí do dutiny formy, kde se ochlazuje až na teplotu vhodnou pro vyhození dílu. Každý vstřik ohřívá formu a je potřeba zajistit, aby každý díl byl vstřikován do stejně stanovené teploty. Toto teplo přiváděné roztavenou taveninou je potřeba odvést temperačním systémem formy. [2, 5]

U materiálů, které vyžadují zpracování při teplotě přesahující 300 °C (PPS) je nutné natemperovat formu na teplotu cca. 140 °C. V takovém případě se zvyšuje energetická spotřeba a tepelné ztráty jsou velké. Proto je vhodné obalit celou formu izolačními deskami, aby ztráty vyzářením byly menší.

Zásady pro temperační systém: [5]

- Temperační systém se skládá navzájem propojenými kanály a dutinami, které odvádí teplo z formy nebo přivádí teplo do formy.
- Optimální temperování je zajištěno větším počtem menších kanálů, než menším počtem velkých kanálů.
- Vzdálenost temperačního kanálu od hrany by neměla negativně ovlivnit pevnost a tuhost stěny.
- Temperační kanály bývají většinou kruhového průřezu a jejich velikost závisí na velikosti vstřikovaného dílu, rámu formy a druhu materiálu.
- Vzdálenost kanálů od tvarové dutiny by měla být ve všech místech stejná

3.4.1 Temperační prostředky

Temperační prostředky se rozdělují na aktivní a pasivní [5]

- aktivní působí přímo ve formě, a to buď odvodem tepla, nebo přívodem tepla,
- pasivní ovlivňují teplotní pole svými fyzikálními vlastnostmi.

Mezi aktivní temperační média patří: [5]

- Kapaliny proudící temperačními kanály uvnitř formy, u nichž dochází k přestupu tepla. Kapalnými temperačními médii jsou voda, olej nebo glykol. Voda je nejpoužívanější kapalinové médium, které má vysokou hodnotu přestupu tepla, nízkou viskozitu a je také ekologicky nezávadná. Nevýhodou vody je usazování vodního kamene a vznik koroze. Oleje se používají v případech, kdy je nutné temperovat na

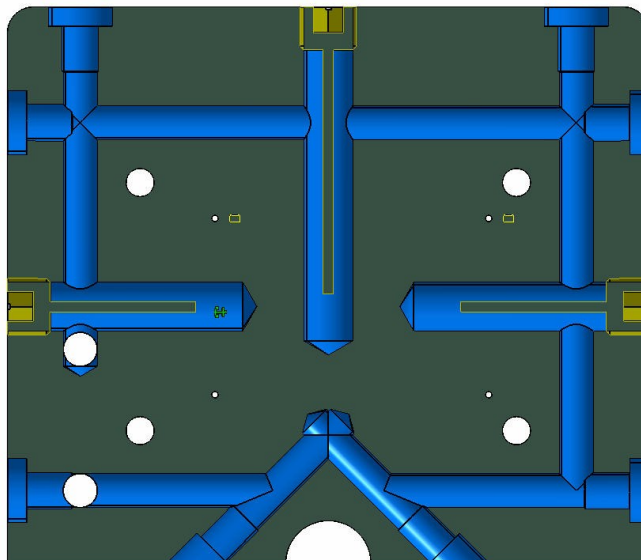
teplotu přes 100 °C, ale nevýhodou je nižší přestup tepla než u vody. Glykol nekoroduje a neucpává kanály, ale je ekologicky závadný a stárne.

- Vzduch, který má malou temperační účinnost a používá se jen tehdy, pokud není dostatek místa pro klasické kanály s využitím kapalin.
- Topné elektrické články se používají k temperování forem, u kterých je požadována vyšší teplota a kdy ztráty tepla vyzářením do okolí jsou větší než teplo přivedené taveninou.

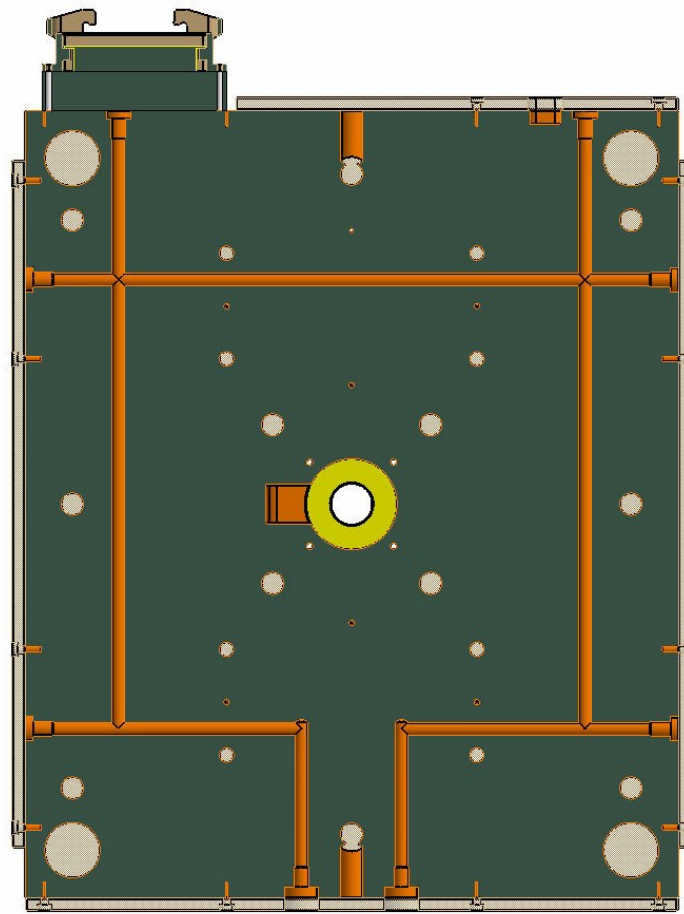
Mezi pasivní temperační prostředky řadíme: [5]

- Tepelně izolační materiály, které se používají k omezení vyzáření tepla z formy. Formy, které se temperují na nižší teploty, mají izolační desky upevněny pouze na upínacích deskách formy, aby se zamezilo přestupu tepla do upínacích desek vstříkovacího stroje. U forem, které se temperují na vyšší teploty přesahující 100 °C, je vhodné zaizolovat celý povrch formy. Materiály používané na výrobu izolačních desek jsou tepelně a pevnostně odolné a jsou to např. PA 66 nebo Sklotextit.
- Tepelně vodivé materiály se používají k přívodu nebo odvodu tepla z těžce temperovatelných míst tvárníků, jader nebo pohyblivých tvarových jader. Vhodné materiály pro odvod tepla jsou např. měď, hliník a jejich slitiny.

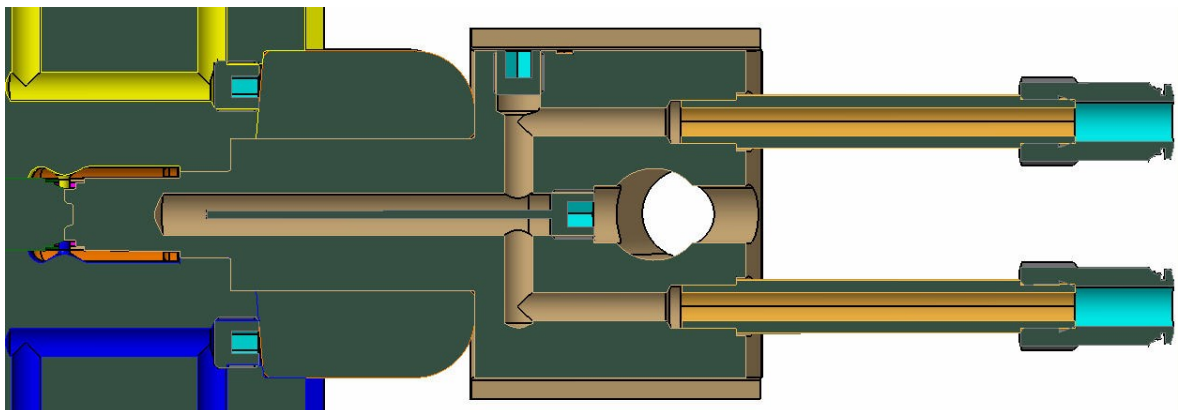
3.4.2 Příklady temperace



Obr. 14. Temperace ploché tvarové vložky



Obr. 15. Temperace desky



Obr. 16. Temperace posuvného jádra

3.5 Odvzdušnění

Schopnost formy produkovat díly požadované jakosti se projeví buď při zkušebním náběhu, nebo při sériové výrobě. Během těchto fází produkce se můžou projevit na díle vady způsobené mnoha faktory. Za jednoho z faktorů vzniku vad na díle je nedostatečný odvod vzduchu z dutiny formy. Neodvedený vzduch uzavřený uvnitř dutiny formy může být příčinou vzniku vad nebo technologických problémů, které jsou: [1, 4]

- spálená místa (Dieselův efekt),
- nedostříknutí dílu,
- vznik bublin na stěnách,
- vznik studených spojů se sníženou pevností v místě spoje,
- navýšení vstřikovacího tlaku,
- tlakové výkyvy v dutině formy.

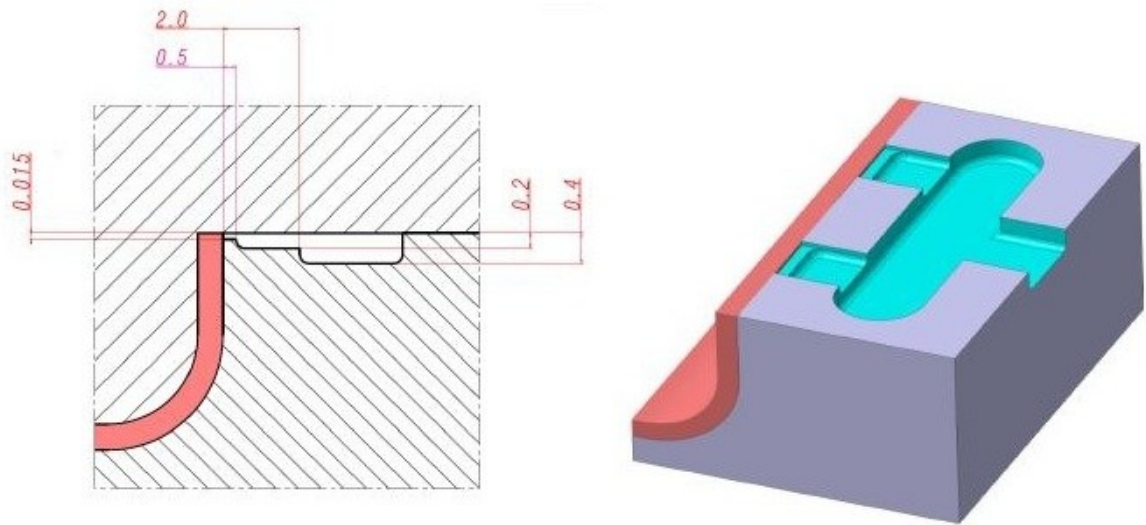
Eliminaci vzniku vad způsobených nedostatečným odvodem vzduchu z tvarových dutin lze řešit při konstrukci formy za přispění počítačových analýz plnění dutin formy (programy MoldFlow, Moldex 3D, Cadmould apod.) nebo s využitím zkušeností konstruktéra. Jestliže ani jedno z řešení nevede k řešení problému s odvodem vzduchu, zbývá možnost postupného zkoušení. [1, 4]

Kvalita odvzdušnění ovlivňuje stálost rychlosti plnění. Čím větší je rychlost plnění, tím účinnější odvzdušnění tvarové dutiny formy musí být. Za stavu, kdy bude tvarová dutina neúčinně odvzdušněna a rychlost plnění je vysoká, vznikají na díle spálená místa následkem ohřevu vzduchu stlačovaného taveninou vlivem vysokého tlaku až do stavu spálení materiálu. Tento jev se nazývá Dieselův efekt. Pomalé plnění dutiny formy má za následek uvolňování ztuhlého materiálu ze stěn formy a strhávání ho do proudící taveniny. V důsledku toho vznikají heterogenní vměstky, které negativně ovlivňují rozměrovou stabilitu dílu. Pomalý tok naopak vede ke vzniku studených spojů. [1, 2]

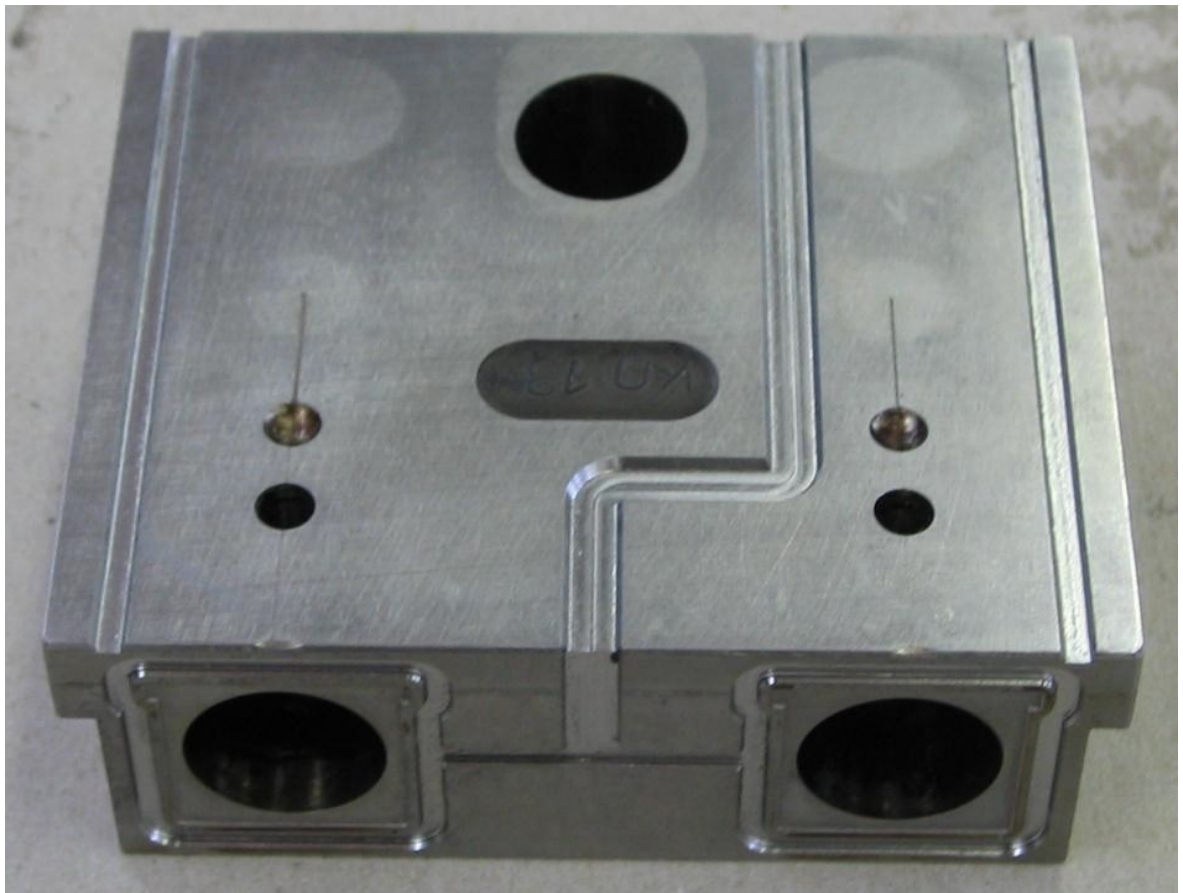
Způsoby provedení odvzdušnění:

- odvzdušňovacími kanály,
- vřelymi mezi tvarovými pevnými částmi formy,
- vřelymi mezi tvarovými pevnými a pohyblivými částmi formy,
- vřelymi v dělicí rovině.

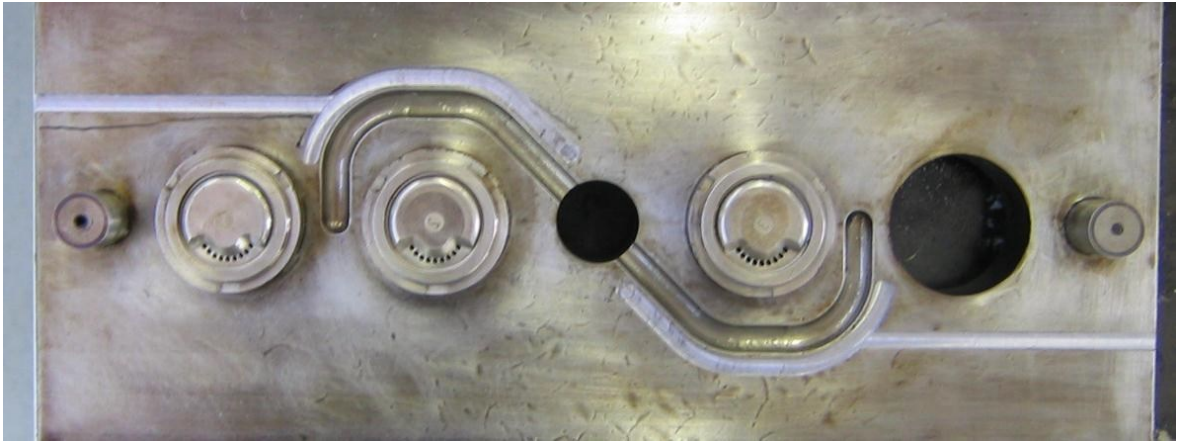
Během produkce se odvzdušňovací kanály ucpávají hlavně u pevných tvarových částí, které je potřeba častěji čistit.



Obr. 17. Odvzdušnění v dělicí rovině



Obr. 18. Obrysové odvzdušnění



Obr. 19. Odvzdušnění rozvodného kanálu

3.6 Vady vstřikovaných dílů

Vada na díle je definována jako odlišnost od očekávaného stavu. Tato odlišnost může být ve vzhledu, jakosti povrchu, rozdílném tvaru a rozměrech. Některé vady lze odstranit změnou technologických parametrů vstřikování, ale většinou se jedná o vady konstrukční, tedy chyba v návrhu tvaru dílu nebo formy. [2, 4]

Vady vzniklé na vstřikovaných dílech lze rozdělit na zjevné a skryté.

Zjevné vady je možné zpozorovat vizuálně a dělí se na: [1]

- **Vady povrchu** – stříbření, nedostatečný lesk, nedodržení drsnosti, tokové čáry, spálená místa, žloutnutí, černé tečky, bubliny atd.
- **Vady tvaru** – nedostříknuté díly, propadliny, přetoky, otřepy, stopy po vyhazovačích, rozměrové vady atd.

Skryté vady není možné zjistit vizuální kontrolou a mezi takové se řadí: [1]

- studené spoje,
- vakuoly (vakuové bubliny),
- lunkry (vzduchové bubliny),
- vnitřní pnutí.



Obr. 20. Vada – spálená místa



Obr. 21. Vada – propadliny



Obr. 22. Vada – přetoky



Obr. 23. Vada – chybějící vyhazovače

3.7 Materiály forem

Vstříkovací forma je velmi finančně nákladný nástroj na výrobu plastových dílů sestavený z mnoha členů, na které jsou kladeny specifické nároky a to má za následek volbu vhodného materiálu.

Vlastnosti materiálu s ohledem na funkci: [2]

- dobrá obrobiteľnosť,
- odolnosť proti korozi,
- dobrá tepelná zpracovatelnost,

- odolnost proti chemickým vlivům vstřikovaného materiálu,
- odolnost proti opotřebení vlivem působení plněných materiálů vlákny,
- stálost rozměrů.

Vlastnosti použitého materiálu v závislosti na: [2]

- druhu vstřikovaného materiálu,
- podmínek vstřikování,
- požadované jakosti a přesnosti vstřikovaného dílu.

