



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA SOUČÁSTI "KRYT"

PRODUCTION OF THE "COVER" COMPONENT

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Král

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2023

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Lukáš Král</b>
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Ladislav Žák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23

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

## Výroba součásti "Kryt"

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce bude zpracovat literární studii problematiky vstříkování termoplastů a konstrukce forem. Výstupem práce bude konstrukční řešení formy pro zadanou součást a ověření její funkčnosti simulací.

### Cíle diplomové práce:

- zhodnocení současného stavu výroby,
- literární studie dané problematiky,
- návrh výroby a potřebné výpočty,
- konstrukční řešení s podporou simulace,
- ekonomické vyhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989.

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstříkování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.

MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 3. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001. ISBN 978-3-446-21256-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce předkládá návrh technologie výroby součásti sloužící jako kryt ventilátoru vodního čerpadla. Na základě literární studie je pro díl zvolen jako materiál polypropylen a technologie výroby vstřikování plastů. Z technologických výpočtů byla navržena kompletní dvojnásobná forma se studeným vtokovým systémem. Konstrukční řešení bylo ověřeno simulacemi plnění a chlazení a pro formu byl na základě vypočtených parametrů vybrán vhodný vstřikovací stroj. Na výsledném produktu byla analýzou určena možná riziková místa z pohledu vad a pro celou výrobní sérii provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

### **Klíčová slova**

kryt, polypropylen, vstřikování plastů, vstřikovací forma, návrh vstřikovací formy

## **ABSTRACT**

The thesis proposes the production design of a cover component used as a ventilator cover of a water pump. In compliance with the studied literature, the cover will be made from polypropylene using the injection moulding technology. Based on the technological calculations, it puts forward a complete double mould with a cold inlet. The design solution was verified by simulations of filling and cooling, and a suitable injection machine was selected as per the calculated parameters. Finally the thesis explores the possibility for defects and presents the technical-economic evaluation for the entire production.

### **Key words**

cover, polypropylene, injection moulding, injection mold, injection mold design

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRÁL, Lukáš. *Výroba součástí "Kryt"*. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/145720>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba součásti "Kryt" vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

-----  
Brno, 26.5.2023

-----  
Lukáš Král

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Rovněž bych rád poděkoval své rodině za podporu během celého studia.

---

**OBSAH**

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Metody výroby zadané součásti .....	11
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....	14
2.1 Plasty vhodné ke vstřikování.....	14
2.1.1 Přísady .....	15
2.1.2 Přípravné zpracování plastů.....	16
2.2 Vstřikovací stroje .....	18
2.3 Vstřikovací cyklus .....	20
2.4 Vstřikovací forma.....	21
2.4.1 Dělicí rovina .....	22
2.4.2 Násobnost formy.....	23
2.4.3 Vyhazovací systém .....	24
2.4.4 Vtoková soustava.....	26
2.4.5 Temperační systém .....	29
2.4.6 Odvzdušnění forem.....	30
2.5 Vady výstřiků .....	31
2.6 Technologičnost vstřikovaných dílů.....	34
3 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	36
3.1 Volba materiálu vstřikované součásti.....	36
3.2 Technologičnost tvaru součásti .....	37
3.3 Výpočty technologických parametrů formy .....	39
3.4 Konstrukční návrh složení formy .....	43
3.5 Vtokový systém.....	44
3.6 Dutina formy a tvarové vložky.....	47
3.7 Vyhazovací systém.....	48
3.8 Temperační systém.....	50
3.9 Manipulační prvky a vedení formy .....	52
3.10 Volba vstřikovacího stroje.....	53
3.11 Dodatečné analýzy a simulace.....	56
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	59
ZÁVĚR.....	62

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů



## ÚVOD

Pokud lze o některém materiálu říci, že v posledních letech doslova zaplavil svět, byly by to plasty. Rozmach využití a zpracování polymerů je od 20. století tak značný, že lze dnešní dobu bez nadsázky označovat za dobu plastovou. [1]

Téměř již totiž neexistuje obor, ve kterém by dnes polymery nenalezly své využití. Velké oblibě se plastové výrobky těší zejména díky obrovské variabilitě svých vlastností, které lze upravovat pomocí aditiv a tím tak docílit požadovaných charakteristik pro konkrétní využití. Právě díky tomu, a také kvůli nízké hmotnosti a ceně, nahrazují plasty v mnoha případech dříve používané materiály jako kov nebo dřevo. [1; 2]

Ke zpracování polymerů se používá řada technologií. Plasty lze například lisovat, odlévat, vytlačovat, válcovat, vyfukovat, či vstříkovat. Přitom právě vstříkování plastů je jedním z dnes nejrozšířenějších způsobů výroby plastových dílců. Pomocí této metody lze totiž proces výroby efektivně automatizovat a vyrábět tak produkty ve velkých sériích v krátkém čase. [1; 2; 3; 4]

Právě díky výhodám této metody zpracování plastů se tak lze s výrobky vyrobenými vstříkováním setkat téměř ve všech oblastech lidské činnosti (viz obrázek 1). Ať už se jedná o jejich využití v potravinářském průmyslu, pro předměty spotřebního charakteru, ve stavebnictví, strojírenství, ale i v medicíně nebo sportu. [1; 5]

Se stále rostoucími požadavky na produkty a vlastní proces výroby prochází technologie vstříkování plastů neustálými inovacemi. Ty se týkají zejména zkracování výrobní doby, automatizace a používání pokročilejších materiálů a plniv. Do budoucna lze pak očekávat hlavně snahu o větší ekologičnost celého odvětví a možný nástup pokročilejších materiálů na bázi biopolymerů, nanomateriálů a kompozitních materiálů. [6]



Obr. 1 Příklady výrobků z plastů [7; 8; 9; 10; 11].

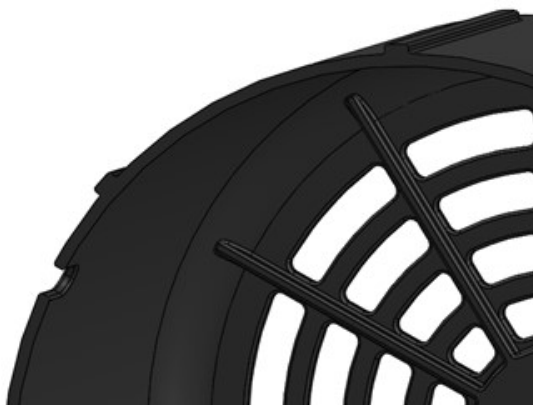
## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je plastový kryt ventilátoru odstředivého vodního čerpadla. Hlavní funkcí tohoto dílu je ochrana jak uživatele čerpadla, tak i vlastního zařízení, před vniknutím cizích těles mezi lopatky ventilátoru. Vzhledem k požadavkům na díl bývá jako materiál krytu volen plast, a to zejména pro svou nízkou hmotnost a kombinaci rychlé a levné výroby s dostatečnou odolností proti mechanickému a chemickému poškození. Dalším důvodem, který dovozuje využití polymerů na tuto součást je fakt, že na díl nebudou kladeny žádné nároky, co se týče provozního zatížení.

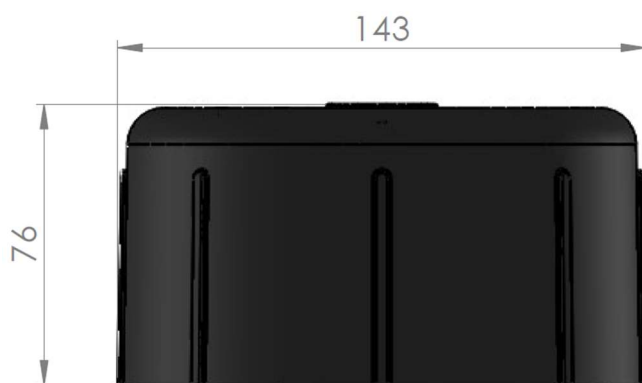


Obr. 2 Vyráběný kryt a jeho umístění na čerpadle [12].

Jak je vidět na obrázku 2, dílec je kruhového tvaru a je opatřen průduchy na čele sloužícími k přívodu vzduchu do ventilátoru chladícího motoru zařízení. Tato mřížka je pro větší pevnost z vnitřní strany součásti vyztužena žebry, jak je vidět na obrázku 3. K vlastnímu tělu čerpadla bude kryt po svém obvodu připevněn dvěma šrouby M5 s podložkami a jedním šroubem M8 procházejícím středovým otvorem v čele krytu. Z hlediska přesnosti součásti je nutné docílit mezi čerpadlem a krytem takové vůle, aby byl díl co nejmenšího průměru a současně nedošlo ke kolizi lopatek ventilátoru s tělem krytu. S přihlédnutím k této skutečnosti jsou hlavní rozměry součásti navrženy dle obrázku 4. Technologické parametry včetně zvoleného materiálu jsou k nalezení v kapitole 3. Cílem je navržení vhodné technologie pro výrobu dílce v sérii 300 000 kusů.



Obr. 3 Pohled na vnitřní žebra.



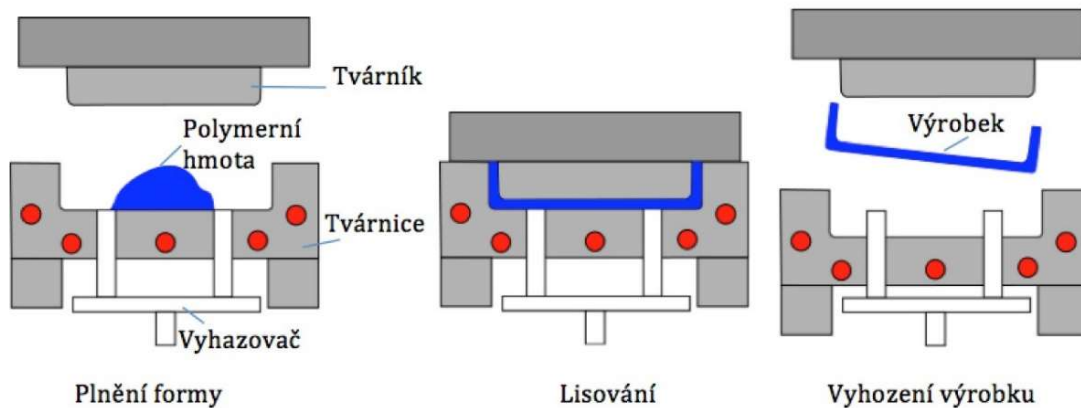
Obr. 4 Hlavní rozměry součásti.

## 1.1 Metody výroby zadané součásti

Zadanou součást je možno vyrobit několika technologiemi zpracování plastů. Výběr vhodné metody je závislý zejména na technologických vlastnostech zvoleného materiálu, tvaru a velikosti výrobku, na požadovaných tolerancích výsledného produktu a v neposlední řadě na ekonomice procesu. [3; 13]

Vzhledem k rozměrům, sérii a funkci součásti se nabízí použití tvářecích technologií zpracování plastů. Jedná se o technologie, při kterých dochází ke značnému přemísťování jednotlivých částic materiálu. Tvar vstupního polymerního materiálu se pak za působení teploty a tlaku mění na tvar konečného výrobku či polotovaru. Mezi tyto technologie se řadí následující: [3; 13]

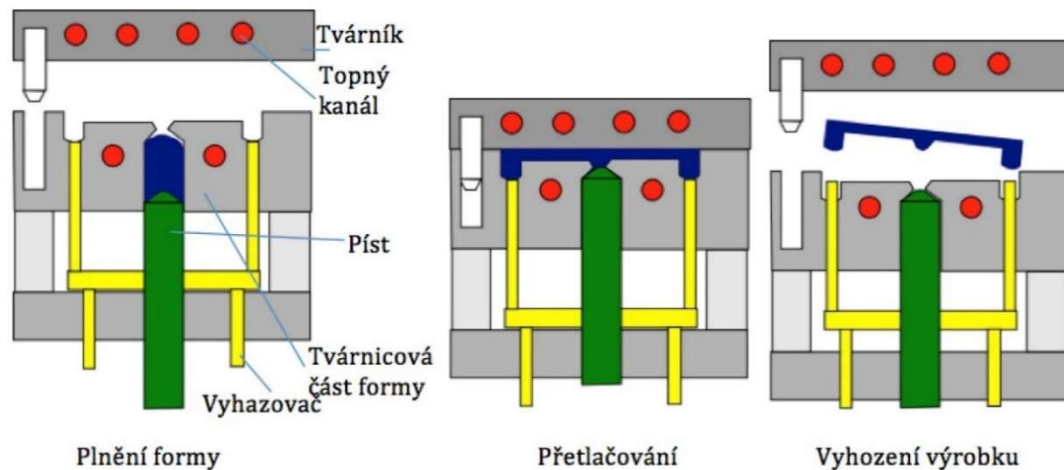
- Lisování plastů je historicky jednou z vůbec prvních technologií na zpracování plastů. Při tomto procesu je vstupní materiál často ve formě prášku či granulátu o přesně stanoveném objemu. Ten je umístěn do vytápěné formy, kde dochází k jeho plastikaci a následným dosednutím tvárníku dojde působením tlaku k zaplnění tvarové dutiny a dokončení procesu plastikace. Právě za působení tlaku se materiál v této dutině zformuje do požadovaného tvaru. Následným odlehčením dojde k odplynění taveniny a po vytvrzení se forma otevře a výlisek je z ní vyhozen. Celý postup je znázorněn na obrázku 5. Po očištění a nátěru formy separačním prostředkem se může celý proces lisování opakovat. [3; 14]



Obr. 5 Průběh technologie lisování plastů [14].

Teploty, za kterých lisování probíhá jsou závislé na materiálu výrobku, jeho geometrii, tloušťce stěny a teplotě předehřevu. Obecně se pohybují v rozsahu od 130 do 190 °C. Dle velikosti použitého tlaku se technologie dělí na lisování nízkotlaké a vysokotlaké. Nízkotlaké lisování je lisování do hodnoty tlaku 3,5 MPa. Za vysokotlaké se pak považuje lisování přesahující tuto hodnotu. Doba vytvrzování se určuje nejčastěji podle tloušťky stěny výrobku. [3]

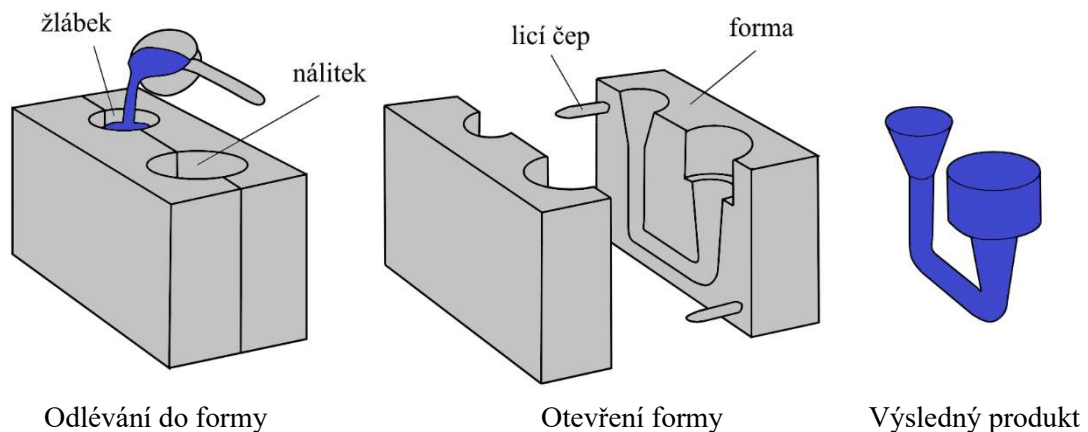
- Přetlačování plastů je technologie zpracování polymerních materiálů, která je velice podobná již zmíněnému lisování. Hlavním rozdílem je zde ale přítomnost pomocné dutiny, do které se vkládá vstupní materiál. Zde dochází ke zplastikování hmoty a tato tavenina je následně pístem přes vtokové kanály přetlačena z pomocné dutiny do vlastní dutiny formy, jak je znázorněno na obrázku 6. Přetlačování se využívá zejména pro výlisky složitých tvarů. Oproti lisování operuje tato metoda s vyššími tlaky, obvykle kolem 50 až 100 MPa. Předehřevem plastu je však možno tyto hodnoty snížit. [3; 14]



Obr. 6 Průběh technologie přetlačování plastů [14].

Mezi výhody přetlačování plastů se řadí rychlost výroby a lepší mechanické vlastnosti výsledného dílu. Doba vytvrzování je sice kratší než při procesu lisování, avšak cyklus vyžaduje větší počet operací. Dalším pozitivem je, že takto vyráběný dílec nemá po obvodu přetoky. K nevýhodám metody potom patří vyšší pořizovací cena nástroje a také vznik odpadního materiálu při procesu výroby. Ač totiž výsledný produkt nemá přetoky, velké množství hmoty zůstává ve vtokovém systému a pomocné dutině. Z tohoto důvodu se musí i při protlačování uvažovat s vyšším objemem dávky, než je objem konečného produktu. [3; 14]

- Odlévání plastů je technologie výroby, při které se polymer převede do kapalného stavu a následně je za běžného atmosférického tlaku odléván do dutiny formy (viz obr. 7). Zde tavenina ztuhne do tvaru požadovaného dílu. Jedná se o proces přetržitého odlévání a výsledným produktem mohou být jak plné, tak i duté výrobky. [3]



Obr. 7 Technologie gravitačního odlévání [15].

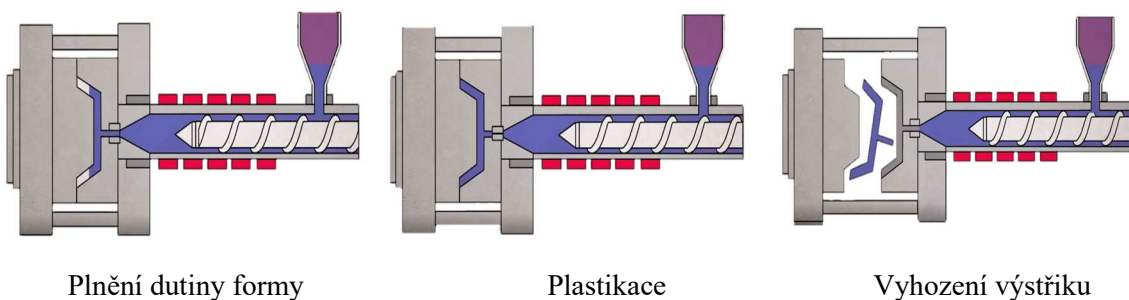
Pomocí odlévání lze docílit dílů bez vnitřního pnutí. Mezi další výhody se pak řadí minimální vznik odpadu při výrobě a dále konstrukční jednoduchost a nízké náklady na formy a stroje. Nevýhodou je pak nízká rozměrová přesnost metody, dlouhé pracovní cykly a omezený počet použitelných plastů. Materiál použitý k procesu totiž musí mít nízkou viskozitu, aby dokázal správně zaplnit dutinu formy včetně veškerých detailů dílce, a rovněž co nejkratší dobu přechodu do tuhého stavu. Dále musí být splněny ostatní obecná kritéria na výrobek, jako mechanické a fyzikální vlastnosti, nepřítomnost vtaženin a vnitřních bublin v materiálu, či nároky na kvalitu povrchu výsledného dílce. Tato metoda výroby je vzhledem ke svému charakteru vhodná zejména na zhotovování součástí o menších sériích. [3; 5]

- 3D tisk plastů je aditivní technologií využívající buď metody SLS, SLA nebo FDM k výrobě zamýšlené součásti. Ve všech ze zmíněných metod je výsledný díl tvořen vrstvou po vrstvě. SLS metoda spočívá v nanesení vstupního materiálu v podobě prášku na podložku. Na té je materiál v požadovaných místech spečen paprskem laseru a tím vznikne výsledná tuhá stěna součásti. Metoda FDM využívá materiál v podobě termoplastického filamentu. Ten je pomocí 3D tiskárny (viz obr. 8) nataven a ve vrstvách opět nanášen na podložku, kde vlivem ochlazení tuhne do požadovaného tvaru. Jedná se o nejpoužívanější metodu 3D tisku. Metoda SLA pak operuje s fotoreaktivním polymerem na bázi pryskyřice. Ten je vystaven UV záření, které zapříčiní jeho ztuhnutí. Ze zmíněných metod se jedná o tu nejpřesnější. 3D tisk je z uvedených možných technologií výroby dílce relativně mladou metodou. Jeho použití se stále hodí spíše pro malosériovou výrobu a prototypy. [16; 17; 18]



Obr. 8 FDM 3D tiskárny [19].

- Vstřikování plastů je technologie, při které dochází ke vstříknutí přesně určené dávky roztavené hmoty z tavicí komory do uzavřené dutiny formy, která má tvar již finálního výrobku. V této formě hmota po ochlazení ztuhne. Následně je forma otevřena a díl je z ní vyhozen ven. Tavicí komora je po dobu celého cyklu doplňována taveninou, takže lze po opětovném uzavření formy celý proces opakovat. Vstřikování plastů je tedy přetržitý a cyklický proces výroby plastových dílců s velmi dobrou tvarovou i rozměrovou přesností. Pomocí této metody lze vyrábět i členité součásti složitých tvarů s velkým rozptylem hmotností. Jedná se o téměř bezodpadovou technologii se širokou škálou použitelných materiálů. Samotné vstřikování probíhá ve velké rychlosti a se správným nastavením zbytku soustavy se běžně docílí plně automatického procesu, což udává vysokou produktivitu. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně stroje i formy a nutnosti vyladění výrobního procesu se obecně tato technologie zpracování plastů vyplatí pro velkosériovou výrobu plastových dílců. [5; 13]



Obr. 9 Technologie vstřikování plastů [14].

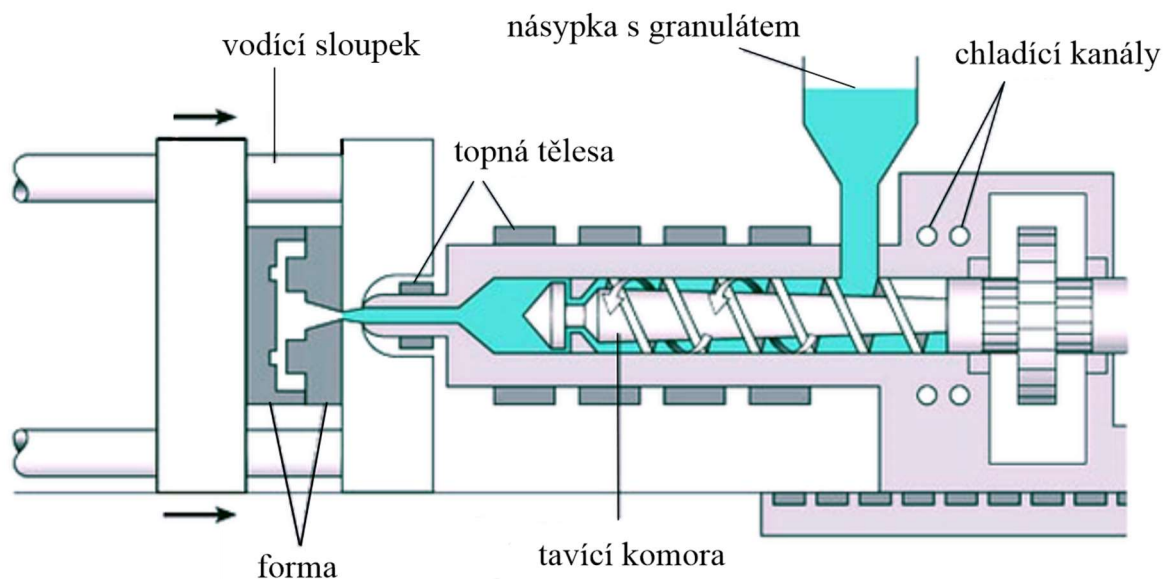
Vzhledem k tvaru, snaze o co nejvyšší kvalitu a zejména s přihlédnutím k velikosti série a požadavkům na materiál byla pro zvolenou součást z uvedených technologií výroby zvolena technologie vstřikování plastů.

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování je dnes jednou z klíčových a nejpoužívanějších technologií pro výrobu součástí z plastu. Jedná se o cyklický tvářecí proces, pomocí něhož lze zhotovit i členitější tvary součástí různých velikostí, a to z velkého množství materiálů. [2; 4; 14]

Lze zhotovovat díly o velmi dobré rozměrové i tvarové přesnosti. Vstřikováním lze také docílit velice nízkých nebo až nulových nákladů na dokončování, jelikož touto metodou se zpravidla vyrábí již produkt předepsaného finálního tvaru a rozměrů. I přes všechna pozitiva a výhody metody však existují jistá omezení, a to zejména na tloušťku stěn a technologičnost tvaru, která budou popsána později. [4; 5]

Při vstřikování je materiál v podobě granulí umístěn do násypky, odkud dále putuje do pracovní části vstřikovacího stroje. V závislosti na konstrukci stroje pak šnek (viz obr. 10) nebo píst dopravuje granulát tělem stroje přes tavící komoru, kde se granulát vlivem tepla mění na taveninu. Ta je následně vstřikována do dutiny formy. Po zaplnění dutiny nastává tlaková fáze ke snížení smrštění výsledného dílce. V dutině formy plast i za přispění chladicího systému tuhne ve finální produkt. Následuje otevření formy a vyhození výstřiku, po kterém je možno formu opět uzavřít a celý proces opakovat. Pomocí technologie vstřikování lze až na výjimky zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, některé reaktoplasty a případně i kaučukové směsi. [5; 13]



Obr. 10 Schéma šnekového vstřikovacího stroje [20].

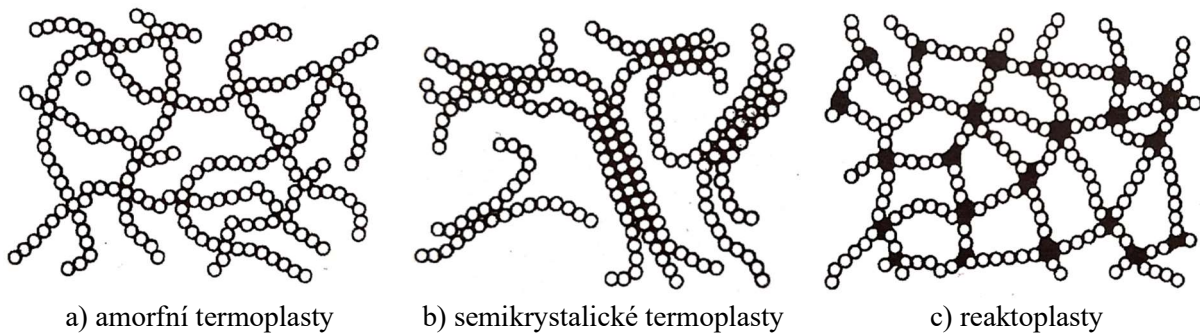
### 2.1 Plasty vhodné ke vstřikování

Plasty jsou podskupinou polymerních materiálů. Jedná se o synteticky vyrobené makromolekulární sloučeniny. Při navození určitých podmínek lze plasty tvarovat a následně zafixovat do požadované podoby. Za běžných podmínek se poté plasty chovají jako tuhá tělesa, u nichž dochází vnějším namáháním převážně k nevratné deformaci. Dle chování za zvýšené teploty se plasty dále dělí na reaktoplasty a termoplasty. [2; 5; 21; 22]

Pojmem termoplasty jsou označovány materiály, které při zvýšení teplot postupně přecházejí až do stavu viskózní taveniny, ve kterém je možné je technologicky zpracovávat. Při zvýšení teploty začne nejprve termoplast měknout a pozvolna přechází do elastického stavu. V něm lze materiál působením vnějších sil do určité míry protáhnout. Přitom při uvolnění má plast tendenci se vracet do původního tvaru. Dalším zvyšováním teploty se termoplast stává

plastickým. V takovém stavu je již možné ho tvářet a zpracovávat. Při překročení teploty tání pak termoplast přechází do stavu viskózního, v němž je možné ho odlévat či vstříkovat do forem požadovaných tvarů. Následným ochlazením plast přechází opět do tuhého stavu. Tento proces je opakovatelný, jelikož se při zahřívání termoplastu nemění jeho chemická struktura. Přechod mezi těmito stavy je pozvolný, což usnadňuje technologické zpracování. Při příliš vysokých teplotách však může docházet k tepelnému rozkladu a z toho důvodu se omezuje doba zahřívání na technologické minimum. Termoplasty se dále dělí na: [2; 5; 21; 22]

- Amorní termoplasty – jsou charakteristické náhodným uspořádáním makromolekul ve struktuře, jak je vidět na obrázku 11 a). Z hlediska vstříkování se tento druh termoplastů vyznačuje relativně nízkým smrštěním a možností transparentního provedení. Právě díky svým vlastnostem se amorní termoplasty využívají zejména pro výrobu přesných dílců v automobilovém průmyslu a světelné technice. [21; 22; 23]
- Částečně krystalické termoplasty – vytváří důsledkem krystalizace oblasti s uspořádanou strukturou makromolekul (viz obr. 11 b). Tyto oblasti jsou označovány jako oblasti krystality a vznikají ve fázi chlazení taveniny. V závislosti na obsahu krystalického podílu pak tyto termoplasty disponují dobrou tuhostí, pevností a houževnatostí. Semikrystalické termoplasty se využívají pro zhotovování mechanicky namáhaných technických součástí. [21; 22; 23]



Obr. 11 Uspořádání makromolekul [22].

Reaktoplasty oproti termoplastům při vyšších teplotách setrvávají v tuhém stavu, a naopak dále tuhnou. Tavitelné jsou jen určitou dobu po zahřátí a při dalším ohřevu u nich dochází k procesu urychlování tvorby vnitřní struktury v podobě trojrozměrné polymerní sítě (viz obr. 11 c). Tento proces se nazývá vytvrzování a daný reaktoplast díky němu již tedy neprechází do elastického ani plastického stavu a taktéž není možné jej převést do taveniny. Reaktoplasty již tedy není možné opakovaně tvarovat a při dalším dostatečně vysokém ohřevu se začínají pouze chemicky rozkládat a dochází k jejich degradaci. Mezi charakteristiky této podskupiny plastů patří vysoká tepelná a chemická odolnost, tvrdost a tuhost. Příkladem reaktoplastů jsou různé typy syntetických pryskyřic. [2; 5; 22]

### 2.1.1 Přísady

Polymerní materiály používané pro vstříkování jsou obvykle kromě základního polymeru složeny také z určitých přísad neboli aditiv. Ty se do materiálu přidávají jednak pro zajištění bezproblémového zpracování požadovaného materiálu, ale také pro zlepšení či dodání požadovaných vlastností výslednému produktu. Právě díky přimíchávání aditiv do granulátu lze pak technicky a ekonomicky nejvýhodněji připravit plasty s požadovanými vlastnostmi. Přísad přidávaných do plastů existuje obrovské množství a jejich výběr vždy jen záleží na požadavcích výroby. V následující kapitole jsou proto uvedeny pouze některé z nejpožívanějších základních aditiv. [2; 5; 24]

Při vstřikování plastů je kladen důraz na optimální vlastnosti taveniny. Právě k jejich úpravě se využívá přísad pro zlepšení zpracovatelnosti tavenin. Do této skupiny patří tepelné nebo termooxidační stabilizátory pro zvýšení stability taveniny při rozvodu formou, vnitřní maziva pro zlepšení tokových vlastností taveniny a samotné vyhazování výstřiku z formy, či nukleační činidla používaná pro dosažení jemné a krystalické struktury u částečně krystalických materiálů. [2; 24]

Dalším účelem, ke kterému se aditiva využívají je, jak již bylo zmíněno, zlepšení fyzikálních vlastností nebo úprava vzhledu vyráběného dílce. Pod tuto oblast spadají změkčovadla (ke zlepšení pružnosti, tažnosti, či houževnatosti), dále stabilizátory (světelné, termooxidační, UV), retardéry hoření, barviva (viz obr. 12) a rozjasňovadla, antistatické přísady, nadouvadla a další. [2; 24; 25]

Specifickým druhem přísad jsou pak plniva. Ta se obvykle přidávají k polymernímu materiálu s aditivy, ze kterého se poté stává materiál kompozitní. Vzniklý plast potom díky obsahu plniva disponuje lepšími mechanickými vlastnostmi nebo lepší tepelnou a rozměrovou stabilitou. Plniva bývají buď částicová (ve formě minerálních částic o různé velikosti a tvaru) nebo vyztužující (nejčastěji ve formě skleněných vláken). [2; 24; 25]



Obr. 12 Granuláty s příměsí barviv [26, 27].

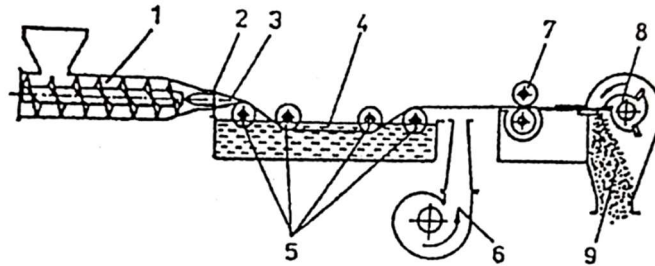
### 2.1.2 Přípravné zpracování plastů

Samotné plasty je třeba před použitím do vstřikovacího stroje podrobit přípravnému zpracování. Jedná se o proces úpravy jejich chemické struktury a fyzikálních vlastností, přidání aditiv a převedení výsledného polymeru do vhodné podoby k dalšímu zpracování. Jde tedy o jakýsi mezistupeň mezi výrobou základního polymeru a vlastním konečným zpracováním. [3; 5; 13] Mezi metody přípravného zpracování patří následující [3]:

- Míchání – je proces smísení polymeru s přísadami, ať už ve formě kapaliny, prášku nebo granulí. Cílem je zajištění rovnoměrného rozložení jednotlivých komponent výsledné směsi. Podle intenzity míchání se jednotlivé přístroje dělí na míchačky a hnětací stroje. Přičemž hnětací stroje jsou schopné kromě samotného smísení také převést polymer do již plastického stavu. [3; 5]
- Recyklace – je způsobem využití technologického odpadu pro další výrobu. Odpad v požadované kvalitě je při tomto procesu rozemlet na tzv. drť a ta je následně přimíchávána ke granulátu, případně zpracovávána v granulačních linkách. [5; 28]
- Granulace – je finální operací přípravného zpracování plastů. Jedná se o proces převedení materiálu do tvaru granulí vhodného pro další zpracovávání. Granule jsou vyráběny ve tvaru válečků (viz obr. 12), krychliček, kuliček, či čoček. Důvodem je dosažení dobré sypné hmotnosti a toho, že lze materiál v takové podobě dobře dávkovat a směšovat s aditivou a recykláty. Granulaci lze provádět několika metodami a výběr té optimální



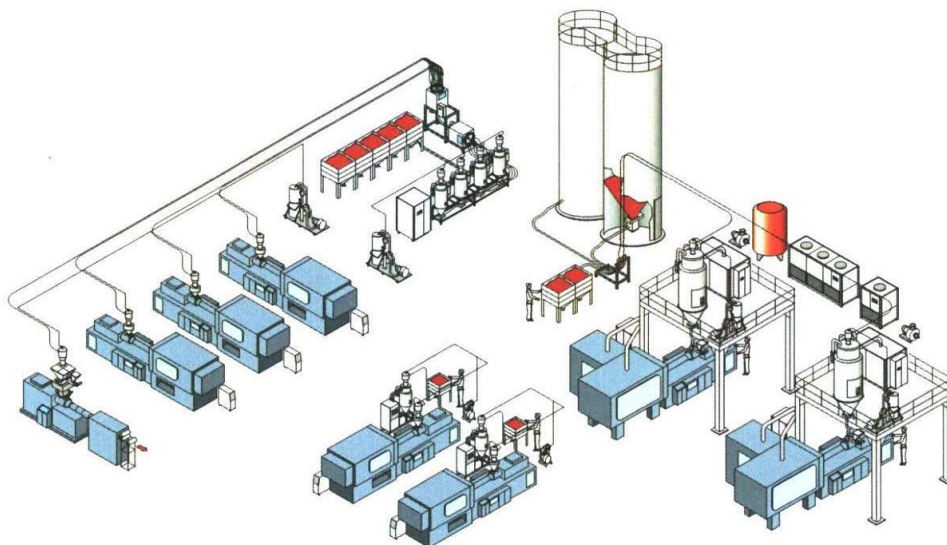
záleží na vlastnostech zpracovávané taveniny, ekonomii a možnostech podniku. Na obrázku 13 je znázorněn princip metody granulace za studena, při které je materiál v procesu výroby granulí ochlazován ve vodní lázni. [3; 28; 29]



1 – šnekový vytlačovací stroj, 2 – víceotvorová hlava, 3 – struny vytlačovaného materiálu,  
 4 – chladicí lázeň, 5 – vodící válečky, 6 – ventilátor, 7 – podávací válečky,  
 8 – nožový granulátor, 9 – granule

Obr. 13 Schéma procesu granulace za studena [5].

