



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 DVOJITÉ KOLENO HTHT32/40 GI

PRODUCTION OF HTHT32 / 40 GI DOUBLE ELBOW

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Milan Křібala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Milan Kříbala
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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 Dvojité koleno HTHT32/40 GI

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výstupem úkolu bude konstrukční řešení formy pro zadanou součástku.

Cíle diplomové práce:

- Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
- Literární studie problematiky vstřikování plastů.
- Návrh a výpočty potřebných parametrů.
- Konstrukční řešení formy.
- Ekonomické vyhodnocení.
- Závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 232s. ISBN 04-247-86.

ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Praha : SEKURKON s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86604-36-7.

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi : praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009, ISBN 978-8-7300-250-3.

JANCUŠOVA, Maria. Formy na tvárnenie plastov. 1. vyd. Žilina : EDIS - ŽU, 2010. 155 s. ISBN 978-810-550-0191-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

KŘÍBALA Milan: Výroba součásti Dvojité koleno HTHT 32/40 GI

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro výrobu dvojitého kolena, které nachází své uplatnění v sestavě sifonu. Součást bude zhotovena z polypropylenu s obchodním označením Tatren HT 25 11. Velikost výrobní série je stanovena v počtu 100 000 kusů za 3 měsíce. Nejdříve je proveden rozbor zadané součásti s upřesněním její funkce a kritérií, která daná součást musí splňovat. Dále je zvolena vhodná technologie pro výrobu součásti. Na základě zvolené technologie je proveden rozbor teorie vstřikování a konstrukce forem. Následně je v praktické části proveden kompletní návrh vstřikovací formy včetně technologických výpočtů a simulací. Pro navrženou vstřikovací formu je zvolen vstřikovací stroj. Závěr diplomové práce tvoří technicko-ekonomické zhodnocení na výrobu dvojitého kolena.

Klíčová slova: dvojité koleno, polypropylen, vstřikování, vstřikovací forma, vstřikovací stroj, simulační analýza

ABSTRACT

KŘÍBALA Milan: Production of HTHT 32/40 GI Double Elbow

The diploma thesis deals with the design of an injection mold for manufacturing double elbow, which finds its use in the siphon assembly. The part will be made of polypropylene with the trade name Tatren HT 25 11. The production batch size is set at 100,000 units in 3 months. Firstly, the analysis of the part is done including a detailed specification of its function and criteria that must be met by the component. Furthermore, a suitable technology for the production of the part is chosen. The theory of injection molding and mold design is made on the basis of the chosen injection technology. Subsequently, in the practical part is made a complete design of injection mold including technological calculations and simulations. An injection molding machine is chosen for the proposed injection mold. The conclusion of the thesis consists of technical - economic evaluation of the production of double elbow.

Keywords: double elbow, polypropylene, injection molding, injection mold, injection machine, simulation analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘÍBALA, Milan. *Výroba součásti Dvojité koleno HTHT32/40 GI* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124484>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 26. 6. 2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval společnosti Alca plast s.r.o. za možnost zhotovení této diplomové práce, zejména technickému řediteli a vedoucímu konstrukce forem a nástrojárny Tomášovi Gajdovi.

Na závěr bych rád poděkoval své přítelkyni a rodině za podporu při zpracování této diplomové práce.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI	10
1.1 Možnosti výroby součásti	11
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	13
2.1 Vstřikovací cyklus	14
2.1.1 Fáze vstřikovacího cyklu	15
2.2 Vstřikovací forma	17
2.2.1 Vtoková soustava	20
2.2.2 Temperační systém	23
2.2.3 Vyhazovací systém	25
2.2.4 Odvzdušnění	26
2.3 Speciální technologie vstřikování	27
2.4 Vady výstřiků při vstřikování	28
2.5 Vstřikovací stroj	29
2.6 Technologičnost	30
3 NÁVRH ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	32
3.1 Prvotní návrh vstřikovací formy	33
3.2 Výpočet technologických parametrů	34
3.3 Konstrukční řešení	41
3.3.1 Základní rám vstřikovací formy	41
3.3.2 Tvarové části vstřikovací formy	42
3.3.3 Horká vtoková soustava	47
3.3.4 Temperační soustava	48
3.3.5 Vyhazovací systém	49
3.3.6 Odvzdušnění	50
3.3.7 Doplnkové a manipulační prvky vstřikovací formy	51
3.4 Simulační analýzy	52
3.5 Vstřikovací stroj	53
3.6 Technologický postup výroby součásti	55
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	56
5 ZÁVĚRY	61

Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [1], [2], [3]

Lidstvo se s polymerními materiály setkává už několik desítek let. První zmínky o polymerních materiálech se datují do období 19. století, kdy vznikl první použitelný polymer. Větší rozmach ovšem byl ovšem zaznamenán až ve 20. století, kdy došlo k výrobě řady důležitých polymerů (bakelit, PVC apod.). Také technologie výroby polymerů je stará již několik staletí a první výroba se datuje do období 12. století v Anglii. K největšímu rozšíření došlo až ve 20. století, podobně jako u polymerních materiálů. V současné době se polymery využívají v mnoha výrobních odvětvích a jsou neodmyslitelnou součástí každodenního života (obr. 1).

S vývojem stále lepších polymerů došlo k náhradě některých výrobků z jiných materiálů jako například ocel, sklo apod. Výhodou polymerů oproti oceli je jejich nízká hmotnost, odolnost proti korozi, přesnost. Dále umožňují vyrábět velice komplikované a složité součásti, což vede k úspoře nákladů a snížení výrobních časů.

Polymery lze zpracovávat různými výrobními technologiemi jako například lisováním, odléváním, vytlačováním, vyfukováním, vstřikováním. Vstřikování je jednou z nejrozšířenějších technologií na výrobu polymerních materiálů a za několik desítek let prošlo velkým vývojem. V současné době se převážně využívá v automobilismu (světlomety, palubní desky), ve strojírenství, potravinářství, elektronice apod. Pro získání finálního výrobku se zhotovují nástroje neboli vstřikovací formy. Formy mohou být jednoduché až velmi komplikované, vždy záleží na tvaru a složitosti výrobku.

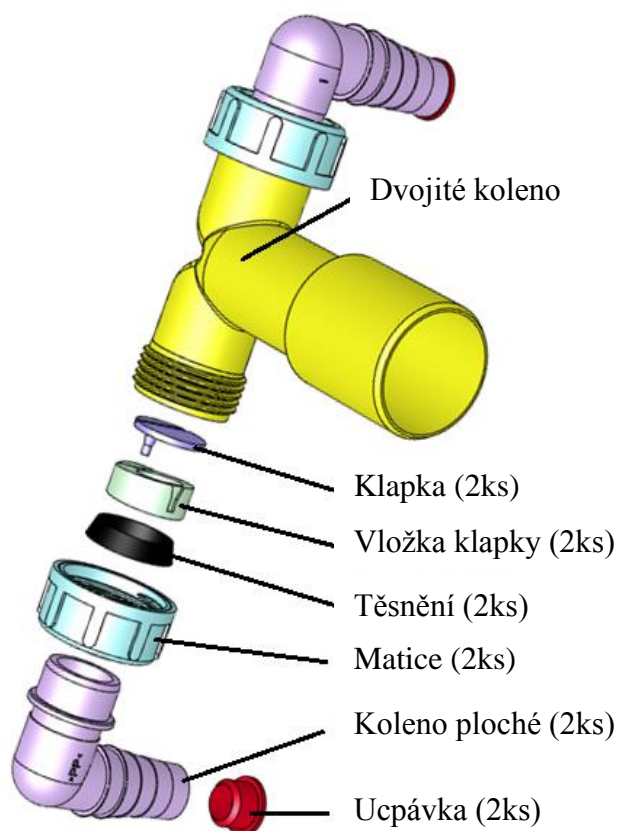


Obr. 1 Výrobky z polymerů [4], [5], [6]