Nejvíce používanými materiály pro sestavení vstřikovací formy jsou takové, které mají velmi široký rozsah užitečných vlastností:

- oceli (např. 1.1730, 1.2343, 1.2767, 1.2080),
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al, apod.),
- izolační, tepelně nevodivé materiály, apod.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

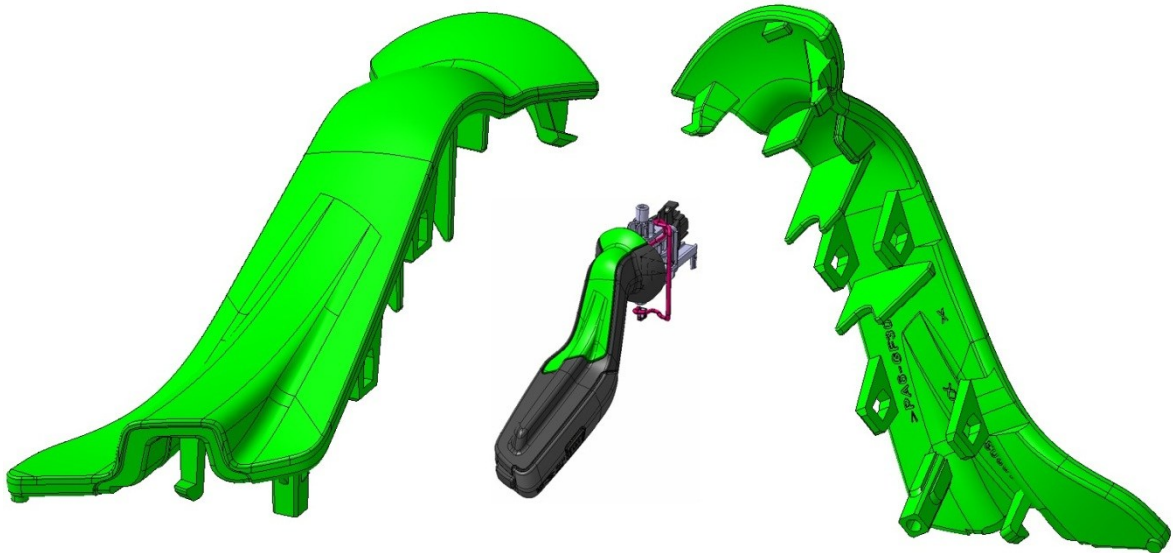
V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracování literární studie k danému tématu,
- vyhotovení 3D modelu dílu podvolantového modulu,
- provedení návrhu nástroje pro výrobu zadaného dílu,
- ověření návrhu pomocí tokových analýz.

V praktické části je cílem zkonstruovat vstřikovací formu pro zadaný díl dle definovaných požadavků od zadavatele. Při sestavování bylo použito v maximálním možném množství normalizovaných dílů od firmy Meusburger a to i pro jejich následnou tvarovou úpravu pro snížení celkové pořizovací ceny. Pro konstrukci byl použit CAD program CATIA V5R19 a pro ověření tokových analýz Moldex 3D R16 .

5 PRODUKOVANÝ DÍL

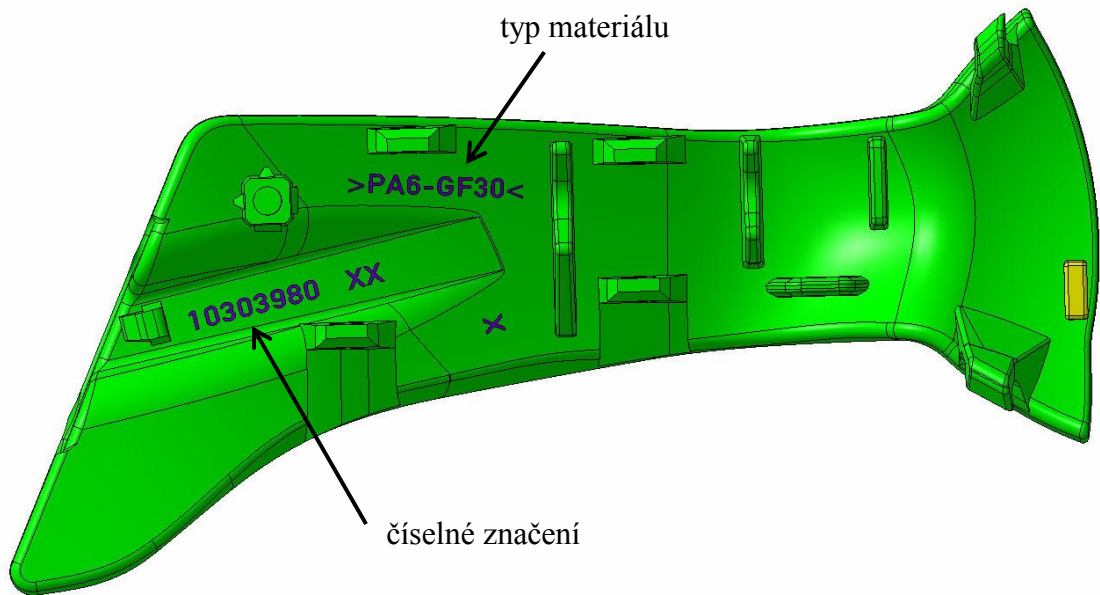
Pro účely vypracování diplomové práce a konstrukce vstřikovací formy byl zvolen zadní kryt tempomatové páčky podvolantového modulu automobilu značky AUDI. Díl váží 2,9 g a má objem 3,24 cm³.



Obr. 24. Vstřikovaný díl – zadní kryt

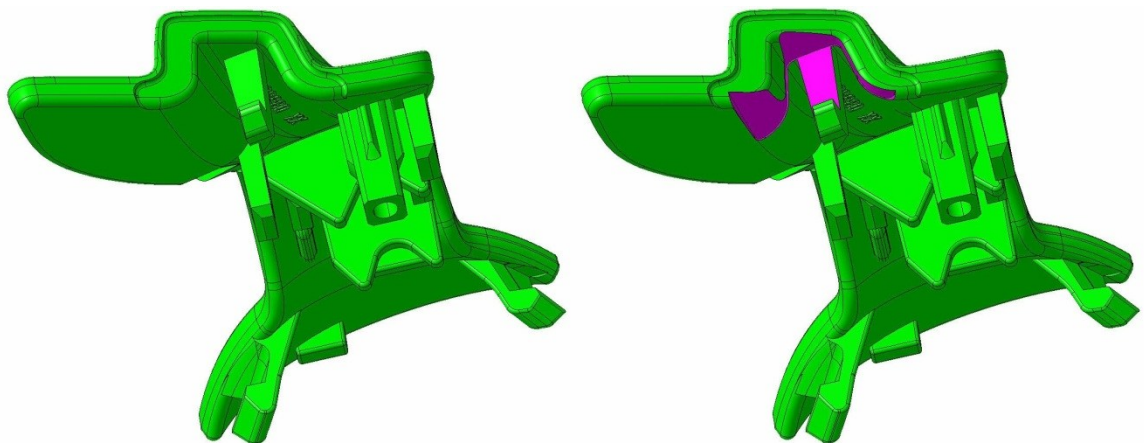
5.1 Popis tvarových částí

Zadní kryt tempomatové páčky je tvarován tak, aby byl nejen kompatibilní s ostatními díly, ale i plnil funkci ergonomickou. Vrchní povrch dílu má zvolenou kvalitu pro příjemný dotyk. Spodní část, funkční, naopak plní funkci pro spojení s hlavním zadním krytem a vymežovacími výstupky pro zajištění proti pohybu kabelů. Spodní část je také opatřena číselným označením dílu a typem materiálu.



Obr. 25. Značení dílu

V průběhu konstrukce vstřikovací formy došlo na produkovaném díle k tvarové změně na zadní části krytu, aby konstrukce byla jednodušší. Tato změna spočívala v úběru materiálu k zjednodušení směru odformování, který by byl v nezměněném tvaru v šikmém směru, a to by vedlo k zvětšení rámu formy. Změna je graficky znázorněna na Obr. 26 (ružová barva).



Obr. 26. Zjednodušující tvarová změna

5.2 Zvolený materiál

Pro zadní kryt tempomatové páčky byl zvolen materiál polyamid 6 s obsahem 30% skelných vláken s obchodním označením Grilon BG 30 S od společnosti EMS GRIVORY. Materiál je specifický pro jeho velmi dobré fyzikální vlastnosti a rozměrovou stabilitu.

Tab. 1. Vlastnosti materiálu PA6-GF30

Typ materiálu	PA6-GF30
Obchodní název	Grilon BG 30 S
Hustota	1350 kg/m ³
Teplota tavení	222 °C
Teplota vstřikování	280 - 300 °C
Teplota formy při vstřikování	80 - 100 °C
Podélné smrštění	0,35%
Modul pružnosti v tahu	185MPa
Obsah skelných vláken	30%

6 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Produkce dílu je zajišťována na vstřikovacím stroji Arburg ALLROUNDER 370 E, který byl vybrán na základě velikosti formy, množství vstřikovaného materiálu v závislosti na velikosti plastikační jednotky a velikosti uzavírací síly.



Obr. 27. Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 370 E [18]

Základní technické parametry stroje jsou znázorněny v Tab. 2 a 3.

Tab. 2. Technické parametry uzavírací jednotky

Uzavírací síla (max.)	700kN
Otevírací síla (max.)	400 kN
Výška formy (min.)	200 mm
Vzdálenost mezi vodicími sloupy	370 x 370 mm
Otevírací zdvih	360 mm
Vyhazovací síla (max.)	125 kN

Tab. 3. Technické parametry vstřikovací jednotky

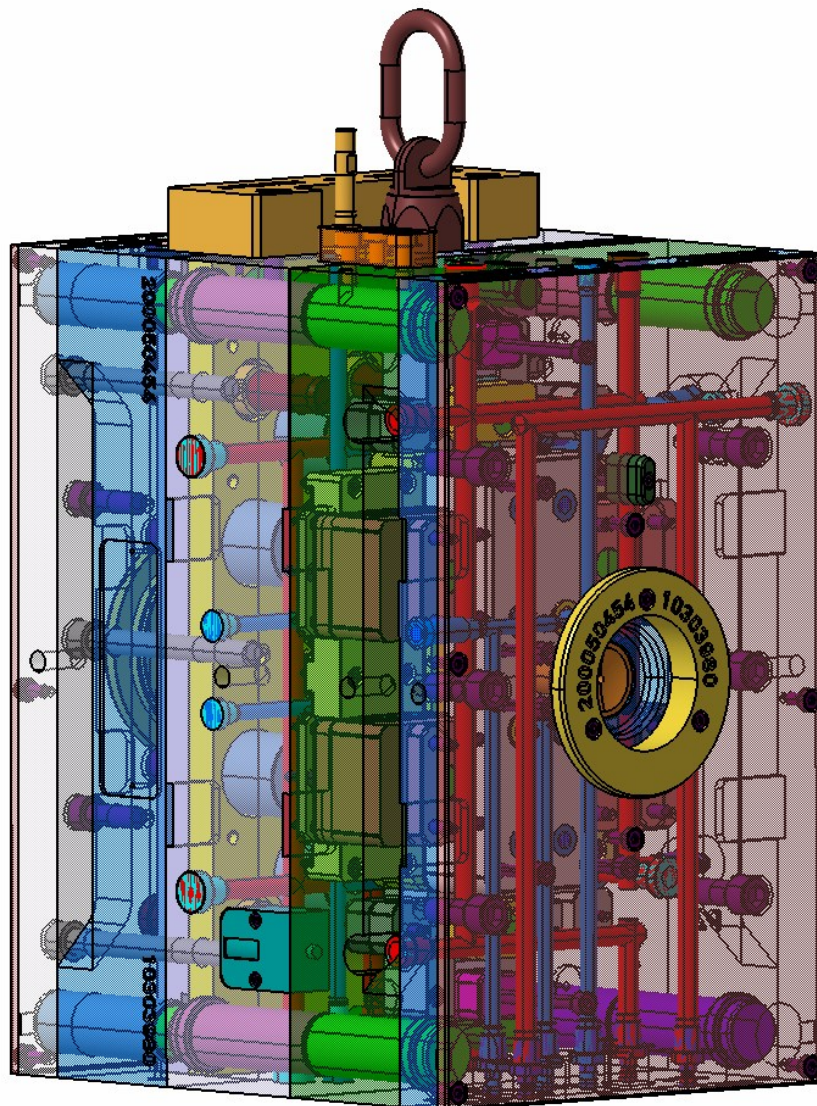
Průměr šneku	25 mm
Účinná délka šneku L/D	17,5
Tah šneku (max.)	90 mm
Objem vstřikované dávky (max.)	44 cm ³
Vstřikovací tlak (max.)	1550 bar
Rychlost toku taveniny (max.)	268 cm ³ /s
Krouticí moment šneku (max.)	120 Nm

7 KONSTRUKCE FORMY

Na základě počtu produkovaných dílů, tvarové složitosti a typu materiálu se odvíjela velikost formy. Cílem pro konstrukci formy bylo, aby byla funkčně a výrobně jednoduchá, přesná a také co nejlevnější. Pro snížení výrobních nákladů byly využity normalizované díly od firmy Meusburger.

Parametry vstřikovací formy:

- rozměry 246 x 396 x 304,5 mm,
- hmotnost formy 208 kg,
- počet vstřikovaných dílů 2 ks.



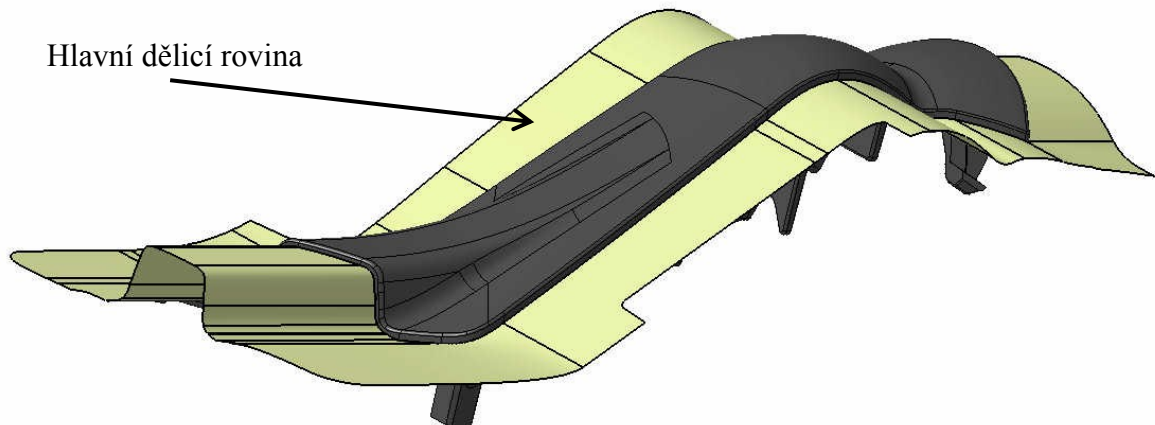
Obr. 28. Vstřikovací forma

7.1 Násobnost formy

Dle požadovaného množství produkovaných dílů za rok, a to 69 000 kusů, byla zvolena dvojnásobná forma. Tato varianta byla s ohledem na tvarovou složitost, ekonomičnost výroby formy a produkce nejvhodnější.

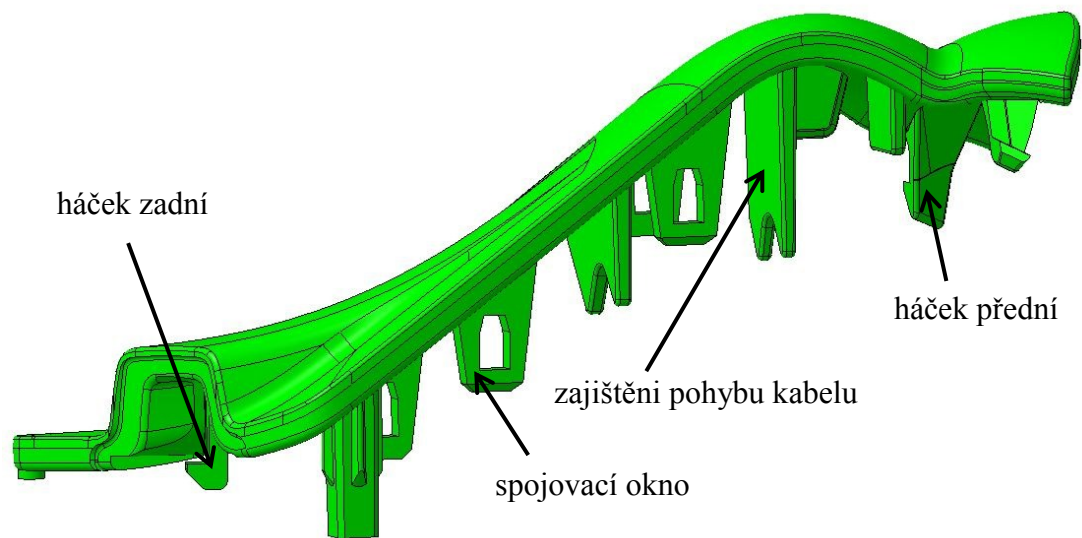
7.2 Zaformování

Zaformování produkovaného dílu závisí na jeho tvarové složitosti. V případě krytu zadní tempomatové páčky leží hlavní dělicí rovina podél bočních hran v místě dělení tak, aby nedocházelo ani na jedné ze stran ke vzniku záporných odformovacích úhlů a porušení na díle.



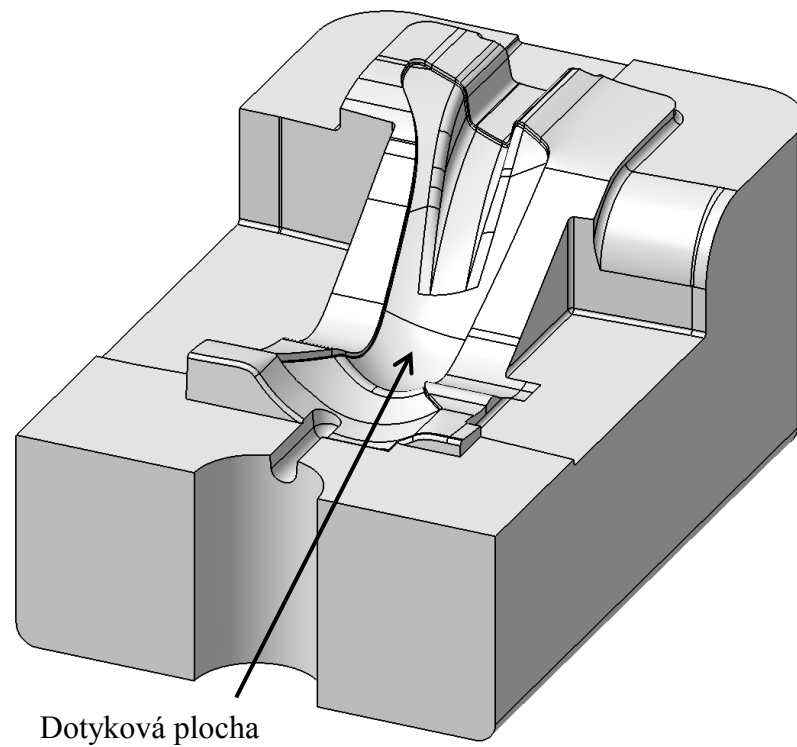
Obr. 29. Hlavní dělicí rovina dílu

Pro zaformování spojovacích oken a háčků byly použity posuvné čelisti s výměnnými tvarovými vložkami, které vyplňují okna a tvary háčků v záporně orientovaných směrech vyformování. Vyměnitelnost těchto tvarových vložek je pro případ jejich opotřebení, ale i v nutnosti výměny změnou tvaru na díle.

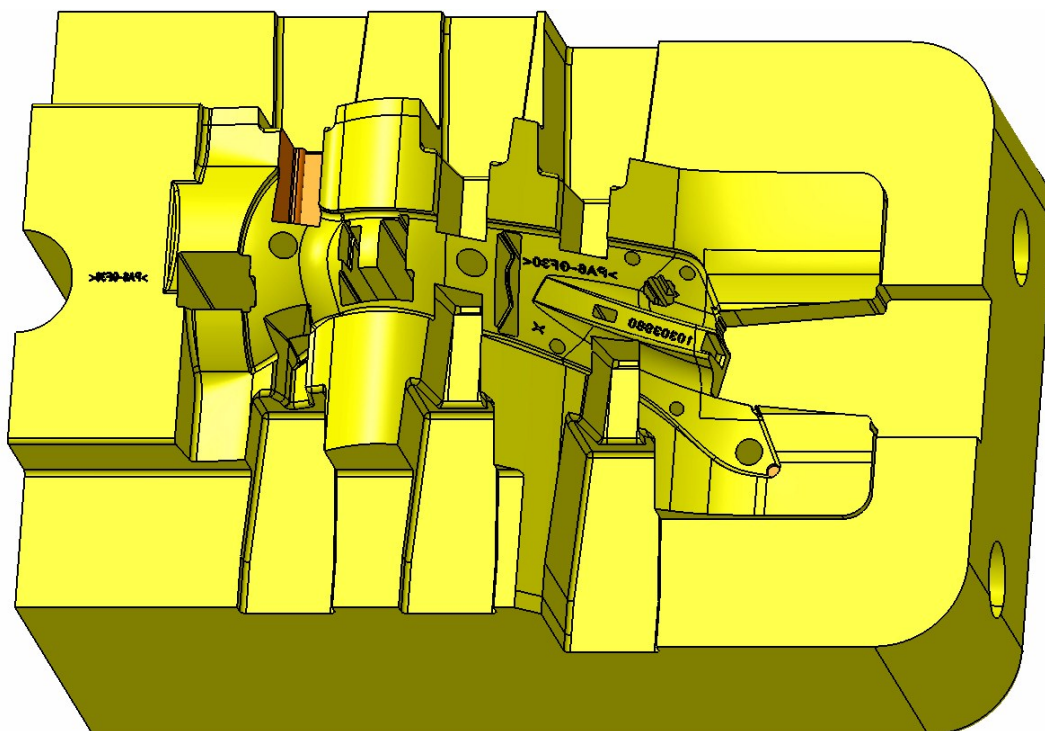


Obr. 30. Tvarové části

Hlavní dělicí rovina leží mezi tvárníkem a tvárnici. Na tvárnici je pomocí elektroerozivního obrábění vyrobena horní dotyková plocha požadované jakosti. Tvárník je nejsložitější tvarovou částí formy a tím i výrobně nejnáročnější.