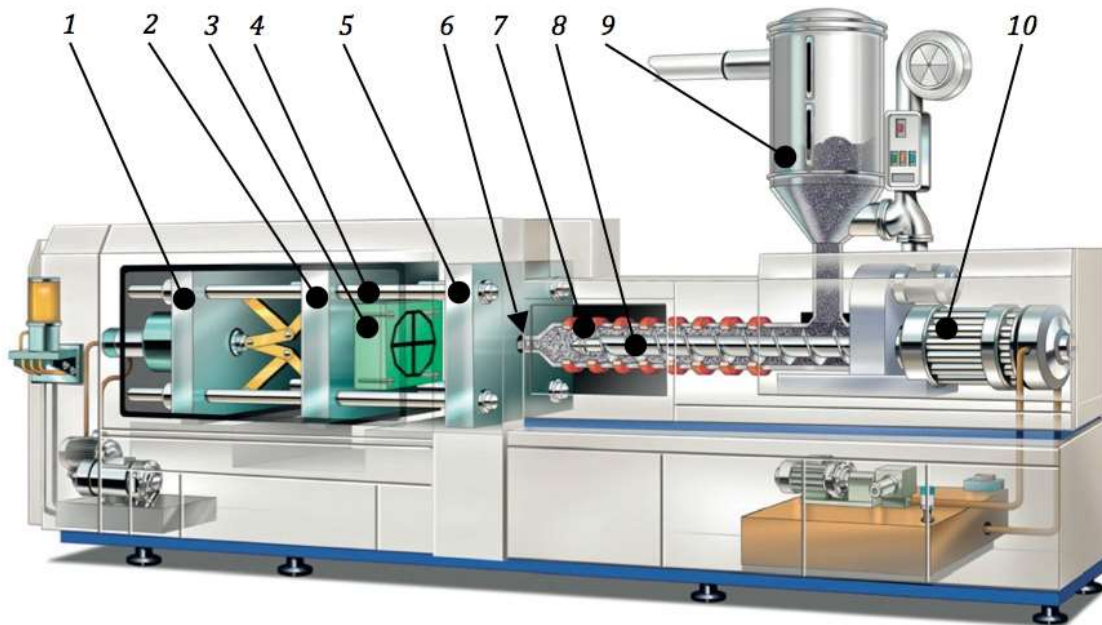
- **Tabletování** – je podobně jako granulace technologickým procesem přípravy materiálu do tvaru vhodného pro další zpracování. V tomto případě se však jedná o tvar plochého válečku slisovaného do tablety. Vstupní materiál ve formě tablet se používá zejména pro zpracování reaktoplastů. Mezi výhody tabletování se řadí možnost zmenšení plnicího prostoru formy, snížení prašnosti, usnadnění přehřevu a zkrácení doby lisování. [3; 28]
- **Sušení** – je proces odstraňování zbytkové vlhkosti z již hotového granulátu. Vlhkost totiž při výrobě způsobuje pokles pevnosti a tuhosti materiálu a povrchové i skryté vady výrobku. Nejčastěji se v průmyslové praxi využívá sušení suchým, tlakovým nebo horkým vzduchem. Případně lze granulát sušit také pomocí metod vakuového nebo mikrovlnného sušení. [28; 29]
- **Doprava materiálu** – je proces transportu výchozího polymeru k zařízení určenému k jeho zpracování, jehož způsob záleží zejména na velikosti výrobní série a možnostech podniku. Materiál v podobě granulátu může být do zpracovatelských zařízení dodáván ve formě pytlů pro výrobu v menších sériích a v cisternách pro větší série. V takovém případě je pak surovina skladována v síle a ke transportu k výrobním strojům se využívá centrálních dopravních systémů, jak je vidět na obrázku 14. [3; 29]



Obr. 14 Centrální systém rozvodu materiálu [13].

## 2.2 Vstřikovací stroje

Zařízení, které je zodpovědné za celý vstřikovací proces se nazývá vstřikovací stroj. Prvními vstřikovacími stroji byla zařízení fungující na principu pístu, který opětovným dopředným a zpětným pohybem přemísťoval polymer dále tavicí komorou. Tyto stroje byly však v průběhu let již zcela nahrazeny šnekovými vstřikovacími zařízeními (viz obr. 15), a to zejména kvůli většímu plastikačnímu výkonu a lepší teplotní homogenitě roztaveného plastu. [5; 30]



- 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky, 5 – pevná upínací deska, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka s granulátem, 10 – pohonná jednotka šneku

Obr. 15 Šnekový vstřikovací stroj [31].

Samotný šnekový vstřikovací stroj je složen z těchto částí [2]:

- Vstřikovací jednotka – je komponent zajišťující převedení granulátu do stavu viskózní taveniny a její další dopravu do dutiny formy. Jednotka je tvořena násypkou, topením, tavicí komorou, tryskou a šnekem. Celá takto sestavená vstřikovací jednotka je připevněna k posuvné konzole, jak lze vidět na obrázku 16. Pomocí tohoto spojení pak vykoná posuvný pohyb tak, aby tryska dosedla na vtokovou vložku definovanou přítlačnou silou. Při vstřikovacím procesu rotuje šnek kolem své osy a díky vlastní geometrii (viz obrázek 17) iniciuje pohyb granulátu směrem k formě. Granulát se cestou napříč tavicí komorou ohřívá a přechází v polymerní taveninu. V místě, kde tryska vstřikovací jednotky dosedá na zmíněnou vtokovou vložku, již viskózní tavenina dále proniká do formy. [28; 30; 32]



Obr. 16 Vstřikovací jednotka [33].



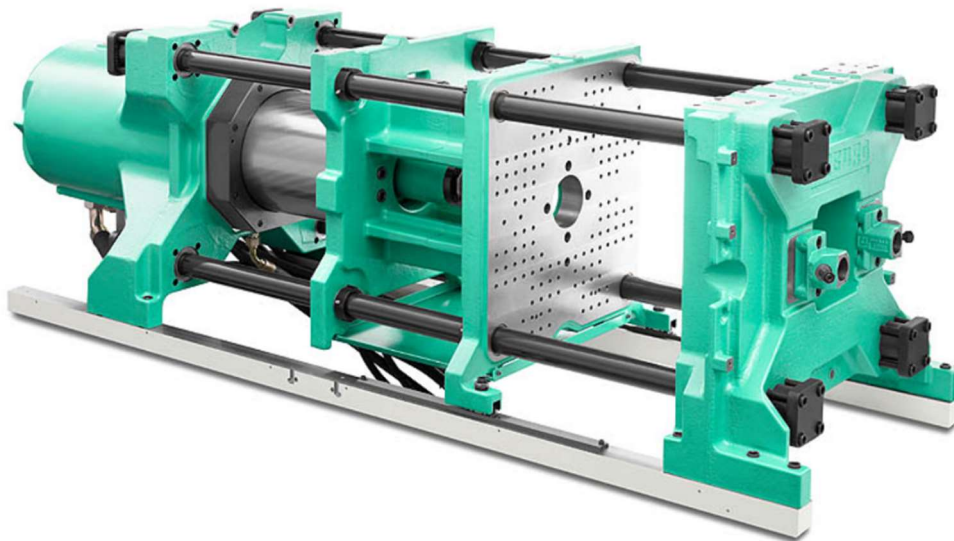
Obr. 17 Šnek vstřikovacího stroje [34].

Mezi charakteristické technické parametry každé vstřikovací jednotky se řadí vstřikovací kapacita, plastikační kapacita a maximální vstřikovací tlak. Vstřikovací kapacita udává, jaký objem taveniny je schopna jednotka vstříknout na jeden posun šneku. Plastikační kapacita definuje maximální hmotnost polymeru, kterou je stroj schopen zplastifikovat za jednotku času. [28; 30; 32]

- Uzavírací jednotka – je částí stroje, do které je upnuta vstřikovací forma. Forma musí být uzavřena takovou silou, aby se při procesu vstřikování taveniny tlakem neotevřela. Úkol uzavírací jednotky tedy spočívá v pevném uzamknutí formy během procesu vstřikování taveniny do dutiny formy, ale také v zajištění plynulého pohybu při jejím otevírání a uzavírání. [3; 5; 28; 32]

Důležitou zde vystupující veličinou je uzavírací síla. Jejím působením setrvává forma během vstřikování a dotlaku v uzavřeném stavu. Velikost uzavírací síly se odhaduje podle plochy průmětu do dělicí roviny a tlaku v dutině formy. Takto prvotně zvolená veličina je pak po prvním testu formy upravena dle potřeb konkrétní výroby. [5; 28; 32]

Existuje několik provedení uzavíracích systémů podle zvoleného pohonu. Ten může být hydraulický, mechanický, kombinace hydraulického a mechanického, případně i elektrický. Přitom u posledních dvou bývá využíváno tzv. kloubového mechanismu. Hydraulická uzavírací jednotka, kterou lze vidět na obrázku 18, je však nejčastěji používaným řešením. Složena je z pevné upínací desky, pohyblivé upínací desky, vodících sloupků a hydraulického válce. [5; 28; 32]



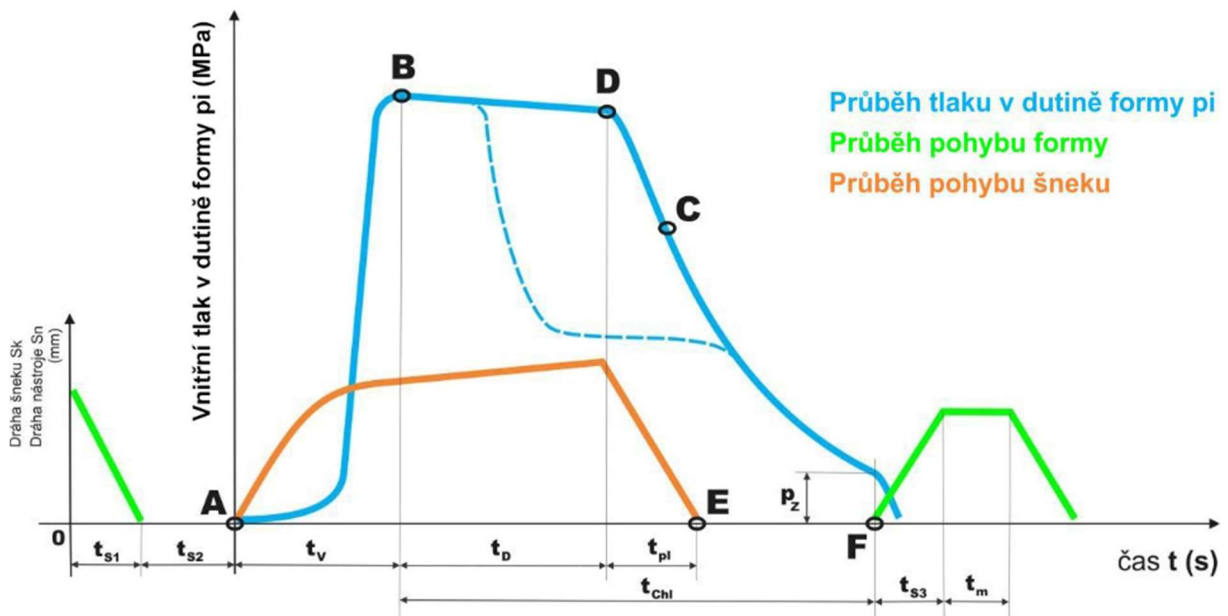
Obr. 18 Hydraulická uzavírací jednotka [35].

- Řídící jednotka – je zodpovědná za řízení, kontrolu, a regulaci stroje. Jejím úkolem je dodržení nastavených technologických parametrů, jako teploty taveniny, vstřikovacího tlaku, teploty formy, dotlaku, rychlosti vstřikování a taktéž časového schématu vstřikovacího cyklu. Řídící jednotka většinou obsahuje vlastní ovládací skříň včetně programovatelného počítače. [5; 30; 32]
- Rám stroje – bývá opatřen elektrickým, hydraulickým, případně hybridním pohonem. Nejrozšířenější variantou je řešení, kdy je pohyblivá deska vedena rámem stroje pomocí hydraulických válců. Výhodou hydraulické varianty je, že lze používat velké vstřikovací rychlosti a uzavírací síly. Současně dovoluje použití rozměrově větších forem. Plně elektrický stroj je oproti hydraulickému řízen elektrickými servomotory. Elektrický stroj disponuje větší účinností a odpadá zde nutnost chlazení oleje v hydraulice. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a nemožnost použití hydraulických tahačů jader ve formě. Trendem

poslední doby jsou pak stroje tzv. hybridní kombinující výhody jak hydraulických, tak i elektrických pohonů. Zde bývá hydraulika použita právě na uzavírací jednotku a elektrický pohon se stará o vstřikování a dávkování materiálu. [32; 36; 37]

## 2.3 Vstřikovací cyklus

Sled jednotlivých operací vstřikování se nazývá vstřikovací cyklus. Jedná se o proces od uzavření vstřikovací formy až po vyhození hotového výstřiku. Tvořen je čtyřmi hlavními fázemi, které trvají odlišnou dobu a ovlivňují je parametry, jako geometrie výstřiku a technologické podmínky vstřikování. Zmíněné fáze jsou znázorněny v diagramu na obrázku 19. Tento diagram popisuje průběh tlaku v čase během vstřikovacího cyklu. [2; 3; 5; 29]



Obr. 19 Diagram průběhu tlaku během vstřikovacího cyklu [5; 13].

Před samotným procesem vstřikování se pohyblivá část formy přisune k pevné a forma se uzamkne. Tento děj popisuje v diagramu čas  $t_{s1}$ . Časový úsek  $t_{s2}$  pak popisuje přisun vstřikovacího stroje k formě. Jedná se tedy o strojní časy, po jejichž uplynutí již začíná vlastní vstřikovací cyklus. Ten je popsán následujícími fázemi: [5; 29]

- Vstřikovací fáze – obstarává plnění tvarové dutiny formy. V diagramu je označena jako  $t_v$ . V bodě A je do pohybu uveden šnek a začíná vstřikovací proces. Šnek se v tuto chvíli v tavní komoře neotáčí a koná pouze axiální pohyb. Při této fázi nastává prudký nárůst tlaku ve formě. Po naplnění dutiny je tavenina stlačena a tlak nabývá maximální hodnoty (bod B). Rychlost plnění je nutno podle parametrů výroby optimalizovat tak, aby se předešlo povrchovým defektům, případně nedotečení. Doba vstřikování závisí na teplotě taveniny a vstřikovacím tlaku. Vliv má i teplota formy, geometrie výstřiku, druh plastu a konstrukční řešení vtokové soustavy. [3; 5; 13; 29]
- Ochlazovací fáze ( $t_{chl}$ ) – začíná již při procesu vstřikování (v bodě B) a trvá do otevření formy. Při ochlazovací fázi je výstřik ve tvarové dutině formy ochlazován do takového stavu tuhosti, při kterém je možno ho vyhodit z formy bez vad a deformací způsobených právě tímto vyhozením. Rychlost ochlazování závisí na druhu plastu, tloušťce stěny výstřiku, teplotě taveniny a teplotě formy. Jelikož se jedná o nejdelší úsek vstřikovacího cyklu je snahou účinným chlazením formy dobu chlazení zkracovat na nutné minimum. [3; 5; 13; 29]

- Dotlaková fáze ( $t_D$ ) – charakterizuje dobu, kdy dochází k dodatečnému dotlačení polymerní hmoty do tvarové dutiny formy po jejím naplnění ve vstřikovací fázi. V průběhu chlazení má totiž hmota tendenci se smršťovat. Aby se předešlo vzniku staženin, je nutné zmenšování objemu kompenzovat dotlačněním menšího množství taveniny. Dotlak probíhá za nižšího tlaku než primární fáze plnění. Po zaplnění tvarové dutiny je totiž třeba tlak snížit, aby bylo zabráněno přílišnému namáhání formy. To by mohlo vést až k jejímu prohnutí. Dotlak je závislý zejména na průřezu vtokového kanálu a délka jeho trvání se pohybuje v řádu sekund. [3; 5; 13; 29]
- Plastikační fáze ( $t_{pl}$ ) – popisuje proces zplastikování granulátu a dalšího vtlačování hmoty před čelo šneku. Cílem je dopravit rovnoměrně zhomogenizovanou dávku plastu potřebnou pro správné naplnění tvarové dutiny formy a požadovanou kvalitu povrchu výstřiku. O ohřev polymerní taveniny se stará frikční teplo, vzniklé třením plastu o stěny válce, a elektrické odporového topení. Při plastikační fázi je v důsledku změny objemu nutné, aby šnek ustupoval dozadu. Proto je třeba zvyšovat zpětný tlak, jehož velikost následně ovlivňuje i dobu plastikace a promíšení plastu. Příliš vysokou hodnotou zpětného tlaku by mohlo dojít až k degradaci polymeru. [3; 5; 29]

## 2.4 Vstřikovací forma

Nástroj, který se upíná do vstřikovacího stroje se nazývá vstřikovací forma. Prostor uvnitř formy kopírující tvar budoucího výrobku je dutina formy (viz obrázek 20). Ta je v průběhu procesu vstřikování plněna roztaveným plastem. Po ochlazení vstřikované taveniny v dutině vzniká výstřik navrhovaného tvaru a rozměrů. Hlavní úlohou formy je dodat výstřiku požadovaný tvar a současně ho ochladit na takovou teplotu, při které je dostatečně tuhý k vyjmutí. Formy lze dělit podle mnoha kritérií. Nejčastěji dle násobnosti nástroje, počtu desek potřebných pro zaformování dílu či podle směru vstřiku do dělicí roviny. [3; 5; 28]



Obr. 20 Pohled na tvarovou dutinu formy [37] .

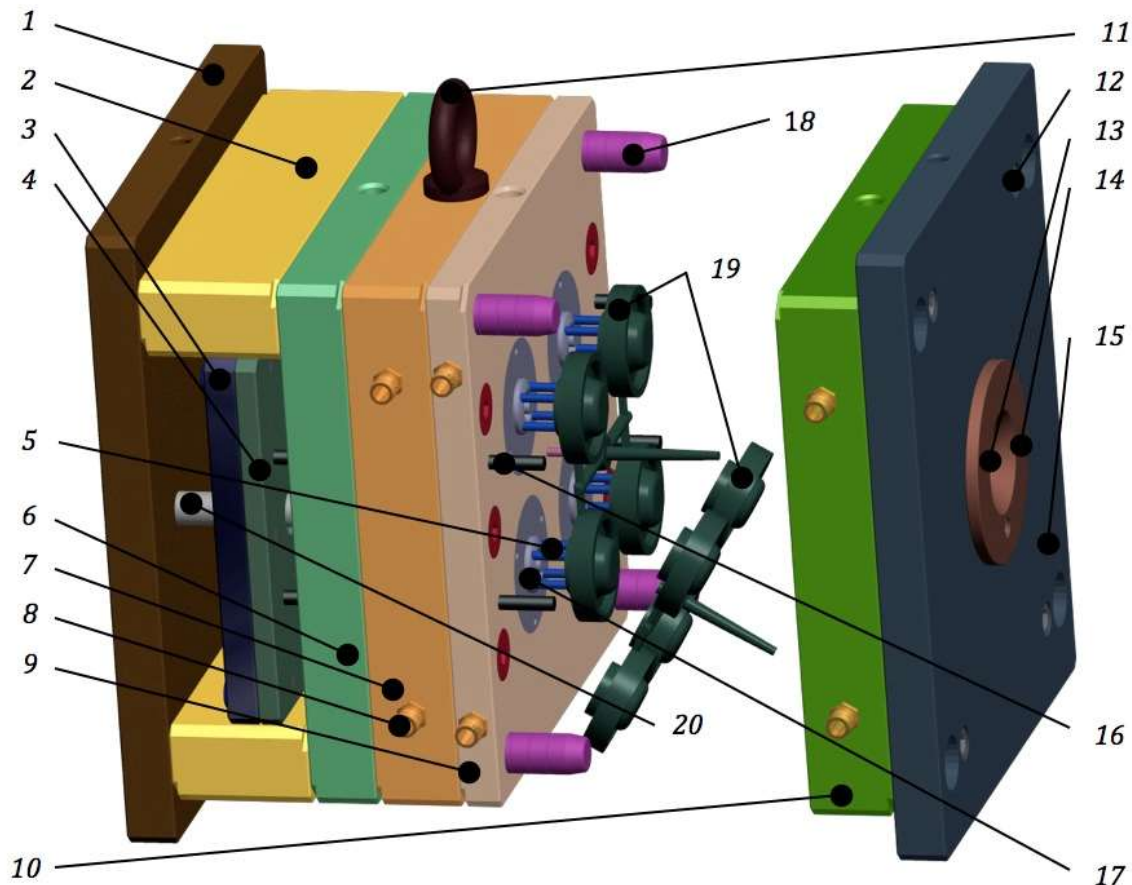


Obr. 21 Rozpad vstřikovací formy [38].

Návrh funkční formy včetně všech systémů a komponentů je hlavních realizační činností konstruktéra forem a vyžaduje znalost řady technických údajů a procesů plánované výroby. Hlavními oblastmi tohoto návrhu jsou: díly vymežující tvarovou dutinu formy, temperační systém, vtokový systém, vyhazovací systém a upínací a vodící elementy. Konstruktérské řešení a uspořádání forem bývají rozdílné. Jejich navržení by mělo vždy reflektovat geometrii vyráběného dílu a konkrétní požadavky, které má forma splňovat. Příklad rozpadu typické vstřikovací formy na jednotlivé komponenty lze vidět na obrázku 21. [3; 5; 28]

Na vstřikovací formy totiž existuje nemalé množství požadavků. Jsou to požadavky na vysokou přesnost a jakost funkčních ploch, maximální tuhost a pevnost pro odolávání vysokým tlakům, ale také požadavky na životnost. Forma musí být rovněž plně funkční tak, aby bylo možné bezpečně a rychle odformování vyráběného výstřiku. Při výrobě je samozřejmá snaha o co nejnižší pořizovací náklady. Zejména požadavky na přesnost pak zvyšují výslednou cenu nástroje. [3; 4; 5; 28]

Obecně lze části vstřikovací formy rozdělit na části konstrukční a funkční. Mezi konstrukční části se řadí desky, dorazy, středící kroužky, rozpěrky, vodící části a další. Jejich úkolem je zajištění správné činnosti nástroje. Funkční části jsou potom například tvárníky, tvárnice, či vtoková vložka. Tyto komponenty jsou v přímém styku se vstřikovaným materiálem a zajišťují tvar finálního výrobku. Obrázek 22 zobrazuje otevřenou dvoudeskovou čtyřnásobnou vstřikovací formu včetně podrobného popisu jednotlivých komponent použitých k její konstrukci. [3; 5; 28]



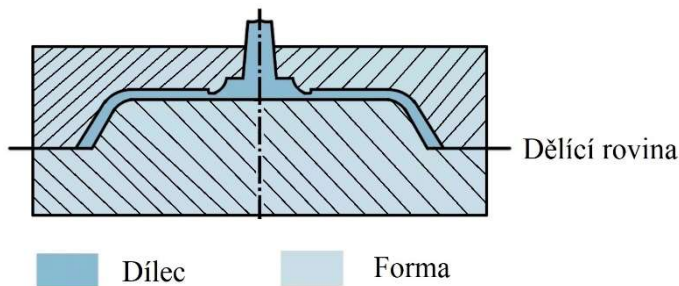
1 – upínací deska pohyblivé části formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části formy, 15 – upínací deska pevné části formy, 16 – vraccí kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupky, 19 – vstřikovaný díl, 20 – podpěrné válce

Obr. 22 Otevřená vstřikovací forma [31].

#### 2.4.1 Dělicí rovina

Volba dělicí roviny je jedním z prvních kroků při návrhu uspořádání vstřikovací formy. Jedná se o místo styku její pevné a pohyblivé části. Styčné plochy ležící v dělicí rovině musí být zcela bez defektu a v maximální možné míře na sebe dosedat. Toho je třeba dosáhnout hlavně proto, aby mezi těmito plochami nevznikaly spáry, kterými by mohla unikat vstřikovaná tavenina a vytvářet tzv. zástrík. Důvodů vzniku spár v dělicí rovině může být několik. Často se jedná o nepřesnosti po obráběcích operacích, nevhodně zvolenou uzavírací sílu, či opotřebení vzniklé vlivem provozu formy. I přes veškeré snahy o její minimalizaci však mírná stopa po dělicí rovině na vstřikovaných dílech vzniká, a to i při dodržení veškerých zásad. Příklad takové stopy

na výrobku je na obrázku 24. Z toho důvodu se dělicí rovina nejčastěji navrhuje na nefunkčních plochách vstříkovaného dílu. Případně se kvůli vzhledovým vadám volí tak, aby procházela hranami výstřiku. Dalším kritériem, kterým se konstruktér při jejím návrhu řídí, je, aby byl vyráběný výstřik odformovatelný a vstřikovací proces co nejméně namáhal samotnou formu. Dělicí rovina může mít rovinný nebo obecný tvar (viz obrázek 23). Vždy by však měla být co nejjednodušší s ohledem na co nejlepší kvalitu těsnění. [5; 31; 39; 40]



Obr. 23 Umístění dělicí roviny [40].



Obr. 24 Stopy po dělicí rovině [41].

### 2.4.2 Násobnost formy

Počet výstřiků, který bude v hlavní dělicí rovině formy zaformován, je udáván charakteristikou zvanou násobnost formy. Existuje několik hledisek, podle kterých se určuje násobnost formy při vstřikování. Jedním z hlavních je předpokládaná roční produkce, dále hrají při volbě násobnosti roli další ekonomické, ale i technické faktory jako cena formy, složitost dílu a požadované tolerance, ale i strojní a technické vybavení vstřikovny. [5; 42; 43]

Na násobnosti dále závisí ostatní parametry formy jako například konstrukční řešení vtokového systému. Obecně platí, že pro co nejlepší kvalitu a přesnost formy je žádoucí, aby byla násobnost co nejnižší. Nepřesnosti tvarových dutin a jejich výroba totiž zavádějí do produkce chyby a ovlivňují tak přesnost výstřiků. Tvarově náročné a velkorozměrové výstřiky se proto většinou vyrábí právě v jednonásobných formách. [4; 5; 43]

Vstřikovací stroj ovlivňuje násobnost formy svými technickými parametry. Násobnost vstřikovací formy se totiž musí volit tak, aby ji stroj dokázal s rezervou naplnit. Následující vztahy popisují vzorce určené k výpočtu násobnosti při známých parametrech vstřikovacího stroje. [5; 43] První z nich je násobnost daná vstřikovací kapacitou a popisuje ji následující vzorec [5]:

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot Q_V}{(V + v)}, \quad (2.1)$$

kde:  $Q_V$  - maximální zdvihový objem [ $cm^3$ ],  
 $v$  - objem hmotového zbytku (0,05-1) V [ $cm^3$ ],  
 $V$  - objem výstřiku [ $cm^3$ ].

Další násobností je násobnost daná plastifikačním výkonem stroje [5]:

$$n_2 = \frac{Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{(V + v) \cdot 3600 \cdot \rho}, \quad (2.2)$$

kde:  $Q_p$  - plastifikační výkon stroje [ $kg \cdot hod^{-1}$ ],  
 $t_c$  - celková doba cyklu [s],  
 $\rho$  - hustota materiálu [ $g \cdot cm^{-3}$ ].

Poslední násobností, která je ovlivňována technickými parametry stroje je pak násobnost daná velikostí uzavírací síly. K jejímu výpočtu se používá vzorec: [5]

$$n_3 = \frac{0,8 \cdot F}{S \cdot p_v}, \quad (2.3)$$

kde:  $F$  - uzavírací síla stroje [MN],  
 $S$  - plocha dutin a kanálů v dělicí rovině, kolmo na směr uzavírací síly [ $m^2$ ],  
 $p_v$  - vstřikovací tlak [MPa].

Dalším typem násobnosti je násobnost daná množstvím výstřiků v závislosti na termínu výroby. Tato násobnost bývá označována jako termínová a je popsána tímto vzorcem: [5]

$$n_4 = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K_c \cdot 3600}, \quad (2.4)$$

kde:  $N$  - požadovaná produkce [ks],  
 $T_p$  - doba produkce [hod],  
 $K_c$  - koeficient využití času [0,7-0,9].

Posledním typem násobnosti je násobnost daná ekonomickým hlediskem. Ta je popsána vzorcem: [5]

$$n_5 = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N_c}{3600 \cdot K_f}}, \quad (2.5)$$

kde:  $K_p$  - provozní náklady formy [Kč],  
 $K_f$  - míra amortizace formy [%],  
 $N_c$  - životnost formy [ks].

### 2.4.3 Vyhazovací systém

Zhotovený výstřik je třeba z dutiny či tvárníku otevřené vstřikovací formy určitým způsobem vysunout či vytlačit. Této činnosti se říká vyhazování výstřiků a využívá se k ní vyhazovacího systému, který bývá pro zajištění automatického výrobního cyklu zaimplementován do formy. Obecně lze vyhazovací systémy rozdělit podle principu činnosti do tří skupin. Těmi jsou vyhazovače mechanické, vzduchové a hydraulické. [4; 5; 31]

Důležitou veličinou vystupující v tomto procesu je vyhazovací síla. Jedná se o sílu potřebnou k překonání tření vzniklého mezi výstřikem a tvárníkem formy v důsledku smrštění. Výpočty lze určit vyhazovací sílu na základě veličin jako je velikost smrštění, tlaku, plocha vyhazování a další. Běžně se však pro svou nespolehlivost těmito výpočtům předchází předdimenzováním a volbou vyhazování na základě testů a zkušeností. [5; 31; 44]

Základními předpoklady pro správný chod vyhazovacího systému jsou hladký povrch dílce a úkosovitost stěn ve směru vyhazování. Výstřik má být rovněž vysouván rovnoměrně, aby nedošlo k jeho poškození z důvodu vzpříčení a následnému vzniku trvalých deformací. Před samotným návrhem vyhazovacího systému je tak třeba nejprve stanovit základní princip vyjímání vstřikovaného dílu z formy. Konstruktor by se měl snažit o použití co nejjednoduššího konstrukčního řešení vyhazovacího systému. Obvykle se jedná o vyjmutí výstřiku pomocí mechanických vyhazovačů upevněných k pohyblivé desce. Tato zařízení pracují ve dvou fázích. První fází je dopředný pohyb, který zajistí samotné vyhození výstřiku a vtokového zbytku z formy. Druhou fází je pak zpětný pohyb vyhazovacího systému do původní polohy, který bývá zajišťován buď vratnými kolíky, pružinami, či speciálním zařízením (mechanickým,



hydraulickým nebo vzduchovým). Existují však případy, kde tento systém není možné využít nebo je tvar součásti takový, že je výhodnější jiné řešení vyhadzovacího systému. [5; 31; 44; 45]

Mezi způsoby vyhadzování patří [5]:

- Vyhadzovací kolíky (viz obr. 25) – jsou nejlevnějším a nepoužívanějším systémem vyhadzování výstřiků. Jedná se o čistě mechanický způsob odformování dílu z dutiny formy. Po vyhadzovacích kolících obvykle zůstanou na výstřiku stopy, jak je vidět na obrázku 26. Je proto nutné volit vyhadzovací systém tak, aby se kolíky dostávaly s výstřikem do styku ideálně na vnitřních nebo nefunkčních plochách. Tvar vyhadzovačů a jejich umístění se vždy odvíjí od geometrie konkrétního výstřiku [5; 31]

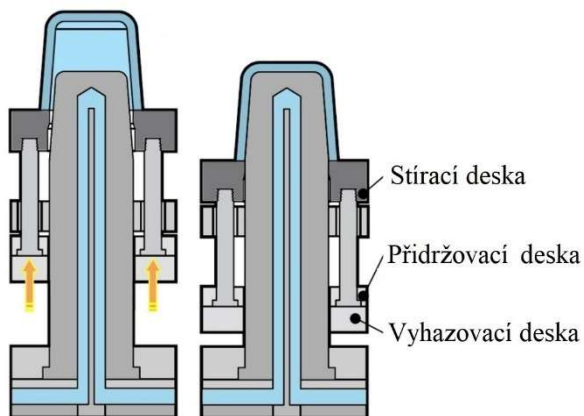


Obr. 25 Vyhadzovače [46].

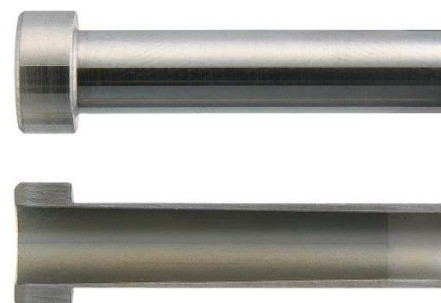


Obr. 26 Stopy po vyhození [47].

- Stírací desky – Výhodou tohoto způsobu vyhadzování je, že vzhledem k velké stykové ploše nezanechává stírací deska na výstřiku stopy. Stírací desky se používají u tenkostěnných výstřiků a u dílů s rovinnou dosedací plochou, u kterých je třeba velké vyhadzovací síly. Dosedací plocha musí být rovinná, případně mírně zakřivená. Oproti vyhadzovacím kolíkům podléhají stírací desky většímu opotřebení. Princip této metody je obdobný jako v případě kolíkových vyhadzovačů a je popsán obrázkem 27. [5; 31; 45]
- Vyhadzovač trubkový – je speciálním případem stíracího vyhadzovače. Využívá se pro díly s malou tloušťkou stěny a menšími vnitřními prostory. Jako u stírací desky musí být dosedací plocha rovinná. Pohled na trubkový vyhadzovač včetně podélného řezu jeho tělem je na obrázku 28. [4; 28; 31]



Obr. 27 Princip stírací desky [31].



Obr. 28 Řez trubkovým vyhadzovačem [48].

- Vyhadzování stlačeným vzduchem – se používá pro odformování tvarově specifických rozměrnějších tenkostěnných výstřiků. Typický výstřik, u něhož se využívá této metody, má tvar nádoby, jejíž vyhození z dutiny formy by v případě mechanického vyhadzování

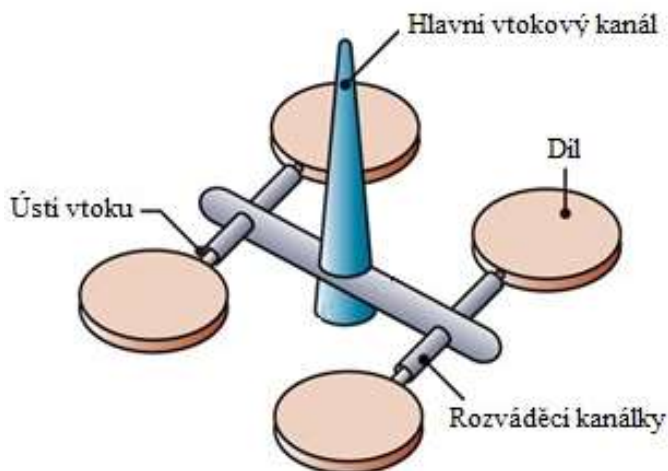
vyžadovalo velký zdvih vyhazovače a tím i větší rozměr formy. O vyhození se stará pneumatický, případně pneumaticko-mechanický systém, který přivádí stlačený vzduch do ventilu umístěného pod vyhazovaným dílem. [5; 31; 45]

- Šikmé vyhazování – je mechanické vyhazování kolíky, jejichž osa není rovnoběžná se směrem vyhazování. Využívá se pro rozměrově menší díly s vnitřním nebo vnějším zápichem. [5]

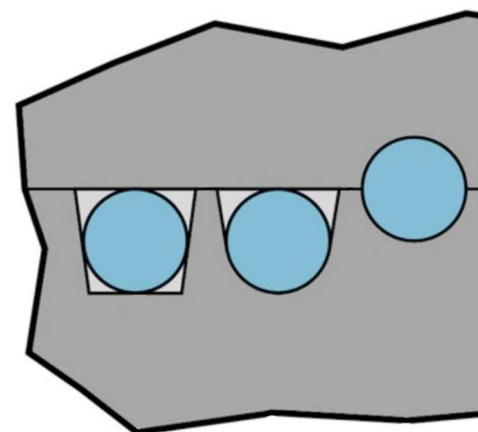
#### 2.4.4 Vtoková soustava

Systém, který je zodpovědný za vedení viskózního polymeru do dutiny formy je označován pojmem vtoková soustava. Ta musí svou konstrukcí zajistit správné naplnění dutiny formy taveninou za co možná nejkratší čas. Výběr vhodného řešení vtokové soustavy se odvíjí od geometrie dílu a násobnosti formy. Obecně lze podle způsobu rozvádění taveniny formou rozdělit řešení vtokové soustavy do dvou konstrukčních typů, kterými jsou studená a horká vtoková soustava. [4; 5; 31; 49]

Studená vtoková soustava se typicky skládá z hlavního vtokového kanálu, rozváděcích kanálků a ústí vtoku, jak lze vidět na obrázku 29. Při procesu vstřikování tavenina vedená celým tímto systémem ztuhne a po něm je z formy vyhazována společně s výstřikem v podobě vtokového zbytku. Tento systém tedy funguje na principu opakovaného plnění celé vtokové soustavy, ze které jsou požadované výstříky po procesu odděleny. [5; 31; 49]



Obr. 29 Studená vtoková soustava [50].



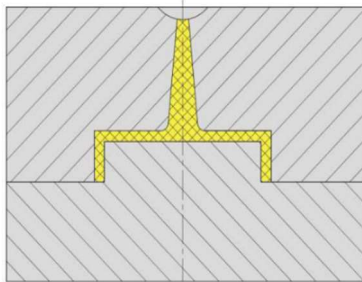
Obr. 30 Typy vtokových kanálů (průřez) [31].