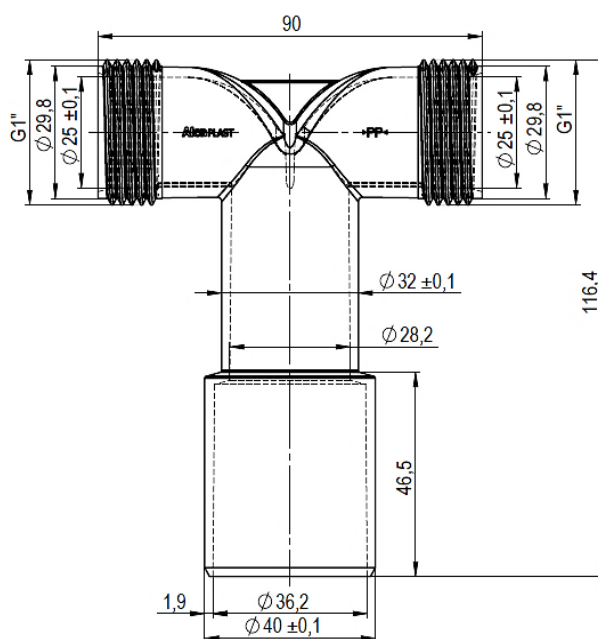
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI [7], [8], [9], [10], [11], [12]

Řešenou součástkou je dvojité koleno (obr. 2 žlutě) sestavy sifonu, které nachází své uplatnění v koupelnách při připojení nejrůznějších spotřebičů (pračky, myčky apod.). Dále slouží pro napojení odpadu k různým zařízením a pro napojení až dvou spotřebičů. Celá sestava sifonu se skládá z dvojitého kolena, klapky, vložky klapky, těsnění, matice, plochého kolena a ucpávky. Dvojité koleno se napojí na odpadní trubku HT o světlosti DN 40/32. Klapka je nasazena na vložce klapky a slouží k zamezení protékání vody z jednoho spotřebiče do druhého. K zamezení protékání vody je v matici umístěno těsnění, které je nasazené na plochém kolenu. Ploché koleno slouží k připojení hadice spotřebiče (pračky, myčky), na kterém je navlečená matice. Pro odtok vody ze spotřebiče se hadice nasadí na redukovaný průměr plochého kolena. Klapka, vložka klapky, těsnění a ploché koleno se vloží do matice, která se našroubuje na závit kolena G1". Ucpávka je nasazena na plochém kolenu a slouží k zamezení průtoku vody v případě, že koleno není využíváno. Dvojité koleno se skládá z největšího $\varnothing 40$ mm, menšího $\varnothing 32$ mm a dvou přípojných $\varnothing 29,8$ mm se závitem G1". Dále z vnitřních $\varnothing 25$ mm, $\varnothing 28,2$ mm a $\varnothing 36,2$ mm. Celková šířka součásti je 90 mm a výška 116,4 mm. Základní rozměry dvojitého kolena jsou zobrazeny na obr. 3. Nepředepsané mezní úchytky rozměrů a geometrické tolerance součásti jsou dle ČSN ISO 2768 – mK. Z hlediska použití kolena je potřeba zajistit u součásti přesnost funkčních rozměrů s danou tolerancí. Především u průměrů 40 mm a 32 mm je třeba zajistit plnou těsnost kvůli možnému úniku vody. Dále by nemělo docházet k tzv. přeskokování závitů v případě našroubování matic na koleno, které po zkompletování tvoří jeden celek, kdy nesmí dojít k jejich rozdělení při manipulaci a provozu.