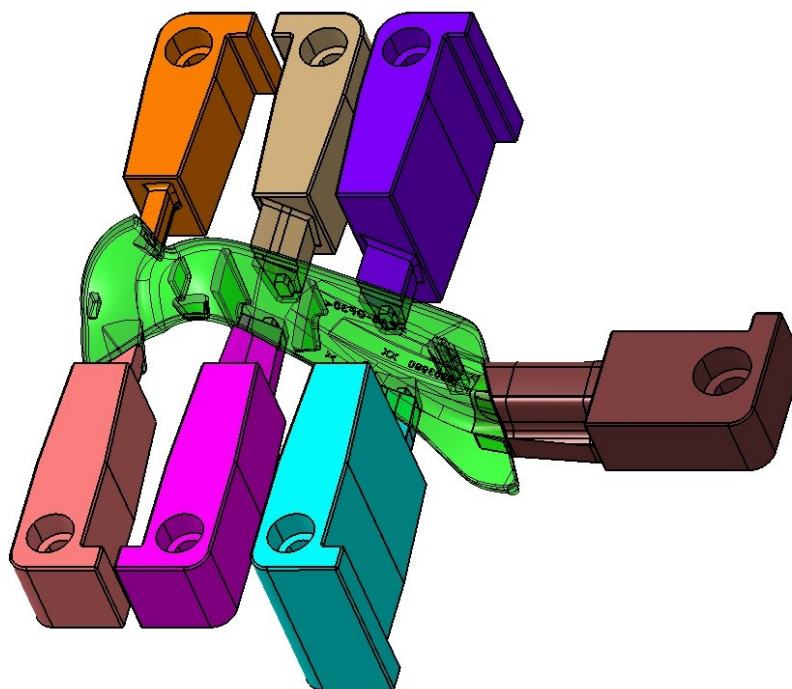


Obr. 31. Tvárnice

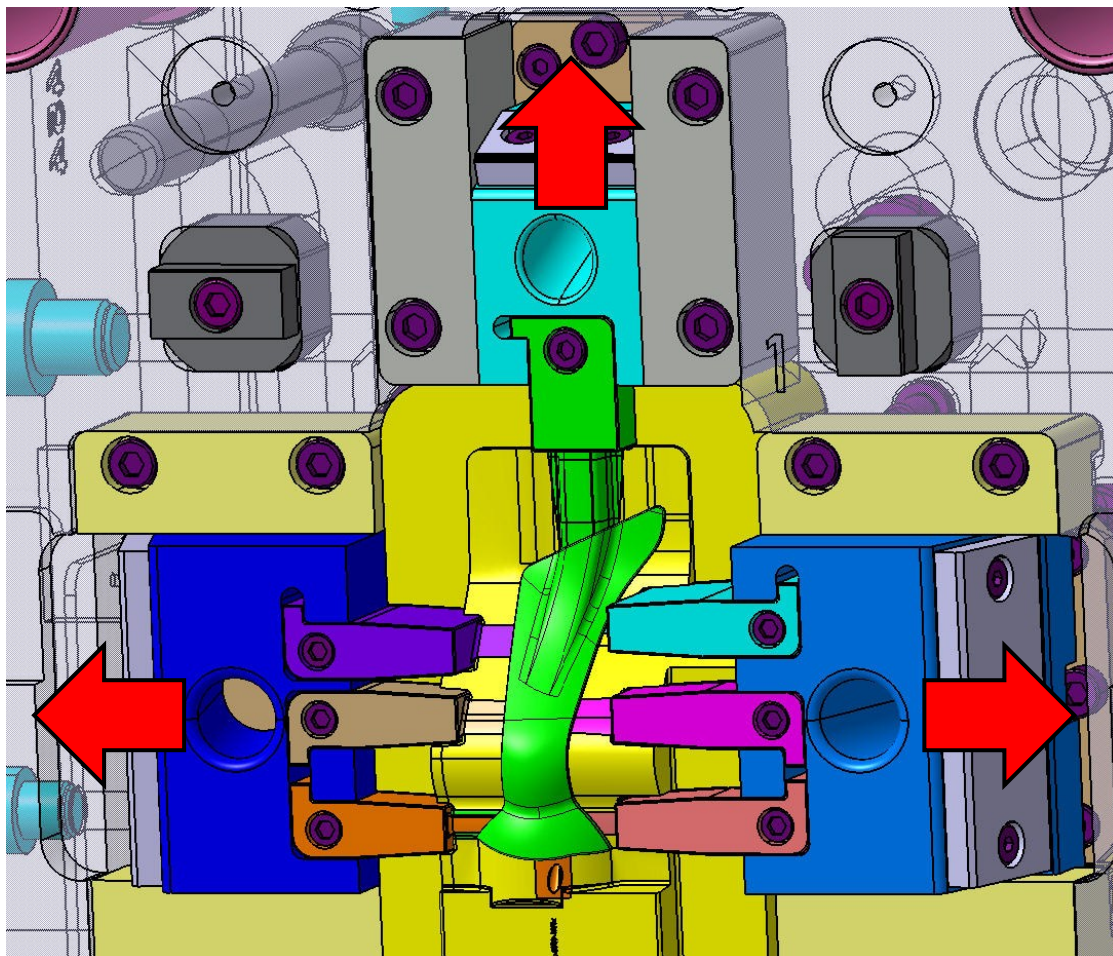


Obr. 32. Tvárník

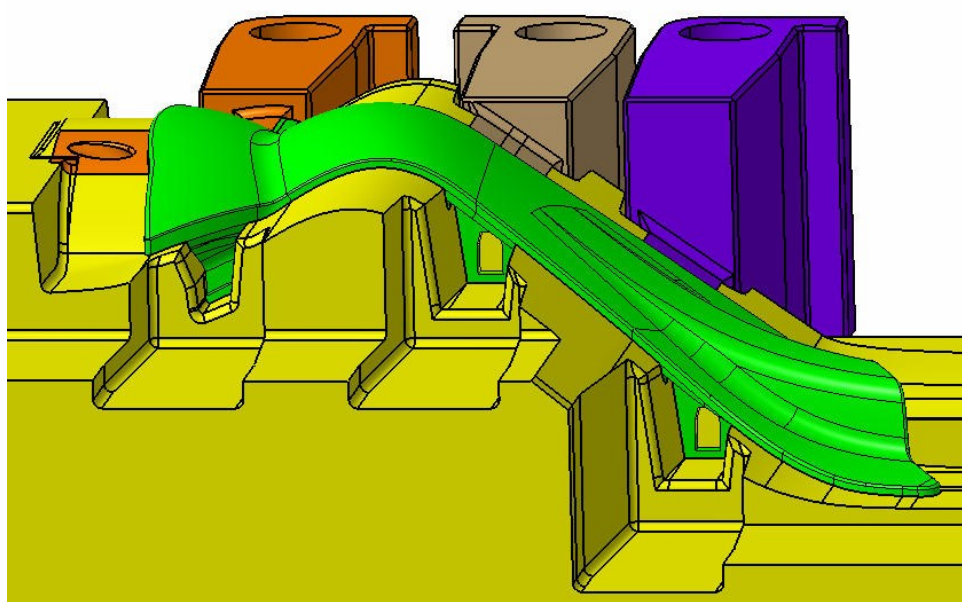
Vedlejší dělicí roviny jsou v místech spojovacích oken a háčků. Tyto oblasti jsou tvořeny výměnnými tvarovými vložkami pevně ukotvenými v posuvných čelistech.



Obr. 33. Výměnné tvarové čelistové vložky

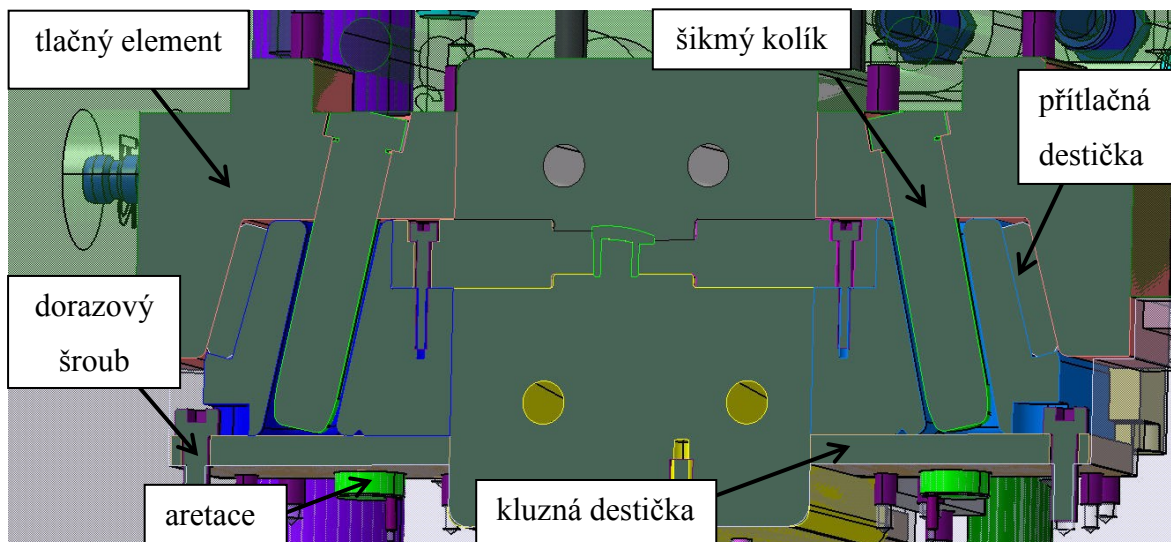


Obr. 34. Směry odformování posuvných čelistí

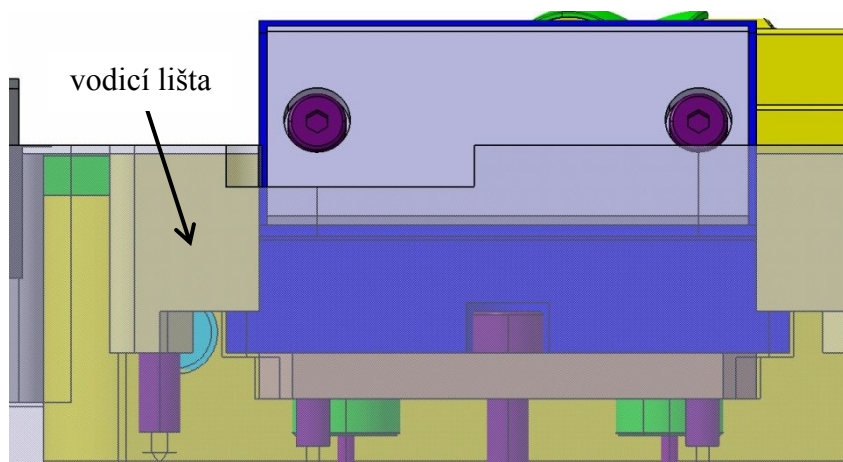


Obr. 35. Boční pohled

Pohyb posuvných čelistí s tvarovými výměnnými vložkami je mechanický pomocí šikmých kolíků. Čelisti jsou přesně vedeny mezi vodícími lištami na kluzné desce. Vzdálenost, kterou musí čelist vyjet, je zajištěna pružinovým aretačním členem a šroubem. Mezi čelistí a tlačným členem je na čelisti přišroubována přítlačná destička.

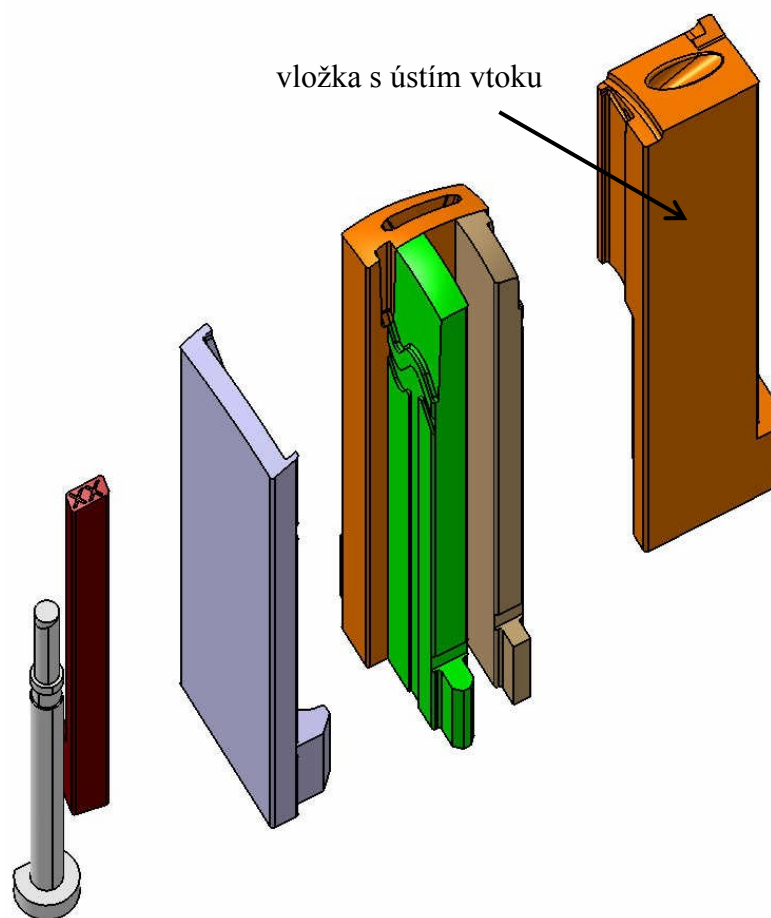


Obr. 36. Řez zaformování čelistí

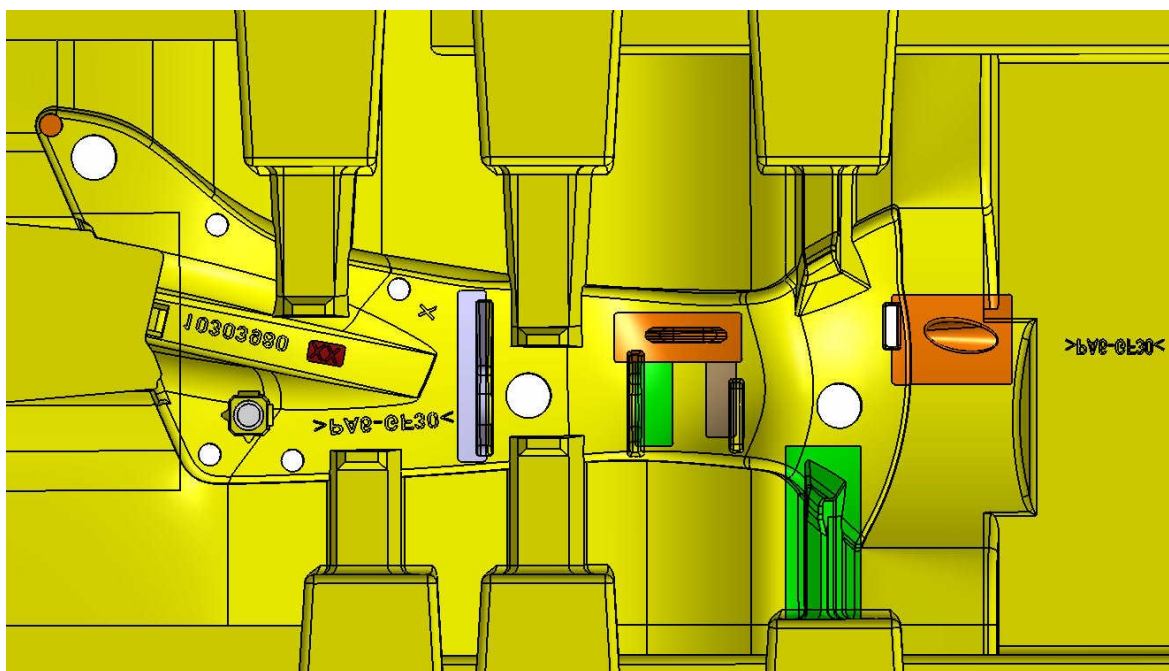


Obr. 37. Boční pohled zaformování čelistí

Na základě vyhodnocení provedené analýzy v programu Moldex 3D byla určena místa, kde dochází k uzavření vzduchu (Obr. 65). Tato místa byla předem odvzdušněna výměnnými tvarovými vložkami. Do samostatné výměnné vložky je umístěno i vtokové ústí pro případnou výměnu vlivem opotřebení.



Obr. 38. Výměnné tvarové vložky

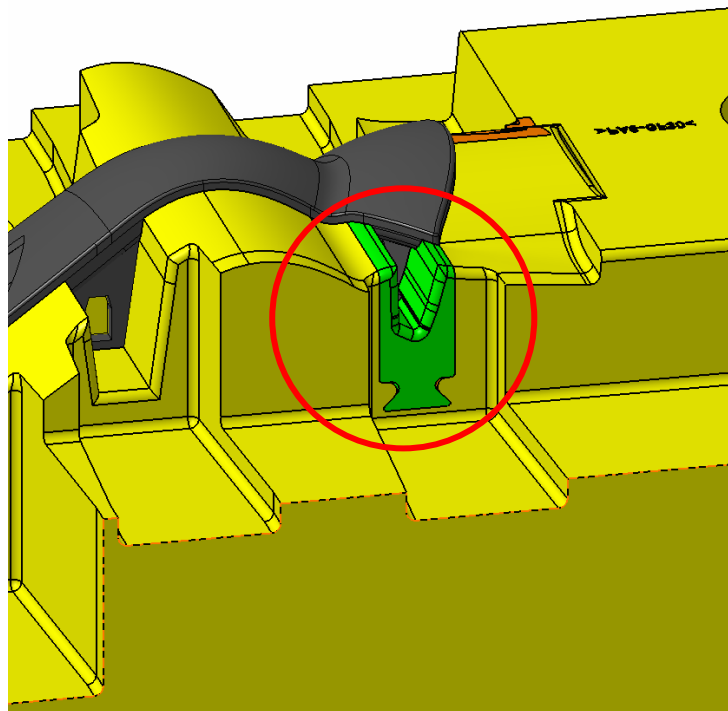


Obr. 39. Umístění výměnných vložek v tvárníku

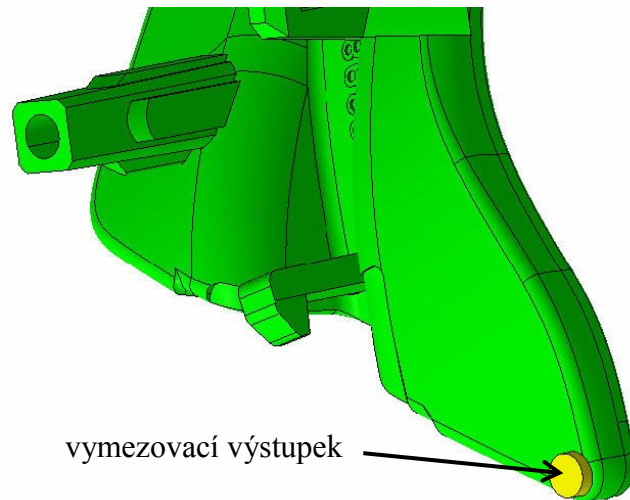
Po vyprodukování první verze zadního krytu tempomatové páčky byl díl zakomponován do sestavy páčky a bylo zjištěno, že je potřeba zmodifikovat tvar. Tato modifikace spočívala v úpravě pravého předního háčku a vytvoření malého výstupku (žlutě zbarvený válcový výstupek na Obr. 42) na levé zadní straně dílu. Na Obr. 40 lze vidět změnu tvaru a pozici háčku, kde šedá barva znázorňuje původní stav a žlutá barva nynější stav. Úprava tvaru háčku byla provedena vyvločkováním Obr. 41 (světle zelená vložka v kruhu).