Hlavní vtokový kanál je opatřen úkosem (nejčastěji  $1^\circ$ ) pro lepší vyhození vtokového zbytku. Tohoto tvaru je obvykle docíleno pomocí vtokové vložky usazené do desky formy. Rozváděcí kanálky jsou obvykle obrobena do desek formy v dělicí rovině. Vhodně zvolené způsoby provedení popisuje obrázek 30. Rozměry jsou voleny podle objemu výstřiku, tloušťky stěny a materiálu. Vždy by měla být snaha o snížení délky celé vtokové soustavy na nutné minimum. [5; 31; 51]

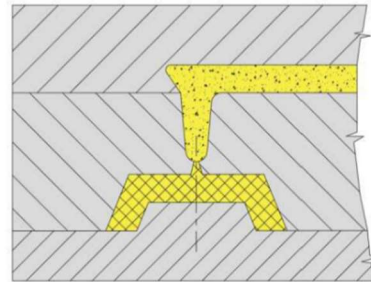
Ústí vtokové soustavy je místo, ve kterém rozváděcí kanálky navazují na dutinu vstřikovaného dílu. Vtokové ústí plní několik důležitých úloh. Tou hlavní je bezproblémové naplnění tvarové dutiny polymerem. Tvar ústí by však měl být volen tak, aby vstřikovaný materiál v ústí po fázi dotlaku ztuhl a zabránil tak zpětnému unikání taveniny do rozváděcího kanálku. Dále je také žádoucí, aby geometrie umožňovala snadné oddělení vyráběného dílu od vtokového zbytku. [5; 31]

Pro zajištění zmíněných požadavků se často používá osvědčených provedení vtokových ústí, mezi které patří: [5; 52]

- Kuželový vtok – je používán pro jednonásobné formy či u plastů se špatnou tekutostí. V tomto provedení není tavenina vedena skrz rozváděcí kanálky, nýbrž skrz hlavní vtokový kanál přímo do tvarové dutiny formy, jak lze vidět na obrázku 31. Nevýhodou této metody řešení vtokového ústí je nutnost mechanického oddělení vtokového systému od výstřiku a s tím spojená viditelná stopa. [31; 52]
- Bodový vtok – se nejčastěji využívá pro tenkostěnné dílce. Ústí vtoku bývá kruhového průřezu a vychází přímo z rozváděcího kanálu nebo z tzv. předkomůrky (lze vidět na obrázku 32). U bodového vtoku musí dojít k oddělení vtokového ústí před otevřením formy. K tomu se využívá kuželovitého zúžení směrem k rozváděcímu kanálku. [5; 31]

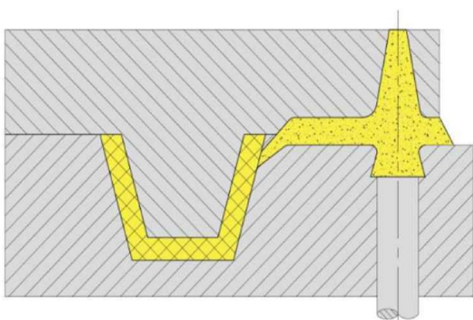


Obr. 31 Kuželový vtok [52].

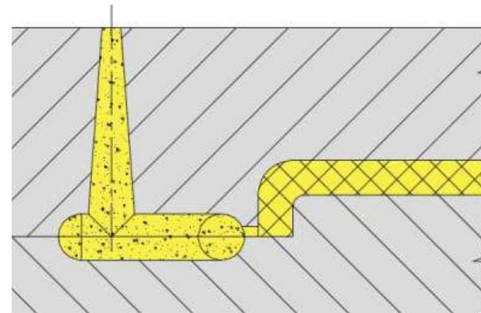


Obr. 32 Bodový vtok [52].

- Tunelový vtok – je modifikací vtokového bodového s tím rozdílem, že se vtokový zbytek v podobě rozváděcích kanálků nachází ve stejné dělicí rovině jako zhotovovaný dílec. Velkou výhodou je zde automatické oddělení vtokového systému od výstřiku. Z toho důvodu také musí být vždy použito přidržovače vtoku či jiného konstrukčního prvku zajišťujícího následné vyhození vtokového systému. Mezi nedostatky pak patří nevhodnost použití u polymerů s vláknitým plnivem a náročná výroba. Ukázkou řešeného ústí tunelovým vtokem lze vidět na obrázku 33. [5; 31; 52]
- Boční vtok – je obecné označení pro řešení, jehož vtokové ústí je umístěno v dělicí rovině a při odformování zůstává spojeno se zbytkem výstřiku. Oddělení je následně řešeno ulomením či odříznutím. Stejně jako u ostatních typů vtoků je zúžení vtokového ústí přizpůsobeno dle geometrie výstřiku. Z bočního vtoku vychází mnoho dalších variant vtokových ústí. Příkladem je vtok vějířový, s překryvem, deštníkový či filmový. [5; 52]
- Filmový (štěrbinový) vtok – je jednou z modifikací bočního vtoku. Polymer je v tomto případě vstříkáván vtokovým ústím zpravidla podlouhlého obdélníkového průřezu (viz obrázek 34). Vtok je vhodný pro tenké a ploché součásti a taktéž pro plnění dutiny taveninou obsahující skelná vlákna. Nevýhodou je opět nutnost manuálního oddělení vtokového zbytku. [5; 31; 52]



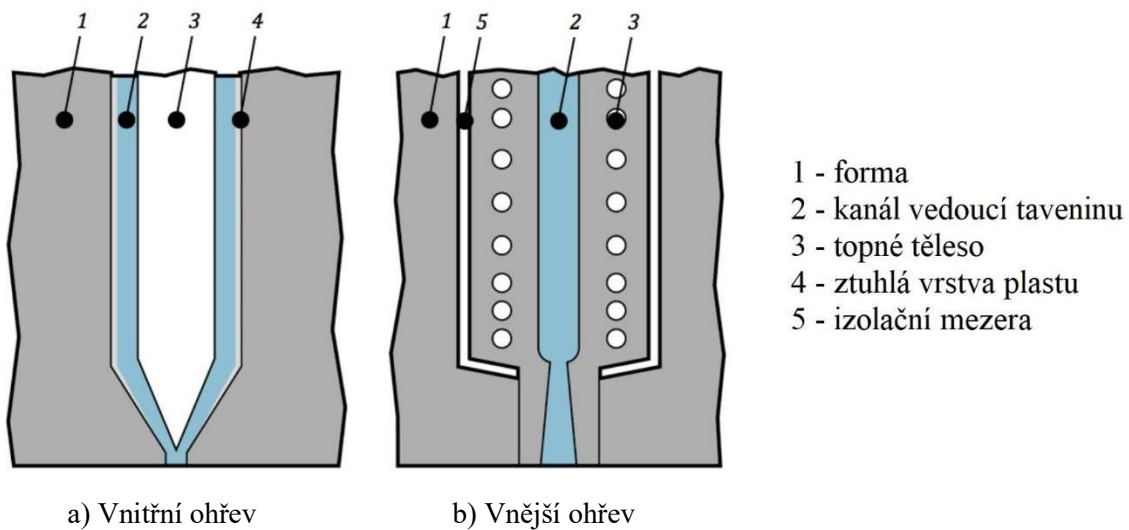
Obr. 33 Tunelový vtok [52].



Obr. 34 Štěrbinový vtok [52].

Druhým typem vtokové soustavy je pak horká vtoková soustava. Jedná se o systém vedení taveniny, při kterém jsou vtok i tryska v průběhu celého vstřikovacího procesu ohřívány. Vstřikovaný polymer tedy v tomto systému zůstává po celou dobu cyklu ve viskózním stavu a je takto přiváděn co nejbližší k tvarové dutině formy. Hlavní a oproti studené vtokové soustavě nespornou výhodou je tedy to, že při využití horkého vtoku není produkován žádný, nebo jen minimální odpad v podobě vtokového zbytku. Taktéž je díky absenci studeného vtoku zkrácena doba vstřikovacího cyklu a zvýšena kvalita výstřiku. [5; 31; 53; 54]

Podle konstrukce řešení ohřevu trysky se využívají buď trysky s vnitřním nebo vnějším vytápěním. U vytápění vnějšího se o zahřívání taveniny starají topná tělesa umístěná vně vodícího kanálu, jak lze vidět na obrázku 35 b). Vnitřní vytápění je pak umístěné uvnitř kanálu, jak dokládá obrázek 35 a). Obecně se spíše doporučuje volit vnější vytápění, neboť při jeho použití je menší riziko nežádoucího vzniku ztuhlé vrstvy taveniny na stěně formy. [5; 31; 54]



Obr. 35 Možnosti řešení přímého vytápění trysky horkého vtoku [31].

Zmíněné řešení se označuje jako přímé vytápění trysky. V případě nepřímého se pak o ohřev trysky stará vyhřívaný rozvod či ústí vtoku z něhož se teplo na trysku přenáší. V obou variantách je u vícenásobných forem tryska doplněna i vyhřívanými rozváděcími kanálky vytápěnými vnitřním nebo vnějším odporovým topením. [5; 31]

Dalším a již ne tolik používaným způsobem je řešení horkého vtoku pomocí izolované vtokové soustavy. Zde je zvolen takový průřez rozváděcích kanálů, aby polymer při vstřikovacím procesu nepřešel do tuhého stavu. Při výrobě výstřiku pak v kanálku ztuhne pouze vnější vrstva taveniny a viskózní jádro umožňuje opakované plnění tvarové dutiny. Při výběru horké vtokové soustavy je také nutné zabezpečit to, aby tavenina neunikala z formy během fáze vyhazování výstřiku. Tomu se musí přizpůsobit výběr vtokového ústí případně zvolit ústí uzavíratelné. [5; 31]

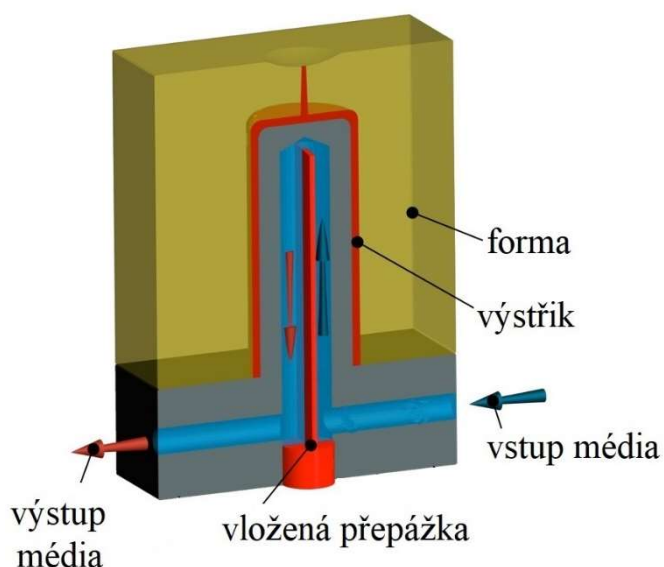
Jak již tedy bylo zmíněno, horká vtoková soustava obecně dosahuje lepší kvality vstřikovaných dílů a absencí vtokového zbytku šetří část granulátu. Při výběru je však nutné brát ohled na to, v jak velké sérii bude dílec vyráběn. Vzhledem k vyšší pořizovací ceně se jedná o ideální metodu pro produkce o vysokém počtu kusů, aby byla zajištěna návratnost pořízených komponent a nákladů na jejich zavedení. Další nevýhodou horkého vtoku může být také složitější výměna plniva vyráběného dílce v průběhu série než u studeného vtoku. Typicky například při změně barvy vstřikovaného dílu. [5; 31; 53; 54]

### 2.4.5 Temparační systém

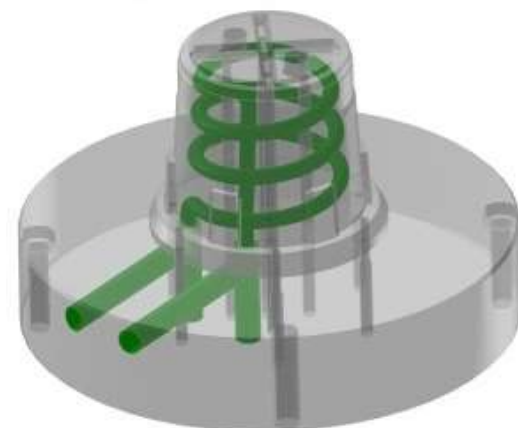
Jak již bylo zmíněno, doba ochlazování výstřiku v dutině formy je nejdelší fází celého vstřikovacího procesu. Pomocí účinného chlazení v podobě temperačního systému ji však lze podstatně zkracovat a tím i snižovat potřebný výrobní čas a náklady s ním spojené. Účinné chlazení má mimo jiné také vliv na samotnou kvalitu vstřikovaného dílce, zejména co se týká smrštění a případné deformace tvaru. Úkolem temperačního systému je primárně udržovat konstantní výrobní podmínky pro vstřikování. Toho se ve většině případů dosahuje odvodem přebytečného tepla z formy. V některých případech však může být systém navržen i tak, aby naopak formu vyhříval. Děje se tak u plastů, které se vstřikují při vyšších teplotách formy (až 120 °C). [5; 31; 55; 56]

Konstrukčně je temperační systém řešen soustavou dutin a kanálků, kterými proudí temperační médium. Pro nižší teploty (přibližně do 90 °C) to bývá voda, při teplotách vyšších pak olej nebo temperační roztok. Tyto systémy se umísťují do samostatných okruhů zvláště pro pevnou a pro pohyblivou část formy. Rozmístění a rozměry se navrhuje na základě tvaru dílce a celkového řešení formy. [5; 28; 31]

V případě použití tvarových jader u vstřikování dutých hlubokých dílců z pochopitelných důvodů nelze použít pro část formy tvořící jádro součásti temperaci v podobě konvenčního systému jednoduchých kanálků. V takovém případě se pak k temperaci jader používá sofistikovanějších způsobů vedení a výroby temperačních systémů. Jako příklad lze uvést systém přepážek. Do jádra je vyvrtán otvor, do něhož je vložena přepážka (jak lze vidět na obrázku 36). Ta usměrňuje tok procházející navazujícím přímým temperačním kanálkem a médium vede skrz jádro. Přepážka může být zhotovena plochá (na obrázku 36), případně i ve tvaru spirály. Dalším řešením je pak tzv. konformní chlazení (viz obr. 37). Jedná se o způsob chlazení, který narozdíl od vrtaných kanálků co nejvíce kopíruje tvar vstřikované součásti. Takovéto systémy jsou vyráběny metodou DMLS nebo pomocí rozdělení jádra na několik vrstev, vyfrézování kanálků a následného spojení těchto vrstev pomocí vakuového pájení. Konformní chlazení je výrobně mnohem nákladnější než konvenční způsoby vrtaných kanálků. Dokáže však v některých případech snížit dobu chlazení natolik, že se výrobci vyplatí počáteční investice do tohoto designu. [5; 31; 56; 57; 58]



Obr. 36 Použití přepážky [31].



Obr. 37 Konformní chlazení [59].

### 2.4.6 Odvzdušnění forem

Při procesu vstřikování přirozeně zůstává po uzavření formy v její dutině vzduch. Jeho přítomnost je zde nežádoucí, jelikož může mít za následek horší mechanické vlastnosti výstřiku, či vady na jeho vzhledu. Vzduch je při procesu plnění formy taveninou vytlačován a částečně uniká místy jako je okolí vyhazovačů a pohyblivých jader nebo dělicí rovinou. Toto základní odvzdušnění však nemusí být dostačující. Z toho důvodu se využívá konstrukčních prvků ve formě kanálků a ploch pro dodatečné odvzdušnění formy, jak lze vidět na obrázku 39. [4; 5; 31]

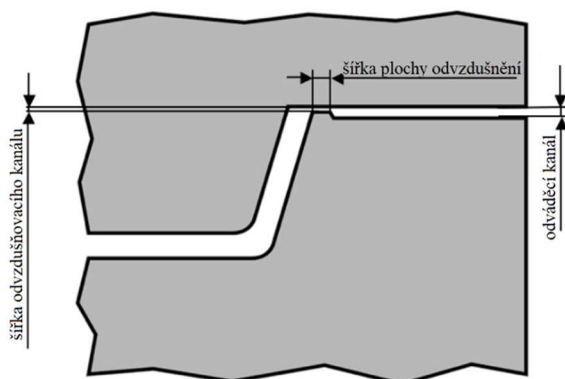
Hlavním úkolem odvzdušňovacího kanálku je úspěšně odvést stlačený vzduch a zplodiny z dutiny formy. Při návrhu geometrie kanálku je třeba brát v potaz to, že kanálek nesmí být tak hluboký, aby v tomto místě docházelo k zatékání plastu do kanálku a vzniku otřepů. Z toho důvodu se kanálek obvykle skládá z širšího odváděcího kanálu a samotného odvzdušňovacího kanálku, jehož hloubka je dána druhem plastu (tabulka 1). Na obrázku 38 lze vidět takto navržený odvzdušňovací kanálek. [5; 31; 60]

Tab. 1 Hloubky odvzdušňovacích mezer pro jednotlivé plasty [5].

Druh plastu	PS, ABS	PE, PP	PA	PBT	PC, POM	Sklem plněné	Strukturální pěny
Mezera [mm]	Do 0,05	do 0,04	0,02 - 0,03	do 0,03	do 0,05	0,05 - 0,08	do 0,1

Vhodné místo pro konstrukci odvzdušňovacího kanálku se volí na základě průběhu plnění dutiny taveninou. Místo pro odvod vzduchu z dutiny formy by mělo být v konečném bodě toku polymeru, respektive v místě naposledy zaplněném viskózní taveninou. Z čehož vychází logická závislost umístění odvzdušnění na geometrii výstřiku, poloze vtoku a tloušťce stěn. Často se také odvzdušňovací plochy umísťují do dělicí roviny formy, a to zejména proto, že se z hlediska vyrobitelnosti jedná o nejjednodušší způsob odvzdušnění. [5; 31; 60]

Odvzdušnění se často navrhuje až při testování formy jako řešení některých nedostatků a vad výstřiku. Jeho návrh a složitost vždy záleží na konkrétní formě a jejím vnitřním uspořádání. Obecně ve vstřikovacím procesu existuje několik parametrů, které mají na případné odvzdušnění vliv. Mezi nejzásadnější patří vhodná volba vtoku a jeho polohy. V krajním případě lze také snížit rychlost vstřikování, která je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím případnou nutnost odvzdušnění. [5; 31; 60]



Obr. 38 Odvzdušňovací kanál [31].



Obr. 39 Pohled na odvzdušňovací soustavu [60].

## 2.5 Vady výstřiků

Ač lze výrobou pomocí metody vstřikování plastů zhotovovat velice přesné a kvalitní výstřiky, tak stejně jako u jiných výrobních metod, mohou i při tomto procesu vznikat výrobky s vadami. Děje se tak i přes neustále se zvyšující úroveň vstřikovacích strojů a využívání počítačových simulací k predikci vstřikovacího procesu. [3; 61; 24]

Vada se definuje jako defekt vykazující se odlišností vůči předem stanovenému a specifikovanému standartu. Vada může být vzhledová, rozměrová, tvarová, hmotnostní a taktéž se může jednat o vadu mechanických a fyzikálních vlastností výrobku. Hlavním cílem je těmto vadám předcházet. Vady výstřiků se obecně dělí na dvě skupiny: [24; 61]:

- Vady zjevné – jsou defekty takové, které lze odhalit vizuálním pozorováním vyrobeného dílce. Zjevné vady se dále dělí na vady tvaru a vady povrchu. [24; 61]
- Vady skryté – jsou defekty, které nelze odhalit pouze pozorováním povrchu. Je proto nutné pro jejich odhalení využít vhodné zkušební techniky, či destruktivních zkoušek. [24; 61]

Úroveň výsledné kvality vyráběného výstřiku ovlivňuje mnoho faktorů. Hlavními příčinami defektů pak bývají špatně navržená konstrukce dílu, nevhodně zvolený materiál, nevhodný vstřikovací stroj, konstrukční nedostatky při návrhu formy, ale i vlastní technologický proces. [5; 24]

Zde je výčet některých hlavních vad výstřiků [24]:

- Přetoky a otřepy – jsou místa, ve kterých tavenina zateče do spár, jako jsou mezery mezi formou a vyhazovači, pohyblivým jádrem nebo do opotřebené dělicí roviny. V těchto místech tavenina ztuhne a vytvoří tenkou blánu – přetok (viz obr. 40). K zamezení tvorby přetoků a otřepů je nutné dodržovat dovolenou tloušťku mezer v pohyblivých částech formy, odvzdušňovacích kanálech a dělicích rovinách. Ta by neměla přesahovat 0,02 mm. Další příčinou vzniku může být nedostatečná uzavírací síla vstřikovacího stroje, příliš vysoká tekutost taveniny a špatné nastavení časů jednotlivých fází vstřikovacího cyklu. [24; 62]



Obr. 40 Přetoky [62].

- Studené spoje (weld line) – vzniknou v situaci, kdy se při plnění tvarové dutiny formy taveninou proud taveniny rozdělí (například tvarovým prvkem) a následně opět spojí. Tento defekt má vliv jak na výsledný vzhled vstřikované součásti (viz obrázek 41), tak i na její mechanické vlastnosti. Jedná se o jednu z nejzávažnějších vad výstřiků, jelikož vzniklé spojení již probíhá za nižších teplot a není tedy tak kvalitní. V tomto místě má výstřik nižší pevnost v tahu, případně ohybu a nižší rázovou houževnatost. V extrémním případě pak může za tvarovým jádrem dokonce vzniknout i vrub, který je obecně při namáhání tahem nebo ohybem náchylný na vznik budoucí trhliny. [24; 61; 62]

Studeným spojům lze předcházet odvdzdušením formy v místě konce dráhy toku, úpravou teploty čela taveniny, případně úpravou polohy vtokového ústí. Předpokládané místo vzniku studeného spoje lze v dnešní době zjistit pomocí podpůrných simulací průběhu plnicí fáze. [24; 61; 63]

- Volný proud taveniny (jetting effect) – je vada výstřiku vznikající v důsledku vnikání volného proudu taveniny z vtokového ústí do dutiny formy. Proud taveniny volně prostupuje dutinou a je zastaven až protilehlou stěnou. Až po tomto procesu následuje zaplnění zbytku formy. Na rozhraní již ochlazeného prvotního proudu taveniny a zaplněného zbytku formy vzniká sekundární studený spoj, který lze opět spatřit i jako vzhledový defekt na obrázku 42. Jetting effect se obdobně jako klasický studený spoj vyznačuje menší pevností v místě defektu. [24; 61; 63]

Nejčastějším způsobem, jak odstranit tuto vadu je přemístěním vtokového ústí do místa naproti stěně formy, které by volnému toku dutinou formy zabránilo. V případě, že vtok nelze přesunout, řeší se jetting effect přidáním umělé překážky (jádra či kolíku) do dutiny formy. [24; 61; 63]



Obr. 41 Studený spoj [64].



Obr. 42 Jetting effect [65].

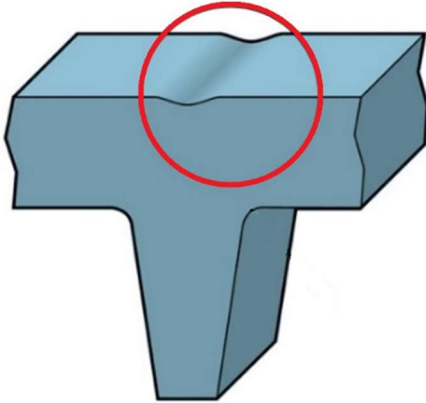
- Smrštění – je zmenšování objemu konečného výstřiku během jeho tuhnutí v dutině formy. Jedná se o průvodní jev procesu vstřikování plastů. Smrštění probíhá od ukončení dotlakové fáze vstřikovacího procesu až do úplného ochlazení výstřiku po jeho vyhození z dutiny formy. Tím je myšlena chvíle, kdy se výstřik ochladí na teplotu okolí. Změny vnitřních stavů výstřiku jako uvolňování vnitřních pnutí však probíhají ještě 24 hodin po procesu výroby. I tyto změny mohou ještě dodatečně ovlivnit rozměry výstřiku. [24; 66] Velikost smrštění závisí zejména na druhu vstřikovaného plastu. Výstřiky z částečně krystalického termoplastu dosahují obecně většího smrštění než ty z termoplastu amorfního. Dalšími faktory jsou tvar vstřikovaného dílu, technologické podmínky vstřikování a teplota. [5; 24; 66]

Úkolem konstruktéra je při návrhu formy pro konkrétní dílec s hodnotou smrštění počítat a upravit podle ní dutinu formy. Zejména při požadavcích na rozměrově velmi přesné díly se vyplatí kromě simulací smrštění i ověření hodnot pomocí prototypové formy. [5; 24; 66]

- Propadliny a vtaženiny (sink marks) – jsou defekty výstřiku úzce související právě se smrštěním. Jedná se o místa, ve kterých dochází vlivem smrštění k určitému propadnutí stěny výstřiku, jak lze vidět na obrázku 44. Typicky v místech vnitřních žeber či jiných oblastech nahromadění materiálu (viz obr. 43). Příčinou vzniku tohoto defektu je, že plast v takovém místě chladne pomaleji než v bezprostředním okolí. [24; 62; 67]



Těmto defektům se předchází technologicky správně zvolenou konstrukcí. Zejména rovnoměrnou tloušťkou stěn výstřiku. Kromě nevhodné konstrukce mohou být příčinami vzniku propadlin i špatně zvolená temperace formy, špatně nastavené parametry plnicí a dotlakové fáze, malý průřez ústí vtoku nebo jeho nevhodně zvolená poloha. Různé materiály mají také odlišné tendence k tvorbě propadlin. Při výrobě výstřiku s geometrií náchylnou k tvorbě případných propadlin je proto dobré této skutečnosti přizpůsobit i výběr vstřikovaného plastu. [24; 67; 68]



Obr. 43 Propadlina naproti žeburu [31].



Obr. 44 Propadlina na výstřiku [68].

- Lunkry (nebo též vakuové bubliny) – se tvoří primárně u součástí s příliš velkou tloušťkou stěny. Při procesu vstřikování tuhne v takovém místě tavenina tvořící povrch výstřiku rychleji než zbytek součásti. To má za následek vznik pevného obalu, zatímco vnitřek zůstává plastický. Během dalšího tuhnutí pak dochází ve vnitřku součásti ke smršťování směrem k vnějšímu obalu a vzniku dutých prostor (viz obr. 45). Lunkry lze na výstřiku odhalit pouze pomocí rozříznutí vylisku případně ultrazvukem. Hlavní způsob, jak tomuto defektu předejít je zejména volit vhodnou konstrukci vylisku z pohledu doporučené tloušťky stěn. Další způsoby, kterými lze vadu omezit jsou změna průřezu či přesun vtokového ústí, zvýšení teploty formy a prodloužení času dotlaku. [24; 43; 62; 63]
- Dieslův efekt – je vada, kterou lze popsat jako místní degradaci, až spálení materiálu (viz obr. 46). Zapříčiněna je vzduchem, který před sebou tlačí tavenina při vstřikovacím procesu. Nemá-li kam unikát, stlačuje se a ohřívá a následně způsobuje lokální degradaci plastu. Při delším působení může nastat dokonce i poškození materiálu povrchu tvarové dutiny formy. Diesel efekt vzniká zejména kombinací příliš vysoké rychlosti vstřikování a nedostatečného odvzdušnění. Lze mu z toho důvodu předcházet odvzdušněním přímo v místě defektu. [24; 61; 62]



Obr. 45 Vakuová bublina [62].



Obr. 46 Diesel effect [62].

- Tokové čáry – jsou estetickou vadou výstřiku, která je charakteristická soustavou čar ve směru toku taveniny na povrchu výstřiku, jak lze vidět na obrázku 47. Tokové čáry se od zbytku dílu liší jiným barevným odstínem vstřikovaného polymeru. Způsobeny jsou ztuhlymi částicemi plastu, které byly proudem taveniny strženy ze stěny vtokového kanálku a přivedeny do dutiny formy. Tento defekt nemá vliv na mechanické vlastnosti výstřiku, proto je většinou nežádoucí u výrobků s estetickými požadavky na povrch dílce. K odstranění tokových čar je třeba upravit parametry plastikační komory vstřikovacího stroje. Konkrétně teplotu taveniny, obvodovou rychlost a zpětný odpor šneku. Dalšími způsoby odstranění jsou změna vstřikovacího tlaku, vstřikovací rychlosti a teploty formy. [5; 24; 69]
- Neúplný výstřik – je defekt, při kterém nedojde k úplnému vyplnění tvarové dutiny formy vstřikovaným polymerem, jak je vidět na obrázku 48. To se zpravidla stává v největší vzdálenosti od vtokového ústí nebo v místech s malým průřezem stěny výstřiku. Neúplný výstřik má většinou za vinu nízká tekutost a zabíhavost taveniny, nevhodná konstrukce výstřiku, malá vstřikovací dávka a obecně špatné technologické parametry vstřikovacího procesu. [24; 62]



Obr. 47 Tokové čáry [70].



Obr. 48 Neúplný výstřik [62].

## 2.6 Technologičnost vstřikovaných dílů

Při plánování výroby plastové součásti je mimo samotného návrhu formy a technologie výroby také velice důležitá správně zvolená konstrukce dílu. Vstřikovaná součást proto musí kromě funkčních a užitných vlastností splňovat také technologické požadavky výroby. Jedná se o zásady, které je potřeba splnit pro bezproblémové vyrobení dílce danou metodou v co nejlepší kvalitě. Dodržení těchto zásad technologičnosti výroby je extrémně důležité, jelikož předchází případným velice obtížným a nákladným úpravám formy. Mezi tyto zásady patří: [5; 43; 71]

- Zaformovatelnost – je jedním z prvních aspektů, na které je třeba brát ohled při návrhu výroby dílce technologií vstřikování. Vyráběná součást by měla mít takový tvar, aby bylo možné vylisek co nejjednodušeji tzv. odformovat pomocí k tomu určených konstrukčních prvků. Konstruktor by měl taktéž díl navrhnout tak, aby co nejvíce omezil nutnost používat pohyblivé tvarové díly ve formě jako čelisti, šikmé tvarové vyhazovače, či pohyblivá jádra. Díky optimálnímu způsobu zaformování součásti lze vyrábět ekonomicky a v automatizovaném chodu. [2; 43]
- Volba vhodného materiálu – probíhá vždy s ohledem na funkci součásti. Při výběru se zohledňují parametry jako vlastnosti a požadovaná životnost součásti, požadavky na tvarovou a rozměrovou přesnost, technologické možnosti výroby, ale i ekonomické

hledisko celého procesu. Mezi nejčastější vlastnosti, které se při výběru vhodného materiálu posuzují patří tepelná odolnost, tvarová stálost za zvýšených teplot, UV stabilizace, chemická odolnost, pevnost, odolnost proti opotřebení, či kluzné vlastnosti. [2; 43]

- Tloušťka stěny se většinou volí jako kompromis mezi požadavkem na hmotnost na jedné straně a pevnost a tuhost dílu na straně druhé. Volba závisí také na materiálu, ze kterého je součást vyráběna. Zvyšování tloušťky stěny dílu obecně zvyšuje dobu výrobního cyklu a materiálové náklady na výrobu. Při návrhu se proto klade důraz na její snižování, a to právě z důvodu minimalizace doby výrobního cyklu, snížení hmotnosti, ale i k omezení možnosti vzniku některých vad, jako jsou staženiny, propadliny nebo lunkry. Při snižování tloušťky stěny se ve snaze o zachování pevnostních charakteristik často využívá konstrukčních prvků jako jsou žebra, zvlnění, či zakřivení. Na výběr tloušťky stěny je také třeba pohlížet z hlediska tečení plastu ve formě. Tato charakteristika bývá většinou udávána výrobcem materiálu jako poměr délky toku a právě tloušťky stěny dílce. Při návrhu vstřikování je žádoucí, aby byl navržený výstřik před samotným procesem podroben analýze tečení pomocí počítačové simulace. Na základě výsledků těchto analýz pak lze například snížit tloušťku stěny, upravit složitost součásti, či přidat další ústí vtoku. [2; 31; 43; 72]
- Rovnoměrnost tlouštěk stěn – je dalším technologickým faktorem. Je doporučeno při návrhu zachovat také co největší rovnoměrnost tlouštěk stěn. To se provádí zejména jako prevence před vznikem deformací a pnutí při chladnutí výlisku. V místě spojení dvou stěn o rozdílných tloušťkách totiž dochází k tomu, že u tlustší stěny se dostavuje větší smrštění a následné riziko zvlnění. K tomu dochází zejména u semikrystalických materiálů, a to z důvodu pomalejšího chlazení tlustší stěny a tím i vyššího obsahu krystalického podílu. [5; 43]
- Žebra – jsou prvky, kterých se využívá pro zvýšení pevnosti a tuhosti výstřiku bez nutnosti zvětšování tloušťky jeho stěny a tím i hmotnosti součásti. Tloušťka žebra se většinou volí v určitém poměru k hlavní tloušťce stěny. Obvykle tak, aby nebyla větší než 50% až 70% tloušťky stěny, na kterou žebro navazuje. To se provádí z důvodu eliminace vzniku vtaženin při chladnutí dílce. [2; 31; 43]
- Úkoso – slouží ke snadnějšímu vyhození výstřiku z formy. Součástí se proto opatřuje úkoso zejména na plochách jako jsou boční stěny, komínky nebo žebra. Kromě snadnější odformovatelnosti dílu úkoso zabraňují také případnému poškození povrchu výstřiku při vyhazování z tvarové dutiny formy. Úkoso se provádí na všech stěnách rovnoběžných se směrem odformování a jejich velikost se doporučuje v rozmezí 1° až 2° pro vnitřní stěny vstřikované součásti a 0,5° až 1° pro stěny vnější. [2; 31]
- Zaoblení by se měla na součásti použít k potlačení veškerých ostrých hran a rohů, a to jak na vnější, tak i vnitřní straně stěny. Tyto oblasti jsou rizikové z toho důvodu, že v nich dochází ke koncentraci napětí vyvolaného mechanickým zatěžováním a tím i ke snížení mechanické odolnosti celého dílu. Poloměr zaoblení by měl odpovídat 1/4 až 1/3 tloušťky stěny. Ostré hrany se obvykle ponechávají v dělicí rovině pro možnost jednoduššího zaformování a na místech, kde by rádius vedl ke zvýšení nákladů na výrobu formy. [2; 31; 43]

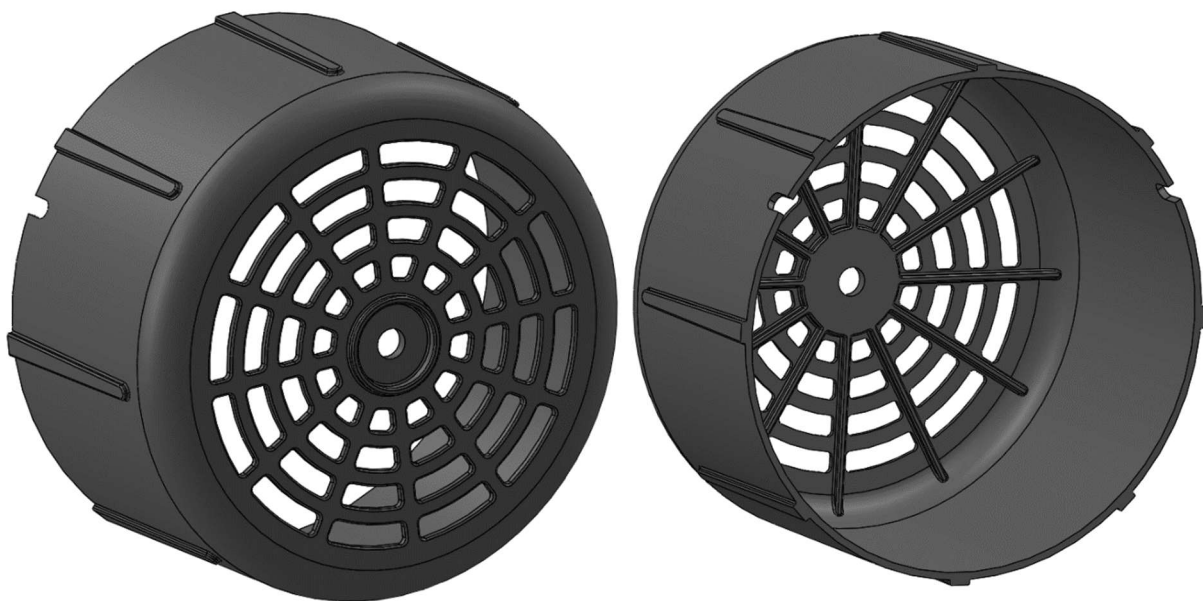
### 3 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Cílem zadání je výroba součásti krytu, který má být připevněn k ventilaci odstředivého čerpadla. Zadaná série dílce je 300 000 ks a termín dodání byl stanoven na 3 měsíce. Pro zhotovení byla jako výrobní metoda zvolena technologie vstřikování plastů.

Před samotným konstrukčním návrhem vstřikovací formy je nutno provést několik předvýrobních úkonů. Tyto činnosti jsou jednou z nejdůležitějších etap návrhu vstřikovací formy. U vyráběného výstřiku se jedná v první řadě o zhotovení modelu (viz obrázek 49) a následné posouzení jeho tvaru z hlediska vyrobitelnosti a případnou úpravu. [2; 73]

Dalšími z těchto nutných předvýrobních činností je dále například volba vhodného materiálu, určení násobnosti formy, kontrola zaformovatelnosti, návrh tvárníků a tvárnic, umístění vtokového systému a tvarových dutin, návrh temperačního systému, výběr varianty vyhození výstřiku z formy a mnoho dalších. Správné provedení těchto operací a přípravných návrhů předchází případným chybám v procesu vstřikování, šetří výrobní náklady a tím i snižuje cenu výsledného výstřiku. [2]

Konstruktor se při těchto činnostech řídí jak výpočtovými vztahy, tak i jistými obecnými zásadami pro navrhování vstřikovacích forem. Pro správné navržení těchto systémů se také hojně využívá počítačových simulací. [2; 5]



Obr. 49 Model vstřikované součásti.

#### 3.1 Volba materiálu vstřikované součásti

Materiál výstřiku bývá vybírán tak, aby součást po dobu své životnosti splňovala veškeré požadavky určené zadavatelem případně stanovené podmínkami jejího použití. Mezi ty patří zejména nároky rozměrové, mechanické, ekonomické, případně procesní, nebo požadavky na následné operace jako svařování, lepení, či potiskování. [2]

Zadaný kryt není v sestavě čerpadla součástí, na kterou by působila přílišná zatížení. I přes tento fakt však musí mít součást určitou odolnost vůči mechanickému i chemickému poškození a tomu se musí přizpůsobit i výběr materiálu.