Obr. 40. Tvarová změna háčku



Obr. 41. Umístění nové tvarové vložky háčku

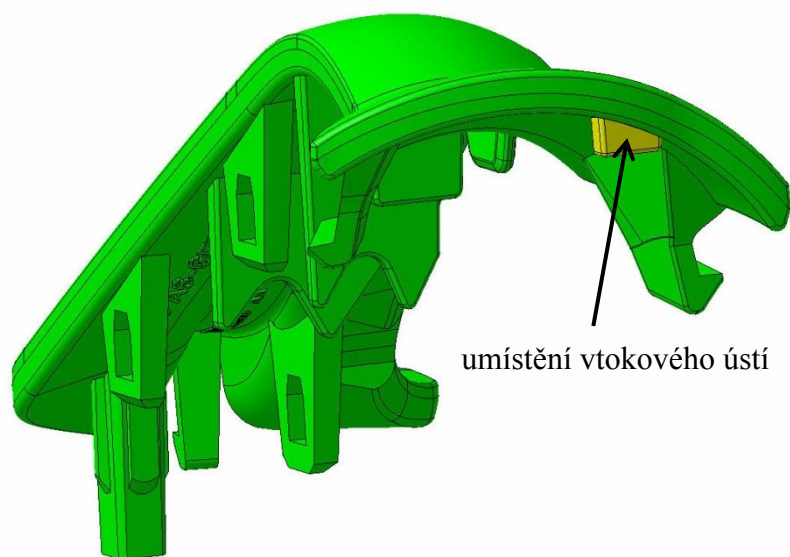


Obr. 42. Válcový vymezovací výstupek

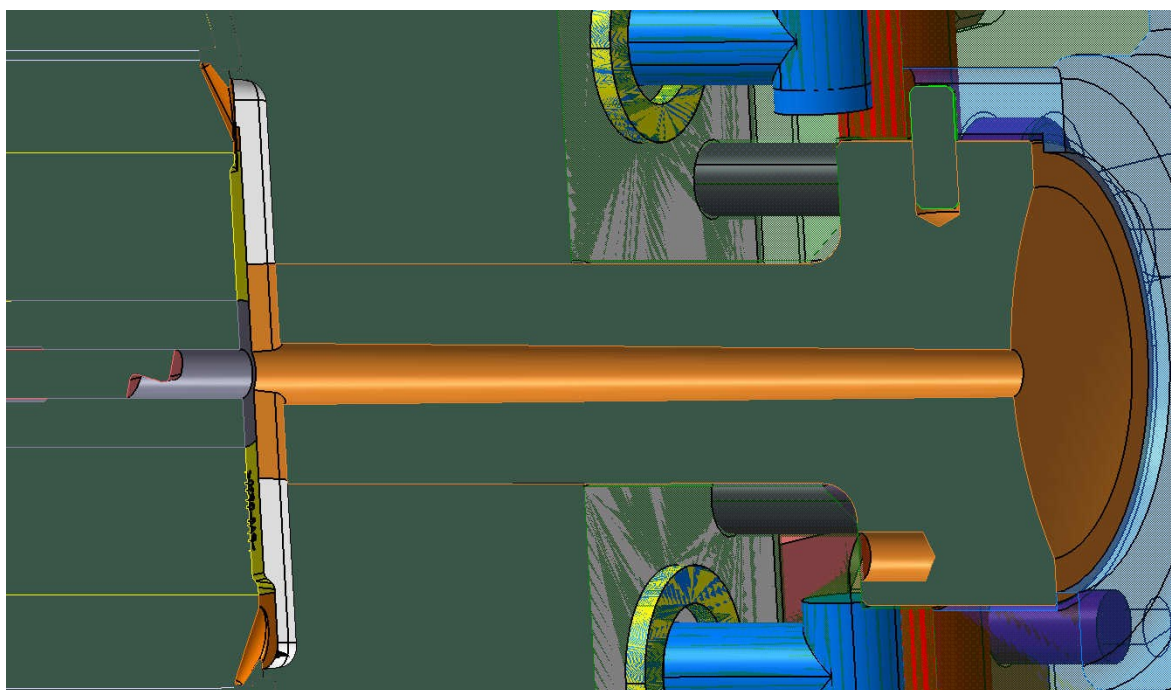
7.3 Vtoková soustava

Vzhledem k počtu produkovaných dílů byla zvolena studená vtoková soustava, protože použitím vyhřívaného systému by došlo k prodražení pořizovací ceny formy. Cena formy s využitím vyhřívaného systému by byla navýšena o zvětšení rámu, komplikovaném zabudování s vlivem na dražší výrobu desek a pořizovací ceny systému. Vzhledem k umístění vtokového ústí nelze vstříkovat z vyhřívané trysky přímo na díl, a tudíž by vznikl vtokový zbytek. Tyto aspekty vedly pro volbu studené soustavy, u které cena za materiál vtokových zbytků byla nižší než navýšení ceny formy s využitím vyhřívaného systému.

Tavenina proudí z trysky vstřikovací jednotky přes normalizovanou vtokovou vložku do rozvodného kanálu vyfrézovaného v tvárnících až do výměnných vtokových vložek s bodovým (tunelovým) vtokem.



Obr. 43. Umístění vtoku



Obr. 44. Vtoková soustava

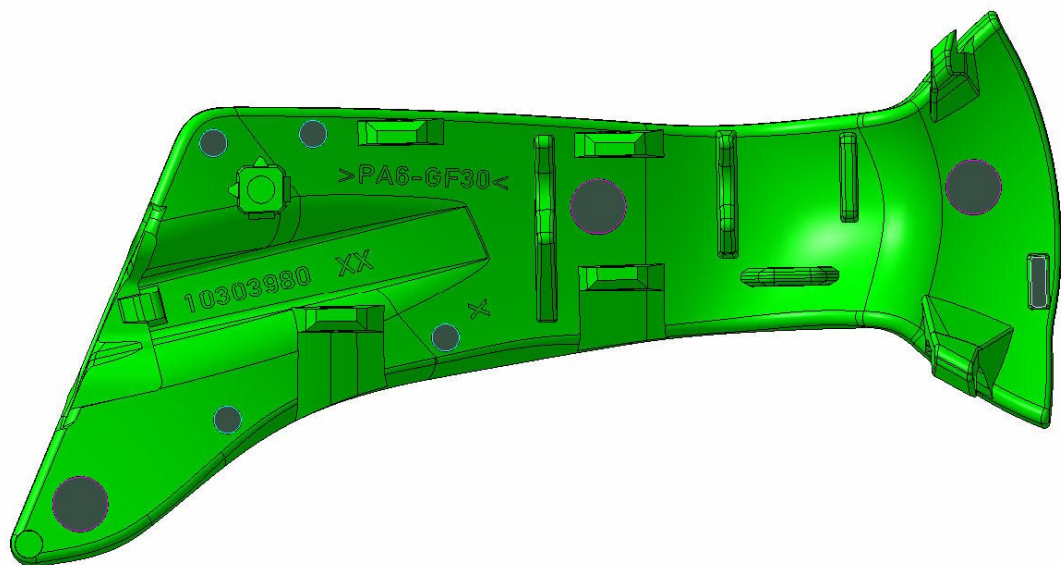
Vtokový zbytek je označen druhem materiálu, aby jej bylo možné dále recyklovat. Váha vtokového zbytku je 2,4 g.



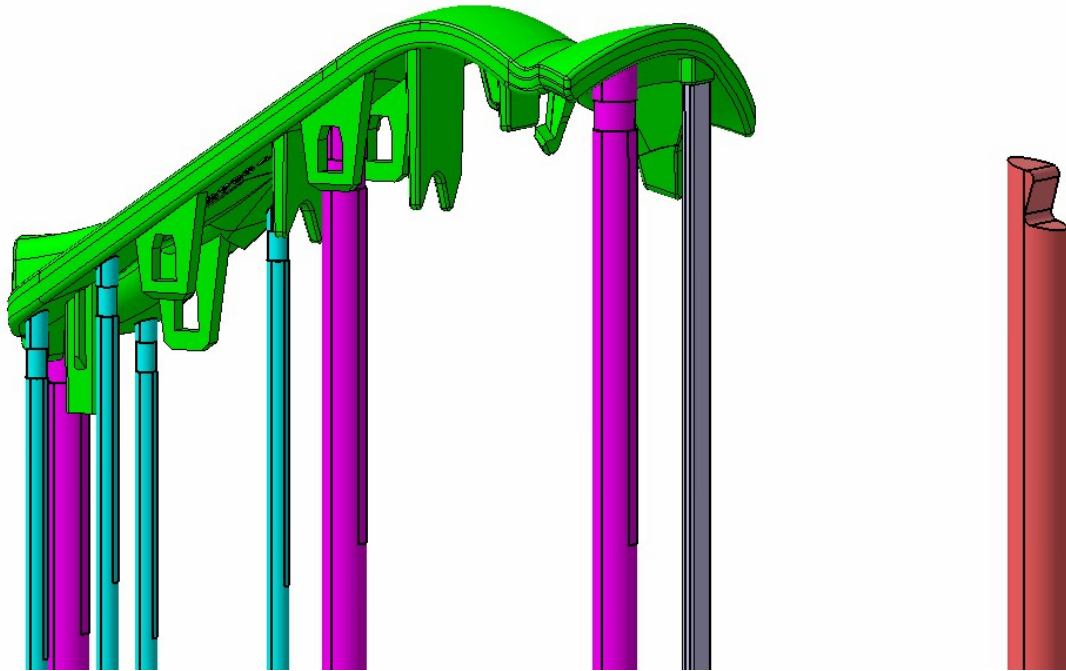
Obr. 45. Vtokový zbytek

7.4 Vyhazovací systém

Pro optimální a rovnoměrné vyhození jednoho vstříkovaného dílu z dutiny formy je potřeba sedm válcových vyhazovačů (sytě růžová a světle modrá barva) a jednoho plochého vyhazovače umístěného pod ústím vtoku (šedá barva). Přidržení vtokového zbytku a jeho vyhození je prostřednictvím Z-vyhazovače (světlá růžová barva).



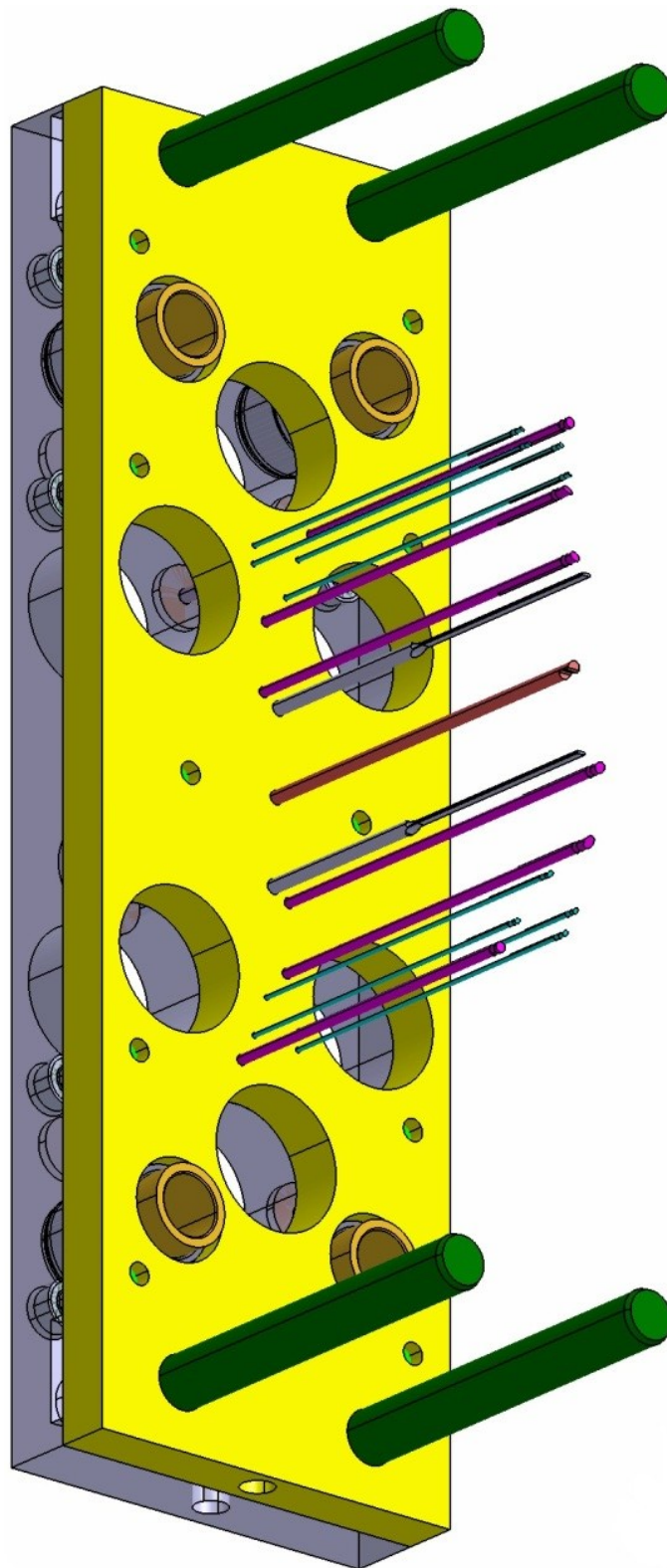
Obr. 46. Rozmístění vyhazovačů



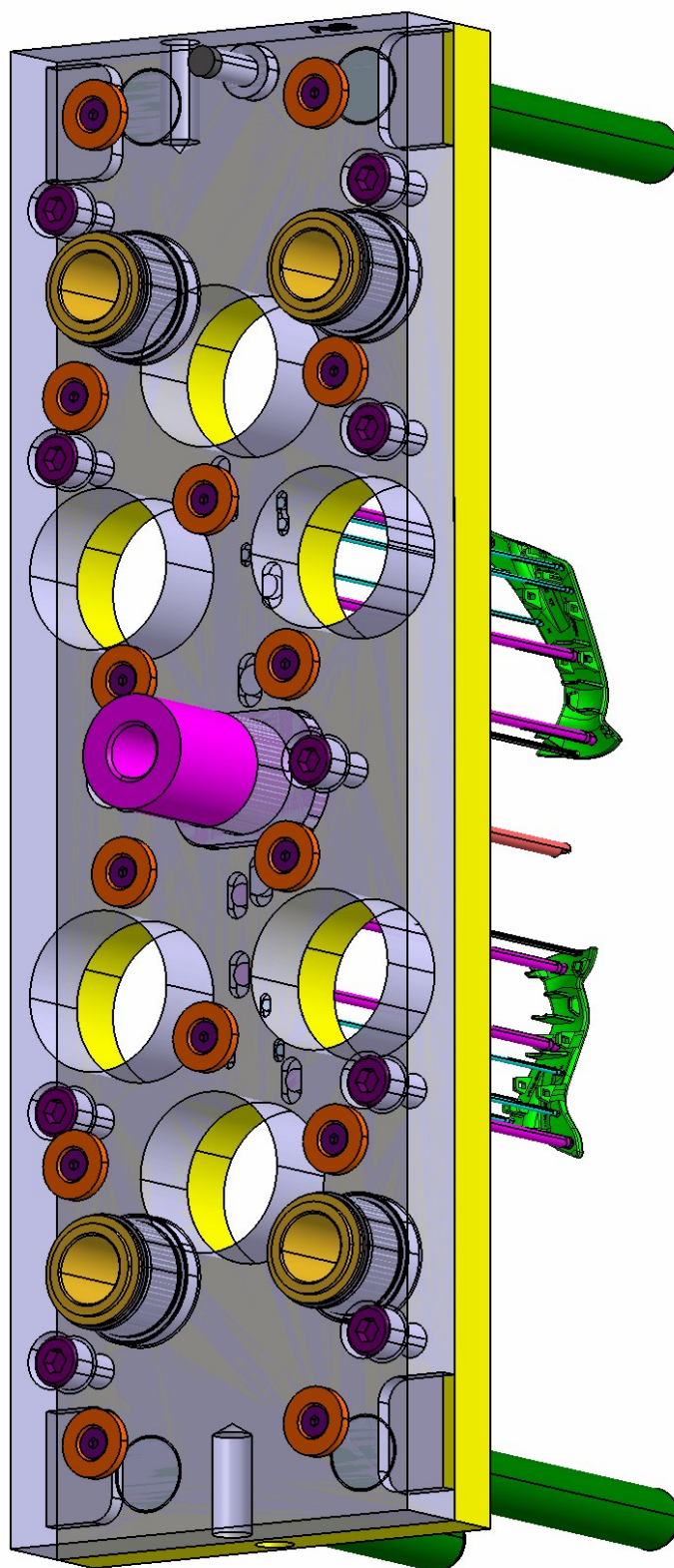
Obr. 47. Boční pohled rozmístění vyhazovačů

Vyhazovače jsou uchyceny v kotevní vyhazovací desce a zajištěny opěrnou vyhazovací deskou. V opěrné desce je ukotvena normalizovaná závitová vložka pro vyhazovací paket, kolík spínající snímač zasunutí vyhazovacího paketu. Správné zasunutí vyhazovacího paketu je pomocí zpětných kolíků, jejichž čela se opírají o protější tvarovou desku. Vedení vyhazovacího paketu je zajištěno jednotkou s kuličkovou klecí. Na zadní straně opěrné desky jsou přišroubovány dosedací podložky, aby vyhazovací paket nenarážel celou svou plochou do upínací desky. Ve vyhazovacích deskách jsou také otvory pro podpěrné sloupy, které slouží proti prohnutí vzniklé vstřikovacím tlakem.

Po vyhození vstřikovaného dílu z tvárníku následuje odebrání robotem.



Obr. 48. Vyhazovací systém – čelní pohled

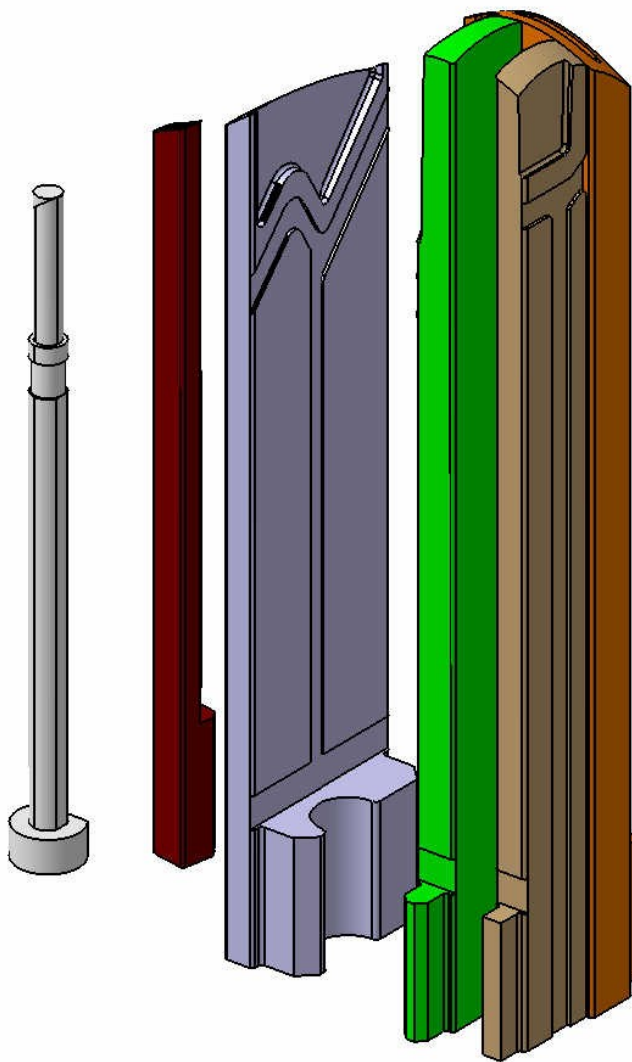


Obr. 49. Vyhazovací systém – zadní pohled

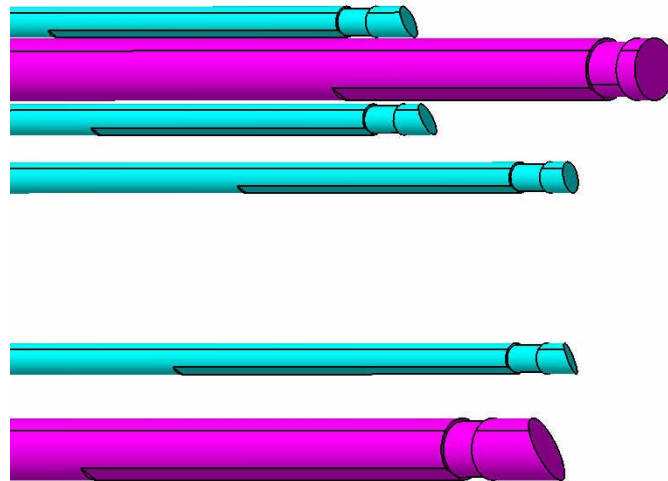
7.5 Odvzdušnění

Aby nedocházelo během produkce k vadám na díle způsobených vlivem tvorby spálených míst tzv. Dieselovým efektem, byla zavedena konstrukční opatření.

Dle výsledku analýzy provedené v programu Moldex 3D byla místa s výskytem tvorby spálenin odvzdušněna pomocí kanálů vedoucích výměnnými vložkami ven z formy. Odvzdušňovací drážky jsou vyrobeny také na všech vyhazovačích, aby mohl vzduch snáze unikat z dutiny formy mezi stěnami díry vyhazovače a vyhazovačem samotným. Odvzdušnění vyhazovači je vhodné vzhledem k jejich samočisticí funkci, kde svým pohybem odstraňují ulpívající procesní nečistoty. Dalším odvzdušněním jsou netěsnosti mezi dělicími rovinami tvárníku a tvárnice a také mezi tvárníkem a výměnnými tvarovými vložkami posuvných čelistí.



Obr. 50. Odvzdušnění na výměnných vložkách



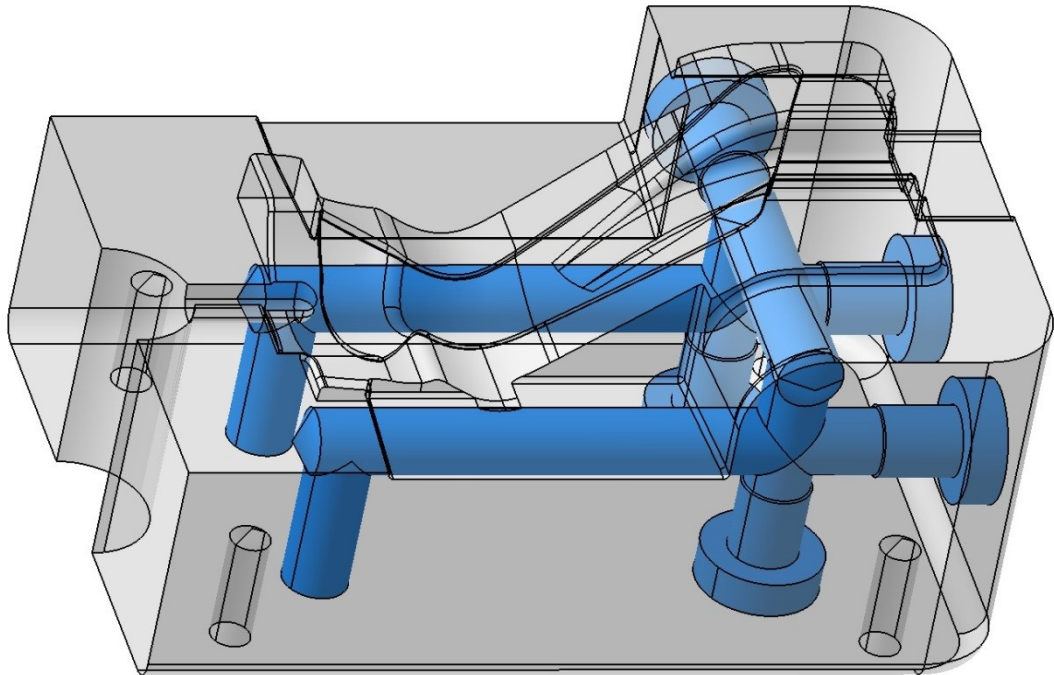
Obr. 51. Odvzdušňovací drážky na vyhazovačích

7.6 Temperace formy

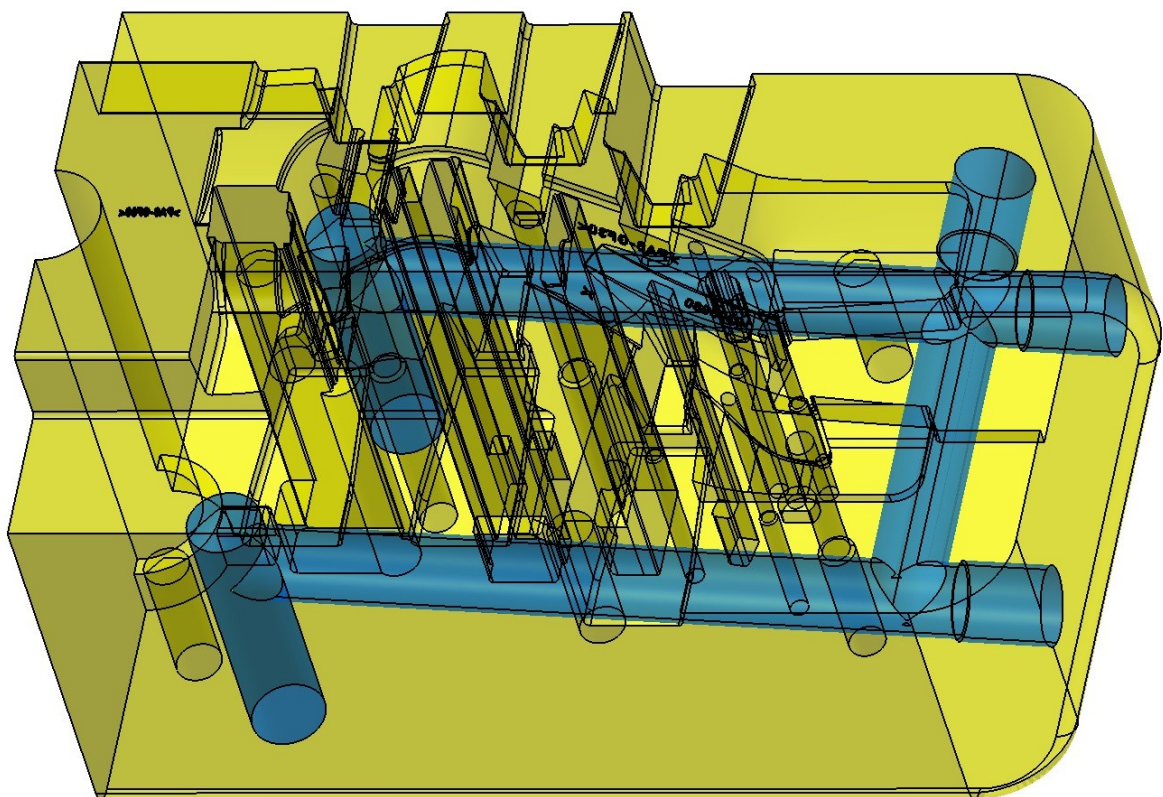
Temperace formy je rozdělena do sedmi okruhů. Tři okruhy pro temperaci desek (červeně zbarvené kanály) a čtyři okruhy jsou pro temperování tvarových desek (modře zbarvené kanály). Pro temperaci formy na teplotu 90 °C je používána voda.

Temperace tvarových vložek je zprostředkována vrtanými kanály o průměru 8 mm, které vedou přes tvarové desky do tvárnic a tvárníků. Přechod média mezi tvarovou deskou a hlavní tvarovou vložkou je utěsněn o-kroužky. Pro usměrnění toku média byly použity ucpávky. Každý vstup a výstup temperačního okruhu je zakončen přípojkou.

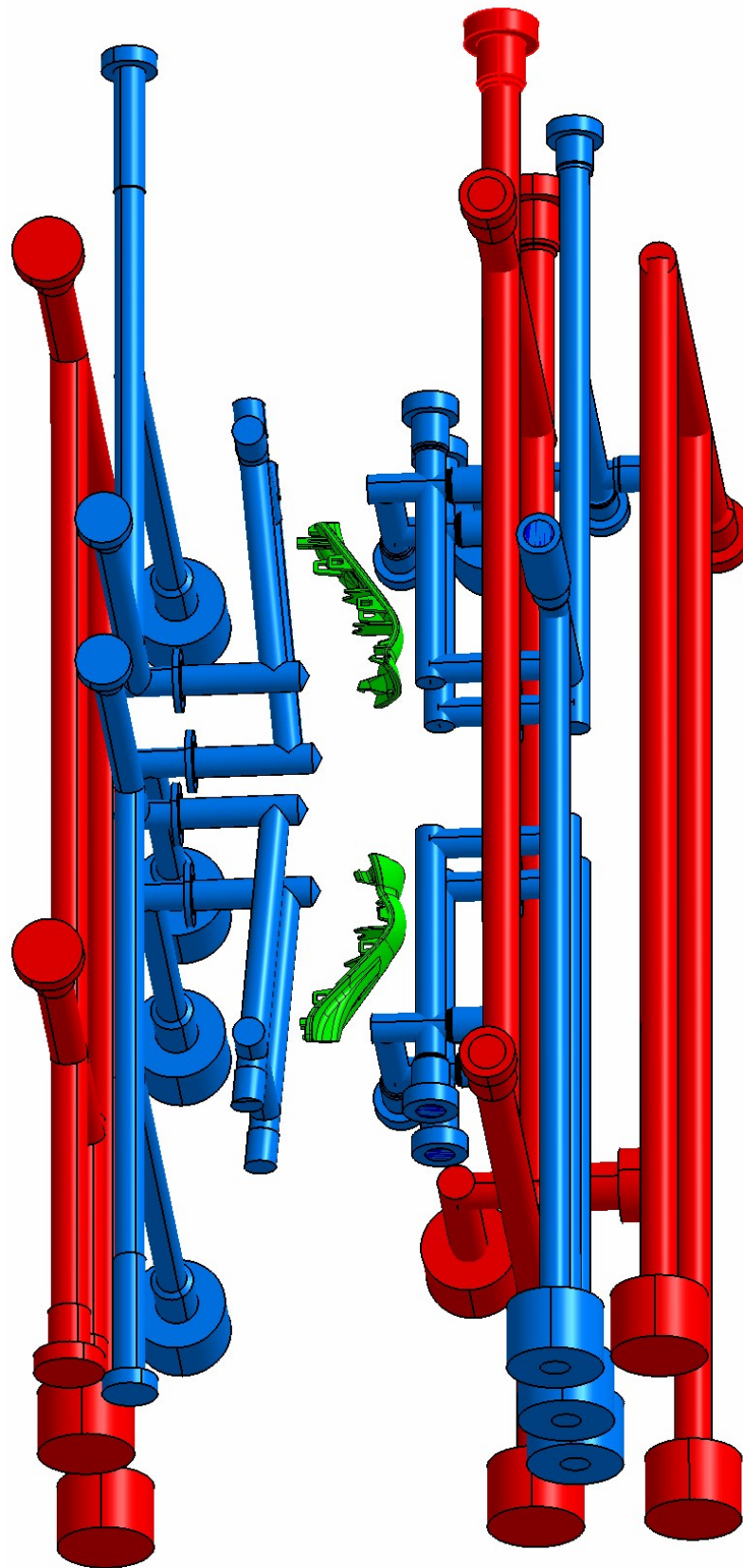
Temperace upínací desky na pevné polovině formy a obou tvarových desek je za pomoci vrtaných kanálů o průměru 10 mm. Kanály byly umístěny v závislosti na četnosti otvorů pro vyhazovače, otvory pro šrouby apod. Každý vstup a výstup temperačního okruhu je zakončen přípojkou.



Obr. 52. Temperace tvárnice



Obr. 53. Temperace tvárníku



Obr. 54. Celkový temperační systém formy

7.7 Podpůrné funkční díly

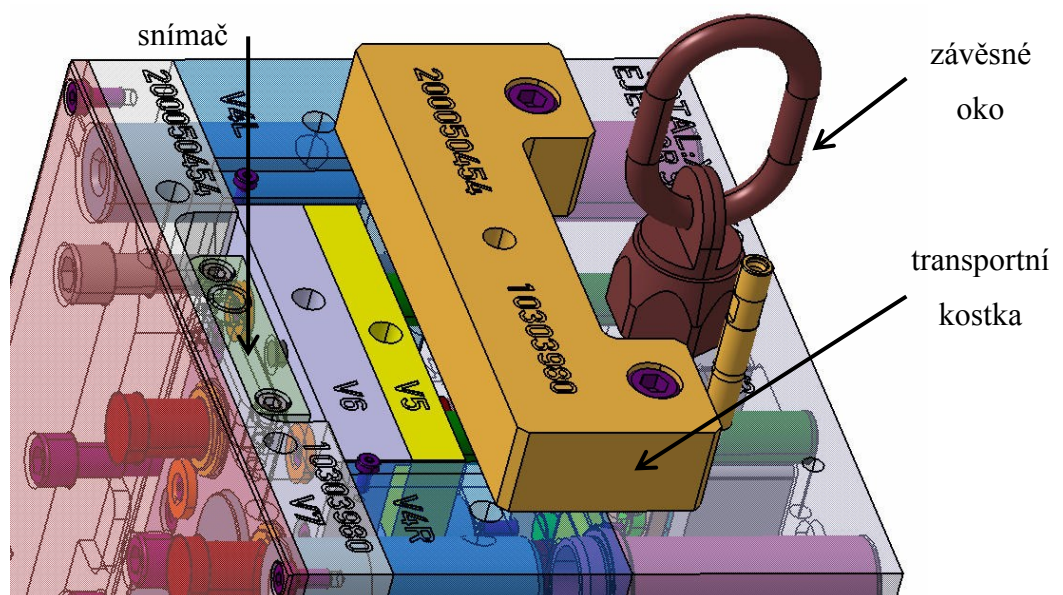
Pro manipulaci je forma opatřena transportním okem, které leží v těžišti formy. Oko lze také použít pro manipulaci samostatných polovin formy, kde každá z polovin má závit v těžišti. Jelikož těžiště pohyblivé poloviny formy leží mezi vyhazovacím paketem a tvarovou deskou, byla vyrobena transportní kostka upevněna šrouby do tvarové desky.

Podpěrné válce slouží jako výztuha pohyblivé části formy v mezeře mezi tvarovou deskou a upínací deskou. Umisťují se co nejbližší místu vstřiku do dutin, kde vzniká nejvyšší tlak a dochází k prohnutí. Válce se přišroubovávají do upínací desky a prochází vyhazovacími deskami.

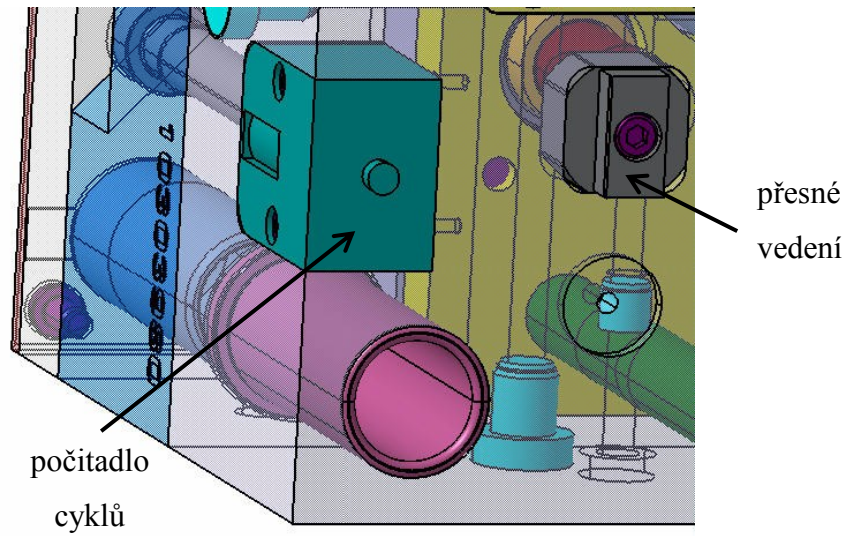
Aby bylo zajištěno přesné vystředění obou polovin formy, je využito přesné ploché vedení.

Snímač zasunutí vyhazovacího paketu je jedním z opatření, aby na díle nevznikaly vady způsobeny nedostatečným zasunutím vyhazovačů do počáteční polohy. Snímač je spínán vyhazovacím kolíkem umístěným v horní polovině vyhazovacího paketu. Primárně je ale snímač využíván pro kontrolu zasunutí paketu, pokud paket plní mechanickou funkci zajištění proti pohybu posuvných čelistí ve vertikálním směru. V případě této konstrukce nebylo toto zajištění potřeba kvůli malému zdvihu.

Počítadlo pro měření počtů cyklů.

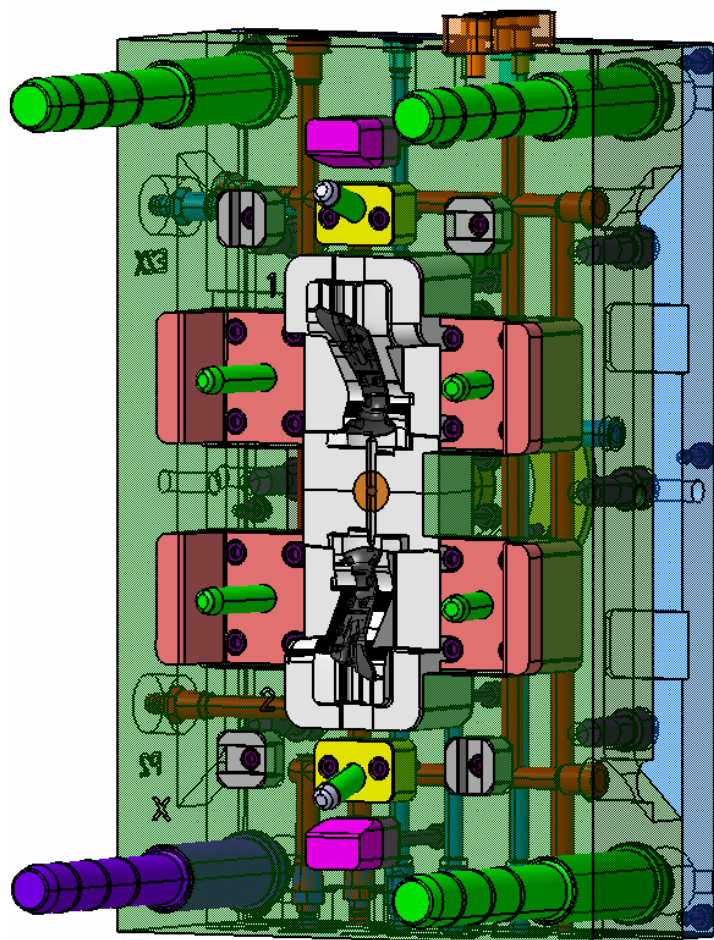


Obr. 55. Podpůrné funkční díly 1

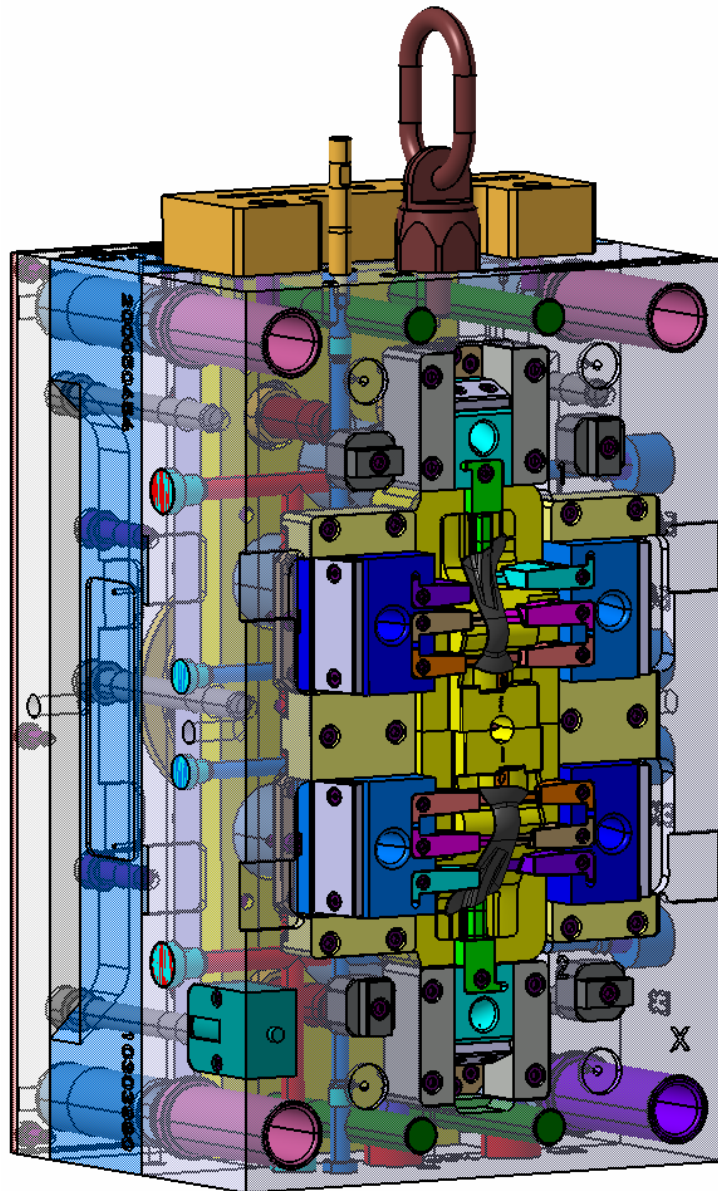


Obr. 56. Podpůrné funkční díly 2

7.8 Celková konstrukce formy



Obr. 57. Pevná polovina formy



Obr. 58. Pohyblivá strana formy

8 ANALÝZY PROCESU

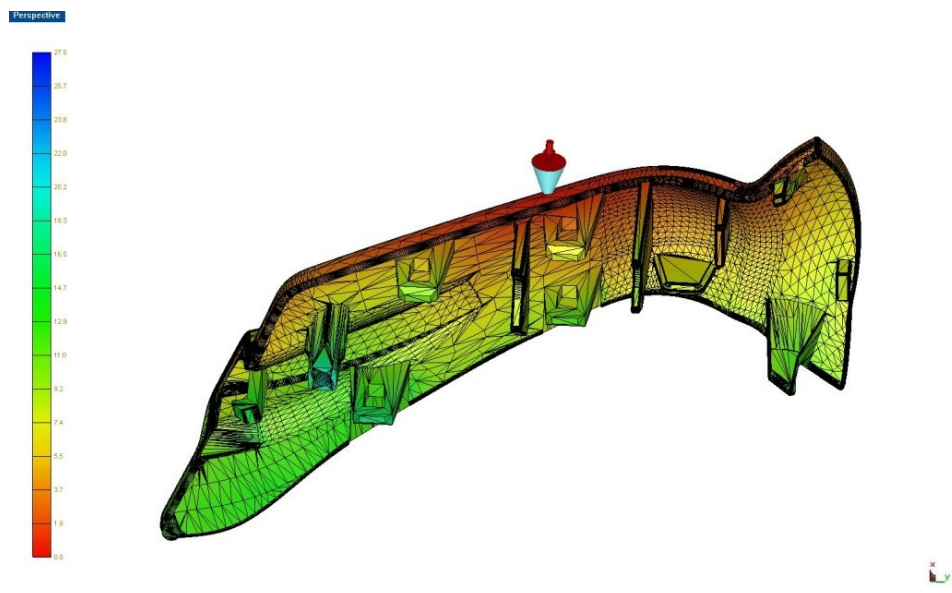
Konstrukční návrh formy byl ověřen pomocí analýz vstřikovacího procesu v programu Moldex 3D R16. Před spuštěním bylo potřeba nastavit procesní podmínky v závislosti na zvoleném materiálu, které určuje výrobce.