Vzhledem k požadavkům na mechanické vlastnosti výsledného dílu a zvolené technologii výroby byl za materiál, ze kterého bude součást vyráběna, zvolen polypropylen (PP). Konkrétně pak PP Mosten MB 720 od Společnosti Orlen Unipetrol. Jedná se o semikrystalický termoplast, který disponuje vysokou pevností, chemickou a mechanickou odolností a tvarovou stálostí i za zvýšených teplot. Tabulka 2 obsahuje vybrané vlastnosti tohoto materiálu a kompletní materiálový list lze naléznout v příloze 1. [74; 75]

Tab. 2 Vybrané vlastnosti materiálu PP Mosten MB 720 [75; 76].

Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Hustota ( $\rho$ )	900 – 910	$kg \cdot m^{-3}$
Průměrné smrštění	2,1	%
Sypná hmotnost	450 – 600	$kg \cdot m^{-3}$
Modul pružnosti v ohybu	1050	MPa
Modul pružnosti v tahu (E)	1100	MPa
Napětí na mezi kluzu	21	MPa
Prodloužení na mezi kluzu	5	%
Celková tažnost (A)	100	%
Teplota tání	165 – 170	°C
Teplota taveniny ( $T_T$ )	200 – 280	°C
Teplota formy ( $T_F$ )	20 – 60	°C

### 3.2 Technologičnost tvaru součásti

Před samotnou realizací návrhu vstřikovací formy je nutno posoudit některé technologické aspekty vstřikované součásti. Vyráběný dílec by měl být tvarově uzpůsoben tak, aby byl danou metodou bezproblémově vyrobitelný.

Jedním z vůbec prvních úkolů po zhotovení modelu součásti je volba polohy dělicí roviny. Ta je určující pro zaformování výstřiku a vnitřní uspořádání celé formy. Vzhledem ke geometrii součásti a snaze o co nejlehčí vyhození dílu z dutiny formy byla dělicí rovina zvolena na zadní straně krytu rovnoběžně s čelem součásti. Její polohu znázorňuje obrázek 50.

Jelikož je vstřikovaným materiálem semikrystalický polypropylen, je nutno počítat s určitým smrštěním dílce. Konkrétní smrštění u zvoleného materiálu dosahuje hodnoty 2,1%. Z toho důvodu bude nutné o tuto hodnotu zvětšit dutinu formy právě pro kompenzaci tohoto smrštění. [5]

Technologické rádiusy jsou pro minimalizaci napětí a tím zvýšení mechanické odolnosti zvoleny jako 1/4 tloušťky stěny dílce. Minimální poloměr se tedy vypočte následovně: [31]

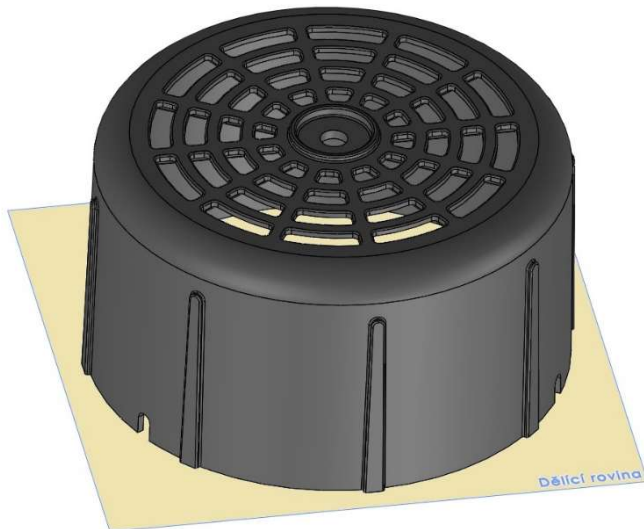
$$R_{min} = 0,25 \cdot s$$

$$R_{min} = 0,25 \cdot 2$$

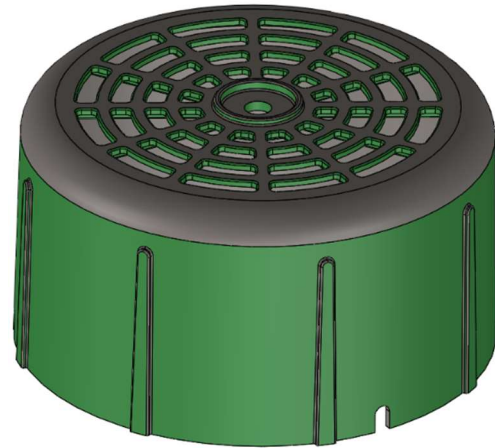
$$R_{min} = 0,5 \text{ mm}$$

Z podmínky plyne minimální velikost rádiusu  $R_{min} = 0,5 \text{ mm}$ . V závislosti na této podmínce byly na součásti upraveny veškeré ostré hrany právě na hodnotu  $R_{min}$ .

Pro zlepšení pozdějšího odformování součásti z dutiny formy byly plochy kolmé na směr odformování opatřeny technologickými úkosi o velikosti  $1^\circ$ . Tyto plochy jsou vyznačeny zelenou barvou na obrázku 51.



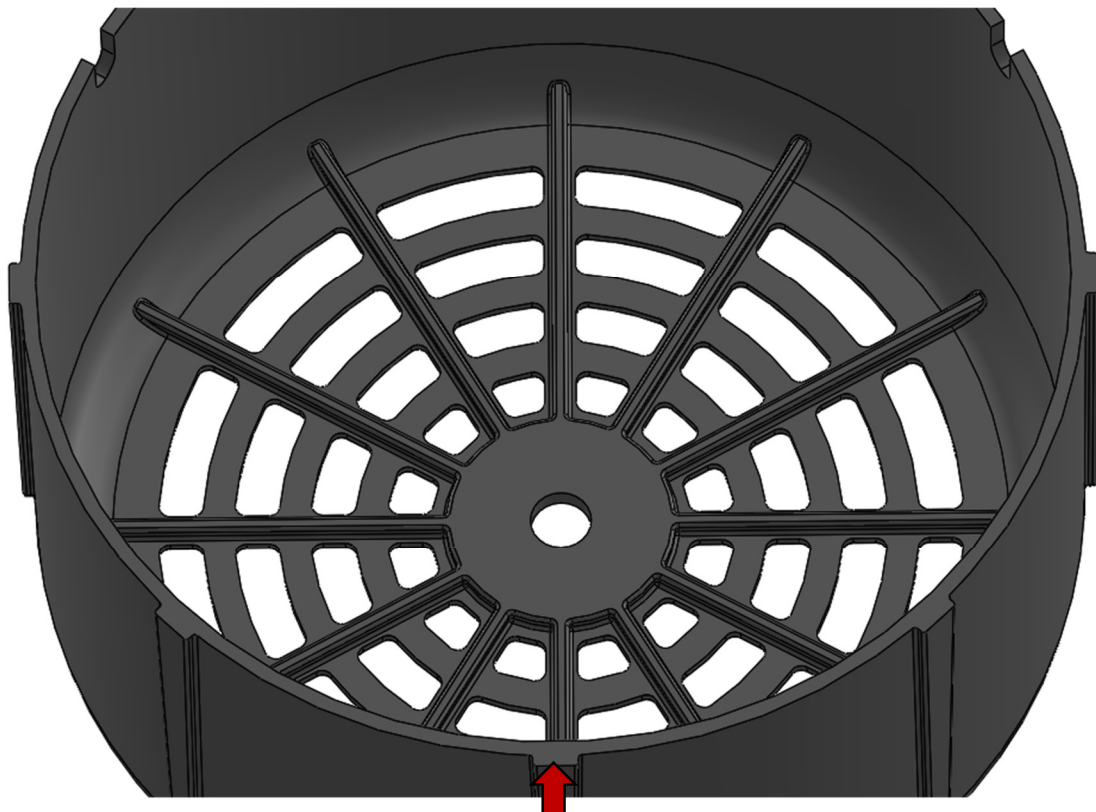
Obr. 50 Umístění dělicí roviny.



Obr. 51 Plochy opatřené technologickými úkosy.

Na vnitřní (nepohledové) straně součásti byla pro vyztužení čelní mřížky navržena žebra o tloušťce 2 mm. Taktéž do okolí otvoru ve středu čela dílu byl pro zvětšení tuhosti přidán materiál a tím zvýšena tloušťka stěny výstřiku až na 4 mm. Takováto nerovnoměrnost tloušťky stěn může být při vstřikovacím procesu riziková. V pozdější fázi návrhu bude proto nutné provést příslušné simulace. Zmíněné výztuže jsou zobrazeny na obrázku 52.

Na obrázku 52 je rovněž šipkou zakresleno i navržené umístění vtokového ústí. Vtokové ústí by mělo být umístováno do místa výstřiku s největší tloušťkou stěny a rovněž by mělo být zamezeno nežádoucímu volnému toku taveniny do tvarové dutiny. Ve snaze o dodržení těchto zásad a o co nejjednodušší vyrobiteľnost i odpovídající funkčnost formy bylo předběžně umístěno do žebra na obvodu dílce. Při návrhu se počítá s obrobením vtokového ústí do plochy dělicí roviny. [5; 31]



Obr. 52 Pohled na vnitřní žebra a uvažované vtokové ústí.

### 3.3 Výpočty technologických parametrů formy

Objem vstřikovaného dílce je prvním parametrem nutným k dalším výpočtům. V tomto případě byl objem získán z fyzikálních vlastností modelu součásti zhotovené v programu SolidWorks 2019.

$$V = 88\,066,19 \text{ mm}^3 = 88,07 \text{ cm}^3$$

Hmotnost vstřikovaného dílu je pak vypočtena dle vzorce:

$$G = V \cdot \rho = V \cdot 0,91 = 88,07 \cdot 0,91 = 80,14 \text{ g} \quad (3.1)$$

kde:  $\rho$  - hustota materiálu součásti [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]

Délka rozváděcího kanálku  $L_k$  byla vzhledem k plánovanému uspořádání formy zvolena následovně:

$$L_k = 62 \text{ mm}$$

Výpočet průměru rozváděcích kanálků lze vypočítat ze vztahu: [39]

$$D_K = D' \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (3.2)$$

kde:  $D'$  - předběžný průměr rozváděcích kanálků [mm],  
 $K_1$  - koeficient tekutosti materiálu [-],  
 $K_2$  - koeficient délky rozváděcího kanálku [-].

Hodnota velikosti předběžného průměru rozváděcích kanálků  $D'$  je závislá na tloušťce stěny výstřiku a hmotnosti výstřiku. Její hodnotu lze určit z následující tabulky (viz Tab. 3). Hodnota koeficientu  $K_1$  pro materiál polypropylen je  $K_1 = 1$ . Hodnotu koeficientu  $K_2$  lze pak v závislosti na  $L_k$  získat z tabulky 4. [39]

Tab. 3 Tabulka pro volbu průměru  $D'$  [39].

s [mm] \ G [g]	s = 1	s = 1,5	s = 2	s = 2,5	s = 3	s = 3,5	s = 4	s = 4,5
0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6
< 10	2,55	3,06	3,56	4,05	4,55	5,04	5,54	6,03
10 – 16	2,59	3,09	3,59	4,09	4,57	5,06	5,56	6,05
16 – 25	2,63	3,14	3,64	4,13	4,62	5,10	5,59	6,08
25 – 40	2,72	3,22	3,73	4,21	4,69	5,16	5,64	6,12
40 – 63	2,84	3,35	3,86	4,34	4,79	5,25	5,72	6,19
63 – 100	3,04	3,55	4,08	4,53	4,96	5,40	5,85	6,30
100 – 160	3,36	3,88	4,42	4,85	5,24	5,64	6,06	6,48
160 – 250	3,84	4,38	4,94	5,33	5,66	6,01	6,38	6,76
250 – 400	4,65	5,21	5,80	6,13	6,35	6,61	6,90	7,21
400 – 700	6,26	6,87	7,53	7,73	7,77	7,82	7,95	8,12

Vzhledem k rozmezí tloušťky stěny dílce mezi 2 a 4 mm byla pro výpočet zvolena střední hodnota tohoto rozmezí, tedy  $s = 3$  mm. Z tabulky 3 je pak při známé střední tloušťce dílu  $s = 3$  mm a hmotnosti  $G = 80,14$  g určen předběžný průměr  $D' = 4,96$  mm.

Tab. 4 Tabulka koeficientů  $K_2$  [39].

Délka kanálku L	$K_2$	Délka kanálku L	$K_2$
0 – 20	1	100 – 150	1,20
20 – 40	1,04	150 – 200	1,29
40 – 70	1,08	200 – 250	1,39
70 – 100	1,12	250 – 300	1,52

Z tabulky 4 je při známé délce kanálku  $L_k = 62 \text{ mm}$  určen koeficient délky rozváděcího kanálku  $K_2 = 1,08$ .

Při známém průměru  $D'$  a koeficientech  $K_1$  a  $K_2$  lze po dosazení do vztahu (3.2) získat průměr rozváděcích kanálků. [39]

$$D_K = 4,96 \cdot 1 \cdot 1,08$$

$$D_K = 5,357 \text{ mm}$$

Na základě vypočtené hodnoty byl zvolen průměr  $D_K = 5,5 \text{ mm}$

Ze získané hodnoty  $D_k$  lze nyní vypočítat objem rozváděcího kanálku  $V_k$ . Ten je dán následujícím vzorcem: [39]

$$V_K = \frac{\pi}{4} \cdot D_K^2 \cdot L_K, \quad (3.3)$$

kde:  $D_K$  - průměr rozváděcích kanálků [mm],  
 $L_K$  - délka rozváděcího kanálku [mm].

Po dosazení do vzorce je výsledný objem rozváděcího kanálku:

$$V_K = \frac{\pi}{4} \cdot 5,5^2 \cdot 62 = 1473 \text{ mm}^3 = 1,47 \text{ cm}^3$$

Dalším krokem je stanovení praktické násobnosti formy  $n_p$ . Tato násobnost je určena z grafu závislosti praktické násobnosti  $n_p$  na počtu kusů série  $N$ . Tento graf je umístěn v příloze 2. [39]

$$n_p = f(N) = f(300\,000) = 2 \quad (3.4)$$

Objem hlavního vtoku bude pro zjednodušení brán jako dvojnásobek objemu rozváděcího kanálku. Tedy: [39]

$$V_{HV} = 2 \cdot V_K = 2 \cdot 1,47 = 2,94 \text{ cm}^3 \quad (3.5)$$

Se známými parametry násobnosti, objemu součásti a objemu vtokové soustavy lze vypočítat výsledný vstřikovaný objem. Ten je dán vzorcem: [39]

$$V_D = n_p \cdot (V + V_K) + V_{HV} = 2 \cdot (88 + 1,47) + 2,94 = 181,88 \text{ cm}^3 \quad (3.6)$$

Dalším důležitým parametrem procesu je určení doby vstřikování. Doba vstřikování  $t_V$  se stanoví na základě velikosti dávky  $V_D$  a viskozity materiálu. Viskozita materiálu je určena z následující tabulky 5. [39]



Tab. 5 Viskozita jednotlivých vstřikovaných materiálů [39].

Viskozita	Vstřikovaný materiál
Nízká	PE-LD, PP, PS, PA 6, PA 66, PA 610, PA 11, PPS
Střední	PE-HD, ABS, POM, PET, PBT, PA 12, PPO, PVC-P, CA, SB, SAN
Vysoká	PMMA, PC, PVC-U, PSU, PEI

Použitý polypropylen je považován za materiál nízkoviskozní. Díky této informaci lze z tabulky 6 určit dobu vstřikování  $t_v$ . [39]

Tab. 6 Tabulka doby vstřikování [39].

Vstřikovaný objem [cm <sup>3</sup> ]	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskozní materiál	Vysokoviskozní materiál
1 – 8	0,2 – 0,4	0,25 – 0,5	0,3 – 0,6
8 – 15	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75
15 – 30	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75	0,75 – 0,9
30 – 50	0,6 – 0,8	0,75 – 1,0	0,9 – 1,2
50 – 80	0,8 – 1,2	1,0 – 1,5	1,2 – 1,8
80 – 120	1,2 – 1,8	1,5 – 2,2	1,8 – 2,7
120 – 180	1,8 – 2,6	2,2 – 3,2	2,7 – 4,0
180 – 250	2,6 – 3,5	3,2 – 4,4	4,0 – 5,2

Doba vstřikování  $t_v$  je dle tabulky 6 v rozmezí 2,6 – 3,5 s. Z tohoto intervalu je pro další výpočty zvolena a použita hodnota  $t_v = 3$  s.

Doba chlazení  $t_K$  [s] se vypočítá dle vzorce: [39]

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F} \right), \quad (3.7)$$

- kde:  $s$  - tloušťka [mm],  
 $a_{eff}$  - efektivní teplotní vodivost (pro PP použita hodnota 0,067) [5],  
 $T_M$  - teplota materiálu (taveniny) [°C],  
 $T_F$  - teplota formy [°C],  
 $T_E$  - teplota odformování [°C].

Po dosazení hodnot:

$$\begin{aligned} t_K &= \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F} \right) \\ &= \frac{3^2}{\pi^2 \cdot 0,067} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{230 - 50}{90 - 50} \right) = 17,6 \text{ s} \end{aligned}$$

Se známými hodnotami doby vstřikování a doby chlazení lze vypočítat celkovou dobu vstřikovacího cyklu  $t_C$ . [39]

Celková doba vstřikovacího cyklu  $t_C$  je součtem doby vstřikování, doby chlazení a vedlejšího času. Popsána je následujícím vzorcem: [39]

$$t_C = t_V + t_K + t_N, \quad (3.8)$$

kde:  $t_V$  - Doba vstřikování [s],  
 $t_K$  - Doba chlazení [s],  
 $t_N$  - Vedlejší čas [s].

Vedlejší čas  $t_N$  se volí v rozmezí 3 až 5 sekund. Zahrnuje časy spojené s pohyby formy. Konkrétně čas potřebný k uzavření formy, přisunutí vstřikovací jednotky, otevření a vyhození výstřiku a obecnou prodlevu. Pro následující výpočet byl zvolen čas  $t_N = 4$  s. [39]

Se známými parametry  $t_V$ ,  $t_K$  a  $t_N$  lze nyní vypočítat celkovou dobu vstřikovacího cyklu: [39]

$$t_C = t_V + t_K + t_N = 3 + 17,61 + 4 = 24,61 \text{ s}$$

Výpočet termínové násobnosti  $n_T$  se získá: [39]

$$n_T = \frac{N \cdot t_C}{T_p \cdot K \cdot 3600}, \quad (3.9)$$

kde:  $T_p$  - požadovaný termín dodání [hod],  
 $K$  - faktor využití času 0,7 až 0,9.

Faktor využití času byl zvolen 0,8. Požadovaným termínem dodání jsou 3 měsíce. Při dvousměnném provozu je poté výsledná termínová násobnost:

$$n_T = \frac{300\,000 \cdot 24,61}{1440 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 1,78$$

Výsledná termínová násobnost pouze potvrzuje již navrženou praktickou násobnost ze vztahu (3.4). Na základě tohoto faktu je definitivně zvolena dvounásobná forma.

Dalším vztahem nutným pro následný výběr vstřikovacího stroje je minimální vstřikovací kapacita. Jedná se o objem taveniny, který musí být stroj schopný dopravit do dutiny formy. Vypočítá se podle vzorce: [39]

$$c_V \geq 1,2 \cdot V_D = 1,2 \cdot 181,88 = 218,26 \text{ cm}^3 \quad (3.10)$$

Minimální plastikační kapacita pak udává, jaké množství taveniny musí stroj zhomogenizovat za jednu hodinu svého provozu. Dáno vzorcem: [39]

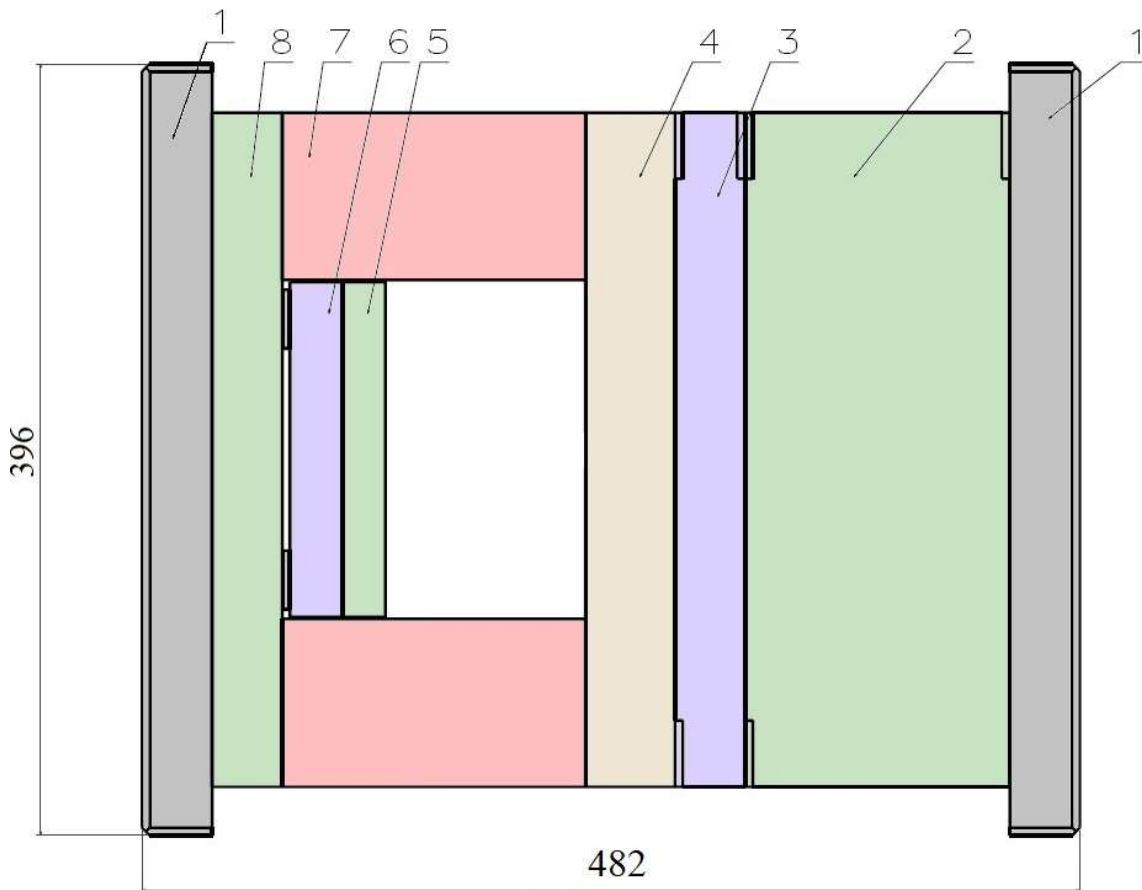
$$c_p = \frac{4 \cdot \rho \cdot V_D}{t_c} = \frac{4 \cdot 0,91 \cdot 181,88}{25} = 26,48 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.11)$$

Doporučený vstřikovací tlak  $p_v$  bude zvolen dle použitého materiálu. Pro polypropylen je z tabulky v příloze 3 doporučený vstřikovací tlak v rozmezí 50–120 MPa. Tlak bude upřesněn na základě analýzy plnění. [2]

Výše získané údaje poskytují základní přehled o parametrech vstřikování. Některé parametry však budou při vlastní konstrukci upraveny a tím se mírně změní i výsledné hodnoty získané výpočtem. Jako předběžný návrh k dalšímu postupu jsou však výsledky dostačující.

### 3.4 Konstrukční návrh složení formy

Složení a tvar vstříkovací formy je navržen dle geometrie dílu a s přihlédnutím k uspořádání vnitřních mechanismů formy, jako je vyhazovací a temperační systém, či ukotvení tvarových vložek. Obecně je žádoucí se při návrhu formy snažit o co největší úsporu materiálu a dle toho i volit rozměry celé formy. Základní rám formy je vykreslen na obrázku 53. Jako vstupní komponenty pro návrh vstříkovací formy poslouží standardizované desky od společnosti Meusburger, které budou upraveny dle požadavků na výrobu zadané součásti. Jejich seznam je uveden v tabulce 7.



Obr. 53 Návrh desek formy.

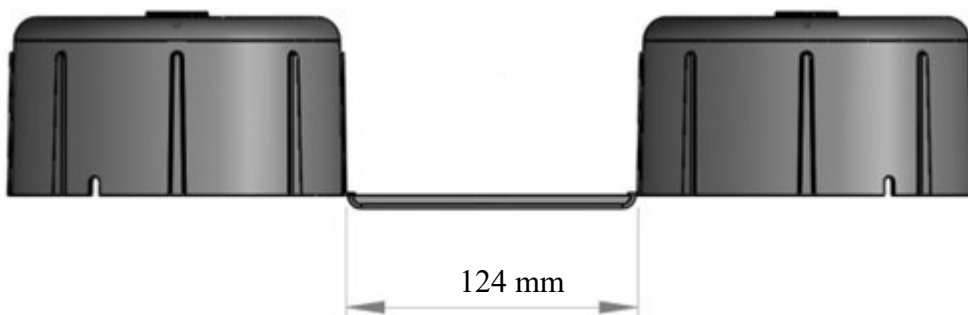
Tab. 7 Složení základních desek formy.

Číslo desky	Označení desky	Rozměr	Materiál	Počet kusů
1	Upínací deska	396 x 646 x 36	1.1730	2
2	Tvarová deska pevné části	346 x 646 x 136	1.2312	1
3	Tvarová deska pevné části	346 x 646 x 36	1.2312	1
4	Podpěrná deska	346 x 646 x 46	1.1730	1
5	Přidržovací vyhazovací deska	172 x 646 x 22	1.1730	1
6	Hlavní vyhazovací deska	172 x 646 x 27	1.1730	1
7	Rozpěra	86 x 646 x 156	1.1730	2
8	Podpěrná deska	396 x 646 x 36	1.1730	1

### 3.5 Vtokový systém

Ze vztahu (3.9) byla výpočtem termínové násobnosti definitivně zvolena dvojnásobná forma. Tavenina musí být formou vedena tak, aby došlo k rovnoměrnému a bezchybnému zaplnění obou tvarových dutin. Tato informace společně se zvolenými rozměry formy udává základní podobu navrhovaného vtokového systému formy. [5]

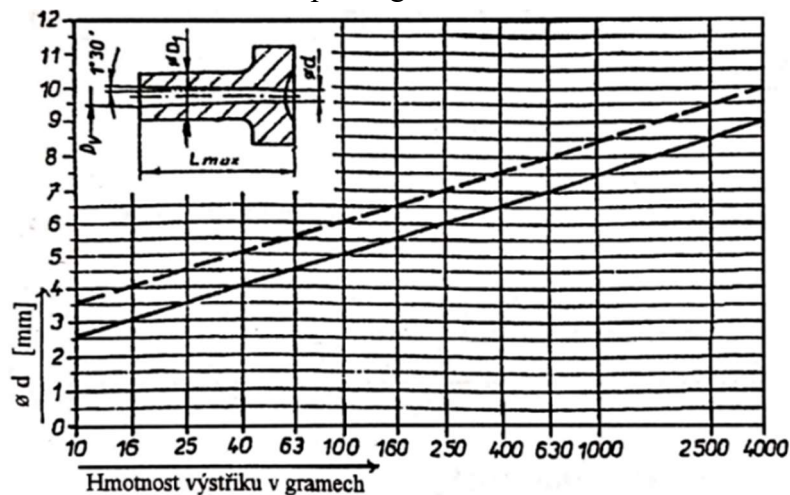
Při výběru vhodného typu vtokové soustavy bylo přihlédnuto k velikosti vyráběné série i požadavkům na kvalitu součásti. Na základě těchto skutečností byla pro výrobu vstříkovaného dílce zvolena studená vtoková soustava. Při využití studeného vtokového systému by měla být dráha toku taveniny od trysky vstřikovacího stroje k tvarové dutině formy co možná nejkratší. S přihlédnutím k tomuto faktu byla vzdálenost mezi výstřiky v tvarové desce formy navržena na 124 mm, jak lze vidět na obrázku 54. Tato délka kanálku ušetří vstříkovaný materiál a současně poskytuje ve formě dostatek prostoru pro zakomponování dalších prvků formy, jako jsou temperační a vyhazovací systém nebo vodící elementy. [5]



Obr. 54 Zvolená délka rozváděcího kanálku.

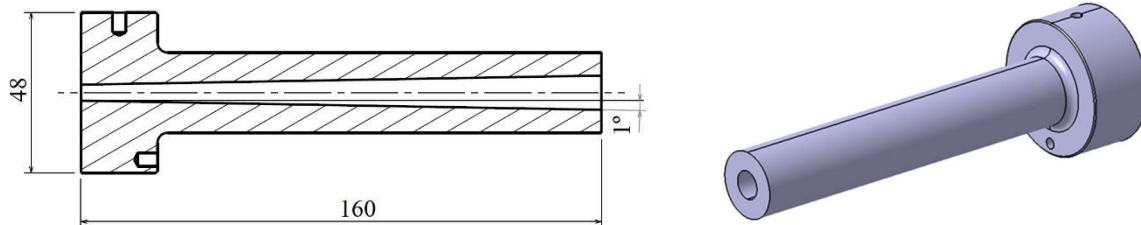
Rozváděcí kanálek je z důvodu co nejsnadnější vyrobiteľnosti a tím i ekonomické úspore při výrobě formy obroben do dělicí roviny. Konkrétně pak do desky číslo 3 pohyblivé části formy. Ze vztahu (3.2) byl předběžný průměr rozváděcího kanálku navržen na 5,5 mm. Obrobením kanálku do jedné desky se předejde možné nepřesnosti při obrábění půlených kanálů. Z tohoto důvodu však bude pro průřez kanálku zvolen lichoběžníkový tvar pod úkosem 5° pro snadnější odformování. Veškeré ostré hrany budou zaobleny na poloměr 2 mm. [31]

Vstříkovaný polymer je do rozváděcích kanálků v dělicí rovině veden hlavním vtokovým kanálem. Pro zajištění stejné délky toku do obou tvarových dutin musí být tento kanál umístěn ve středu formy mezi výstřiky. Kuželovitěho tvaru je docíleno pomocí nakupované vtokové vložky, která bude do formy zakomponována. Vstupní průměr vtokového kužele je zvolen na základě hmotnosti vstříkovaného dílce podle grafu na obrázku 55.



Obr. 55 Diagram pro volbu průměru hlavního vtokového kanálu [5].

Se známou hmotností výstřiku je doporučený průměr pro vstup taveniny roven přibližně 5 mm. Na základě tohoto rozměru a šířky desky č. 2 byl z nabídky komponent pro vstřikovací formy společnosti Meusburger vybrán vtokový kužel s označením E 1600, jehož hlavní rozměry jsou znázorněny na obrázku 56. Zvolený vtokový kužel disponuje otvorem pro kolík, který zajišťuje vložku proti protáčení během vstřikovacího procesu.



Obr. 56 Použitý vtokový kužel.

Prvním krokem při konstrukci vtokového ústí je volba jeho umístění na vyráběné součásti. Ta byla provedena již při posouzení technologičnosti vstřikovaného dílu. Se známou polohou vtokového ústí ještě zbývá navrhnout jeho geometrii. Vzhledem k poloze výstřiku ve formě a již navrženému rozváděcímu kanálu bylo zvoleno boční vtokové ústí obdélníkového tvaru.

Geometrii zvoleného vtokového ústí popisuje obrázek 57 a následující vztahy: [5]

$$h = n \cdot H, \quad B \leq D - 1,5 \text{ mm} \quad (3.12)$$

- kde:  $n$  - poměr  $B/h$  (v rozmezí od 0,3 do 0,6) – zvoleno 0,6 [-],  
 $H$  - tloušťka stěny výstřiku [mm],  
 $B$  - šířka vtokového ústí [mm],  
 $D$  - průměr rozváděcího kanálku [mm],  
 $h$  - výška vtokového ústí.

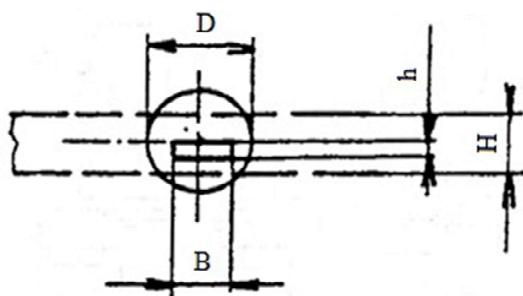
Po dosazení:

$$h = 0,6 \cdot 3 = 1,8, \quad B \leq 5,5 - 1,5 \text{ mm}$$

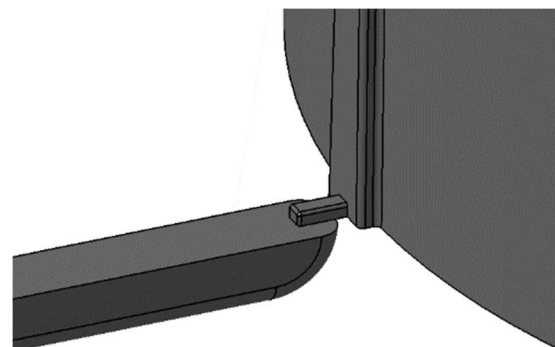
Šířka vtokového ústí  $B$  je poté [5]:

$$B = n \cdot h = 0,6 \cdot 1,8 = 1,08$$

Na základě předchozího výpočtu byla šířka vtokového ústí navržena na hodnotu 1,1 mm. Tento rozměr splňuje podmínku ze vztahu (3.12) a lze ho začlenit do návrhu. Obecně je při návrhu lepší volit menší rozměr vtokové ústí, který lze po prvotních zkouškách formy případně rozšířit. Zvolené ústí vtoku spojující rozváděcí kanálek s tvarovou dutinou výstřiku bude obrobena společně s onou dutinou do desky číslo 2, jak vykresluje obrázek 58. Bude se tedy jednat o variantu bočního vtoku s překryvem. [5]



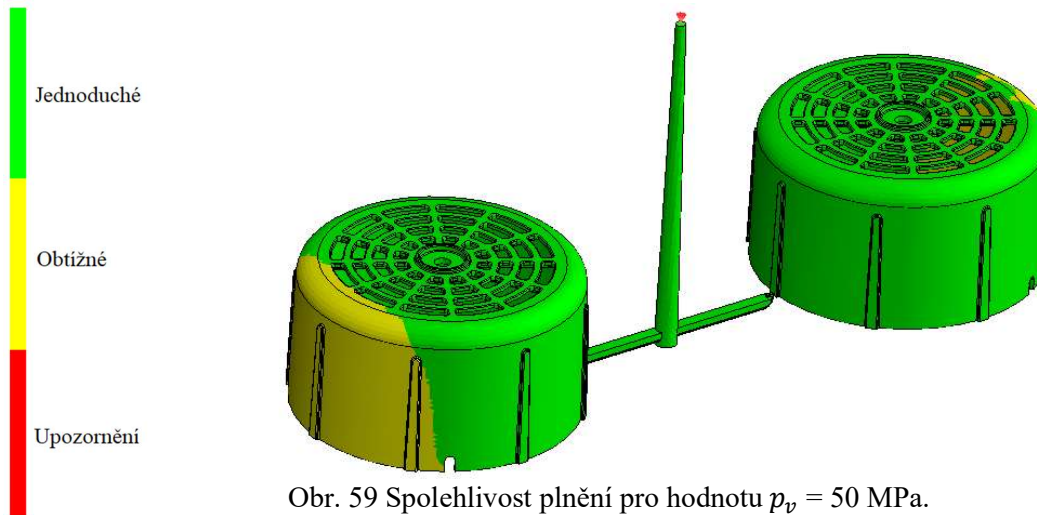
Obr. 57 – Rozměry ústí ze vztahu (3.12) [5].



Obr. 58 Pohled na navržené vtokové ústí.

Před dalším postupem je nutné provést ověření navržené vtokové soustavy simulací. Ta byla provedena v softwaru SolidWorks Plastics 2019. Vymodelovaný vtokový systém byl společně s výstřikou podroben analýze plnění. Jako vstupní hodnoty pro tuto analýzu posloužily parametry zvoleného materiálu z tabulky 2.

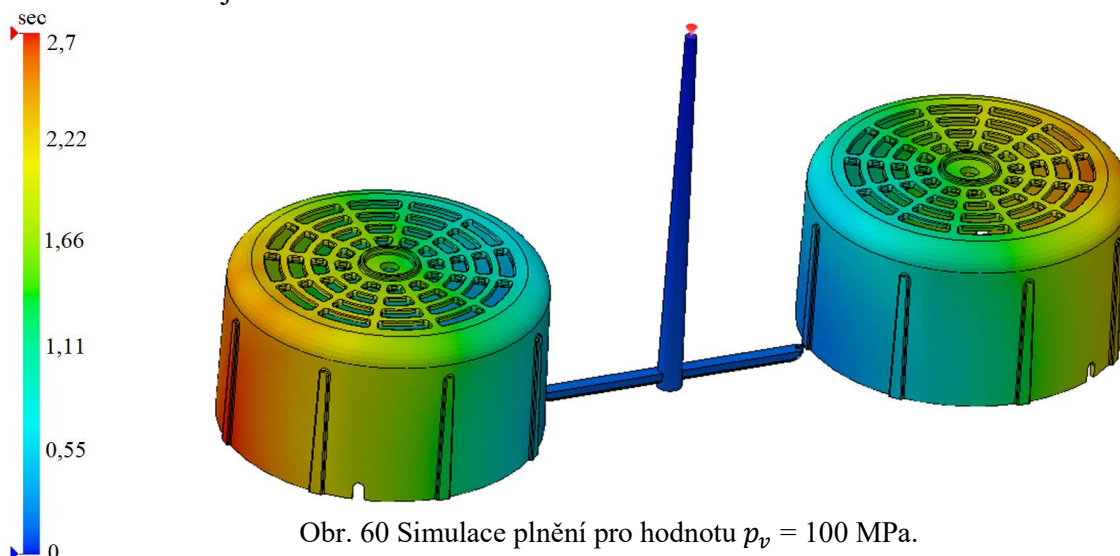
Pro materiál polypropylen je dle přílohy 3 doporučená hodnota vstřikovacího tlaku v rozmezí 50–120 MPa. Na základě tohoto údaje je pro simulaci nejprve nastavena nejnižší hodnota tohoto rozmezí. Při vstřikovacím tlaku 50 MPa byla provedena analýza snadnosti plnění. Ta vyšla s upozorněním, jak lze vidět na obrázku 59. Místa v největší vzdálenosti od vtokového ústí se jeví jako riziková z hlediska spolehlivosti plnění. Vzhledem ke geometrii výstřiky, umístění vtoku a zejména zvolenému tlaku byl takovýto stav očekáván.