Procesní podmínky:

- teplota formy = 90 °C
- teplota taveniny = 285 °C
- přepnutí dotlaku po zaplnění dutiny = 98 %
- maximální tlak = 900 MPa
- omezení dotlaku = 700 MPa
- vstřikovací čas = cca. 0,1 s/cm délky dílu
- čas dotlaku = 5 s

8.1 Umístění vtokového ústí

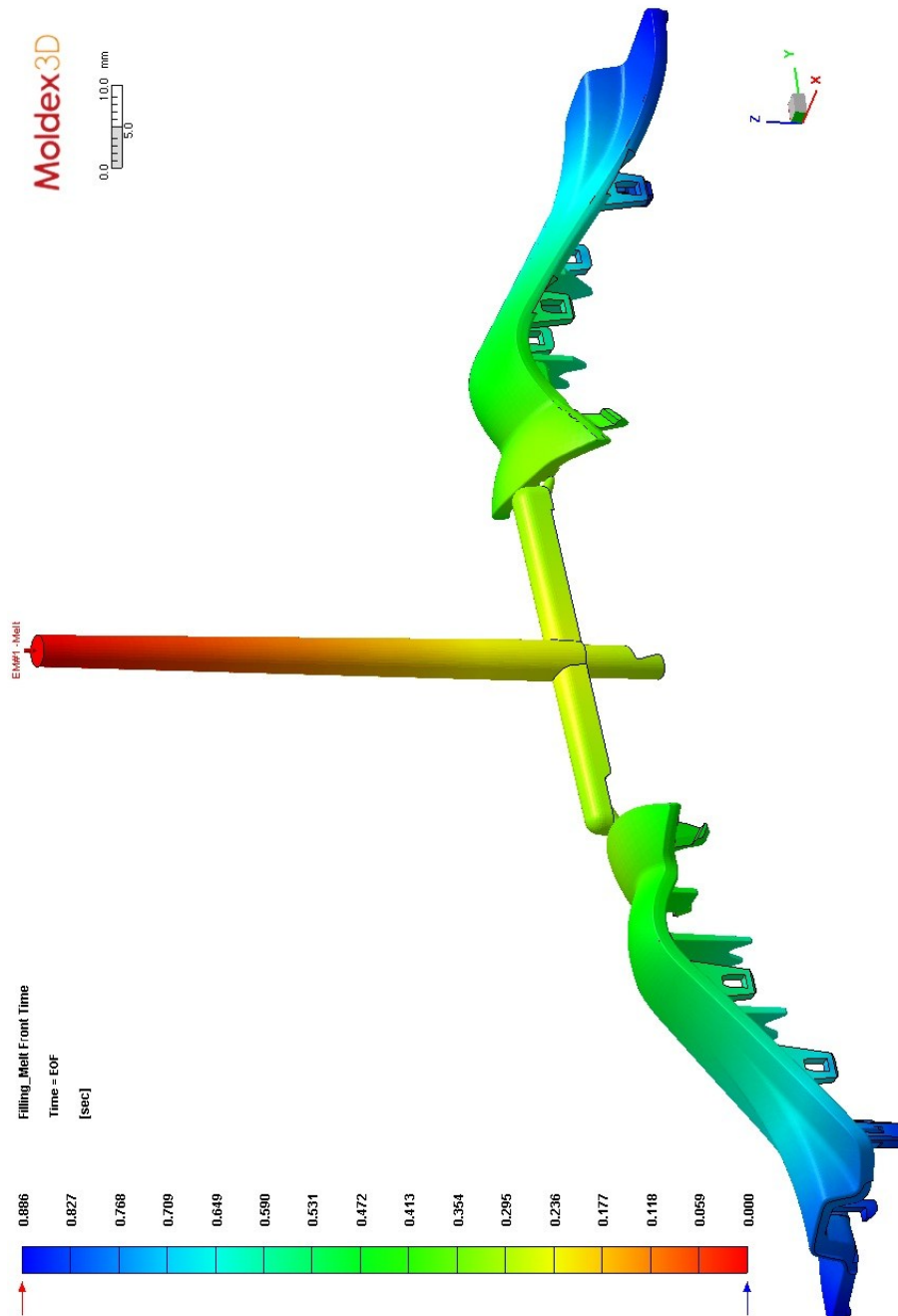
Umístění vtokového ústí bylo zvoleno s přihlédnutím na konstrukci formy, tedy hlavně zaformování a také s ohledem na tvar dílu. V kapitole 7.3 na obr. 43 je vyznačen výstupek pro umístění vtoku, u kterého nevzniká problém s omezením ve spojení s protější částí sestavy tempomatové páčky. Dle analýzy místo vtoku konstrukčně nevyhovuje.



Obr. 59. Umístění vtoku

8.2 Čas plnění

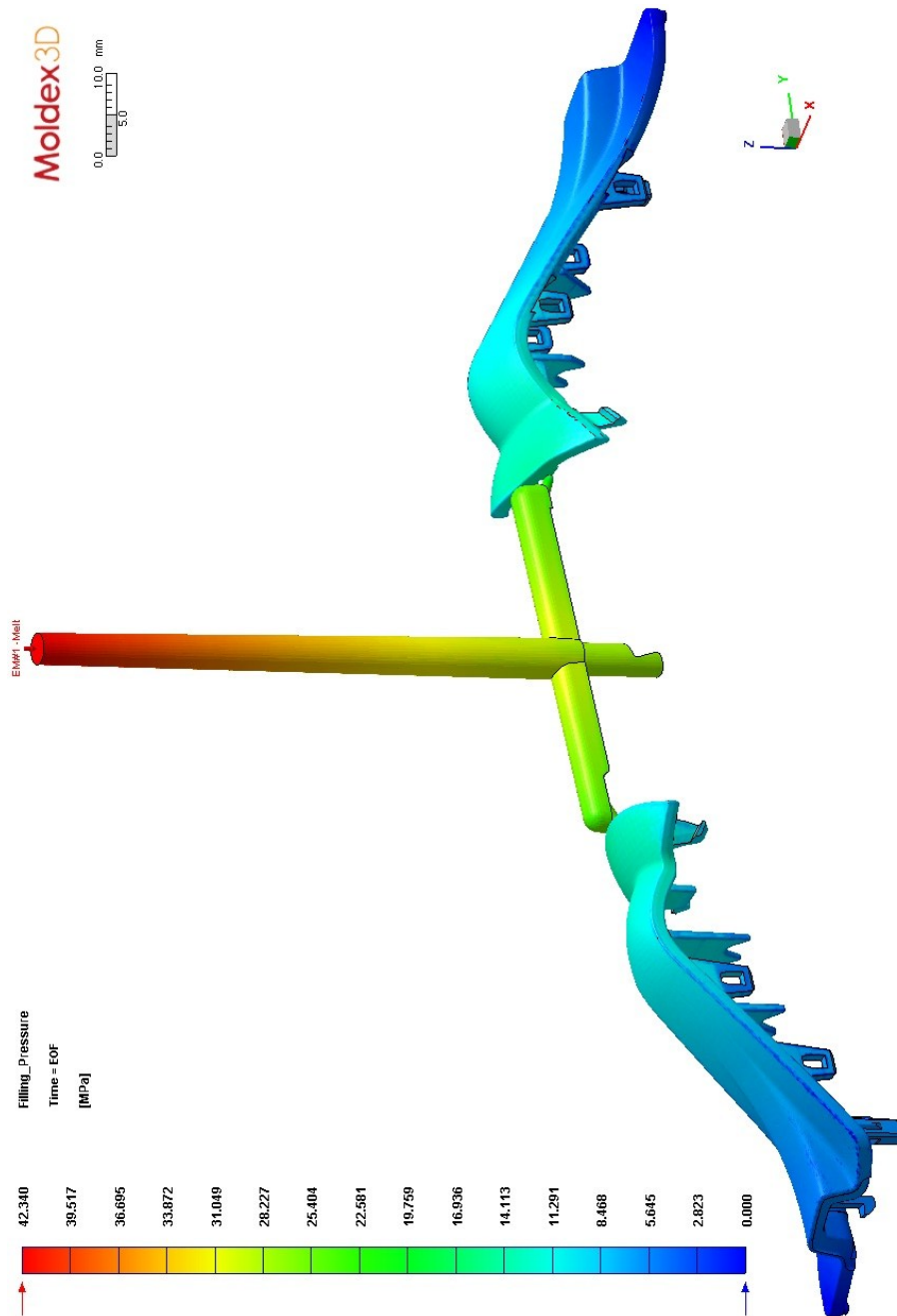
Je čas potřebný pro naplnění dutiny formy při nastavených procesních podmínkách. Výsledný čas naplnění dutiny je 0,886 s. Čas plnění přímo ovlivňuje smykovou rychlost ve vtokovém ústí. Platí, čím kratší je vstřikovací čas, tím lépe musí být forma odvzdušněná.



Obr. 60. Čas plnění

8.3 Tlak při přepnutí na dotlak

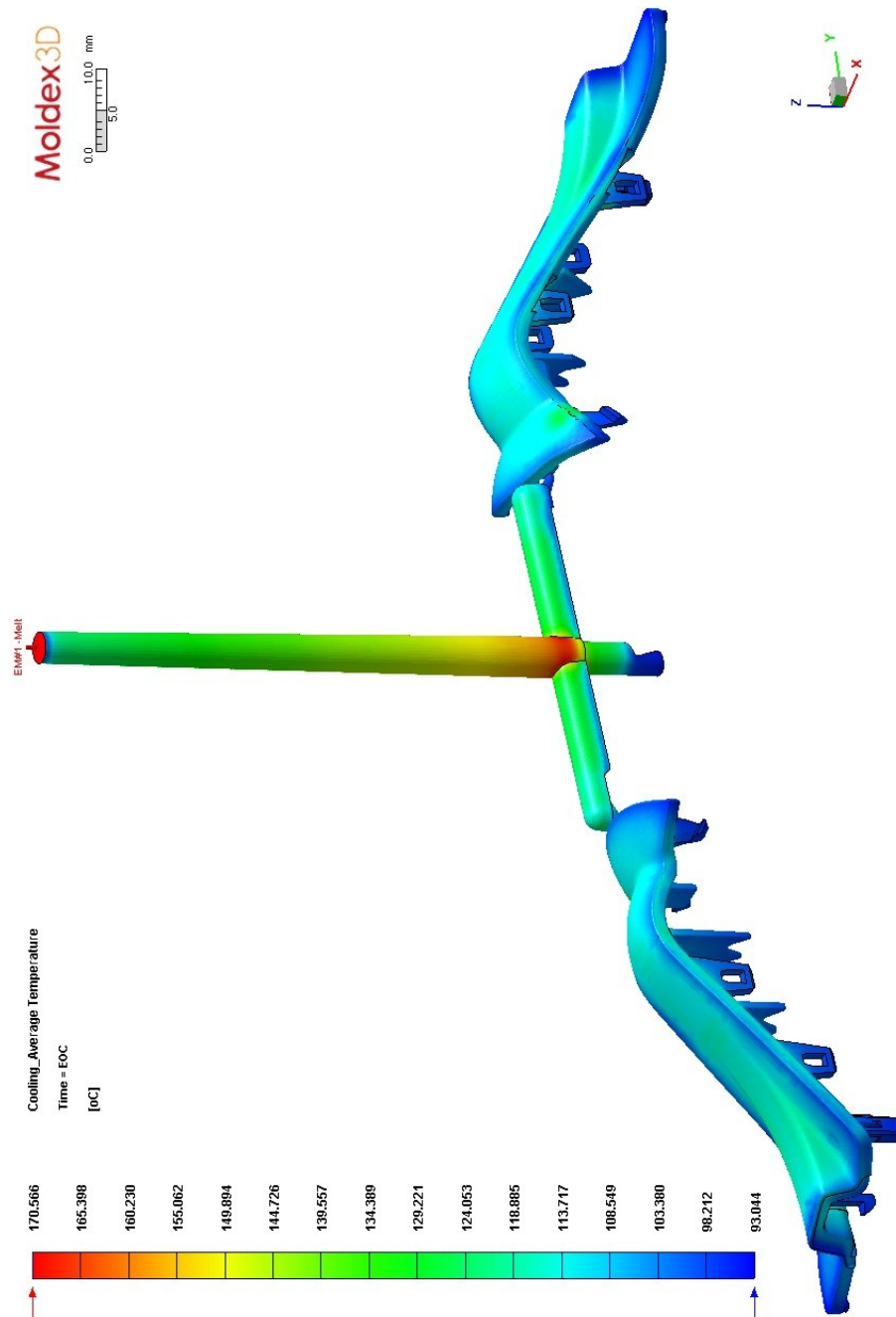
Při naplnění dutiny formy na 98 % dojde při procesu vstřikování k přepnutí na dotlak. Nejvyšší hodnoty tlaku jsou u vstupu taveniny do vtokové vložky a nejmenší na koncích dutiny formy. To je dáno tlakovými ztrátami v dráze taveniny. Dotlak plní kvalitativní úlohu a s jeho pomocí se vyrovnávají propady a deformace a současně ovlivňuje kvalitu povrchu (dezénu). Nezatečená místa se vyskytují hlavně na horním okraji krytu páčky.



Obr. 61. Tlak při přepnutí na dotlak

8.4 Teplota na konci chlazení

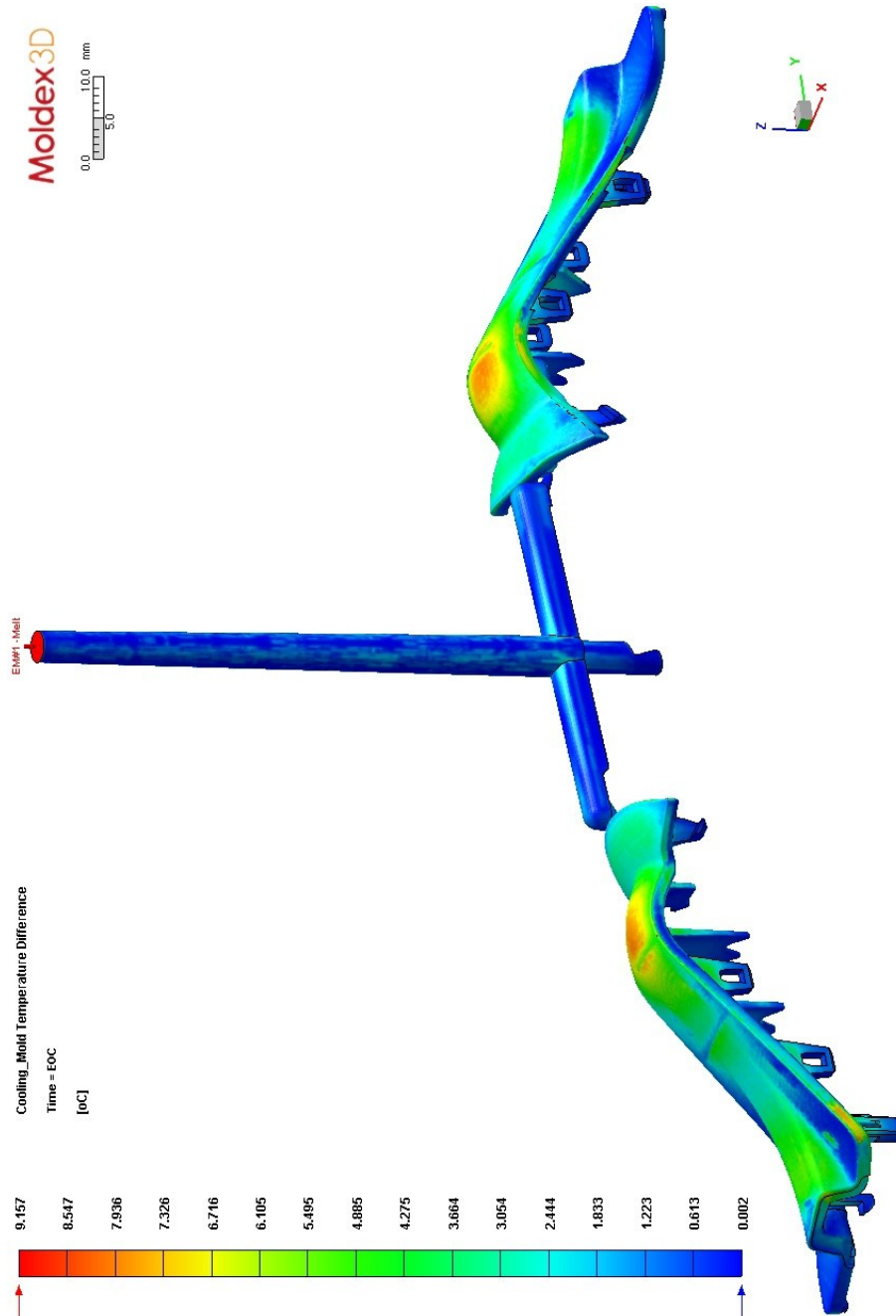
Po skončení fáze chlazení je nejméně ochlazená část ve středu rozvodného kanálu. To je způsobeno jeho největší tloušťkou. Naopak díly mají již teplotu nepřesahující 115 °C, což je teplota menší než teplota vyhození, která je 160 °C. Lze tedy v tuto chvíli díl bezpečně vyhodit z formy bez vzniku nežádoucích plastických deformací.



Obr. 62. Teplota po ochlazení

8.5 Teplotní rozdíl po ochlazení

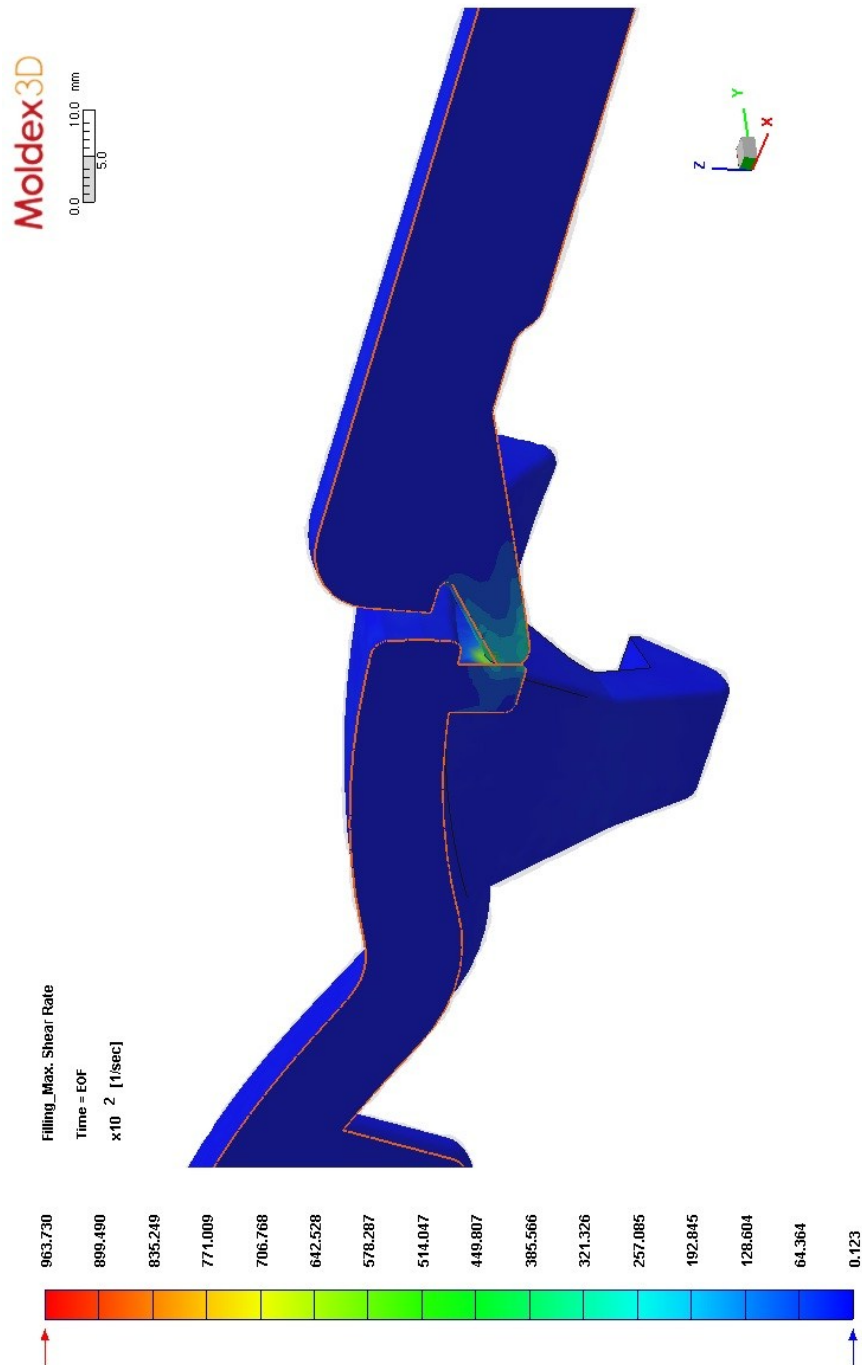
Největší rozdíl teplot je patrný na povrchu dílu, kde rozdíl nabývá hodnoty 9,157 °C. Vzniklý rozdíl nabývá malých hodnot a celkově lze usoudit, že rozložení teplot ve formě je homogenní díky navrženému systému temperace.