Obr. 59 Spolehlivost plnění pro hodnotu  $p_v = 50$  MPa.

Pro další simulaci je proto podle přílohy 3 zvolen vstřikovací tlak 100 MPa. Při něm již proběhla analýza plnění a snadnosti zaplnění úspěšně. Celá dutina výstřiky bude v průběhu vstřikovacího cyklu za zvoleného tlaku zcela vyplněna. Výsledek analýzy snadnosti zaplnění je k nahlédnutí v příloze 4.

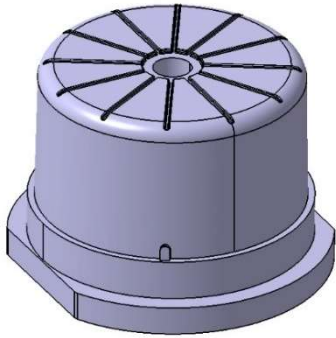
S takto nastavenými parametry určila analýza plnění nejdelší dobou naplnění dutiny na 2,7 s. Výsledek lze vidět na obrázku 60. Z tabulky 6 byla v předchozích kapitolách určena doba vstřikování o hodnotě  $t_v = 3$  s. Výsledná simulace tedy zpřesňuje výpočtem získanou předpokládanou dobu plnění. Velikost vstřikovacího tlaku se může a pravděpodobně bude v průběhu testů formy upravovat. Pro orientační ověření vtokového systému je však tato simulace dostačující.



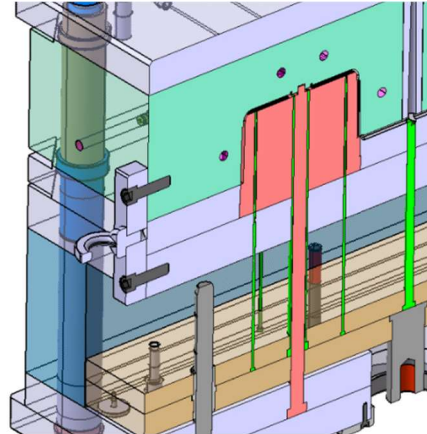
Obr. 60 Simulace plnění pro hodnotu  $p_v = 100$  MPa.

### 3.6 Dutina formy a tvarové vložky

Tvarová dutina vyráběného dílce bude ve formě umístěna v desce číslo 2. Vzhledem ke geometrii výstřiku a zamýšlené temperaci byl vnější tvar dílu obroben přímo do tvarové desky a pro docílení jeho vnitřního tvaru bylo použito tvarové vložky z nástrojové oceli (viz obr. 61). Jako materiál byla zvolena ocel 1.2312, která bude následně zakalena na nejvyšší hodnotu tvrdosti daného materiálu a popuštěna. Jak lze vidět na obrázku 62, tvarová vložka je ukotvena do desky číslo 3 a v jejím těle je 5 vrtných otvorů. Tyto otvory slouží pro vedení vyhazovacího systému.

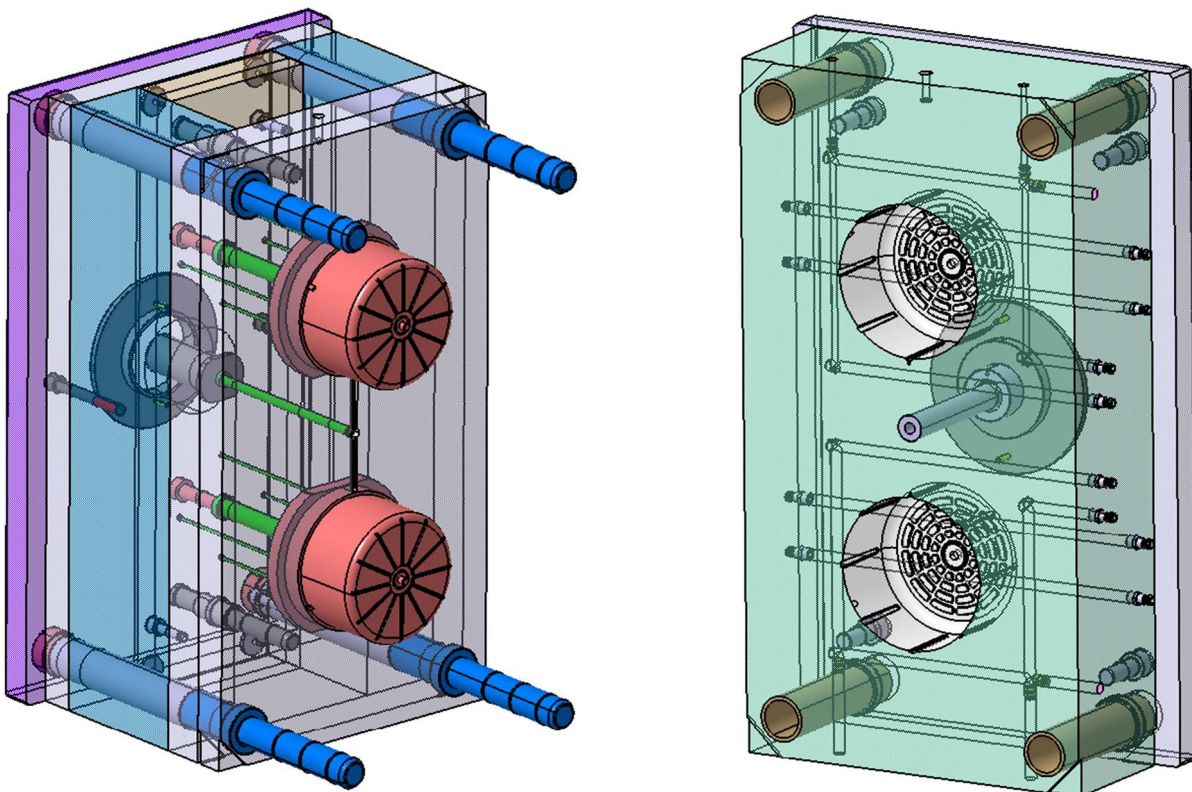


Obr. 61 Použitá tvarová vložka.



Obr. 62 Řez tvarovou dutinou formy.

V ose vložky je potom umístěno oddělené tvarové jádro. Jeho funkcí je zajistit vytvoření otvoru na čele součásti sloužícímu k uchycení krytu k tělu čerpadla. Na obrázku 62 lze vidět, že tvarová jádra procházejí narozdíl od vložky skrz formu až do desky číslo 8, kde jsou zapuštěna. Deska číslo 8 byla do návrhu formy přidána právě za tímto účelem. Toto konstrukční řešení bylo zvoleno pro možnost zakomponování trubkového vyhazovače na vnitřní stranu čela dílu. Obrázek 63 zachycuje pohled na obě části otevřené formy. Celý model formy je k nahlédnutí v příloze č. 5.



Obr. 63. Pohled na pevnou a pohyblivou část formy

### 3.7 Vyhazovací systém

O odformování výstřiku z dutiny formy se stará vyhazovací systém, jehož návrh se řídí geometrií vyráběného dílce. Pro konkrétní konstrukční řešení bylo v tomto případě zvoleno mechanické vyhazování pomocí systému složeného z nakupovaných vyhazovačů, jejichž délky byly upraveny do požadovaných rozměrů. Seznam a parametry jsou vypsány v tabulce 8. Zmíněné komponenty budou dodány společností Meusburger a lze je vidět na obrázku 64.

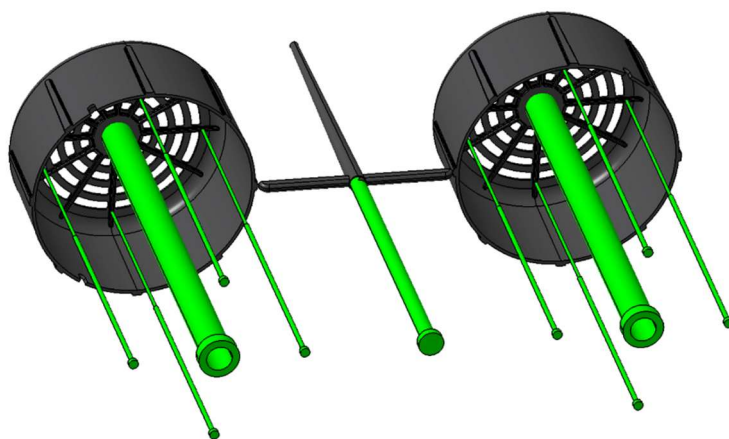


Obr. 64 Použité vyhazovače.

Tab. 8 Seznam nakupovaných vyhazovačů.

Označení výrobce	Název	Průměr	Délka	Materiál	Počet ks
E1720	Trubkový vyhazovač	20 mm	300 mm	1.2210	2 ks
E1710	Vyhazovač vtoku	10 mm	250 mm	1.2210	1 ks
E17003	Odsazený vyhazovač	2 mm	315 mm	1.3343	8 ks

Návrh zvoleného vyhazovacího systému byl zhotoven na základě geometrie dílce. Obecně je optimální volit umístění mechanických vyhazovačů tak, aby byly jejich dosedací plochy umístěny v místě výstřiku s největší tloušťkou stěny. Toto doporučení má za cíl předejít případnému poškození vyráběné součásti právě vlivem vyhazování z dutiny formy. Z toho důvodu bylo navrženo umístění vyhazovačů do vyztužených žebër na vnitřní straně dílu, jak znázorňuje obrázek 65. [5; 31]



Obr. 65 Poloha vyhazovačů na výstřiku.

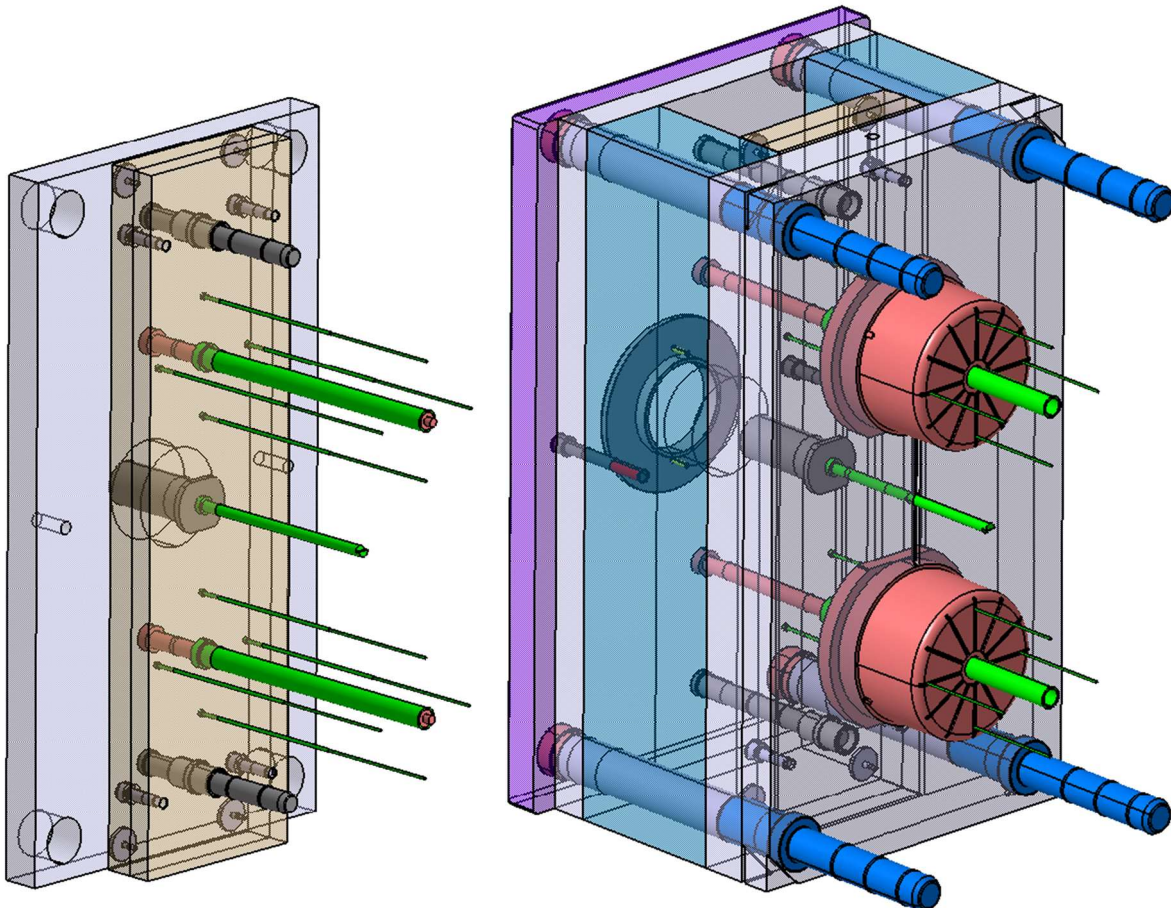
Obr. 66 Použitý přídržovač vtoku.

Trubkový vyhazovač, který je veden jádrem tvarové složky, dosedá na nejtužší místo výstřiku ve středu krytu. Jeho činnost je podpořena čtveřicí odsazených vyhazovacích kolíků umístěných do žebër. Takto zvolené umístění zanechá na výstřiku viditelné stopy. Jelikož se však jedná o vnitřní nepohledovou stranu produktu, jsou takové stopy z hlediska výroby přípustné.



Při otevření formy je nutné, aby výstřik včetně vtokové soustavy zůstal usazený na pohyblivé polovině formy. Toho bude docíleno mírným smrštěním dílce nad rámeček kompenzace smrštění použité u návrhu dutiny. I tak je však třeba toto usazení podpořit. K tomuto účelu se využívá tzv. přídržovače vtoků. Ten má za úkol při otevírání formy přidržit vtokový zbytek na svém původním místě a následně při procesu vyhození umožnit jeho odformování. Tento prvek se běžně umísťuje pod hlavní vtokový kanál a příklady konstrukčního řešení takových přídržovačů lze vidět v příloze 6. Jako vyhazovač vtoků byl použit kolík o průměru 10 mm na jehož konci byla vyhotovena geometrie, kterou lze vidět na obrázku 66. [5; 52]

Zmíněné vyhazovače jsou zaformovány do dvou k sobě upevněných desek tvořících vyhazovací paket. Ve středu soustavy desek je umístěna závitová vložka, k níž bude připojena vyhazovací jednotka stroje iniciující pohyb celého vyhazovacího systému. (viz obr. 67) Uspořádání desek formy bylo navrženo tak, aby byl tento systém schopen vysunout vyhazovače do polohy potřebné pro bezpečné odformování výstřiku. Na základě hloubky dílce byla velikost zdvihu vyhazovacího systému navržena na 103 mm. Na straně styku paketu s deskou č. 8 jsou pak umístěny 4 dorazové destičky pro hladké dosednutí. Celý systém lze vidět ve vysunutém stavu na obrázku 68.



Obr. 67 Vedení vyhazovacího paketu.

Obr. 68 Forma s vysunutými vyhazovači.

Vzhledem k velikosti formy bylo pro bezproblémový chod vyhazovacího paketu navrženo dodatečné vedení. To se skládá ze dvou vodících sloupků a pouzder zaformovaných do vyhazovacích desek. Vodící sloupky o průměru 20 mm jsou stejně jako tvarové jádro ukotveny do desky č. 8. Jejich podobu lze vidět na obrázku 67.

### 3.8 Temperační systém

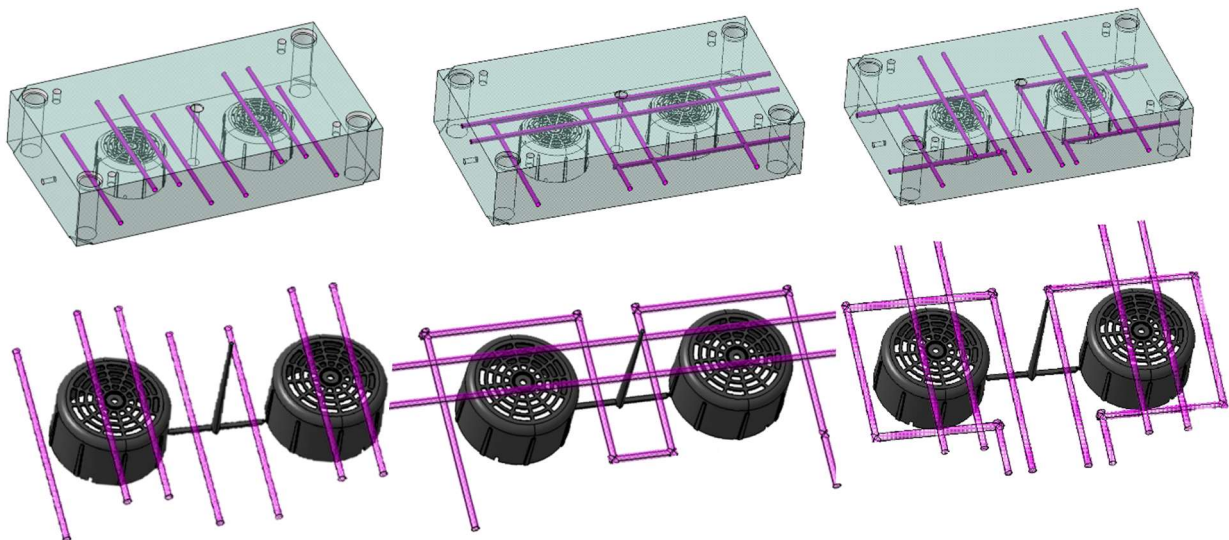
Před návrhem temperačního systému byla vztahem (3.7) vypočtena předpokládaná doba chlazení výstřiku. Zmíněný výpočet nicméně v tomto případě vzhledem k jeho nepřesnosti nelze použít. Zejména proto, že operuje se střední hodnotou tloušťky výstřiku a rovněž nezahrnuje vtokovou soustavu, jejíž vliv je při použité geometrii zásadní. Výsledná doba chlazení by tedy značně přesáhla dobu vypočtenou.

Z geometrie výstřiku a vtokové soustavy se vzhledem k největším tloušťkám stěny jeví jako nejproblématictější místa výztuže na čele krytu a nejšířší část vtokového kužele. Ke snížení potřebné doby do odformování výstřiku z dutiny formy bylo proto zejména v těchto místech doporučeno použít temperačního systému. O chlazení výstřiku v průběhu vstřikovacího procesu se proto stará systém vrtaných temperačních kanálů umístěných do desky č. 2 obsahující tvarovou dutinu formy. Tabulka 9 udává doporučené uspořádání pro volbu jejich rozměrů a uspořádání ve formě na základě tloušťky stěny dílce.

Tab. 9 Doporučené rozměry a uspořádání temperačních kanálů [31].

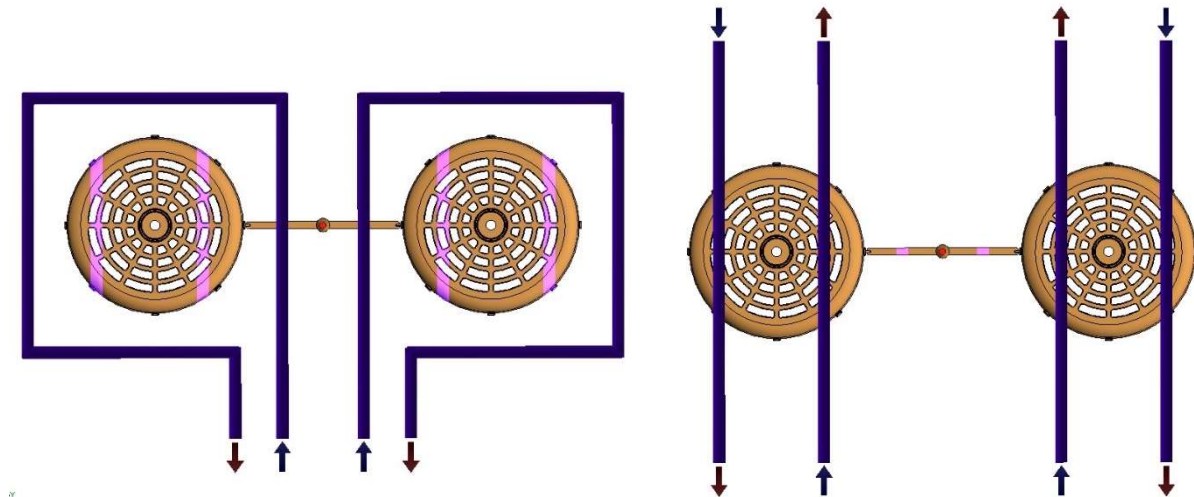
Tloušťka stěny vstřikovaného dílu $t$ [mm]	Vzdálenost osy temperačního kanálu od dutiny vstřikovací formy $A$ [mm]	Vzájemná vzdálenost os sousedních temperačních kanálů $v$ [mm]	Průměr temperačního kanálu $D$ [mm]
0 – 1	10 – 14	10 – 12	5 – 6
1 – 2	10 – 20	12 – 16	6 – 8
2 – 4	20 – 25	16 – 22	8 – 10
4 – 6	25 – 35	22 – 28	10 – 12
6 – 8	32 – 42	28 – 36	12 – 16
8 – 12	42 – 55	36 – 50	16 – 20

Ze známé tloušťky byl dle tabulky zvolen průměr temperačních kanálků 10 mm. Vzdálenost os temperačního systému od dutiny formy byla pak dle stejné tabulky navržena na 25 mm a vzdálenost mezi osami sousedních kanálků 22 mm. Vzhledem k předpokládaným teplotám formy bude jako temperační médium zvolena voda. Při konstrukci formy bylo uvažováno více možných variant temperačního systému. Tyto varianty jsou znázorněny na obrázku 69.



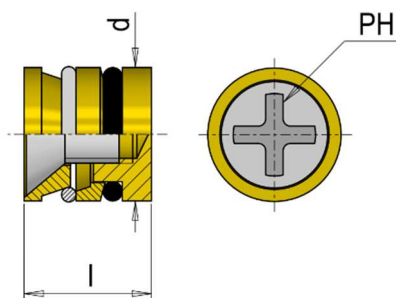
Obr. 69 Uvažované varianty temperačního systému.

Ze zobrazených možností byl vybrán jako neoptimálnější poslední temperační systém ze zobrazených. Jeho podobu popisuje příloha č. 7. Ač se nejedná o výrobně nejjednodušší z nabízených variant. Zvolen byl zejména kvůli nejrovnoměrnějšímu umístění chlazení okolo tvarové dutiny a stejně tak i odvodu tepla z formy, který zajistí co možná nejlepší kvalitu vstříkovaného dílu. Tato varianta obsahuje 2 oddělené okruhy, které lze vidět rozkreslené na obrázku 70.

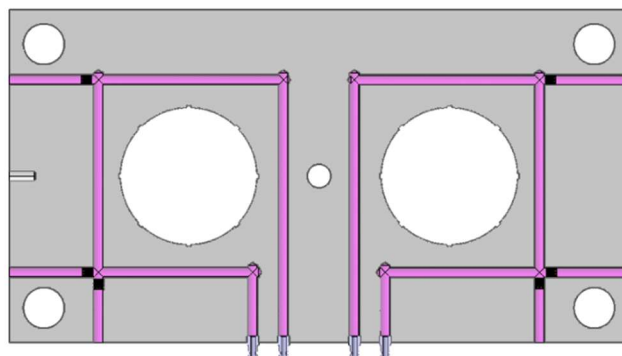


Obr. 70 Proudění chladicího média spodním a horním okruhem.

K co nejjednodušší obsluze a případným úpravám budou mít oba zobrazené okruhy vývody na stejné straně formy. Jak lze vidět na obrázku, horní okruh prochází příčně skrz desku a na straně opačné k vývodům bude propojen nakupovanou hadicí. Spodní okruh je výrobně náročnější, jelikož je nutné ho vrtat ze 3 stran desky. Pro docílení proudění dle navrženého schématu jsou do formy instalovány zátky k zaslepení otvorů po vrtání. Obrázek 71 zachycuje jednu ze zásepkek k tomuto účelu využitých. Jedná se o zásepkeku s O-kroužkem s označením E 2079 od společnosti Meusburger. Zvolené zátky se zavedou do temperačního kanálu, kde se dotažením šroubu utěsní. Takto utěsněný kanál dokáže odolávat maximálnímu tlaku 10 barů a teplotě vody 100° C. Výhodou jejich použití je fakt, že narozdíl od klasických zásepkek lze tuto zátku zavést otvorem přímo až k navržené temperační cestě (jak lze vidět na obrázku 72) a zabránit tak případným problémům s cirkulací temperačního média. [5; 31; 77]



Obr. 71 Detail použité zátky [77].

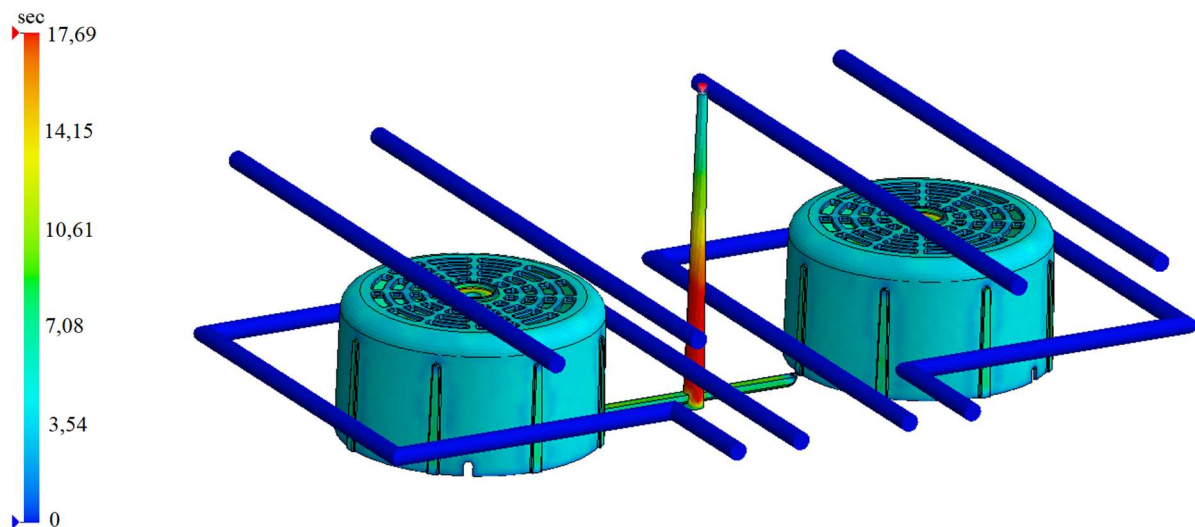


Obr. 72 Řez rovinou spodního temperačního okruhu.

Vývody temperačního systému jsou opatřeny závity, do nichž jsou při montáži umístěny mosazné přípojky od stejného dodavatele. Zvolené řešení je schopné odolat provoznímu tlaku o velikosti 15 barů a rovněž dovoluje instalaci tzv. rychlospojek pro snadné připojení hadic chlazení. [77]

Takto navržený temperační systém byl podroben simulaci chlazení. Jako vstupní data posloužily parametry z tabulky 2. Teplota okolí byla nastavena na 30° C a teplota temperačního média na 25° C. Simulace počítá s chlazením součásti až do teploty vyhození, která byla stanovena na 90° C. Při návrhu se počítá s možnou úpravou zmíněných teplot. Zejména pak teplota média bude přizpůsobena podle prvotních testů.

Při takto zvolených vstupech vyšla nejdelší doba chlazení na teplotu odformování na 17,69 s. Výsledná hodnota koresponduje s vypočtenou hodnotou chlazení výstřiku ze vztahu (3.7). Z obrázku 73 lze vyčíst, že dobu chlazení značně prodlužuje hlavní vtok. To je způsobeno jeho větším průměrem, který je daný výškou pevné části formy. Pro budoucí návrh by proto bylo vhodné zaměřit se právě na chlazení v okolí vtokového kužele hlavního vtoku. Detailnější obrázky zmíněné simulace jsou obsaženy v příloze 8.

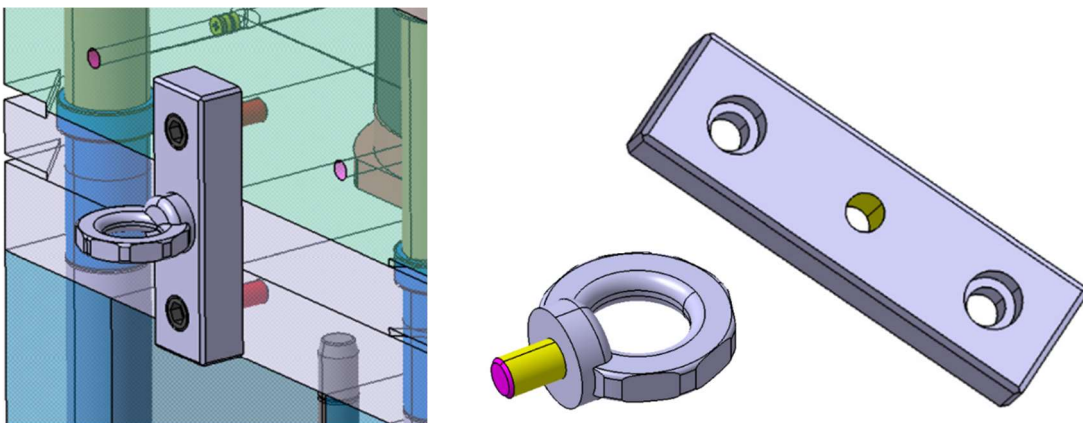


Obr. 73 Provedená simulace chlazení.

### 3.9 Manipulační prvky a vedení formy

Kromě navržených desek a prvků temperačního, vtokového a vyhazovacího systému musí navrhovaná forma obsahovat i další komponenty nezbytné pro její správnou funkčnost. Mezi takové patří zejména vedení formy, manipulační prvky, spojovací materiál a řešení zajišťující správné usazení formy na vstřikovací stroj.

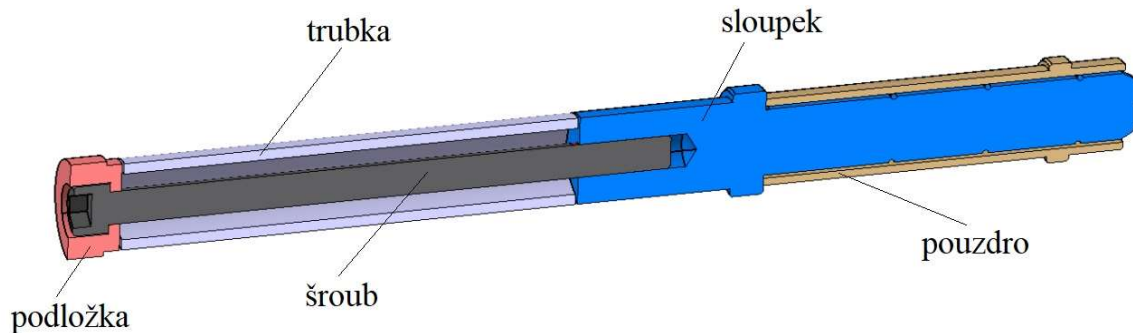
Vzhledem k velikosti a hmotnosti výsledné formy bylo nutné do návrhu zakomponovat komponenty sloužící k bezpečné manipulaci. K tomu účelu byla na formu instalována sestava transportního kvádry se závěsným okem. Jejich podobu lze vidět na obrázku 74.



Obr. 74 Manipulační prvky formy.

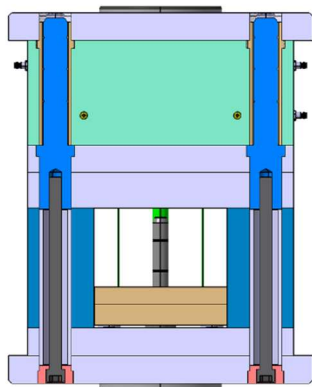
Pomocí zvoleného řešení bude v případě potřeby možné přepravovat formu dílenským jeřábem. Transportní oko (viz obrázek 74) je opatřeno závitem přes který je uchyceno do transportního kvádrů. Kvádr je uchycen do desek pomocí dvou šroubů M12 a díky němu je během manipulace pevná část formy fixována k části pohyblivé. Nehrozí tak otevření formy v průběhu manipulace. [31]

Dalším velice důležitým prvkem formy je pak její vedení. Vodicí prvky jsou součástí zajišťující dodržení správné a přesné polohy pohyblivé a pevné části vstřikovací formy během celého výrobního procesu. Vzhledem k velikosti pohyblivé části formy byl místo konvenčně nabízeného způsobu vedení navrženo řešení, které je zakresleno na obrázku 75. To se skládá z podložky, šroubu M16, trubky o průměru 42 mm, vodicího pouzdra a vodicího sloupku. [31]

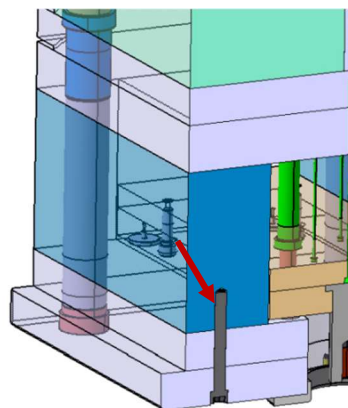


Obr. 75 Navržené vedení hlavních desek.

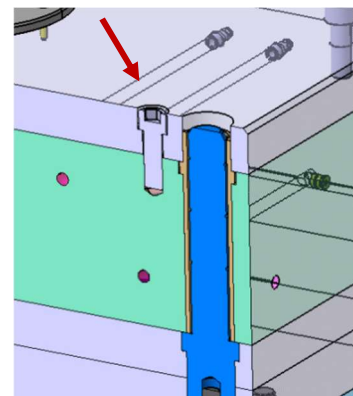
V navrženém vedení je šroub zaveden skrz podložku a trubku až k vodicímu sloupku obsahujícímu závit. Do něho je šroub uchycen a dochází tak ke stažení celé pohyblivé části formy. Toto spojení lze vidět také na obrázku 76. Zmíněné konstrukční řešení je podpořeno šrouby M12 umístěnými ve středu rozpěry (viz obr. 77). Upínací deska č. 1 je k tvarové desce č. 2 upevněna pomocí šroubů M16 (viz obr. 78).



Obr. 76 Vedení formy.



Obr. 77 Přídavný šroub.



Obr. 78 Uchycení desky č. 1.

### 3.10 Volba vstřikovacího stroje

Při vstřikování plastů je podstatnou částí návrhu ovlivňující výrobu součásti v požadované kvalitě také volba vhodného vstřikovacího stroje. Ten by měl být vybrán tak, aby byl schopen dosáhnout požadavků, které na jeho parametry klade navržená forma. Jedná se například o dostatečnou vstřikovací kapacitu, vstřikovací tlak, potřebnou přidržovací sílu, ale i rozměry formy. Tyto výchozí hodnoty jsou stanoveny geometrií formy nebo výpočty a simulačními softwary. Přesné hodnoty zmíněných parametrů jsou později optimalizovány až na základě zkoušek. Stroj však musí být zvolen tak, aby byl uvažovaných rozsahů výrobních parametrů schopen. [5; 30]

Řadu potřebných parametrů se podařilo získat již v předchozích částech práce. Pro optimální výběr stroje je však potřeba ještě provést některé dodatečné výpočty. Prvním z nich je tvářecí tlak, který popisuje vzorec: [39]

$$p_A = \frac{p_V}{2} + 100 = \frac{1200}{2} + 100 = 700 \text{ bar} , \quad (3.13)$$

kde:  $p_V$  - vstřikovací tlak (zvolen nejvyšší pro PP z přílohy 3) [bar].

Dalším parametrem nutným k volbě stroje je přidržovací síla  $F_p$ . Jedná se o sílu potřebnou k udržení formy v uzavřeném stavu během procesu vstřikování. K jejímu určení je nutné znát plochu průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny. Její přibližná hodnota byla získána z programu Catia V5 jako  $A_D = 34\,227 \text{ mm}^2 = 342,27 \text{ cm}^2$ . [39]

Se znalostí této hodnoty se vypočte přidržovací síla  $F_p$  jako [39]:

$$F_p = A_D \cdot \frac{p_A + 100}{100} = 342,27 \cdot \frac{700 + 100}{100} = 2738 \text{ kN} \quad (3.14)$$

Stanovení optimálního průměru šneku  $D_S$  [mm] se provede dle vztahu [39]:

$$\begin{aligned} 7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \\ 7,5 \cdot \sqrt[3]{181,88} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{181,88} \\ 42,49 < D_S < 59,49 , \end{aligned} \quad (3.15)$$

kde:  $V_D$  - dávka taveniny (dosazena ze vztahu 3.6) [ $\text{cm}^3$ ].

Podle výsledného intervalu ze vztahu (3.15) musí být dle tabulky 10 vybrán standardizovaný rozměr šneku. [39]

Tab. 10 Standardizované průměry šneků vstřikovacího stroje [39].