Obr. 63. Teplotní rozdíl

8.6 Rychlost smykové deformace

Rychlost smykové deformace určuje rychlost, kterou vrstvy taveniny po sobě pohybují. Tuto hodnotu určuje především průřez kanálu ve sledovaném místě a rychlost vstřikování. Je třeba kontrolovat její maximální hodnotu, protože při jejím překročení dochází k nevratné degradaci materiálu. U materiálu plněných vláknou může dojít k jejich krácení. K nejvyšším smykovým rychlostem dochází zpravidla ve vtokovém ústí (nejmenší průřez).

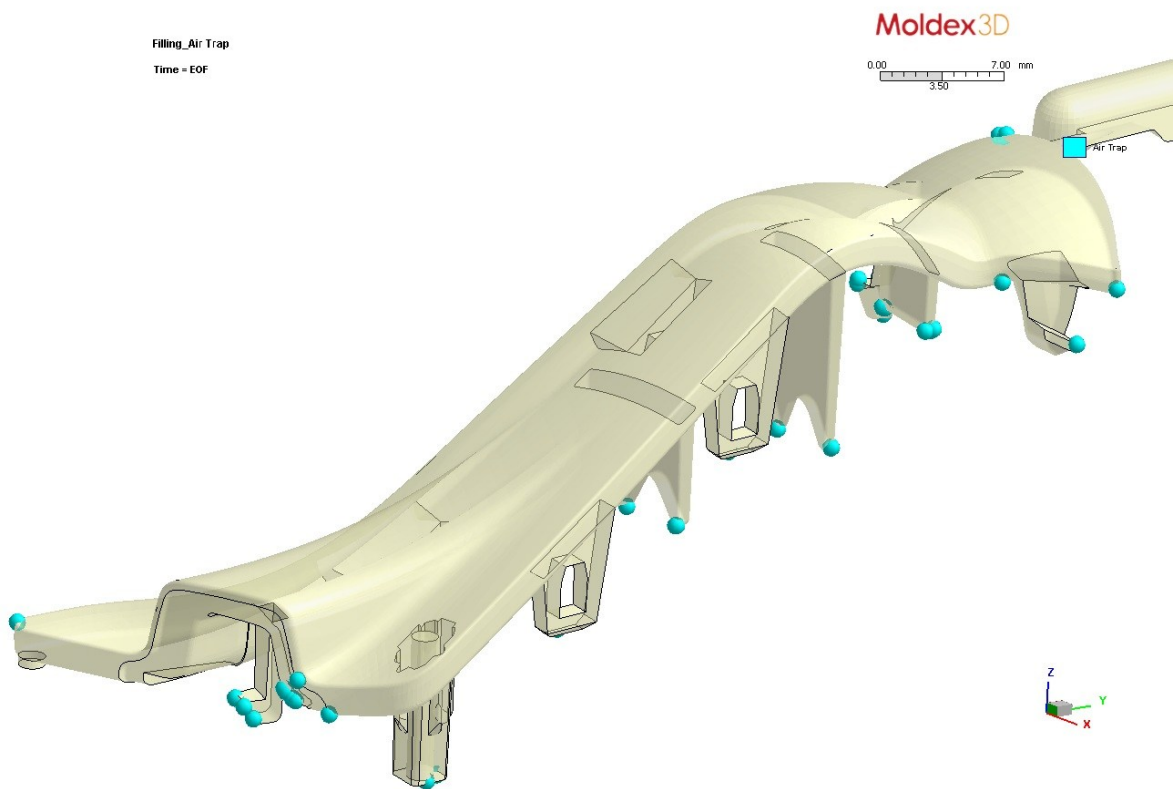


Obr. 64. Rychlost smykové deformace

Doporučená maximální hodnota smykové rychlosti pro materiál PA6-GF30 je 60000 s^{-1} . Na Obr. 64 je možné odečíst, že ve vtokovém ústí dosahuje hodnota smykové rychlosti hodnotu cca. $58\,000 \text{ s}^{-1}$. Z toho vyplývá, že se pohybuje na horní hranici vstřikovací rychlosti. Pokud by při procesu nastaly problémy se vznikem vad (pálení materiálu), bylo by třeba snížit rychlost vstřikování nebo zvětšit průměr vtokového ústí, případně zvýšit teplotu taveniny.

8.7 Vzduchové kapsy

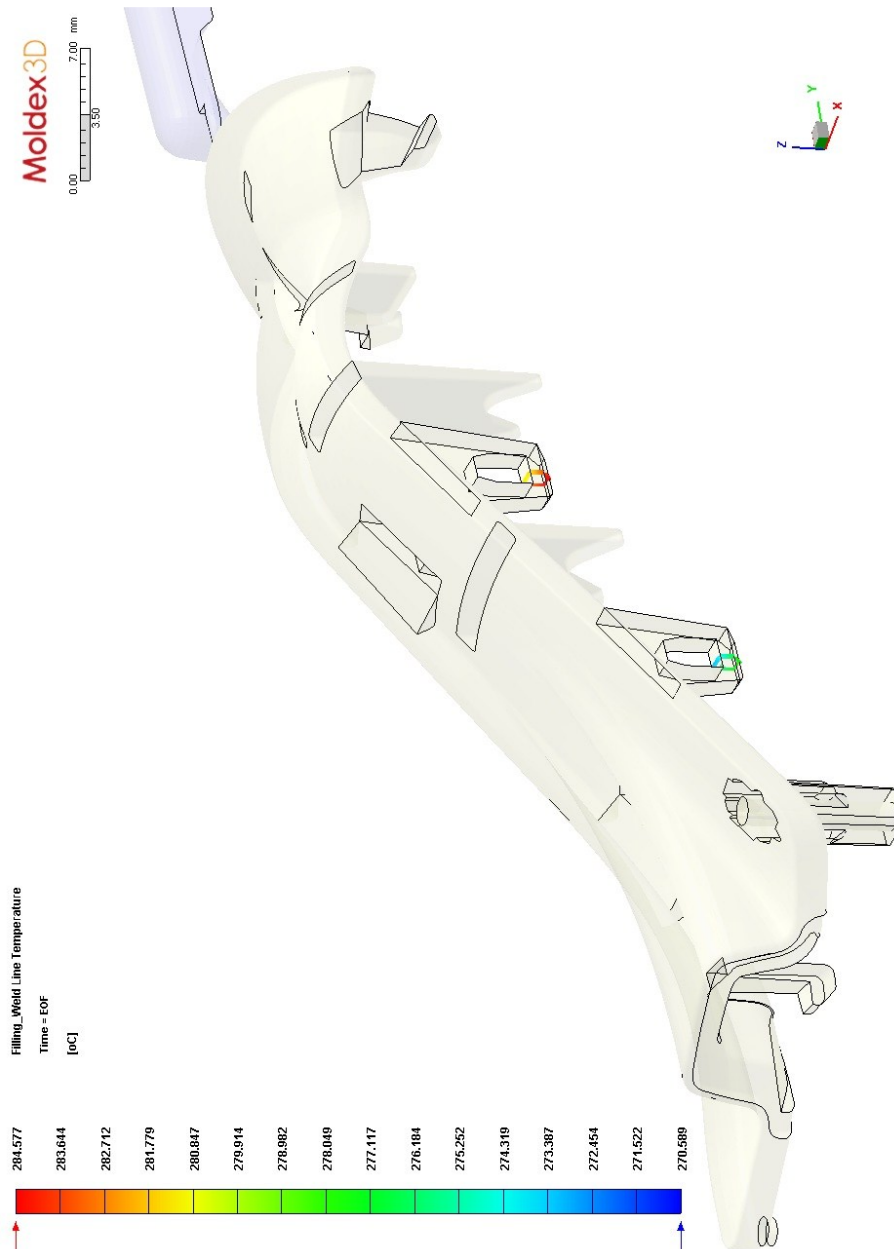
Vzduchové kapsy se tvoří v nejbližších místech o ústí vtoku, kde se hromadí před čelem taveniny vzduch. Tato analýza určuje, ve kterých místech má být odvzdušnění, aby se zabránilo vzniku vad. Vzduchové kapsy vznikají hlavně v rozích spojovacích háčeků, krajích krytu a rozích pro zajištění pohybu kabelů.



Obr. 65. Výskyt vzduchových kapes

8.8 Studené spoje

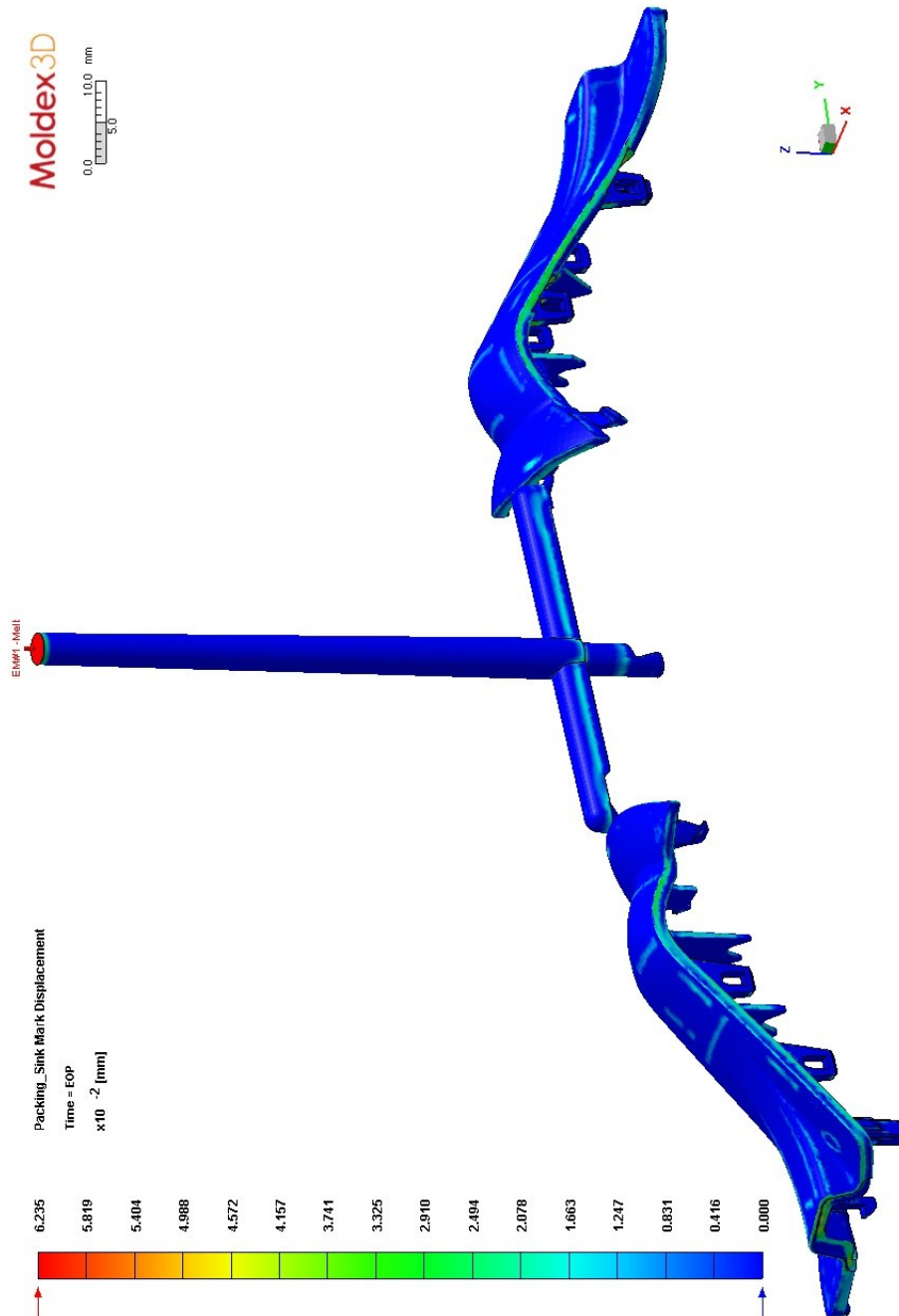
Studené spoje vznikají v místech, kde se spojují čela tavenin. Tato místa jsou náchylná na deformace. Z analýzy vyplývá, že studené spoje vznikají v spodní části spojovacích oken. Okno blíže ke vtokovému ústí má vyšší teplotu spoje o 6 °C než okno dále od ústí. Teplota těchto studených spojů je vyšší, než je teplota tuhnutí použitého plastu, proto lze očekávat bezproblémové spojení.



Obr. 66. Místa studených spojů

8.9 Odhad oblastí vzniku propadlin

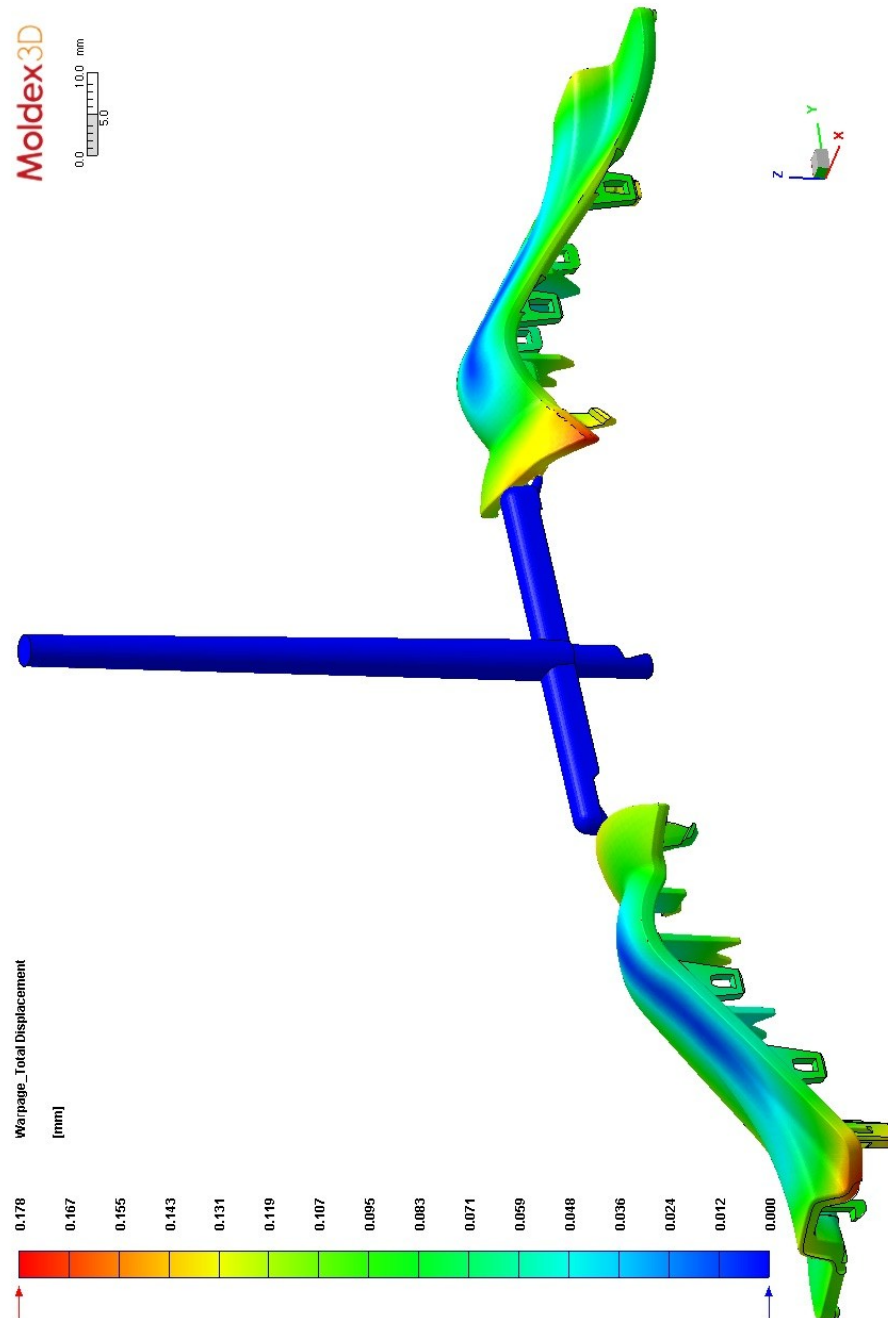
Propadliny vznikají z důvodu nízkého vstřikovacího tlaku dotlaku, nebo v místech se změnou tloušťky stěny apod. Velký problém by nastal, pokud by propadliny vznikaly na pohledové straně dílu (estetická vada). Dle analýzy je patrné, že propadliny dosahují maximální hodnoty 0,0623 mm, což je téměř zanedbatelné. Vzhledem k tomu, že je povrch tvarové vložky vyráběn elektroerozivním obráběním, takový propad nebude okem viditelný.



Obr. 67. Odhad vzniku propadlin

8.10 Celkové deformace

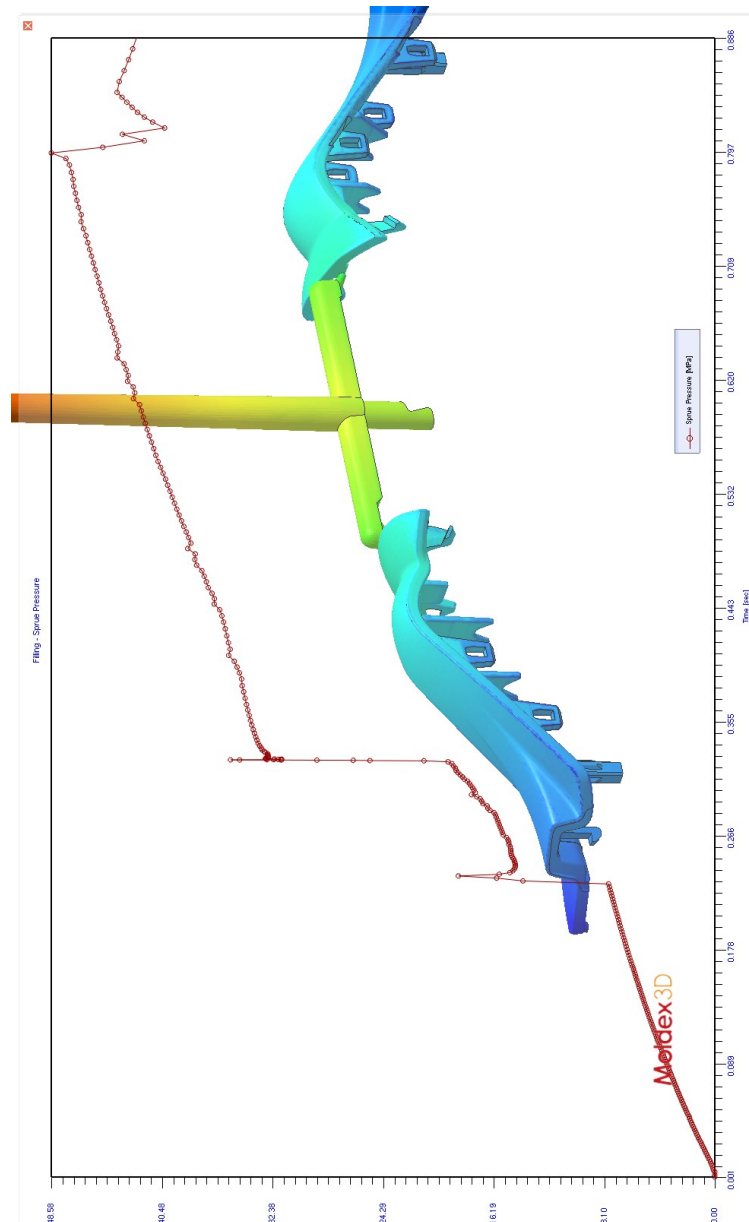
Celková hodnota deformace je rozdíl mezi rozměry dutiny formy a rozměry vyprodukovaného dílu. Je závislá na druhu materiálu, procesních podmínkách, ale také na tvaru dílu. Nejvíce ovlivňují hodnotu deformace velikost smrštění a orientace plniv. Jelikož byla dutina formy předem zvětšena o hodnotu smrštění, skutečná deformace by měla dosahovat hodnot menších. Dle analýzy je maximální hodnota deformace 0,178 mm.