Průměry šneků $D_S$ [mm]											
20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90

Dle tabulky 10 je zvolen šnek o průměru  $D_S = 55 \text{ mm}$ .

Délka dráhy pohybu šneku  $L_S$  [mm] udává vzdálenost, o kterou se musí šnek pro vstříknutí požadované dávky taveniny posunout v tavném válci. Vypočítá se vzorcem: [39]

$$\begin{aligned} L_S &= \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_S^2} \\ L_S &= \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 181,88}{\pi \cdot 55^2} \\ L_S &= 76,55 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Vypočtená dráha pohybu šneku musí splňovat následující podmínku [39]:

$$\begin{aligned} D_S < L_S < 3 \cdot D_S \\ 55 < 76,55 < 3 \cdot 55 \\ 55 < 76,55 < 165 \end{aligned} \quad (3.17)$$

Vztahem (3.17) je podmínka splněna a je potvrzena dráha pohybu šneku  $L_S$ .

Výpočet otáček šneku vstřikovacího stroje  $n_s$  [ $min^{-1}$ ]: [39]

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s}, \quad (3.18)$$

kde:  $v$  - maximální obvodová rychlost šneku pro plastikaci taveniny [-].

Pro PP je maximální obvodové rychlosti šneku pro plastikaci taveniny  $v$  rovna 0,3. [39]

Po dosažení jsou pak otáčky vstřikovacího stroje: [39]

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 55}$$

$$n_s = 104,17 \text{ min}^{-1}$$

Vstřikovací rychlost [ $cm^3 \cdot s^{-1}$ ] je dána vzorcem: [39]

$$v_s = \frac{V_D}{t_V}, \quad (3.19)$$

kde:  $t_V$  - doba vstřikování (zvoleno 2,7 - dle simulace) [s].

Po dosažení:

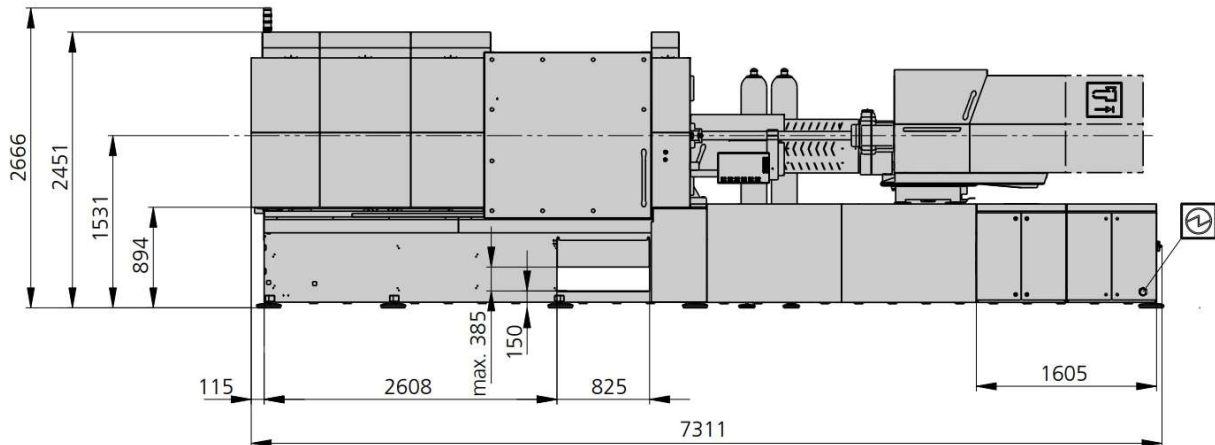
$$v_s = \frac{181,88}{2,7}$$

$$v_s = 67,36 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Na základě provedených výpočtů a parametrů procesu z předcházejících kapitol byl pro výrobu dílce vybrán vstřikovací stroj Allrounder 720 S od společnosti Arburg. Jedná se o hydraulický vstřikovací stroj, jehož hlavní rozměry lze vidět na obrázku 79. Do stroje bude pořízena vstřikovací jednotka s označením 1300. Následující tabulka 11 popisuje parametry, které byly použity pro volbu stroje. Technický list stroje je obsažen v příloze 9. [78]

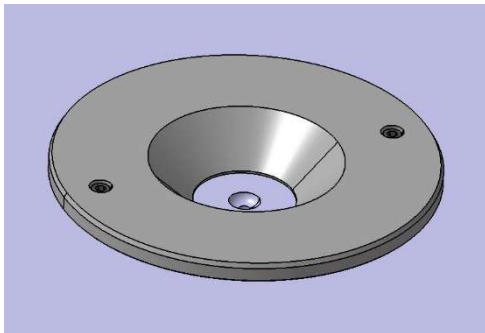
Tab. 11 Porovnání parametrů návrhu a zvoleného stroje [78].

Porovnávaný parametr	Hodnota návrhu	Hodnota stroje	Zhodnocení
Vstřikovací tlak [MPa]	100	238	Vyhovující
Přidržovací síla [kN]	2738	3200	Vyhovující
Průměr šneku [mm]	55	55	Vyhovující
Velikost dávky taveniny [ $cm^3$ ]	181,88	570	Vyhovující
Velikost formy	646 x 396	1040 x 1040	Vyhovující
Výška formy	482	300-800	Vyhovující
Rychlost [ $cm^3 \cdot s^{-1}$ ]	67,36	713	Vyhovující
Vzdálenost mezi sloupky [mm]	574 x 274	720 x 720	Vyhovující
Zdvih otevření [mm]	215	700	Vyhovující
Zdvih vyhazovače [mm]	103	250	Vyhovující
Plastikační kapacita [Kg/hod]	26,48	86	Vyhovující

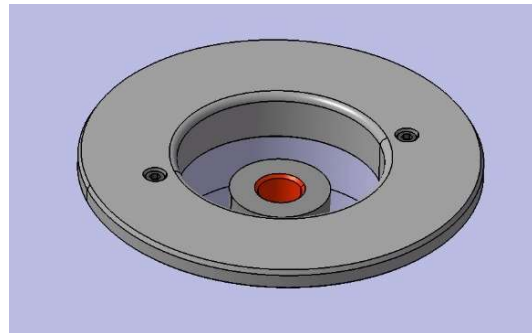


Obr. 79 Zvolený vstřikovací stroj [78].

Vybranému stroji musí být také přizpůsobeny některé komponenty formy. Navržené rozměry desek formy jsou pro zvolený stroj dle tabulky 11 dostačující. Součásti, které se musí stroji přizpůsobit jsou středící kroužky. Jedná se o komponenty, jejichž náplní je usnadnit uchycení formy do vstřikovacího stroje. Vnější průměr kroužku musí korespondovat s otvorem ve stole stroje. Na základě přílohy 9 byly pro návrh formy vybrány středící kroužky s označením E1362 (pro pevnou část formy) a E1367 (pro pohyblivou část formy) o vnějších průměrech 160 mm od společnosti Meusburger. Jejich zakomponování do formy lze vidět na obrázcích 80 a 81. [77; 78]



Obr. 80 Středící kroužek E1362.



Obr. 81 Středící kroužek E1367.

### 3.11 Dodatečné analýzy a simulace

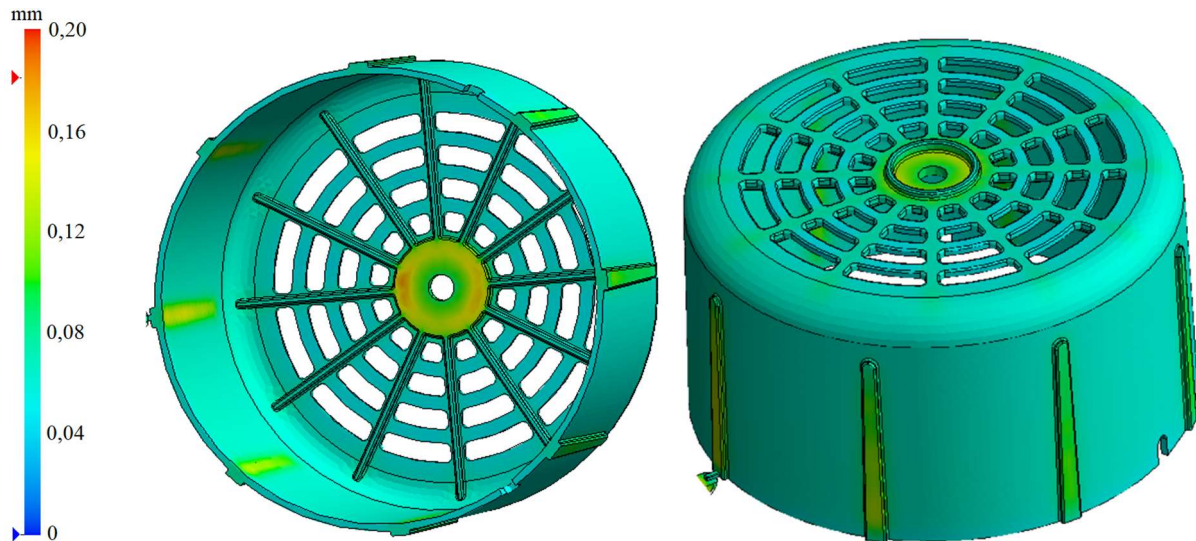
Simulace pomocí vhodného softwaru se běžně využívají pro ověření vyrobiteľnosti a případných vad při vývoji nových produktů. Pomáhají tak šetřit čas i náklady. V praxi totiž bez těchto simulací nelze ověřit navržený koncept výrobního řešení jinak než zkušebními testy nové formy. Simulací tak lze předcházet případnému výskytu nevyhovujícího dílce nebo procesu výroby a s tím spojenými náklady na úpravu formy. [79; 80]

Dnes se s čím dál tím větší dostupností podobných softwarů využívá podpůrných simulací již v raných fázích vývoje. Konstruktor díky nim dokáže bezprostředně ověřovat navržený design a odhalit tak případné nedostatky svého řešení hned v zárodku. Úprava nevhodného konstrukčního řešení či optimalizace toho stávajícího je pak pro konstruktéra mnohem snazší a pro firmu tím ekonomicky výhodnější. [79; 80]

Ve fázích konstrukce vtokového a temperačního systému formy již proběhly potřebné simulace sloužící k jejich optimálnímu návrhu a následnému ověření funkčnosti. V poslední fázi konstrukce před výrobou navržené formy je však ještě vhodné provést některé další analýzy vstřikovaného dílu.



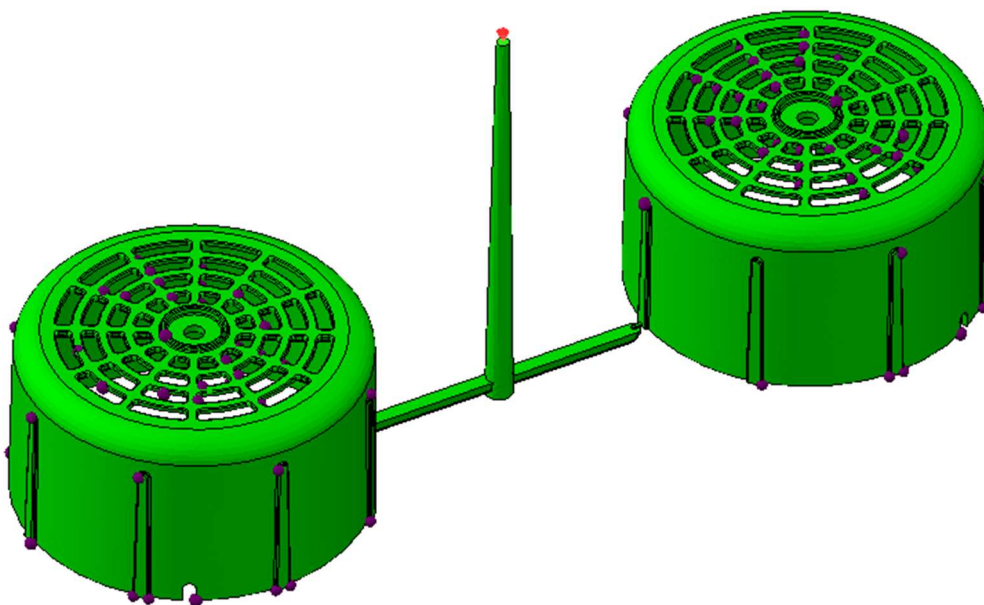
První z těchto analýz je simulace na vznik propadlin. Tyto povrchové vady mají negativní vliv na vzhled výsledného dílu. Zmíněná simulace byla navržena vzhledem ke geometrii výstříku, která obsahuje několik míst s větší tloušťkou stěny, než je na zbytku dílce. Výsledky této analýzy jsou znázorněny na obrázku 82. [24]



Obr. 82 Výsledky analýzy vzniku propadlin na výstříku.

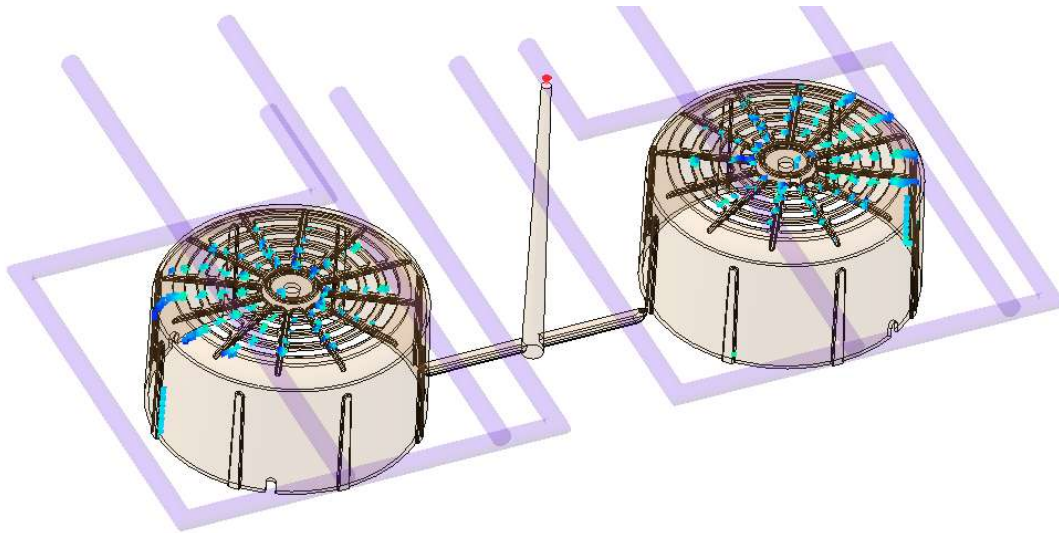
Dle předpokladu jsou místa náchylná na vznik propadlin situována v žebrech a naproti nim. Dle tohoto předpokladu také vyšla simulace vzniku propadlin, jak lze vidět na obrázku 82. Maximální tolerovatelná hodnota propadlin byla určena na 0,2 mm. Této hodnoty simulací dosaženo nebylo. Největší propadliny vznikají na vnitřní nepohledové straně dílu. Ani zde však nedosahují maximální přípustné hodnoty. Výstřík je tedy z tohoto hlediska vyhovující.

Dalším defektem, který by mohl při vstřikování dílu vznikat jsou vzduchové kapsy. Provedená simulace odhalila jejich možný výskyt v místech označených fialovými body na obrázku 83. Vzniklé vzduchové kapsy jsou ve vstřikovacím procesu nežádoucí, jelikož mohou vést k Diesel efektu. Po prvních testech na reálné formě by bylo v případě potvrzení vzniku těchto defektů provést v příslušných místech odvzdušnění. [24]



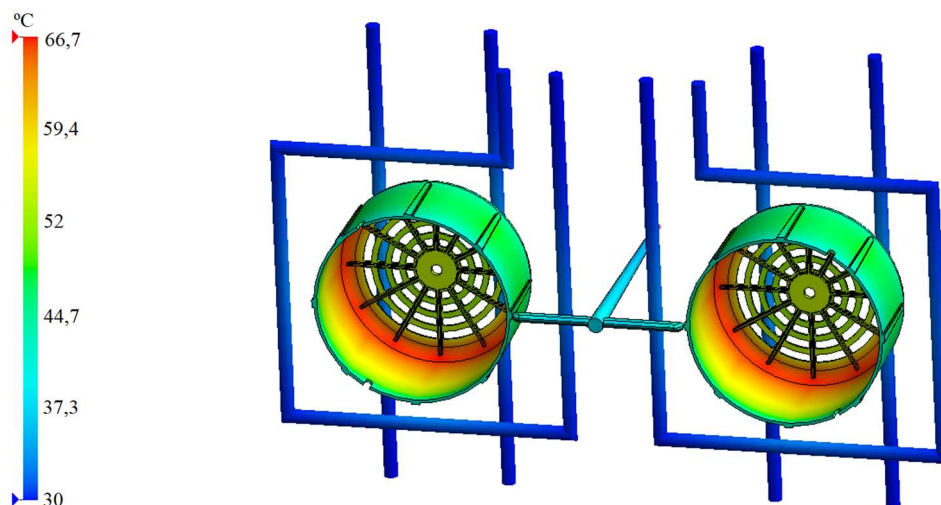
Obr. 83 Výskyt vzduchových kapes.

Vzhledem ke geometrii dílu je zásadní se zabývat také možným vznikem studených spojů. Predikovaná místa jejich výskytu jsou vykreslena modrou barvou na obrázku 84. Pokud by se při dalším testování formy skutečně výskyt studených spojů potvrdil, bylo by k jejich eliminaci nutné provést příslušná opatření. V prvním kroku provést v místě odvzdušnění. Poté je možné zvýšit teplotu formy, taveniny a případně i vstřikovací rychlost. Pokud by takováto optimalizace výrobního procesu nepomohla, bylo by nutné upravit vtokovou soustavu a její ústí, případně zakomponovat do formy lokální ohřev v podobě topných těles nebo temperačního okruhu. [24; 61]



Obr. 84 Místa náchylná na vznik studených spojů.

Poslední z dodatečně provedených analýz je zobrazení teploty formy na konci chlazení. Teplota formy pro vstřikovaný materiál byla v tabulce 2 definována v rozmezí 20–60 °C. O rovnoměrné chlazení formy na tuto teplotu se stará navržený temperační systém. Analýza v příloze 10 zobrazuje teplotu formy v místech styku její stěny s vyráběným výstřikem před otevřením formy a rovněž průměrnou teplotu formy během cyklu. První ze zmíněných též zobrazuje Obr. 85. Z uvedené simulace jasně vyplývá dodržení teploty na vnějším povrchu dílce. Místo, které se jeví jako krizové je na vnitřní geometrii krytu, která je formována tvarovou vložkou. Zde teplota formy přesahuje doporučenou teplotu o 6 °C. V rámci celé formy se jedná o faktor narušující rovnoměrné rozložení teploty ve formě a jako podnět pro budoucí vývoj je doporučeno zvážit umístění temperačního systému, například v podobě vrtaných kanálů opatřených systémem přepážek, i do tvarových vložek v pohyblivé části formy.



Obr. 85 Teplota formy po fázi ochlazování.

## 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Každý konstrukční návrh musí být řešen s přihlédnutím na náklady spojené s jeho výrobou. Konstruktor se musí v praxi při designu nového produktu řídit nejenom jeho vyrobiteľnosťou, ale i výslednou cenou. Podle toho pak musí volit kompromisy a obecně se snažit dimenzovat výrobek tak, aby bylo zajištěno jeho požadovaných vlastností za co nejnižší výrobní náklady.

Následující technicko-ekonomické zhodnocení využívá obecných vzorců a zjednodušení pro odhad výsledné ceny navrženého produktu. Tato cena je závislá na velkém množství proměnných a neznámých faktorů, jako jsou režie podniku a další. Předem je proto nutné podotknout, že se jedná pouze o výsledky orientační a výsledné náklady se od nich můžou lišit. Zhodnocení se skládá ze série výpočtů, na jejichž základě bude určena cena krytu. [39; 81; 82]

První položkou jsou náklady na vstupní materiál pro formu. Ty jsou součtem pořizovací ceny nakupovaných standardizovaných komponentů od společnosti Meusburger (viz příloha 11) a odhadnuté ceny zbylých vyráběných komponent. Na základě těchto údajů jsou náklady na materiál pro výrobu formy ( $C_{mf}$ ) stanoveny na 250 000 Kč. Se známou hodnotou  $C_{mf}$  lze vypočítat celkové náklady na formu dle vzorce: [39]

$$C_F = C_{kf} + C_{vf} + C_{mf} = 50\,000 + 300\,000 + 250\,000 = 600\,000 \text{ Kč} \quad (4.1)$$

kde:  $C_{kf}$  - náklady na konstrukci formy [Kč],  
 $C_{vf}$  - náklady na výrobu formy [Kč],  
 $C_{mf}$  - náklady na vstupní materiál formy [Kč].

Z celkových nákladů je nutné určit náklady na amortizaci formy. Popsány vzorcem: [39; 81]

$$N_f = \frac{C_F \cdot N}{Z_f \cdot n_T} = \frac{600\,000 \cdot 300\,000}{800\,000 \cdot 2} = 112\,500 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

kde:  $N$  - velikost výrobní série [ks],  
 $Z_f$  - životnost formy – zvoleno 800 000 [počet cyklů],  
 $n_T$  - termínová násobnost formy [-].

Další položkou je použitý granulát. Hmotnost dávky granulátu použité na jeden díl činí:

$$N_{gks} = V_D \cdot \rho = 181,88 \cdot 0,91 = 165,51 \text{ g} \quad (4.3)$$

kde:  $V_D$  - objem dávky taveniny (ze vztahu 3.6) [ $cm^3$ ].

Pro následující vzorec byla zjištěna přibližná cena za pořízení granulátu PP. Ta činí 1,5 € za kg. Při aktuálním kurzu 23,76 Kč za € je tak výsledná cena stanovena na 35,64 Kč za kg granulátu [83; 84]. Náklady na granulát na výrobu celé série tak činí:

$$N_{gc} = C \cdot N_{gks} \cdot N = 35,64 \cdot 0,165 \cdot 300\,000 = 1\,764\,180 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

kde:  $C$  - cena za kg granulátu [Kč].

Do výsledné ceny není započítána recyklace vtokové soustavy. Vtokové zbytky z výrobního procesu se nabídnou k odprodeji. Výsledné reálné náklady by tak byly o tuto hodnotu nižší.

Pro co nejpřesnější odhad ceny výsledného produktu je nutno dále započítat náklady na provoz stroje. Čistý strojní čas popisuje vzorec: [39]

$$t_{s\check{c}} = \frac{N \cdot t_C}{n_T \cdot 3600} = \frac{300\,000 \cdot 24,61}{2 \cdot 3600} = 1025 \text{ hod} , \quad (4.5)$$

kde:  $t_C$  - čas cyklu [s].

Celkový čas produkce je: [39]

$$t_{\check{c}p} = \frac{t_{s\check{c}}}{K} = \frac{1025}{0,8} = 1281,25 \text{ hod} , \quad (4.6)$$

kde:  $K$  - koeficient využití času (0,7 - 0,9) - zvoleno  $K = 0,8$  [-].

Stanovení podílu z ročního odpisu stroje Allrounder Arburg 720 S pro výrobní sérii: [39]

$$N_{os} = \frac{C_s}{t_0 \cdot 365 \cdot 24} \cdot t_{\check{c}p} = \frac{4\,500\,000}{6 \cdot 365 \cdot 24} \cdot 1281,25 = 109\,696 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

kde:  $C_s$  - náklady na pořízení stroje [78] [Kč],  
 $t_0$  - doba odpisu stroje [rok].

Pro následující vztah je nutné znát cenu provozu stroje za hodinu. Na základě příkonu stroje a aktuální ceny elektřiny za kWh byla tato hodnota odhadnuta na  $C_{ps} = 532$  Kč/h. [85] Celkové náklady na provoz stroje po dobu série se pak vypočítají následovně: [39]

$$N_{ps} = t_{s\check{c}} \cdot C_{ps} + N_{os} = 1025 \cdot 532 + 109\,696 = 654\,996 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Ke zvolenému stroji je třeba umístit operátora. Náklady na jeho mzdu činí: [39]

$$N_{mo} = t_{\check{c}p} \cdot N_{hm} = 1281,25 \cdot 200 = 256\,250 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

kde:  $N_{hm}$  - hrubá mzda operátora (zvoleno 200) [Kč · h<sup>-1</sup>]

S výsledky výše uvedených výpočtů již lze nyní určit celkové variabilní náklady. Variabilní (nebo těž přímé) náklady jsou započítané náklady na konkrétní sérii. Charakteristickým znakem je, že se zvyšují společně s rostoucí výrobou. [82; 81] Celkové variabilní náklady jsou: [39]

$$N_{pn} = N_{gc} + N_{ps} + N_{mo} + N_f \quad (4.10)$$

$$N_{pn} = 1\,764\,180 + 654\,996 + 256\,250 + 112\,500 = 2\,787\,926 \text{ Kč}$$

Druhým typem jsou nepřímé náklady. Často označovány jako režijní nebo těž fixní. Jedná se o prostředky vynaložené na řízení a fungování výrobního podniku a nejsou nijak ovlivněny právě vyráběnou sérii. Jelikož v tomto případě nelze stanovit přesné hodnoty, budou následující režie vypočítávány ze mzdy operátora dle následujících zjednodušení: [39; 81; 82]

Výrobní režie pokrývající náklady na údržbu, energie a opravy: [39; 81]

$$N_{VR} = VR \cdot N_{mzdaop} = 1,3 \cdot 256\,250 = 333\,125 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

kde:  $VR$  - koeficient mzdy výrobní režie (130%) [-]

Správní režie je zodpovědná za správu a vedení podniku. Patří sem například HR nebo účetní oddělení. Vypočtena vzorcem: [39; 81]

$$N_{SR} = SR \cdot N_{mzdaop} = 0,6 \cdot 256\,250 = 153\,750 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

kde:  $SR$  - koeficient mzdy správní režie (60%) [-]

Odbytová režie obsahující náklady na skladování a expedici: [39; 81]

$$N_{OR} = OR \cdot N_{mzdaop} = 0,3 \cdot 256\,250 = 76\,875 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

kde:  $OR$  - koeficient mzdy odbytové režie (30%) [-]

Takto získané celkové nepřímé náklady pak činí: [39; 81]

$$N_{nn} = N_{VR} + N_{SR} + N_{OR} \quad (4.14)$$

$$N_{nn} = 333\,125 + 153\,750 + 76\,875 = 563\,750 \text{ Kč}$$

Součtem přímých a nepřímých nákladů lze vypočítat celkové náklady na výrobní sérii: [39]

$$N_{cn} = N_{pn} + N_{nn} = 2\,787\,926 + 563\,750 = 3\,351\,676 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

Náklady na výrobu jedné součásti bez DPH tak vycházejí: [39]

$$N_{ks} = \frac{N_{cn}}{N} = \frac{3\,351\,676}{300\,000} = 11,17 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

Plánovaný zisk na celou sérii byl stanoven na 40 % z celkových nákladů. Velikost plánovaného zisku je tak: [39]

$$Z_s = 0,4 \cdot N_{cn} = 0,4 \cdot 3\,351\,676 = 1\,340\,670,4 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

Velikost zisku na výrobek činí: [39]

$$Z_{ks} = \frac{Z_s}{N} = \frac{1\,340\,670,4}{300\,000} = 4,47 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

Konečná cena výrobku (se ziskem) je: [39]

$$C_{ks} = N_{ks} + Z_{ks} = 11,17 + 4,47 = 15,64 \text{ Kč} \quad (4.19)$$

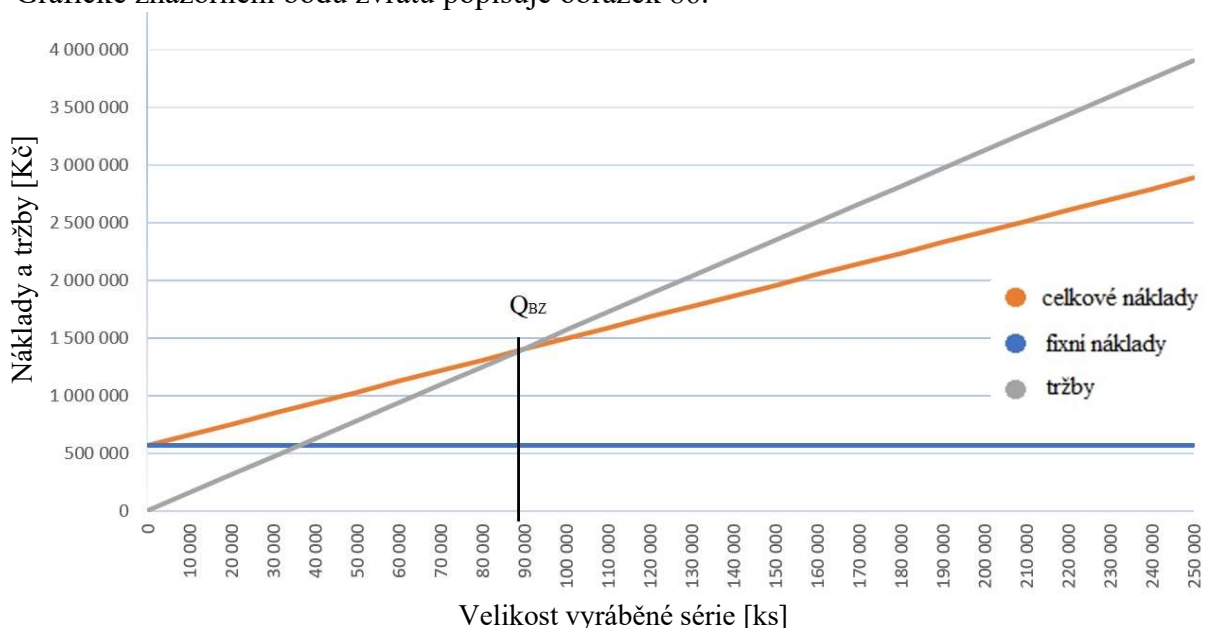
Po určení konečné ceny za výrobek je nutno vypočítat tzv. bod zvratu. Jedná se o bod, který definuje takovou velikost objemu produkce výrobku, při které se celkové náklady vyrovnají výnosům. Od toho bodu dále se již generuje zisk. Pro jeho zjištění je nutné znát přímé náklady vynaložené na výrobu jednoho kusu součásti. [82; 86; 39] Ty se zjistí ze vzorce [86]:

$$N_{pnks} = \frac{N_{pn}}{N} = \frac{2\,787\,926}{300\,000} = 9,293 \text{ Kč} \quad (4.20)$$

Se známou hodnotou  $N_{pnks}$  lze vypočítat bod zvratu vztahem [86]:

$$Q_{BZ} = \frac{N_{nn}}{C_{ks} - N_{pnks}} = \frac{563\,750}{15,64 - 9,29} = 88\,779 \text{ ks} \quad (4.21)$$

Bod zvratu tedy při výše nastaveném zisku vyšel na hodnotě 88 779 ks. Při vyrábění sérii 300 000 ks se tedy při dosažení této hodnoty začne generovat zisk. Výpočty jsou bez DPH. Grafické znázornění bodu zvratu popisuje obrázek 86.



Obr. 86 Poloha bodu zvratu.

---

## ZÁVĚR

Práce řeší výrobu součásti krytu ventilátoru odstředivého vodního čerpadla. Díl bude vyráběn z polypropylenu v sérii 300 000 ks za 3 měsíce. Po rozboru součásti byla pro jeho zhotovení zvolena technologie vstřikování plastů.

Na základě zadané série a provedených technologických výpočtů je pro výrobu krytu zvolena dvojnásobná forma se studeným vtokovým systémem. Plnění dílu polymerem zajišťuje vtokový systém s rozváděcími kanály umístěnými do dělicí roviny formy. Zvoleno bylo boční vtokové ústí s překryvem a funkčnost celé navržené soustavy byla ověřena simulací. Na základě zmíněné simulace je doporučen předběžný vstřikovací tlak o velikost 100 MPa.

Pro docílení požadovaného tvaru součásti je využito řešení obsahující vnitřní tvarovou vložku a jádro. K rovnoměrnému rozložení teplot v průběhu vstřikovacího procesu je pak do tvarové desky umístěn temperační systém skládající se ze 4 okruhů tvořených vrtanými kanálky. Provedenou analýzou chlazení byla určena nejkratší možná doba chlazení vycházející na 17,69 s. Z těchto výsledků je odhaleno, že místem nejdelší doby chlazení je hlavní vtokový kanál. Pro zkrácení této doby a tím i celého cyklu bylo proto doporučeno umístění přídavných chladících kanálků do okolí hlavního vtokového kužele.

O odformování výstřiku z dutiny formy se v průběhu cyklu stará vyhazovací systém složený z 10 vyhazovačů a přidržovače vtoku zaformovaných do vyhazovací desky. Vedení tohoto vyhazovacího systému je pak ještě podpořeno instalací dvojice vodících sloupků.

Pro zhotovení požadované série byl na základě výpočtů a rozměrů komponent formy zvolen vstřikovací stroj Arburg Allrounder 720 S, kterému byly přizpůsobeny i upínací elementy formy. Na vyráběném dílci byla rovněž pomocí simulací zjištěna místa náchylná na případný vznik mírných propadlin, studených spojů a vzduchových kapes. V případě potvrzení těchto prognóz zkušebními testem formy je doporučeno umístění odvzdušňovacích kanálků. Analýzou teploty formy v průběhu cyklu pak byla zjištěna vyšší teplota v místech tvarového jádra. Podnětem pro další zlepšení by proto bylo zvážení návrhu příslušného temperačního systému i do tvarové vložky.

V technicko–ekonomickém zhodnocení práce byly na základě technologických výpočtů určeny přibližné náklady pro zhotovení zvolené série. Jejich odhad vyšel na 3 351 676 Kč bez DPH. Při zvoleném zisku pak hodnota výsledného produktu činí 15,64 Kč bez DPH s bodem zvratu v počtu 88 779 kusů.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding: Process control, monitoring and optimalization. 1. Hanser, 2016, 413 s. ISBN 978-1-56990-592-0.
  2. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. 1. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-802-7106-141
  3. LENFELD, Petr. *Technologie II: 2. část (Zpracování plastů)*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-807-4943-058.
  4. MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to Make Injection Molds*. 3. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001. ISBN 978-3-446-21256-5.
  5. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
  6. Vstřikování bude i nadále nutností. In: *Hospodářské noviny* [online]. 13.4.2020 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-66748910-vstrikovani-bude-i-nadale-nutnosti>
  7. DEK: Zakázkové služby vstřikování plastů. In: *Dek Make* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.dekmake.com/cs/slu%C5%BEby-vst%C5%99ikov%C3%A1n%C3%AD/>
  8. Automotive air outlet of injection mold parts with ABS material in 2cavities mold. In: *Omould: Omould Technology* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <http://www.omould.com/yh-html/product/auto/2017/0117/580.html>
  9. Kalas Z3: Bidon ECO 0,5l. In: *Kalas* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.kalas.cz/det/kalas-z3-bidon-eco-0-5l-blue?q=bidon&lang=CZ>
  10. Marley Odpadní koleno HTB 87°, DN 40. In: *Obi* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/ht-kolena/marley-odpadni-koleno-htb-87-dn-40/p/7416647>
  11. Pvc Easy To Carry Leak Resistance Red Plastic Buckets For Domestic And Personal Use. In: *Trade India* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.tradeindia.com/products/easy-to-carry-leak-resistance-red-plastic-buckets-for-domestic-and-personal-use-7802547.html>
  12. LEO ACM75 odstředivé čerpadlo. In: *Mall* [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/i/74479360/2000/2000>
  13. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2022-04-21]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
  14. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2022-04-21]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Impresum.html>
  15. Gravity Die Casting. In: *Goyal Inc* [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.goyaldiecast.com/capabilities/gravity-die-casting/>
  16. SUZUKI, Emily. What Materials Can be 3D Printed?. In: *Autodesk* [online]. 15.1.2021 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/what-materials-can-be-3d-printed/>
-

- 
17. SLS (Selective Laser Sintering): Vše, co o této technologii 3D tisku potřebujete vědět: kdy vznikla? jaké jsou její výhody a nevýhody?. In: *Cotu* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/126/sls-selective-laser-sintering>
  18. O 3D tisku. In: *Josef Průša* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>
  19. GERSHGORN, Dave a Signe BREWSTER. The Best 3D printer. In: *The New York Times* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/best-home-3d-printer/>
  20. SRINIVASAN, Ravindran, Mani NARAYANASAMY, M KANNAN, S SANTHOSH a Ramy KAMAL. Wear testing of polypropylene termina chebula fibres. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020/09/12, 912, 052024. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/912/5/052024
  21. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2022-04-21]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
  22. LOYDA, Miloslav, Vlastimil ŠPONER, Ladislav ONDRÁČEK, Alexander BAREŠ a kolektiv. *Svařování termoplastů. 2., dopl. a rozš. vyd.* Praha: UNO Praha, 2011. ISBN 978-809-0494-909.
  23. Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 15.2.2012 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>
  24. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. 1.* Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-807-3002-503.
  25. MACHEK, Václav a Jaromír SODOMKA. *Polymery a kompozity s polymerní maticí: Nauka o materiálu - 4. část.* Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-800-1039-274.
  26. Coloring Masterbatch. In: *Toyo Color* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://www.toyo-color.com/en/products/plastic\\_colorants/coloring.html](https://www.toyo-color.com/en/products/plastic_colorants/coloring.html)
  27. Granulát. In: *GS Caltex Czech* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.gscaltex.cz/home-2/>
  28. BĚHÁLEK, Luboš, Pavel BRDLÍK, Martin BORŮVKA a Irena LENFELDOVÁ. *Úvod do technologií zpracování plastů.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. ISBN 978-807-4944-604.
  29. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2: Simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk - teorie a praxe.* Praha: Grada Publishing, 2021. ISBN 978-802-7112-944.
  30. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2022-04-29]. ISBN 9788088058717. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
  31. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2022-04-21]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
  32. BĚHÁLEK, Luboš a Jiří HABR. *Moderní plasty a vláknové kompozity.* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019. ISBN 978-807-4944-581.
-



- 
33. Engel: Horizontal injection molding machine. In: *Engel* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/engel-austria-gmbh/product-20405-502196.html>
  34. Injection Molding Machine Screw. In: *MU TZU INDUSTRIAL CO., LTD.* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: [https://www.mj.net.tw/en/products\\_i-2.html](https://www.mj.net.tw/en/products_i-2.html)
  35. Hydraulic machines. In: *Arburg* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/us/us/products-and-services/injection-molding/injection-molding-machines/hydraulic-machines/>
  36. Konstruční provedení vstřikovacích lisů. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 4.2.2009 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu>
  37. Everything you need to know about multi-cavity injection molds. In: *Kaso plastics* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.kaso.com/everything-you-need-to-know-about-multi-cavity-injection-molds/>
  38. Moulds. In: *Nel plast* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://nelplast.com/en/>
  39. ŽÁK, Ladislav. Technologie zpracování plastů (HTZ): Přednášky a cvičení, Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2021.
  40. The Basics of Parting Line. In: *Sidotek Technology* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://sidotek.com/the-basics-of-parting-line/>
  41. Injection molding basics: What are parting lines?. In: *Make Parts Fast* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.makepartsfast.com/injection-molding-basics-what-are-parting-lines/>
  42. ZEMAN, Lubomír. Podmínky a koncepce zaformování – Konstrukce a výroba vstřikovacích forem: část 1. In: *Plastic portal* [online]. 18.2.2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/podminky-a-koncepce-zaformovani-%E2%80%93-konstrukce-a-vyroba-vstrikovacich-forem-lubomir-zeman-cast-1/c/6198/>
  43. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-807-2048-335.
  44. LAU, Jackie. Ejection system. *Sositar Mould* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://sositarmould.com/ejection-system/>
  45. Types of Ejection System in Injection Molding. In: *FOW Mould* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.immould.com/types-of-ejection-system-in-injection-molding/>
  46. Nitrided-oxidation coated ejectors. In: *Meusburger* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/injection-moulding/ejectors-and-core-pins>
  47. How to fix ejector pin marks in injection molding. In: *Cavity Mold* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.cavitymold.com/how-to-fix-ejector-pin-marks-in-injection-molding/>
  48. Short Ejector Sleeves - Bushings for Straight Ejector Pins. In: *Misumi* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110200182970/>
-

- 
49. 9 Popular Types Of Plastic Injection Molding Gate And Selection Tips | Mold Plastic Injection. In: *EX MOULD Co., Ltd* [online]. 8.7.2020 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.moldplasticinjection.com/news/9-popular-plastic-injection-molding-gate-types-and-selection-tips-mold-plastic-injection>
  50. Question: 19.46. In: *Chegg* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/1946-consider-part-problem-1741-part-produced-injection-molding-four-parts-produced-shot-s-q93506172>
  51. Runner. In: *Beaumont Technologies* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.beaumontinc.com/injection-molding-glossary/runner/>
  52. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. Studené a živé vtokové systémy [online]. Plzeň 2013. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18161288-Studene-a-zive-vtokove-systemy.html>
  53. SVOBODA, Jan. Horké trysky jako normálie – nový standard. In: *Technický týdeník* [online]. 28.3.2018 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/plasty/horke-trysky-jako-standard\\_43784.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/plasty/horke-trysky-jako-standard_43784.html)
  54. SVOBODA, Jan. Horké trysky jako nový standard. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 11.4.2018 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/horke-trysky-jako-novy-standard>
  55. Injection Mold Cooling Design. In: *Upmold* [online]. 18.12.2017 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://upmold.com/injection-mold-cooling-design/>
  56. ZEMAN, Lubomír. Temperace vstřikovacích forem - důležitá podmínka výroby výstřiků z termoplastů, 4. část. In: *Plastic portal* [online]. 18.9.2015 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/temperace-vstrikovacich-forem-dulezita-podminka-vyroby-vystriku-z-termoplastu-4-cast/c/3088/>
  57. Konformní chlazení vstřikolisových forem. In: *Technický týdeník* [online]. 1.1.2006 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/konformni-chlazení-vstrikolisovych-forem\\_15300.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/konformni-chlazení-vstrikolisovych-forem_15300.html)
  58. SMRAKAVOVA. Chlazení forem jinak a lépe. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 7.10.2009 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/chlazení-forem-jinak-a-lepe>
  59. Konformní chlazení. In: *Innomia* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <http://www.old.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení>
  60. FATTORI, Jim. Part 1: Back to Basics on Mold Venting. In: *Plastics technology* [online]. 18.3.2019 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/articles/part-1-back-to-basics-on-mold-venting>
  61. Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 3.3.2010 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priviny-vzniku-vad-a-studene-spoje>
  62. BASF. Injection-Molding Problems in Engineering Thermoplastics: Causes and Solutions. *BASF* [online]. 2009 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://download.basf.com/p1/8a8082587fd4b608017fd6631d5a24b1/en/Injection-Molding\\_Problems\\_in\\_Engineering\\_Thermoplastics\\_-\\_Causes\\_and\\_Solutions\\_Brochure\\_English.pdf?view](https://download.basf.com/p1/8a8082587fd4b608017fd6631d5a24b1/en/Injection-Molding_Problems_in_Engineering_Thermoplastics_-_Causes_and_Solutions_Brochure_English.pdf?view)
-

- 
63. HALAŠKA, Petr. Predikce mechanického chování plastových dílů. In: *Plastic portal* [online]. 12.2.2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/predikce-mechanickeho-chovani-plastovych-dilu/c/6354/>
  64. Weldless Molding. In: *Fuji Bakelite Co., Ltd.* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.fujibake.com/english/technology/weldless.html>
  65. Injection Molding Surface Defects Due To Process Problems. In: *RJC mold* [online]. 11.6.2020 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://rjcmold.com/injection-molding-surface-defects-due-to-process-problems/>
  66. Vady výstříků – 2. díl: Vady tvaru a rozměrové vady. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 30.3.2010 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>
  67. Sink Marks In Plastic Injection Mold: What Causes Sink Marks And How To Fix Them?. In: *EX MOULD Co., Ltd* [online]. 27.10.2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.moldplasticinjection.com/news/sink-marks-in-plastic-injection-mold-what-causes-sink-marks-and-how-to-fix-them>
  68. Sink Marks. In: *InjectionMoulding.org* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://www.injectionmoulding.org/sink-marks.html>
  69. NEUHÄUSL, Emil. Vady výstříků – 3. díl: Vady vzhledové. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 26.4.2010 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove>
  70. Injection moulding: Trial and error: flow lines. In: *Dienamics* [online]. 10.2.2017 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://dienamics.com.au/blog/trial-and-error-flow-lines/>
  71. GENG, Hwaiyu. *Manufacturing engineering handbook*. Second edition. New York: McGraw-Hill Education, [2016]. ISBN 978-007-1839-778.
  72. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982.
  73. Návrh vstříkovací formy očima konstruktéra. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 6.2.2002 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/navrh-vstrikovaci-formy-ocima-konstruktera>
  74. *PP Mosten* [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.pp-mosten.cz/>
  75. PP Mosten MB 720: Technický list. In: *Orlen Unipetrol* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.orlenunipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/PetrochemickeProdukty/Polyolefiny/>
  76. Polypropylen Mosten (C3/C2 kopolymer): Sdělení. In: *Orlen Unipetrol* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.orlenunipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/Jine/Dokumentace/Stranky/obchodni-podminky.aspx>
  77. Meusbürger. *Meusbürger* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/>
  78. ARBURG GmbH + Co KG. *Arburg* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/>
-

79. RULC, Vojtěch. Simulační technologie nejen pro plastikářský průmysl. In: *Plastic portal* [online]. 3.5.2021 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/simulacni-technologie-nejen-pro-plastikarsky-prumysl/c/7312/>
  80. RUZICKOVA, Z. Brána do světa 3D simulací vstřikování plastů. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 18.11.2010 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/brana-do-sveta-3d-simulaci-vstrikovani-plastu>
  81. SYNEK, Miloslav. *Výpočty v ekonomice a řízení průmyslového podniku*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 253 s.
  82. Firemní slovník. *Firemnislovník.cz* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.firemnislovník.cz/>
  83. Kurzy devizového trhu. In: *Česká národní banka* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/>
  84. Průměrné měsíční ceny granulátů plastů. In: *Plastic portal* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/ceny-polymeru/lm/7/>
  85. Elektřina - ceny a grafy elektřiny, vývoj ceny elektřiny 1 kWh - 1 rok - měna CZK. In: *Kurzy.cz* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/1kwh-czk-1-rok>
  86. Bod zvratu. In: *Marketing Mind* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.marketingmind.cz/bod-zvratu-priklad-vzorec-vypocet-graf/>
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
$A_D$	plocha průřezu tvarové dutiny do dělicí roviny	[ $mm^2$ ]
$C_F$	cena formy	[Kč]
$C_{kf}$	náklady na konstrukci formy	[Kč]
$C_{ks}$	konečná cena výrobku	[Kč]
$C_{mf}$	náklady na vstupní materiál formy	[Kč]
$C_{ps}$	cena provozu stroje	[Kč/hod]
$C_s$	náklady na pořízení stroje	[Kč]
$C_{vf}$	náklady na výrobu formy	[Kč]
$D'$	předběžný průměr rozváděcích kanálků	[mm]
$D_K$	průměr rozváděcích kanálků	[mm]
$D_S$	průměr šneku	[mm]
$F_p$	přidržovací síla	[kN]
$K_1$	koeficient tekutosti materiálu	[-]
$K_2$	koeficient délky rozváděcího kanálku	[-]
$L_S$	délka dráhy pohybu šneku	[mm]
$L_k$	délka rozváděcího kanálku	[mm]
$N_{hm}$	hrubá mzda operátora	[Kč · h <sup>-1</sup> ]
$N_{OR}$	náklady odbytové režie	[Kč]
$N_{SR}$	náklady správní režie	[Kč]
$N_{VR}$	náklady výrobní režie	[Kč]
$N_{cn}$	celkové náklady na výrobní sérii	[Kč]
$N_f$	náklady na amortizaci formy	[Kč]
$N_{gc}$	náklady na granulát na výrobu celé série	[Kč]
$N_{gks}$	hmotnost dávky granulátu použité na jeden díl	[g]
$N_{ks}$	náklady na výrobu jedné součásti bez DPH	[Kč]
$N_{mo}$	náklady na mzdu operátora	[Kč]
$N_{nn}$	celkové nepřímé náklady	[Kč]
$N_{os}$	podíl z ročního odpisu stroje	[Kč]
$N_{pn}$	přímé náklady	[Kč]
$N_{pnks}$	přímé náklady vynaložené na výrobu jednoho kusu součásti	[Kč]
$N_{ps}$	celkové náklady na provoz stroje	[Kč]
$Q_{BZ}$	bod zvratu	[-]
$R_{min}$	minimální průměr	[mm]
$T_E$	teplota odformování	[°C]
$T_F$	teplota formy	[°C]
$T_P$	požadovaný termín dodání	[hod]
$T_T$	teplota taveniny	[°C]
$V_D$	výsledný vstříkovaný objem	[ $cm^3$ ]
$V_{HV}$	objem hlavního vtoku	[ $cm^3$ ]
$V_K$	objem rozváděcího kanálku	[ $cm^3$ ]
$Z_f$	životnost formy	[-]
$Z_{ks}$	velikost zisku na jeden výrobek	[Kč]

Označení	Legenda	Jednotka
$Z_s$	velikost plánovaného zisku	[Kč]
$a_{eff}$	efektivní teplotní vodivost	[-]
$c_V$	minimální vstřikovací kapacita	[ $cm^3$ ]
$c_p$	minimální plastikační kapacita	[ $kg \cdot h^{-1}$ ]
$n_p$	praktická násobnost	[-]
$n_s$	otáčky šneku	[ $min^{-1}$ ]
$p_A$	tvářecí tlak	[bar]
$t_{\check{c}p}$	celkový čas produkce	[hod]
$t_K$	doba chlazení	[s]
$t_N$	vedlejší čas	[s]
$t_O$	doba odpisu stroje	[rok]
$t_c$	celková doba vstřikovacího cyklu	[s]
$t_{s\check{c}}$	čistý strojní čas	[hod]
$t_v$	doba vstřikování	[s]
$v_S$	vstřikovací rychlost	[ $cm^3 \cdot s^{-1}$ ]
B	šířka vtokového ústí	[mm]
C	cena za kg granulátu	[Kč]
G	hmotnost vstřikovaného dílu	[g]
N	velikost výrobní série	[-]
OR	koeficient mzdy odbytové režie	[-]
SR	koeficient mzdy správní režie	[-]
VR	koeficient mzdy výrobní režie	[-]
A	celková tažnost	[%]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
K	faktor využití času	[-]
s	tloušťka stěny	[mm]
$\rho$	hustota	[ $kg \cdot m^{-3}$ ]
u	maximální obvodová rychlost šneku pro plastikaci taveniny	[-]

### Zkratky

Označení	Legenda
SLS	selective laser sintering
SLA	stereolithography
DMLS	direct metal laser sintering
PP	polypropylen
FDM	fusion deposition modeling
PS	polystyren
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PE	polyetylen
PA	polyamid
PBT	polybutylentereftalát
PC	polykarbonát
POM	polyoxymethylen

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list PP Mosten MB 720
Příloha 2	Graf praktické násobnosti
Příloha 3	Orientační parametry vstřikování
Příloha 4	Simulace snadnosti zaplnění pro vstřikovací tlak 100 MPa
Příloha 5	Pohled na model sestavy formy s výstřikem
Příloha 6	Možná konstrukční řešení přídržovače vtoku
Příloha 7	Schéma zvoleného temperačního systému
Příloha 8	Simulace chlazení při zvoleném temperačním systému
Příloha 9	Technické parametry zvoleného vstřikovacího stroje
Příloha 10	Simulace teploty formy
Příloha 11	Seznam a cena nakupovaných komponentů od společnosti Meusburger

### Seznam výkresů

Vstřikovací forma	2023-DP-193164-01
Kryt	2023-DP-193164-02
Kusovník	2023-DP-193164-03

---

# PP MOSTEN® MB 720

## TECHNICKÝ LIST

BLOKOVÝ KOPOLYMER PRO VSTŘIKOVÁNÍ

MFR (230/2,16): 18 g/10 min

Mosten MB 720 je polypropylen vyráběný v Unipetrolu RPA technologií INNOVENE™ PP.

### Charakteristika

- nukleace
- neobsahuje ftaláty uvedené v seznamu SVHC
- splňuje EN 71-3,9 Bezpečnost hraček
- splňuje Evropský lékopis 8 (Ph. Eur. 8, 3.1.3)

### Mezinárodní označení

ISO 19069-PP-B,,MM,10-45-200

### Aplikace

- technické díly s požadavkem na vysokou houževnatost
- potravinářské obaly

### Materiálové vlastnosti (typické hodnoty, netvoří specifikaci daného typu)

Parameter	Zkušební metoda	Jednotka	Hodnota	
<b>REOLOGICKÉ VLASTNOSTI</b>				
Index toku taveniny (230 °C/2,16 kg)	ISO 1133-1	g/10 min	18	
Výrobní smrštění podélně	ISO 294-3,4	%	2,0	
Výrobní smrštění napříč			2,2	
<b>MECHANICKÉ VLASTNOSTI</b>				
Modul pružnosti v ohybu	ISO 178	MPa	1050	
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1,2	MPa	1100	
Napětí na mezi kluzu		MPa	21	
Prodloužení na mezi kluzu		%	5	
Celková tažnost		%	100	
Křípový modul v tahu (5 MPa)	ISO 899-1	MPa	1 h	760
			1000 h	300
Vrubová houževnatost Charpy	ISO 179-1	kJ/m <sup>2</sup>	23 °C	45
			-20 °C	7
<b>TEPLOTNÍ VLASTNOSTI</b>				
Teplota tání (DSC)	ISO 11357-1, 3	°C	165 - 170	
Teplota měknutí dle Vicata (VST)	ISO 306	°C	145	
HDT (1,8 MPa)	ISO 75-1,2	°C	52	
<b>OSTATNÍ VLASTNOSTI</b>				
Tvrdost Shore D	ISO 868	-	60	

### Zpracovatelské podmínky

Parametr	Doporučená hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	200 - 280	°C
Teplota formy	20 - 60	°C
Dotlak	(60 - 80) % vstřikovacího tlaku	%
Délka šneku	(15 - 25) d*	-

\*Průměr šneku



# PP MOSTEN®

## TECHNICKÝ LIST

### Vzhledové vlastnosti

PP Mosten neobsahuje žádné mechanické nečistoty. Je dodáván v podobě přírodního granulátu. Typické rozmezí sypané hmotnosti PP Mosten je (450 - 600) kg/m<sup>3</sup>.

### Teplotní vlastnosti

PP Mosten se vyznačuje dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Oblast teplot tání krystalického podílu homopolymerů je (160 - 168) °C, kopolymerů (125 - 168) °C. Teplota skelného přechodu T<sub>g</sub> homopolymerů je cca -10 °C. Se snižující se teplotou klesá houževnatost materiálu a pod teplotou -20 °C je materiál již značně křehký. V oblasti záporných teplot je vhodnější použít kopolymer, které mají obecně teplotu skelného přechodu T<sub>g</sub> posunutou k výrazně nižším hodnotám než homopolymer. V oblasti vysokých teplot lze PP Mosten používat trvale do 100 °C, tepelně stabilizované typy do 105 °C. Stupeň tepelné stability všech typů PP Mosten je takový, že při obvyklém způsobu zpracování nedochází k významné degradaci materiálu.

### Fyzikálně-chemické vlastnosti

PP Mosten je díky svému nepolárnímu charakteru v širokém rozsahu teplot a koncentrací chemicky velmi stálý vůči roztokům anorganických solí, kyselin a zásad. Neodolává pouze oxidačním činidlům (např. koncentrovaná kyselina dusičná, oleum, halogeny), v halogenovaných aromatických uhlovodících a v některých rozpouštědlech za zvýšených teplot bobtná. Navlhavost a nasákavost PP Mosten je velmi malá (0,2 %). Sorpce vody se týká pouze povrchu materiálu, je ho proto použit v prostředí s proměnnou relativní vlhkostí, aniž by docházelo k rozměrovým změnám výrobků či změnám mechanických vlastností.

Při zpracování PP Mosten může působit obtíže vlhkost, z kondenzovaná při přenosu materiálu z prostředí chladnějšího do prostředí teplejšího. Při teplotách skladování nižších než 20 °C se doporučuje kondicionovat materiál min. 24 h před vlastním zpracováním ve výrobní hale.

### Zdravotní nezávadnost

PP Mosten splňuje požadavky těchto nařízení a předpisů, v platném znění:

- Zákona č. 152/1995 Sb.;
- Vyhlášky MZ ČR č. 38/2001 Sb.;
- Nařízení Evropského Parlamentu (EP) a Rady (ES) č. 1935/2004;
- Nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) - při výrobě tohoto typu PP Mosten nebyly použity ftaláty uvedené v seznamu SVHC;
- Nařízení Komise (EU) č. 10/2011, v platném znění.

### Požární a bezpečnostně-technické charakteristiky

PP Mosten není podle nařízení EP a Rady (ES) č. 1272/2008 (CLP) klasifikován jako nebezpečná látka ani nespĺňuje žádnou z dalších podmínek uvedených v čl. 31 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH), a proto se na něj nevztahuje povinnost poskytovat příjemci bezpečnostní list. Povinné informace o produktu podle čl. 32 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) a další údaje jsou uvedeny ve „Sdělení“ výrobce. Dokument je k dispozici na [www.unipetrolrpa.cz](http://www.unipetrolrpa.cz) nebo na vyžádání.

### Skladování a manipulace

PP Mosten se dodává v polyetylenových pytlích (>PE-LD<) o hmotnosti 25 kg. Pytle se ukládají v počtu 55 kusů na paletách, fixovaných smršťovací fólií (>PE-LD<). Fólie chrání výrobek proti poškození a zvyšuje jeho životnost. Ložené palety jsou určeny ke stohování do 2 vrstev, výjimečně do 3 vrstev. PP Mosten může být alternativně dodáván volně ložený v autocisternách. Jiný způsob balení nebo dopravy je možný po dohodě s odběratelem.

PP Mosten je skladován v suchém, větraném, zastřešeném skladu, jehož prostory jsou chráněny před přímými účinky slunečního záření. Doporučené rozmezí teplot ve skladu je -20 °C až +50 °C. Vzdálenost od zdroje tepla je nejméně 1 m.

Doporučená doba skladování PP Mosten v uzavřených obalech za stanovených podmínek skladování je až 1 rok. Při delším skladování je vhodné ověřit vlastnosti materiálu před jeho zpracováním.

### Obaly

Obaly, použité výrobcem pro balení materiálu PP Mosten splňují požadavky §3 a 4 zákona č. 477/2001 Sb. o obalech, v platném znění. Obaly jsou navrženy a vyrobeny podle technických předpisů pro hmotnost a objem výrobků, pro které jsou určeny.

Materiál obalů neobsahuje klasifikované nebezpečné látky. Součet obsahu těžkých kovů v obalu (olova, kadmia, rtuti a šestimocného chromu) nepřekračuje limitní hodnotu 100 ppm.

Doporučené zařazení dle Katalogu odpadů: č. 15 01 02 (plastové obaly), č. 15 01 03 (dřevěné palety).

Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.

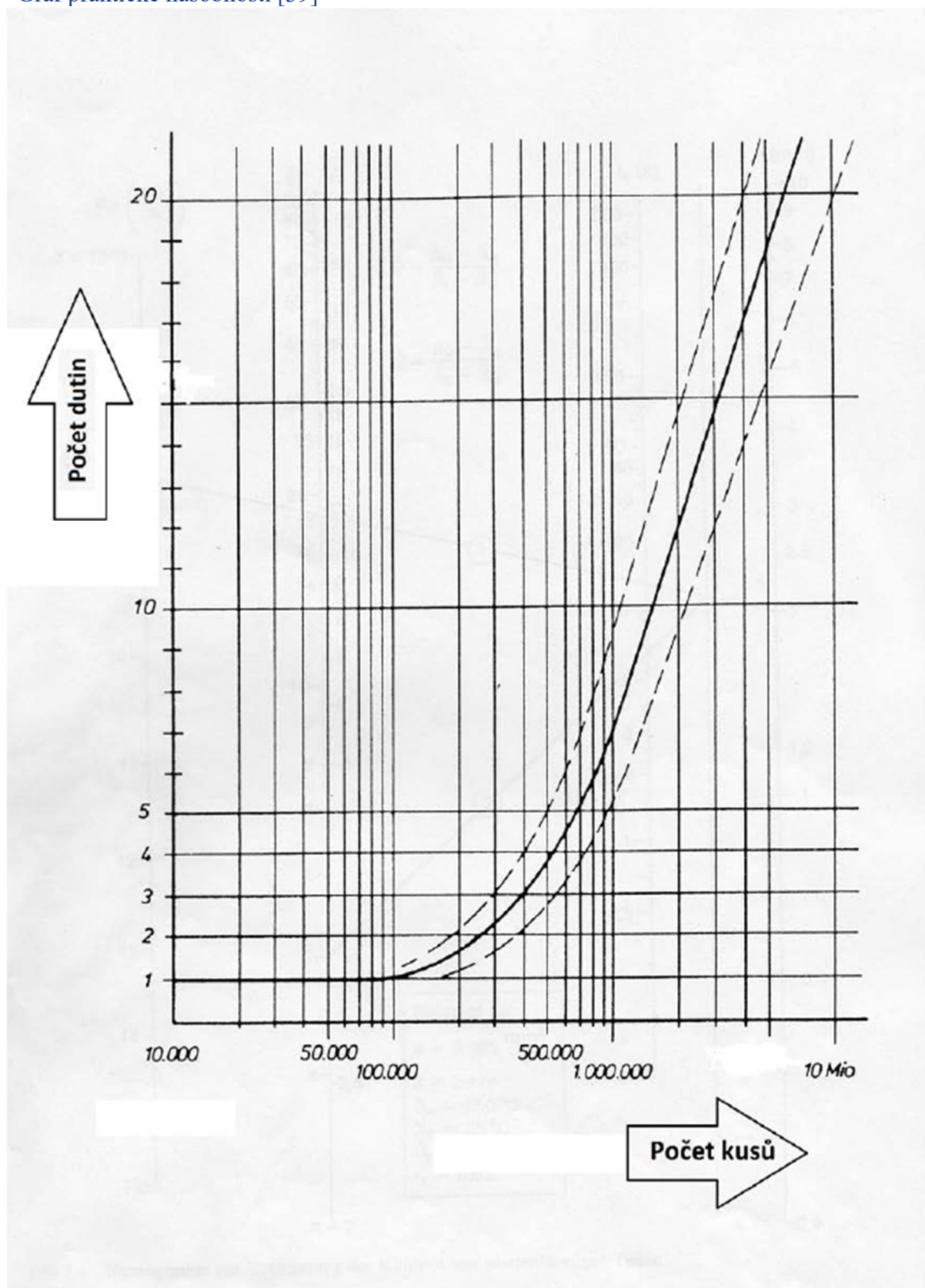
### Pokyny pro nakládání s odpadem ze zpracování PE

Výrobky z PP Mosten a neznečištěný odpad, který vzniká při jeho zpracování, lze recyklovat a dále zpracovat na technické výrobky. V souladu s ČSN 77 0052-2 a ČSN EN ISO 11469 se pro polypropylen používá druhová materiálová značka >PP<. Materiálové značení na výrobcích z polypropyleny usnadňuje identifikaci materiálu při sběru, třídění, využívání či odstraňování uživatelského odpadu.

PP Mosten z produkce Unipetrol RPA neobsahuje olovo, kadmium, rtuť ani šestimocný chrom, přičemž součet koncentrací těchto těžkých kovů nepřesahuje limitní hodnotu 100 ppm. Odpad z PP Mosten zařazuje původce odpadu dle platné legislativy.

Doporučené zařazení podle Katalogu odpadů - č. 07 02 13.

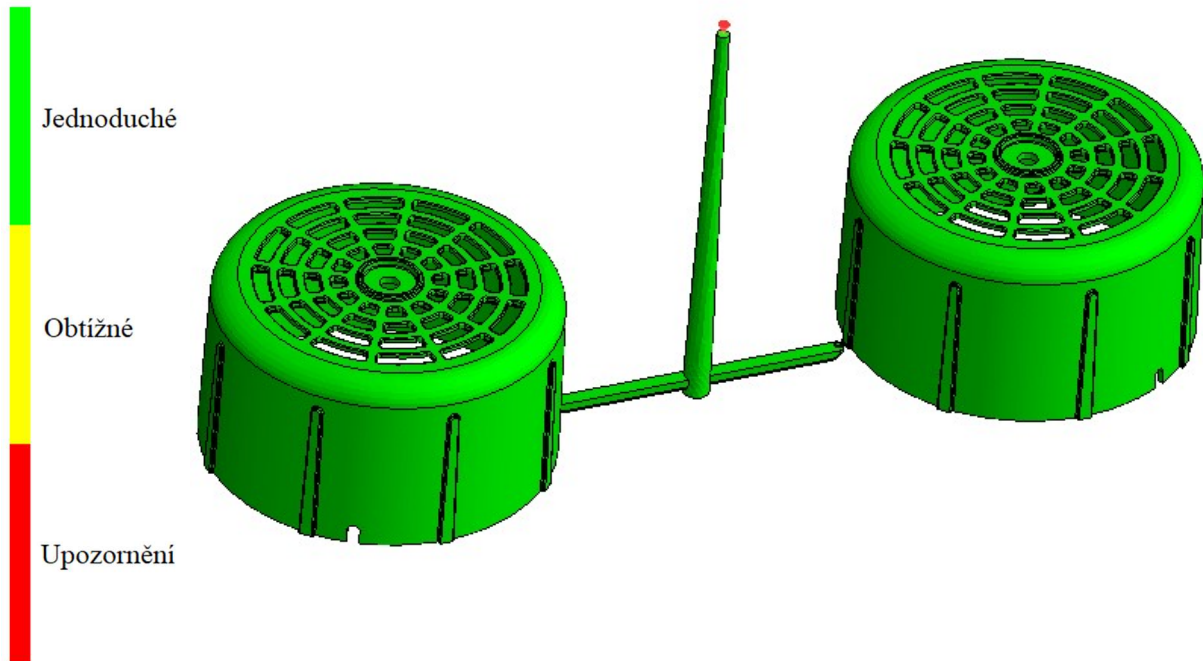
Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.

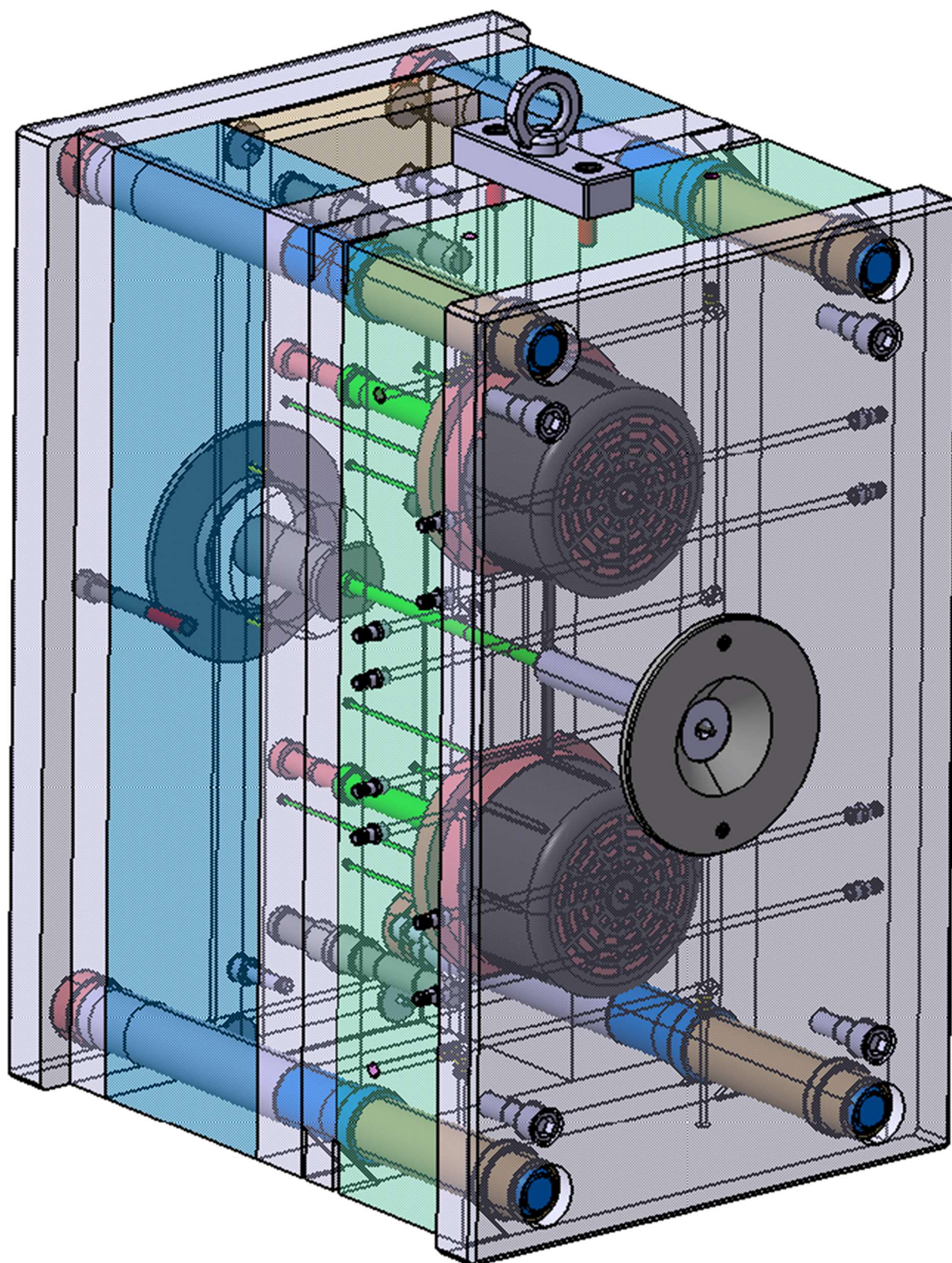


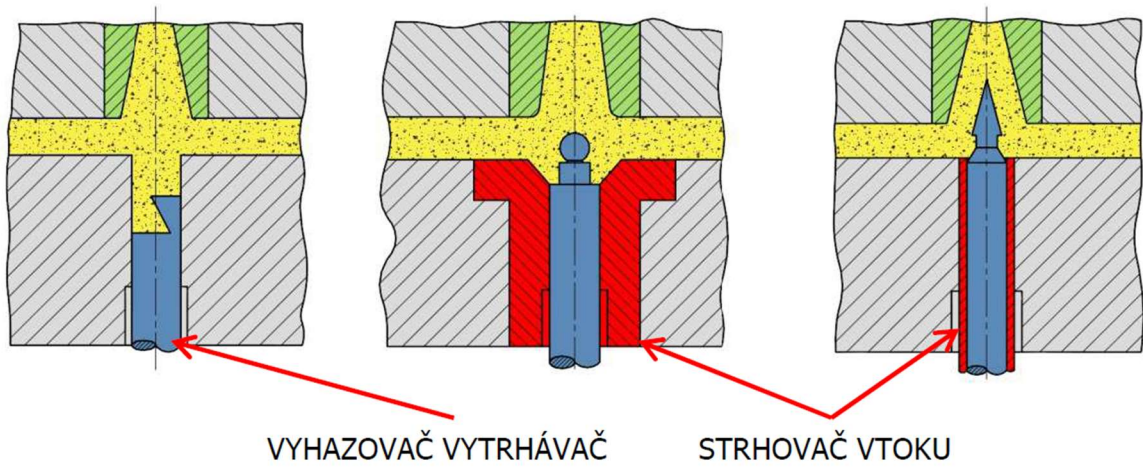
Termoplast	Zkratka	Amorní - A	Častelná - K	Hustota	Sušení suchým vzduchem (typické hodnoty)	Sušení	Max. obsah zbytkové vlhkosti po sušení	Teplota taveniny (typický rozsah)	Teplota formy (typický rozsah)	Vestřikovací tlak před čelem šneku (typický rozsah)	Dotlak v % ze vestřikovacího tlaku	Zařtiný odpor - hydraulický tlak (typický rozsah)	Obvodová rychlost na šneku	Max. doba prodlevy ve vestřikovacím válci a horkém roztoku (od teplotě taveniny)	Pořistav v % z dávký (typický rozsah)	Výrobní amřistění		
																[%]	[%]	
Acetát celulózy	CA	A		1,20-1,31	teplota	dobba											I	J
Butyroacetát celulózy	CAB	A		1,18-1,22	55-70	3	0,25 (0,15)	170-210	40-70	500-1400	40-80	60-30	0,1-0,2	12	4-6	0,3-0,6	0,3-0,6	
Propionát celulózy	CP	A		1,18-1,24	55-85	2-3	0,25 (0,15)	170-220	40-70	500-1400	40-80	60-30	0,1-0,2	12	4-6	0,4-0,7	0,4-0,7	
Polypropylen	PP	K		0,900-0,907	ne: 80	ne: 2-3	0,1	180-230	40-80	500-1400	40-80	60-50	60-50	40	60-50	1,5-2,5	1,5-2,5	
Polypropylen s 20 % talku	PP 20T	K		1,04	110-120	3-5	0,1	220-280	30-60	600-1600	50-90	60-50	60-50	40	60-50	0,8-1,6	0,7-1,4	
Polypropylen s 30 % SV	PP 30SV	K		1,14	110-120	3-5	0,1	240-300	40-80	800-1800	50-90	60-30	60-30	40	60-30	0,6-1,4	0,6-1,4	
Vysokohustotní polyethylen	HDPE	K		0,939-0,965	ne: 80	ne: 2-3	0,5	200-280	10-90	600-1400	50-80	60-50	60-50	40	60-50	1,4-2,5	1,2-2,2	
Nizkohustotní polyethylen	LDPE	K		0,926	ne: 80	ne: 2-3	0,5	180-260	10-60	300-800	50-80	60-50	60-50	40	60-50	1,8-3,5	1,8-3,0	
Standardní polystyren	PS	A		1,05-1,10	60	2	0,1	170-260	30-70	400-1500	30-80	60-50	60-50	30	60-50	0,2-0,6	0,2-0,6	
Houževnatý polystyren	HIPS	A		1,04-1,06	70-80	3-4	0,1	180-280	40-70	600-1500	30-80	60-50	60-50	30	60-50	0,4-0,7	0,4-0,7	
Styren - akrylonitrilový kopolyměr	SAN	A		1,07-1,09	70-80	3-4	0,1	200-260	40-80	700-1500	40-80	60-40	60-40	30	60-40	0,4-0,6	0,4-0,6	
Akrylonitril-butadien-styrenový kopolyměr	ABS	A		1,04-1,10	80	4-6	0,1	190-260	40-90	600-1400	40-80	60-40	60-40	30	60-40	0,4-0,8	0,4-0,8	
ABS/SV	ABS/SV	A		1,23-1,36	80	4-6	0,1	230-290	60-100	800-1600	40-80	60-30	60-30	30	60-30	0,2-0,3	0,2-0,3	
Methylmetakrylát-akrylonitril-butadien-styrenový kopolyměr	MABS	A		1,10-1,12	80	2-4	0,1	200-260	40-80	600-1600	50-80	60-20	60-20	30	60-20	0,4-0,8	0,4-0,8	
Ethylen-vinyl-acetátový kopolyměr	EVA			0,94-0,95	50-60	1 (6)	0,1	150-200	10-50	600-1000	50-80	60-30	60-30	20	60-30	2,0-3,0	2,0-3,0	
Polyvinyl-chlorid (tvrdý)	PVC			1,38-1,39	60-70	2-3		160-190	20-50	900-1500	30-60	60-30	60-30	20	60-5	0,5-0,9	0,5-0,9	
Polyvinyl-chlorid (houževnatý)	PVC			1,35-1,36	60-70	2-3		150-190	20-50	900-1500	30-60	60-30	60-30	20	60-5	0,7-1,2	0,7-1,2	
Polyvinyl-chlorid (měkčený)	PVC			1,19-1,28	50-60	2-3		140-200	20-50	400-1000	30-60	60-30	60-30	20	60-5	0,8-3,5	0,8-3,5	
Polymethylmetakrylát	PMMA	A		1,18-1,19	80-90	4-6	0,1	180-250	40-80	800-2000	40-90	60-30	60-30	20	60-5	0,2-0,8	0,2-0,8	
Polyamid 6	PA6	K		1,12-1,14	80	4-8	0,2	230-270	40-90	600-1200	40-90	60-40	60-40	20	60-10	0,6-2,1	1,0-2,2	
Polyamid 6, skleněné vlákno	PA6 SV	K		1,28-1,50	80-90	4-8	0,2	250-290	50-120	800-1400	40-90	60-30	60-30	20	60-10	0,2-0,4	0,9-1,2	
Polyamid 6, minerální plnivo	PA6 M	K		1,22-1,50	80-90	4-8	0,2	240-290	50-110	800-1400	40-90	60-40	60-40	20	60-10	0,5-0,9	0,8-1,0	
Polyamid 66	PA66	K		1,13-1,15	80	4-8	0,2	270-310	50-100	500-1400	40-90	60-40	60-40	20	60-10	1,2-1,9	1,2-2,2	
Polyamid 66-skleněné vlákno	PA66 SV 15-	K		1,28-1,42	80	4-8	0,2	280-310	50-120	800-1600	40-90	60-30	60-30	20	60-10	0,2-0,5	0,7-1,2	
Polyamid 66-minerální plnivo	PA66 M	K		1,24-1,50	80-90	4-8	0,2	280-300	50-110	800-1500	40-90	60-40	60-40	20	60-10	0,4-1,5	1,0-1,4	
Polyamid 46	PA46	K		1,18-1,82	80	4-8	0,1	280-330	60-120	800-1600	40-90	60-20	60-20	10	60-50	2	2	
Polyamid 11	PA11	K		1,04-1,05	75-80	8-16	0,1	220-280	40-80	500-1000	40-90	60-30	60-30	20	60-10	0,8-1,4	1,2-2,0	
Polyamid 11 skleněné vlákno	PA11 SV	K		1,26-1,30	80-90	8-16	0,1	240-290	60-100	700-1600	40-90	60-30	60-30	20	60-10	0,4-0,8	0,8-1,2	
Polyamid 12	PA12	K		1,01-1,02	75-80	8-16	0,1	220-280	40-80	500-1200	40-90	60-20	60-20	20	60-10	0,8-1,4	1,2-2,0	
Polyamid 12 skleněné vlákno	PA12 SV	K		1,21-1,25	80-90	8-16	0,1	240-290	60-100	700-1600	40-90	60-30	60-30	20	60-10	0,4-0,8	0,8-1,2	
Polyamid transparentní	PA-T			1,00-1,06	80	6-12	0,06	260-300	80-120	800-1600	40-90	60-30	60-30	20	60-8	0,4-0,6	1,2-2,0	
Polykarbonát	PC	A		1,20-1,21	120	4-6	0,02	280-320	70-120	800-1800	50-80	60-30	60-30	10	60-8	0,6-0,8	0,6-0,8	
Polykarbonát se skleněným vláknem	PC SV	A		1,42-1,52	120	4-6	0,02	290-320	80-120	1000-2000	50-80	60-30	60-30	10	60-8	0,2-0,8	0,2-0,8	
Polyoxymethylen nebo polyformaldehyd nebo polyacetalát	POM	K		1,41-1,43	100-110	2-4	0,1	180-220	80-120	600-1600	50-100	60-20	60-20	15	60-5	1,6-2,2	2,2-2,6	
Polyoxyfenoxid	PPO	A		1,06	110-120	2-4	0,1	260-280	80-110	1000-1800	50-80	60-30	60-30	10	60-5	0,5-0,8	0,5-0,8	
Polyethylen-tereftalát	PET	K		1,37-1,38	120-140	2-8	0,02	260-280	90-140	600-1600	50-80	60-20	60-20	6	60-5	0,5-2,0	0,5-2,0	