Obr. 68. Celkové deformace

8.11 Průběh tlaku v čase

Na grafu průběhu vstřikovacího tlaku lze odečíst několik tlakových fází. V první téměř lineární části dochází k plnění vtokového kužele. S narůstající dráhou toku úměrně roste odpor taveniny. K první skokové změně tlaku dochází v místě rozdělení toku do jednotlivých dutin, pak následuje opět krátká lineární část, která je zakončena skokovou změnou ve vtokovém ústí. Dojde ke skokovému nárůstu vstřikovacího tlaku způsobeným zaškrce-
ním taveniny ve vtokovém ústí. Dále následuje téměř lineární nárůst tlaku při plnění dutin. Výsledný vstřikovací tlak je tedy složený z odporu taveniny ve vtokové soustavě a dutině formy.



Obr. 69. Průběh tlaku v čase

9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Konstrukce vstřikovací formy na zadní kryt páčky byla vytvořena na základě požadavků zákazníka za co nejmenší pořizovací a cenu a v nejkratším možném čase a k tomu dopomohlo využití normálií Meusburger. Některé normalizované díly byly upraveny. Na základě propočtu návratnosti byl vtokový systém zvolen studený, protože cena za množství materiálu vtokových zbytků by nepřevyšovala pořízení vyhřívaného systému spolu se zvětšením rámu formy a dražší výrobou. Zaformování dílu bylo dvakrát změněno. Poprvé během konstrukce, kdy došlo ke zjednodušení směru odformování na zadní části krytu změnou tvaru. Tato změna vedla k přímému směru posuvu čelistí namísto směru šikmého a to vedlo k úspoře ceny na menší výšce formy. Změna neměla vliv na funkci dílu. Druhá změna proběhla po produkci první verze dílu, poté byl díl zakomponován do sestavy a výsledkem zkoušky byla další tvarová změna z důsledku vůlí mezi částmi. Způsob zaformování dílu je mezi hlavními tvarovými vložkami a třemi posuvnými čelistmi. Čelisti pohybující se ve vertikálním směru jsou tvořeny každá třemi výměnnými vložkami. Místa s možným výskytem vzduchových kapes byla předem vyvločkována. Temperace formy na teplotu 90 °C je za použití vody v temperačních vrtaných kanálech v deskách o průměru 10 mm a ve tvarových vložkách o průměru 8 mm. Vyhození dílů probíhá mechanicky vyhazovacími válcovými a plochými vyhazovači spolu i s vtokovým zbytkem. Celkový počet vyhazovačů je 19. Pro snadnou manipulaci je součástí formy závěsné oko a transportní kostka v pohyblivé části formy, protože těžiště této poloviny leží v prostoru mezi vyhazovacím systémem a tvarovou deskou. Forma je opatřena počítadlem cyklů, přesným středěním a snímačem zasunutí vyhazovacího systému.

Analýzami procesů provedenými v programu Moldex 3D byla potvrzena vhodnost konstrukce formy. Dle zadaných parametrů vyplývá, že zaplnění dutiny v čase 0,886 s je rovnoměrné a na díle nevznikají rozměrové deformace vyšší než 0,178mm. Zvolené temperování je dostatečné pro bezpečné vyhození dílu z formy. Ověření vzniku propadlin ukázalo, že maximální hodnota je 0,0623 mm, která je zanedbatelná. Analýza výskytu vzduchových kapes napomohla k řešení zaformování a určení kritických míst, která byla vyvločkována. Na výměnných tvarových vložkách a vyhazovačích je zkonstruováno odvodu vzduchu a zamezení tvorby vad.

Jelikož je vstřikovací forma již vyrobená (vzhled vyrobené formy je uveden v příloze I a II), je možné zde uvést konkrétní údaje. Konstrukce a programování pro výrobu všech tva-

rových části trvalo i se změnami 11 týdnů a kompletace v nástrojárně 8 týdnů. Konečná pořizovací cena formy je 61 000 €.

Množství materiálu na jeden zdvih PA6-GF30 je 8,34 g, jeden díl má hmotnost (2,9 g vyrobený díl umístěný v sestavě povolantového modulu je uveden v příloze III), vtokový zbytek má tedy hmotnost 2,54 g.

ZÁVĚR

Teoretická část popisuje princip technologie vstřikování, vstřikovacího stroje, konstrukce vstřikovacích forem a jejich hlavních částí.

Praktická část se zabývá konstrukcí vstřikovací formy na zadní kryt tempomatové páčky podvolantového modulu z polyamidu 6 plněného 30 % skelnými vlákny GRILON BG 30 S od dodavatele EMS GRIVORY. Vstřikovací stroj byl zvolen Arburg ALLROUNDER 370 E na základě vstřikovaného množství a velikosti uzavírací síly. Na základě zvoleného stroje pak byly přizpůsobeny rozměry formy, aby byla forma na tomto stroji produkovat. Konstrukce formy byla opřena o tokové analýzy, které napomohly ověřit a zdokonalit zvolená řešení.

Výsledkem této práce není jenom konstrukce formy, ale i její výroba a produkce dílů, které najdou uplatnění v každodenním provozu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [3] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 21013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5
- [4] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- [5] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 2. 1. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [6] KAZMER, David. *Injection mold design engineering*. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016], xxiv, 529 s. ISBN 978-1-56990-8.
- [7] 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.
- [8] UNGER, P. *Hot runner technology*. Cincinnati, OH: Hanser Gardner Publications, c2006, x, 241 s. ISBN 978-1-56990-395-7
- [9] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser, c2002, xxiii, 688 s. ISBN 1-56990-322-0
- [10] DUCHÁČEK, Vratislav. Chemické listy: *Termoplastické elastomery-moderní polymerní materiály*. [online] 1997 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf
- [11] LENFELD, Petr. *Technologie II - Vstřikování plastů*. Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. [online] [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [12] LENFELD, Petr. *Technologie II - Vstřikování plastů*. Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. [online] [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm

- [13] DVOŘÁK, Zdeněk. *Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2016, 190 s.
- [14] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje*. Díl 2. Brno: VUT, 1990, 199 s. ISBN 80-214-0213-X
- [15] Arburg [online] [cit. 2019-03-10] Dostupné z: <https://www.arburg.com/products-and-services/injection-moulding/injection-moulding-machines/hydraulic-machines/#!prettyPhoto>
- [16] HASCO. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/>
- [17] STANĚK, Michal, TYKF – Konstrukce forem, zadání semestrální práce
- [18] Arburg [online] [cit. 2019-03-10]
Dostupné z: <https://www.arburg.com/press/press-releases/bulletin/nI/902/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_f	Teplota tečení [°C]
T_m	Teplota tání [°C]
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
PA 6	Polyamid 6
PA 66	Polyamid 66
PET	Polyethylentereftalát
PPS	Polyfenylensulfid
PEEK	Polyetheretherketon
PMMA	Polymetylmetakrylát
TPE	Termoplastický elastomer
MPa	Megapascal
kN	Kilonewton
mm	Milimetr
bar	Bar
Nm	Newtonmetr
kg	Kilogram
s	Sekunda
°C	Stupeň Celsia
cm ³	Krychlový centimetr
kg/m ³	Kilogram na metr krychlový
cm ³ /s	Krychlový centimetr za sekundu
%	Procento
Cu	Měď

Al Hliník

g Gram

€ euro

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus. [11]</i>	12
<i>Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje [11]</i>	16
<i>Obr. 3. Vstřikovací jednotka [11]</i>	17
<i>Obr. 4. Hydraulická uzavírací jednotka [15]</i>	18
<i>Obr. 5. Rám vstřikovací formy [17]</i>	20
<i>Obr. 6. Studená vtoková soustava</i>	25
<i>Obr. 7. Volby vtokových soustav [2]</i>	26
<i>Obr. 8. Větvení vtokové soustavy [2]</i>	26
<i>Obr. 9. Průřezy vtokových kanálů [2]</i>	27
<i>Obr. 10. Vyhřívání systém</i>	28
<i>Obr. 11. Vyhřívání tryska</i>	29
<i>Obr. 12. Rozváděcí bloky [16]</i>	30
<i>Obr. 13. Vyhazovací systém s vyhazovacími kolíky</i>	31
<i>Obr. 14. Temperace ploché tvarové vložky</i>	34
<i>Obr. 15. Temperace desky</i>	35
<i>Obr. 16. Temperace posuvného jádra</i>	35
<i>Obr. 17. Odvzdušnění v dělicí rovině</i>	37
<i>Obr. 18. Obrysové odvzdušnění</i>	37
<i>Obr. 19. Odvzdušnění rozvodného kanálu</i>	38
<i>Obr. 20. Vada – spálená místa</i>	39
<i>Obr. 21. Vada – propadliny</i>	39
<i>Obr. 22. Vada – přetoky</i>	40
<i>Obr. 23. Vada – chybějící vyhazovače</i>	40
<i>Obr. 24. Vstřikovaný díl – zadní kryt</i>	44
<i>Obr. 25. Značení dílu</i>	45
<i>Obr. 26. Zjednodušující tvarová změna</i>	45
<i>Obr. 27. Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 370 E [18]</i>	47
<i>Obr. 28. Vstřikovací forma</i>	48
<i>Obr. 29. Hlavní dělicí rovina dílu</i>	49
<i>Obr. 30. Tvarové části</i>	50
<i>Obr. 31. Tvárnice</i>	50
<i>Obr. 32. Tvárník</i>	51

<i>Obr. 33. Výměnné tvarové čelistové vložky</i>	51
<i>Obr. 34. Směry odformování posuvných čelistí</i>	52
<i>Obr. 35. Boční pohled</i>	52
<i>Obr. 36. Řez zaformování čelistí</i>	53
<i>Obr. 37. Boční pohled zaformování čelistí</i>	53
<i>Obr. 38. Výměnné tvarové vložky</i>	54
<i>Obr. 39. Umístění výměnných vložek v tvárníku</i>	54
<i>Obr. 40. Tvarová změna háčku</i>	55
<i>Obr. 41. Umístění nové tvarové vložky háčku</i>	55
<i>Obr. 42. Válcový vymezovací výstupek</i>	56
<i>Obr. 43. Umístění vtoku</i>	57
<i>Obr. 44. Vtoková soustava</i>	57
<i>Obr. 45. Vtokový zbytek</i>	58
<i>Obr. 46. Rozmístění vyhazovačů</i>	58
<i>Obr. 47. Boční pohled rozmístění vyhazovačů</i>	59
<i>Obr. 48. Vyhazovací systém – čelní pohled</i>	60
<i>Obr. 49. Vyhazovací systém – zadní pohled</i>	61
<i>Obr. 50. Odvzdušnění na výměnných vložkách</i>	62
<i>Obr. 51. Odvzdušňovací drážky na vyhazovačích</i>	63
<i>Obr. 52. Temperace tvárnice</i>	64
<i>Obr. 53. Temperace tvárníku</i>	64
<i>Obr. 54. Celkový temperační systém formy</i>	65
<i>Obr. 55. Podpůrné funkční díly 1</i>	66
<i>Obr. 56. Podpůrné funkční díly 2</i>	67
<i>Obr. 57. Pevná polovina formy</i>	67
<i>Obr. 58. Pohyblivá strana formy</i>	68
<i>Obr. 59. Umístění vtoku</i>	69
<i>Obr. 60. Čas plnění</i>	70
<i>Obr. 61. Tlak při přepnutí na dotlak</i>	71
<i>Obr. 62. Teplota po ochlazení</i>	72
<i>Obr. 63. Teplotní rozdíl</i>	73
<i>Obr. 64. Rychlost smykové deformace</i>	74
<i>Obr. 65. Výskyt vzduchových kapes</i>	75

<i>Obr. 66. Místa studených spojů</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 67. Odhad vzniku propadlin</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 68. Celkové deformace</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 69. Průběh tlaku v čase</i>	<i>79</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vlastnosti materiálu PA6-GF30</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 2. Technické parametry uzavírací jednotky</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 3. Technické parametry vstřikovací jednotky</i>	<i>47</i>

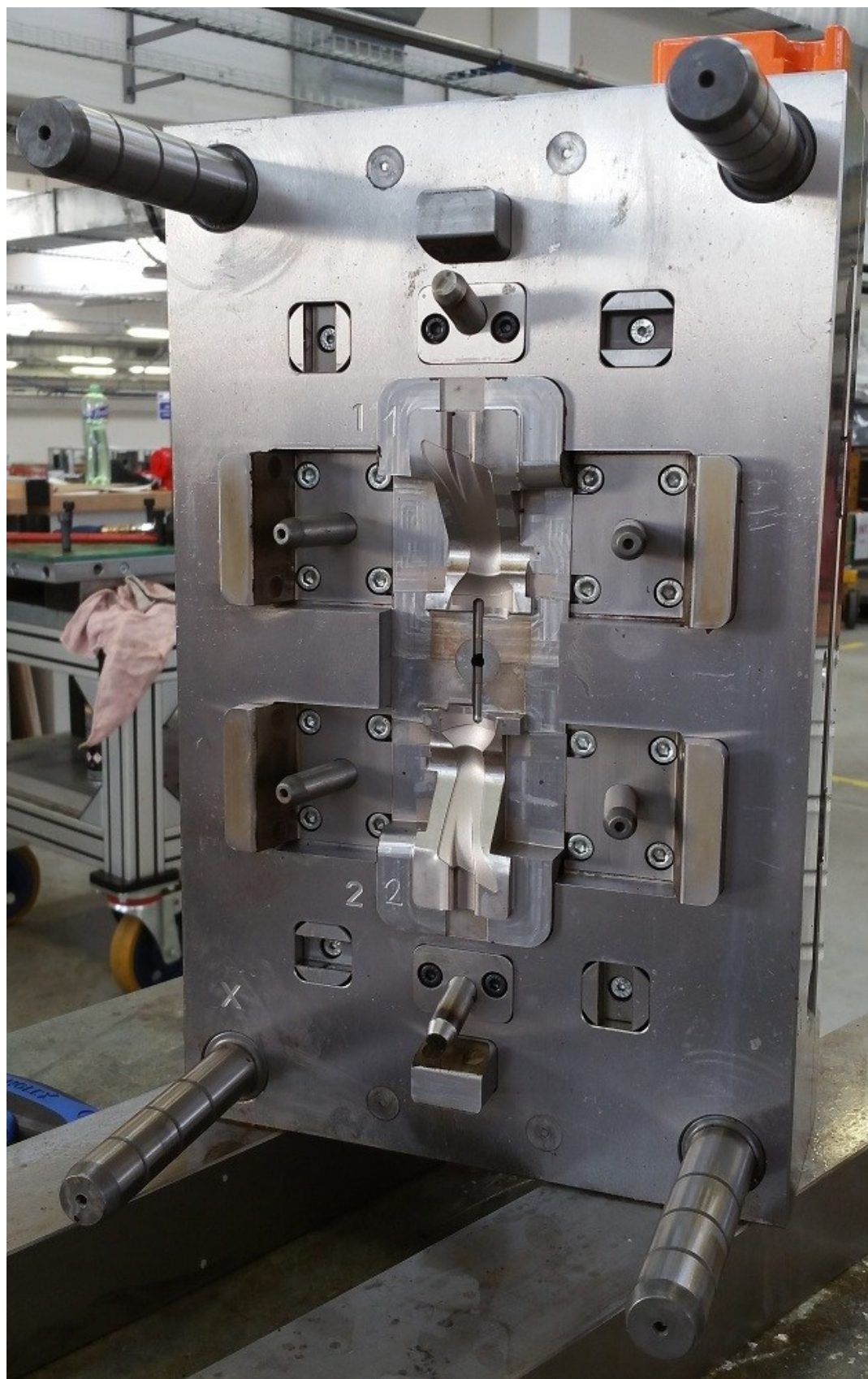
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Pohled do dělicí roviny pevné poloviny formy

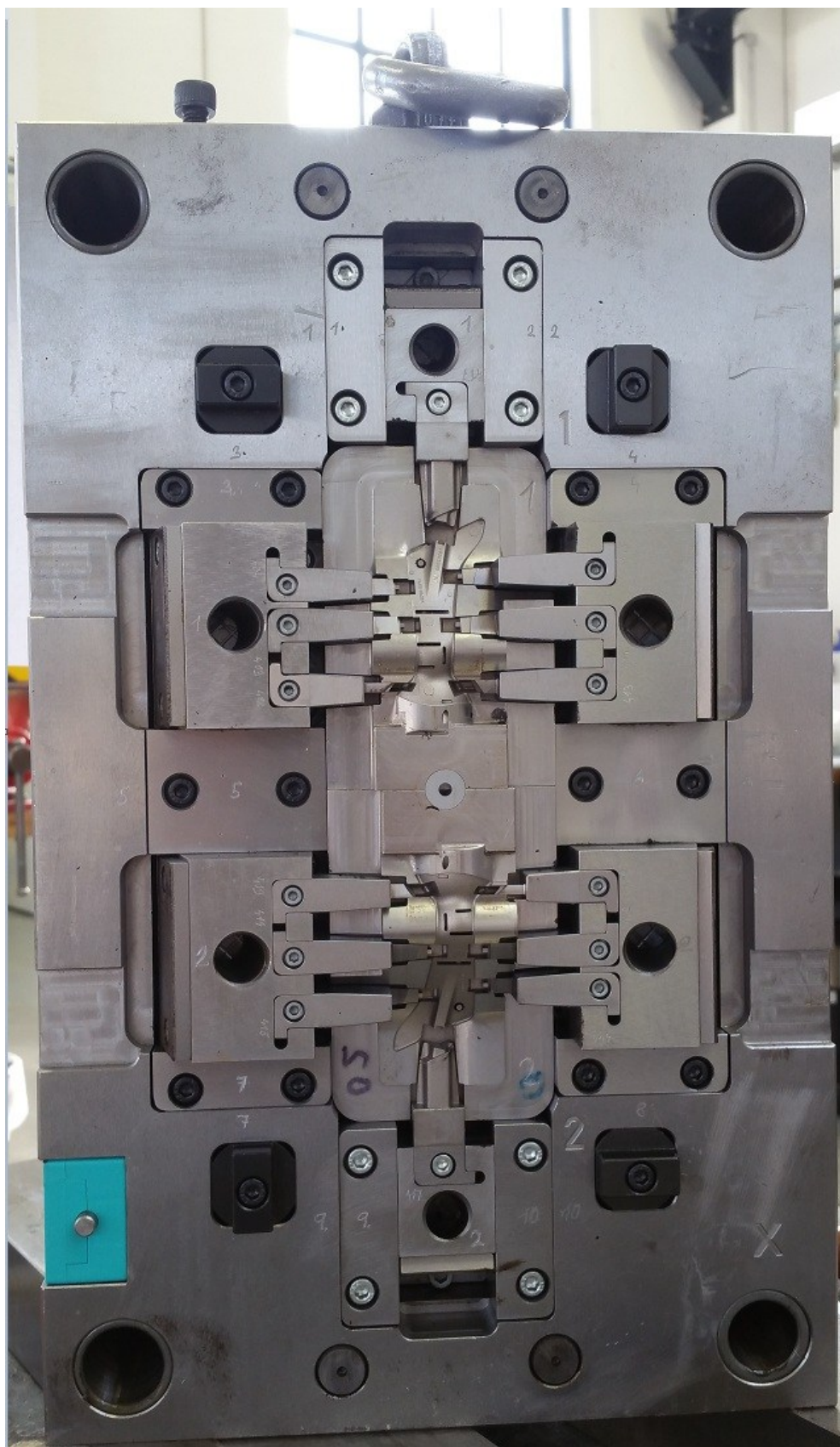
Příloha P II: Pohled do dělicí roviny pohyblivé poloviny formy

Příloha P III: Podvolantový modul

**PŘÍLOHA P I: POHLED DO DĚLICÍ ROVINY PEVNÉ POLOVINY
FORMY**



**PŘÍLOHA P II: POHLED DO DĚLICÍ ROVINY POHYBLIVÉ
POLOVINY FORMY**



PŘÍLOHA P II: PODVOLANTOVÝ MODUL