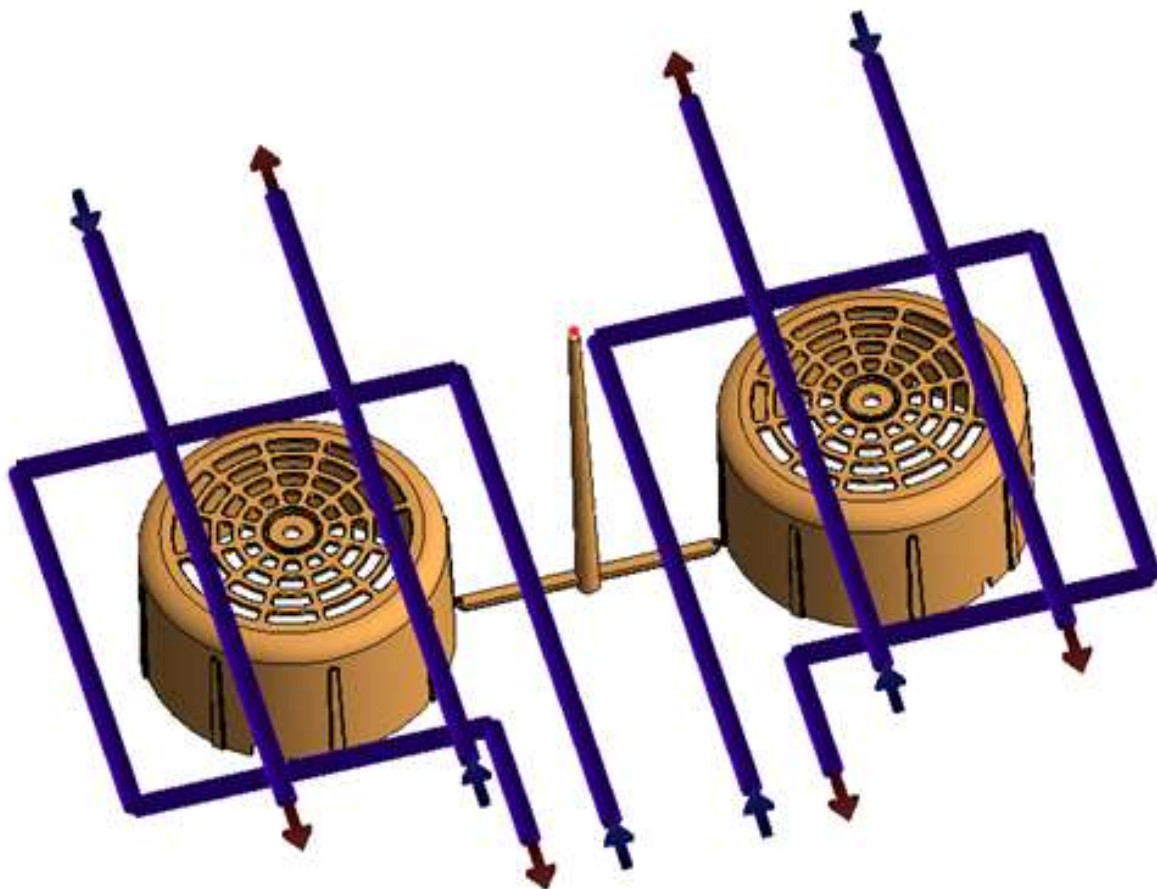
Příloha 3  
Orientační parametry vstřikování [2]

Termoplast	Zkratka	Amorfni - A	Částečně - K	Hustota	Sušení suchým vzduchem (typické hodnoty)	Max. obsah zbytkové vlhkosti po sušení	Teplota taveniny (typický rozsah)	Teplota formy (typický rozsah)	Vstřikovací tlak před začalem šneku (typický rozsah)	Dotlak v % ze vstřikovacího tlaku	Zpětný odpor - hydraulický tlak (typický rozsah)	Obvodová rychlost na šneku	Max. doba prodlévání ve vstřikovacím válci a horkém roztoku (při teplotě taveniny)	Poistal v % z dávky (typický rozsah)	Výrobní směření
Polyethylen-terefalát se skleněným vláknem	PET SV		K	1,61-1,75	120-140	2-8	260-300	80-120	800-1600	50-80	do 20	až 0,15	6	do 5	0,3-0,7
Polybutylen-terefalát	PBT		K	1,29-1,32	120-140	2-8	230-270	80-100	600-1600	50-80	do 20	až 0,25	9	do 5	1,7-2,3
Polybutylen-terefalát se skleněným vláknem	PBT SV		K	1,46-1,53	120-140	2-8	240-280	50-100	800-1800	50-80	do 20	až 0,15	6	do 5	0,4-0,8
Polymery s tekutými krystaly	LCP		K	1,40-1,96	120	4	350-370	30-150	400-1200	50-80	do 10	do 0,10	15	až 8	0
Polyethersulfon	PES	A		1,37-1,60	130-190	4-6	330-390	120-160	600-1800	50-80	do 20	do 0,20	10	do 5	0,5-0,9
Polysulfon	PSU	A		1,24-1,48	130-190	4-6	330-390	120-160	600-1800	50-80	do 20	do 0,20	10	do 5	0,5-0,9
Polyetherimid	PEI	A		1,19-1,68	150	4-6	370-400	140-170	600-1800	50-80	do 5	do 0,10	15	do 5	0,1-0,4
Polyfenylsulfid	PPS		K	1,35-2,03	130-160	3-4	320-360	140-160	800-1800	50-80	do 20	do 0,15	10	do 5	0,15-0,80
Polyftalamid	PPA		K	1,48	120	4	370-340	135 a více	600-1800	50-80	do 5	až 0,25	6	do 5	0,40
Polyether etherkeion	PEEK		K	1,39-1,51	150	3	270-390	160-170	700-1400	50-80	do 5	do 0,2	6	do 5	1
Termoplastické elastomery polyolefinové	TPE-O			0,94-0,99	70-90	2-3	160-235	20-60	600-1600	50 až 70	do 20	až 0,3	40	až 10	1,2-3,5
Termoplastické elastomery styrenové	TPE-S			0,90-1,20	70-90	1-2	180-250	20-60	600-1600	30-60	až 40	do 0,15	40	až 10	1,0-2,5
Termoplastické elastomery polyetheruretanové	TPE-U			1,11-1,25	100-110	0,5-1,5	190-245	20-40	500-1600	40-60	až 20	až 0,3	40	až 10	1
Termoplastické elastomery kopolyesterové	TPE-E			1,12-1,28	90-110	2-4	220-250	20-60	500-1800	40-100	do 5	do 0,15	10	až 8	0,8-1,8
Termoplastické elastomery polyetherickamkové	TPE-A				70-80	4-8	160-280	20-40	500-1800	40-80	do 20	až 0,25	10	až 8	0,8-1,0

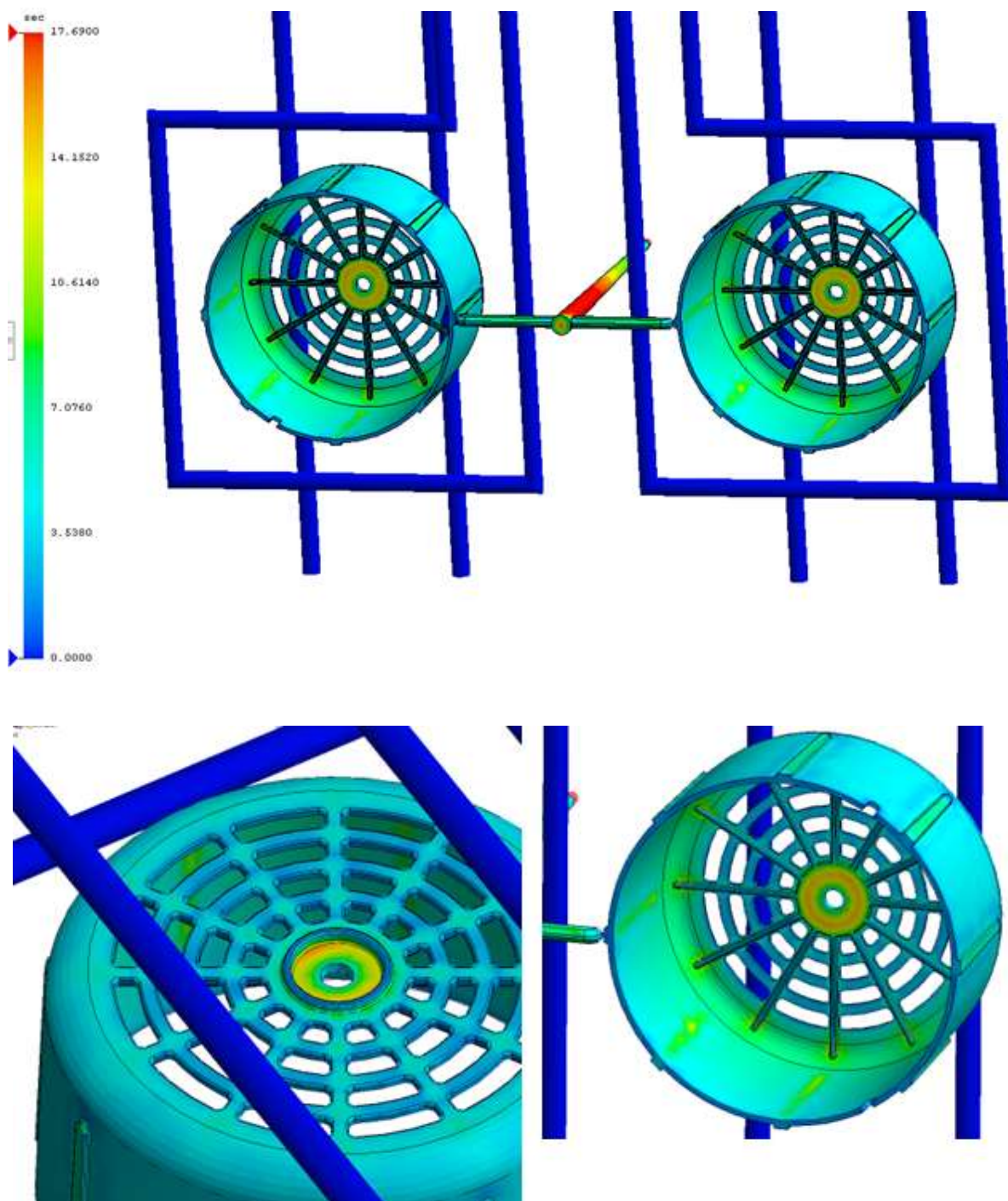


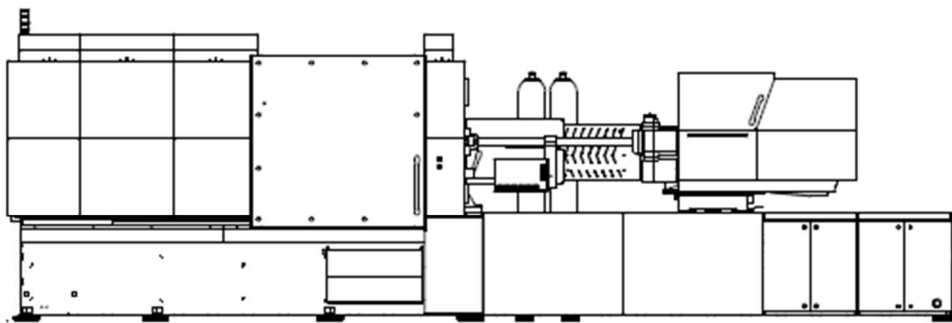












## **ALLROUNDER 720 S**

### **Clamp-Design**

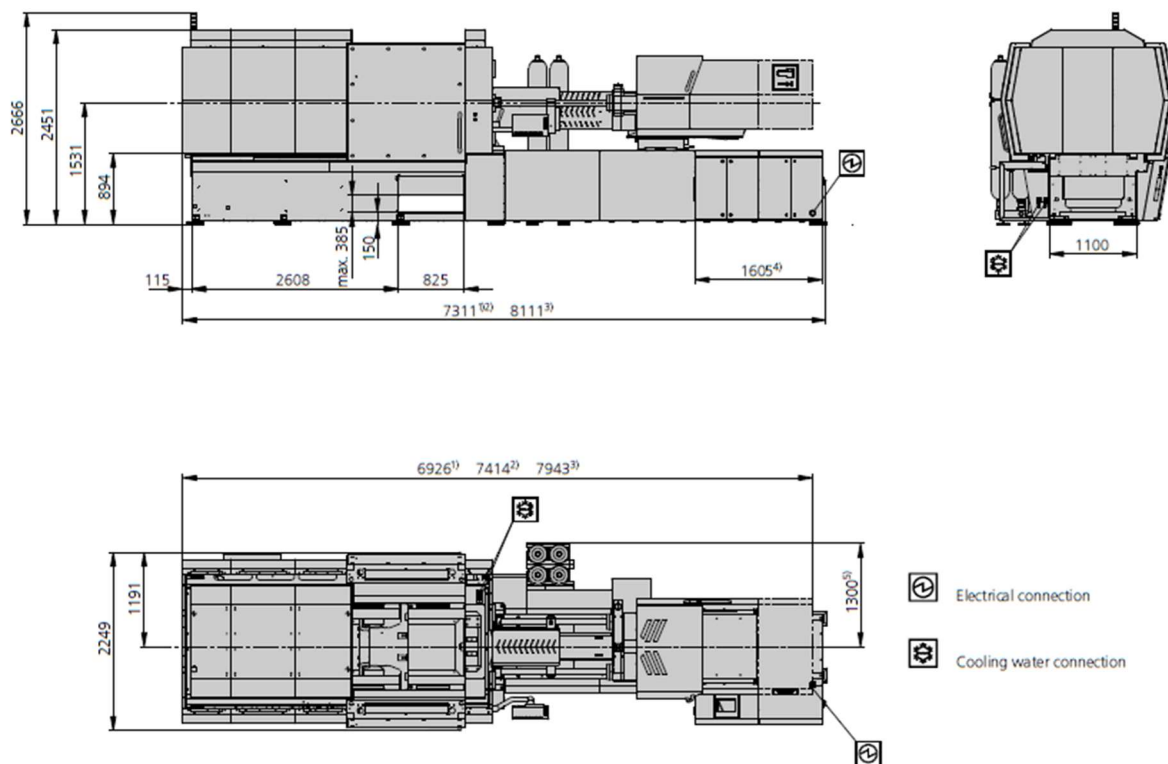
Distance between tie bars: 720 x 720 mm

Clamping force: 3200 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 1300, 2100, 3200

**ARBURG**

### MACHINE DIMENSIONS | 720 S



1) Injection unit 1300  
 2) Injection unit 2100  
 3) Injection unit 3200  
 4) Subject to performance variant and injection unit size  
 5) Hydraulic accumulator

## TECHNICAL DATA | 720 S

Clamping unit		720 S	
with clamping force	max. kN	3200	
Opening force   stroke	max. kN   mm	800   700	
Mould height, fixed   variable	min. mm	700   [300-700]	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	1400   [1000-1400]	
Distance between tie bars (w x h)	mm	720 x 720	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	1040 x 1040	
Weight of movable mould half	max. kg	3600	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	100   250	
Dry cycle time EUROMAP <sup>2</sup>	1 pump	min. s - mm	4,8 - 504
	2 pumps	min. s - mm	3,5 - 504
	Accum.	min. s - mm	2,1 - 504

Injection unit		1300			2100			3200			
with screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80	70	80	90	
Effective screw length	L/D	22	20	17	23	20	17,5	23	20	18	
Screw stroke	max. mm	240			280			320			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	558	664	904	792	1078	1407	1232	1608	2036	
Shot weight	max. g PS	510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860	
Material throughput	max. kg/h PS	86	96	115	125	145	175	185	215	250	
	max. kg/h PA6.6	43	48	58	62	74	88	93	110	125	
Injection pressure	max. bar	2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580	
Holding pressure	max. bar	2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580	
Injection flow <sup>2</sup>	1 pump	max. cm <sup>3</sup> /s	238	284	388	224	306	400	--		
	2 pumps	max. cm <sup>3</sup> /s	238	284	388	224	306	400	290	380	482
	Accum.	max. cm <sup>3</sup> /s	714	848	1156	1132	1540	2012	1188	1552	1964
Screw circumferential speed <sup>2</sup>	1 pump	max. m/min	40	43	51	43	51	58	--		
	2 pumps	max. m/min	40	43	51	43	51	58	47	54	61
	Accum.	max. m/min	19	21	25	21	25	28	23	26	29
Screw torque	max. Nm	1510	1640	1920	2140	2500	2550	3140	3510	3510	
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	90   550			110   600			110   600			
Heating capacity   zones	kW	22,9   8			31,4   8			38,4   8			

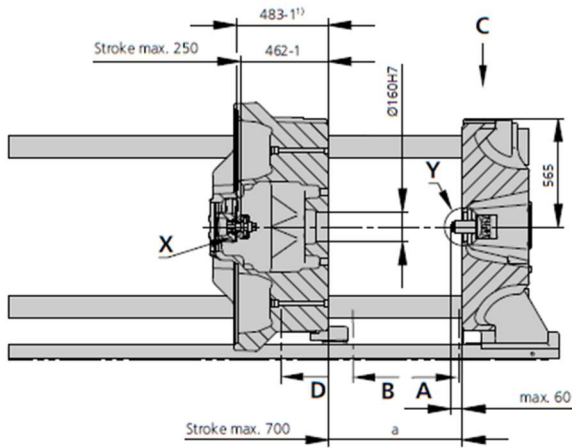
Drive and connection		1 pump (servo)			2 pumps			Accum.			
with injection unit		1300	2100		1300	2100	3200	1300	2100	3200	
Net weight of machine	kg	17000	17700		17000	17700	19200	--			
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)	< 65			73   3			< 70			
Oil filling	l	410			410	410	530	460	530	610	
Drive power <sup>2</sup>	max. kW	45	55		45	55	55	37	37	45	
Electrical connection <sup>3</sup>	Total	kW	71	76	71	89	96	63	71	86	
	Machine	A	--			--			--		
	Heating	A	100	125	125	125	125	100	100	125	
Cooling water connection	max. °C	30			30			30			
	min. Δp bar	1,5   DN 25			1,5   DN 25			1,5   DN 32			

Machine type		Drive
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>		
720 S 3200-1300		1   2   -
720 S 3200-2100		1   2   Accum.
720 S 3200-3200		1   2   Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.  
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)
  - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
  - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
  - 4) Detailed info in the operating instr.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.

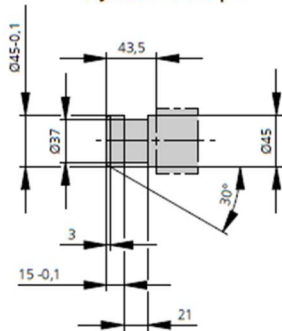
**MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 720 S**



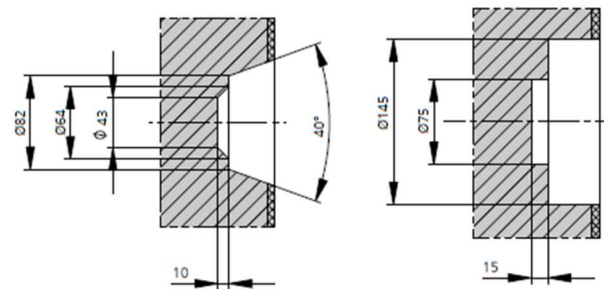
Mould installation height	a min.	a max.
Fixed	700	1400
variable, manually	[400, 500, 600]	[1100, 1200, 1300]
variable, automatically	300-700	1000-1400

[1] Value in brackets: option

**Ejector bolt | X**

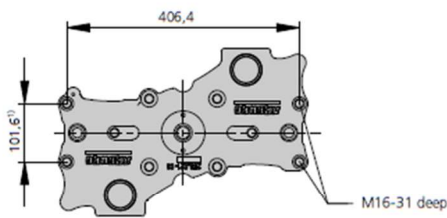


**Bore in mould (if required) | Y**

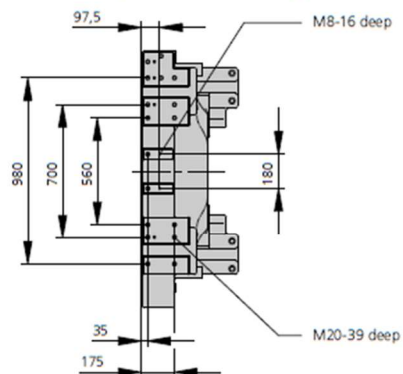


thermoset version - Injection units  
2100 and 3200 available upon request

**Ejector plate | D**



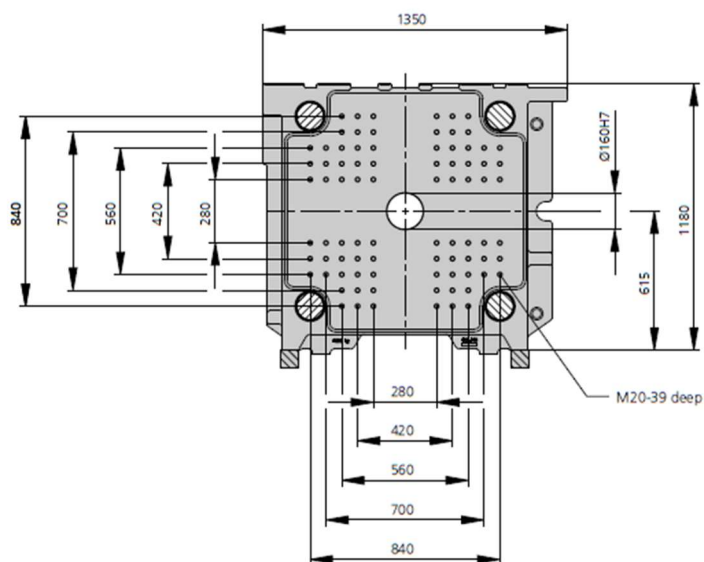
**Robotic system mounting | C**



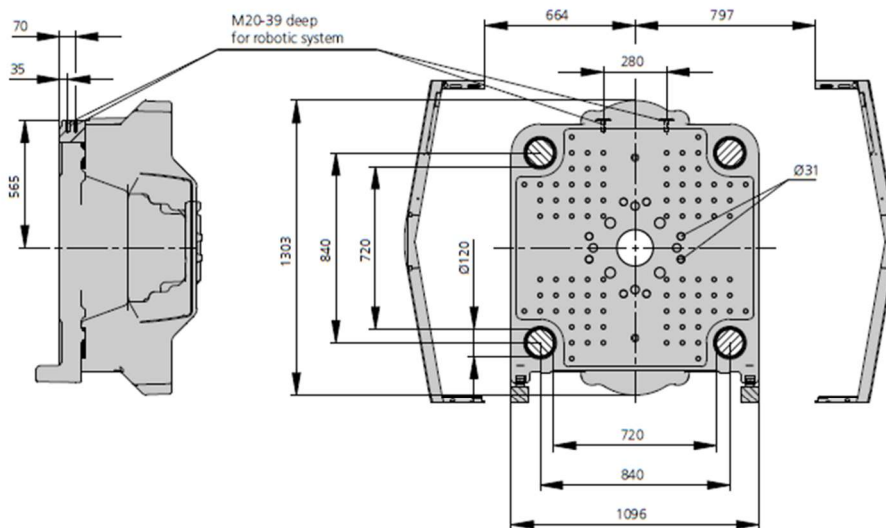
1) Positions of ejector plate

### MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 720 S

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



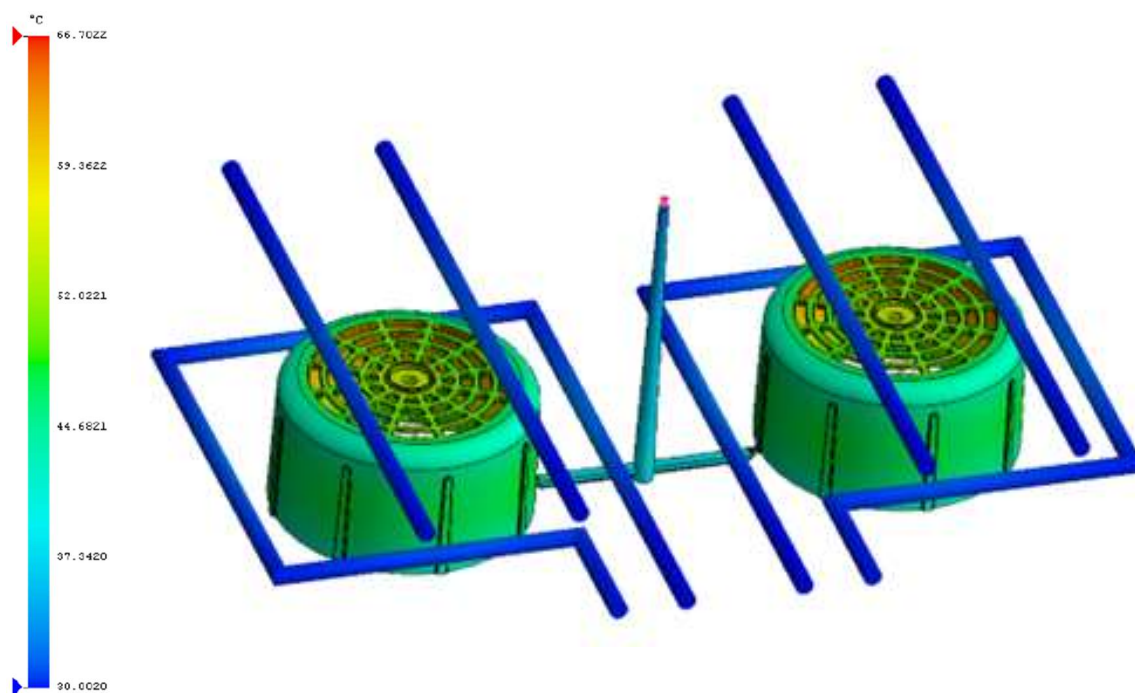
## SHOT WEIGHTS | 720 S

### Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

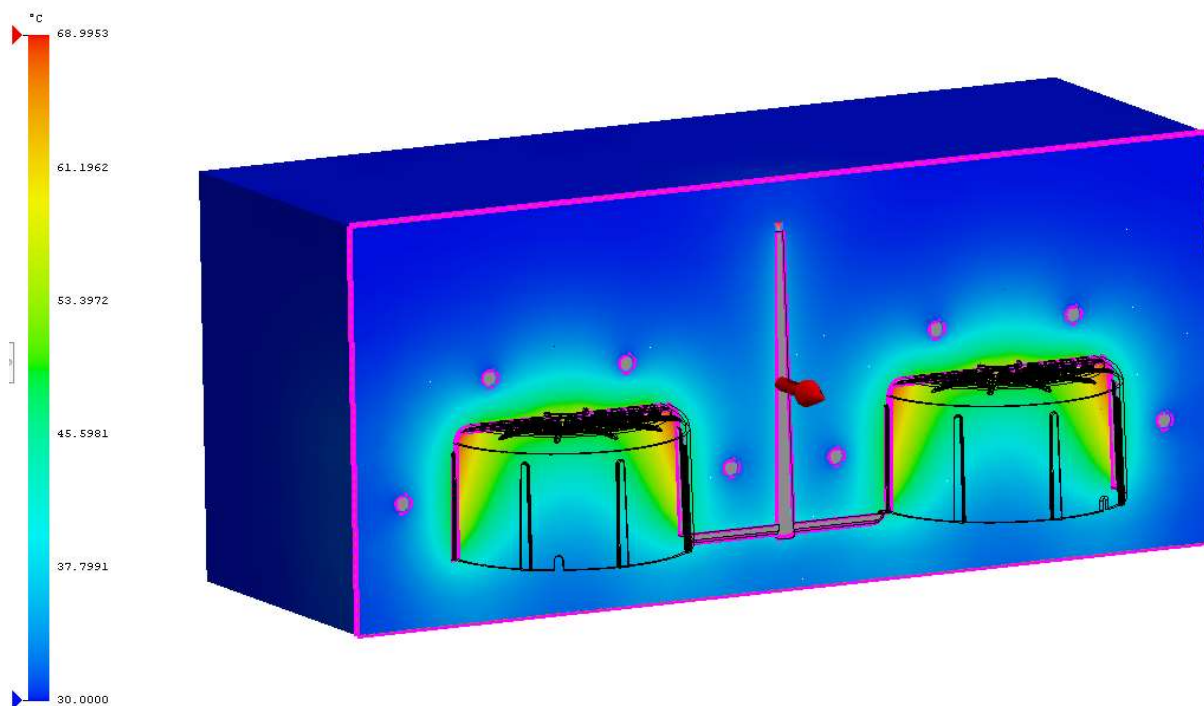
Injection units according to EUROMAP		1300			2100			3200		
Screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80	70	80	90
Polystyrene	max. g PS	510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	498	593	807	707	962	1256	1099	1436	1817
	max. g SAN, ABS <sup>1)</sup>	488	581	791	693	943	1231	1077	1407	1781
Cellulose acetate	max. g CA <sup>1)</sup>	574	683	930	814	1108	1447	1266	1654	2093
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB <sup>1)</sup>	534	635	865	757	1030	1346	1177	1538	1946
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	527	627	854	747	1017	1329	1163	1518	1922
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	473	563	767	671	914	1194	1044	1364	1726
Polycarbonate	max. g PC	536	638	868	760	1034	1351	1182	1544	1954
Polysulphone	max. g PSU	554	659	897	785	1069	1396	1222	1596	2019
Polyamides	max. g PA 6.6   PA 6 <sup>1)</sup>	507	603	821	719	978	1278	1118	1461	1848
	max. g PA 6.10   PA 11 <sup>1)</sup>	473	563	767	671	914	1194	1044	1364	1726
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	630	749	1020	893	1215	1588	1389	1814	2296
Polyethylene terephthalate	max. g PET	607	723	984	861	1172	1531	1340	1750	2215
Polyethylene	max. g PE-LD	385	458	624	546	744	971	850	1110	1405
	max. g PE-HD	398	473	644	564	768	1003	877	1146	1450
Polypropylene	max. g PP	406	484	658	576	784	1025	897	1171	1482
Fluoropolymerides	max. g FER, PFA, PCTFE <sup>1)</sup>	816	971	1322	1157	1575	2058	1800	2352	2976
	max. g ETFE	716	852	1160	1015	1382	1805	1579	2063	2611
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	616	734	998	874	1190	1554	1360	1776	2247
	max. g PVC-P <sup>1)</sup>	569	678	922	808	1099	1436	1256	1641	2076

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**  
Arthur-Hehl-Strasse  
72290 Lossburg  
Tel.: +49 7446 33-0  
www.arburg.com  
contact@arburg.com



Teplota formy na konci chlazení



Průměrná teplota formy během cyklu



Datum: 19.05.2023 <http://www.meusburger.com>

Označení	Název	ks	EUR/1	Hodnota v EUR CAD
F 10/346 546/ 36/1730	Upínací deska	2	705,00	1.410,00
F 50/346 546/ 36/2312	Tvarová deska	1	834,00	834,00
F 50/346 546/ 136/2312	Tvarová deska	1	1.991,00	1.991,00
F 60/346 546/ 46/1730	Podpěrná deska	1	669,00	669,00
F 70/346 546/ 86/156/1730	lišta	2	654,00	1.308,00
F 40/346 546/ 36/1730	Upínací deska	1	653,00	653,00
F 00/346 546/ 172/22/1730	Výřezovací deska	1	256,00	256,00
F 85/346 546/ 172/27/1730	Základní vyřezovací deska	1	300,00	300,00
E 1600/24 x 156/5	Vrtáková tryska	1	128,00	128,00
E 2000/9/1	Připojka	12	1,16	13,92
E 1720/20/16x300	Trubicový vyřezovač	2	176,00	352,00
E 1710/10 x 250	Výřezovač	1	15,00	15,00
E 17003/2x3'5	Výřezovač	8	21,90	175,20
E 1200/10 x 35	Imbusový šroub	4	0,43	1,72
E 1220/ 5 x 10	Šroub se zápusťnou hlavou	4	0,36	1,44
E 1500/30	Dorazová destička	4	3,78	15,12
E 1200/16 x250	Imbusový šroub	4	17,10	68,40
E 1200/5x20	Imbusový šroub	4	0,26	1,04
E 1200/16 x 45	Imbusový šroub	4	1,30	5,20
E 2079/10	Záslepka	6	2,88	17,28
E 1271/12	Závěsné oko	1	43,10	43,10
F 1200/12x40	Imbusový šroub	4	0,59	2,36
E 1200/12x95	Imbusový šroub	4	1,13	4,52
E 1020/20x180	Vodicí šoup	2	20,20	40,40
E 11202/20-22/27	Vodicí pouzdro	2	21,50	43,00
E 1615/20x15/95	Závrtová mozka	1	59,50	59,50
E 1362/160/ 90/42 x 20	Středící kroužek	1	84,00	84,00
E 1367/160/ 90x20	Středící kroužek	1	84,00	84,00
E 2185/10/10B	Hadice pro rychlostrojky	1	141,00	141,00
<b>Celková částka bez DPH</b>				<b>8.747,20</b>