Série vyráběné součásti bude 100 000 kusů za 3 měsíce. Materiálem pro výrobu dvojitého kolena je polypropylen (zkratka PP) patřící do skupiny semikrystalických termoplastů (polyolefinů). Polypropylen se vyznačuje vyšší pevností, tuhostí, tvrdostí, naopak nižší hustotou. Dále má velmi dobrou povrchovou tvrdost, odolává chemikáliím a je odolný



Obr. 2 Sestava sifonu [7]



Obr. 3 Základní rozměry kolena

proti kyselinám. U PP a všech polymerů je důležitá jejich tekutost, udávaná indexem toku IT. Index toku udává množství taveniny, které proteče tryskou o stanoveném průřezu za 10 minut o určité teplotě a tlaku. Čím vyšší je číslo indexu toku, tím má polymer vyšší tekutost. Polypropylen se řadí mezi nejčastěji používané plasty v různých odvětvích výroby (strojírenství – vstřikování plastů, textilní průmysl, potravinářský průmysl – obaly). Základní vybrané vlastnosti PP jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Základní vlastnosti polypropylenu (PP) [9], [11], [12], [13], [14]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka	Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Mez pevnosti v tahu	33	MPa	Tvrdost	75 - 90	MPa
Modul pružnosti	1100 - 1300	MPa	Pevnost	35 - 42	MPa
Hustota	0,9 - 0,92	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Houževnatost	140	$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$
Krystalinita	60 - 75	%			
Teplota tání	160 - 165	$^{\circ}\text{C}$			
Index toku	2 - 50	$\text{g} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$			
Tažnost	10 - 700	%			

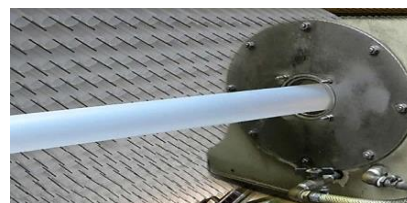
Společnost Alca plast sídlící ve městě Břeclav je českou rodinnou firmou založenou v roce 1998. Alcaplast se řadí mezi největší výrobce sanitární techniky. Působí ve střední a východní Evropě. Ve svém portfoliu má více než 580 výrobků typu sifonů, napouštěcích a vypouštěcích ventilů, podlahových žlabů, WC sedátek apod. Výrobky společnost vyváží do více jak 40 zemí světa a mezi největší odběratele se řadí Česká republika, Rusko, Slovensko, Maďarsko a Ázerbájdžán.

Mottem společnosti je kvalita a design výrobků. Právě za design dostala firma Alca plast ocenění Red Dot Award 2014 za kolekci ovládacích tlačítek FLAT. V roce 2018 byla odměněna za svoji stabilitu na českém trhu vítězstvím v soutěži Podnikatel roku EY. Několik let se společnost pravidelně umísťuje ve stovce nejlepších firem České republiky. V roce 2019 se dokonce umístila v první padesátce nejlepších firem České republiky.

1.1 Možnosti výroby součástí [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]

Dnešní doba nabízí nepřeberné množství technologií pro výrobu jakékoliv součásti z polymeru, ať se jedná o jednoduchý či tvarově složitý dílec. Technologie, které vstupují do začátku procesu zpracování polymerů a vystupují na konci procesu, lze rozdělit na tvářecí, tvarovací a doplňkové technologie. U tvářecí technologie se zásadně mění tvar výchozího materiálu vlivem velkého počtu přemísťujících se částic (vstřikování, lisování apod.). U tvarovací technologie nedochází k takové změně tvaru jako u tvářecí, proto se používá u spojování plastů, ohýbání. Doplňková technologie je odlišná svým začátkem, kdy dochází k úpravě prášku (sušení, barvení apod.), a svým koncem, kdy dochází k finální úpravě výrobku (pokovování). Vždy je potřeba brát ohled na tvar výrobku a jeho funkci v budoucím využití. Finální výrobek je též odvislý od vlastností konkrétního typu polymeru, požadované geometrické přesnosti, ale i ekonomie provozu. Na základě těchto požadavků jsou zde uvedeny technologie, kterými by bylo možné zadaný dílec vyrobit.

- Vytlačování (obr. 4) – neboli extruze spočívá v roztavení materiálu za pomoci teploty a tlaku s následným vytlačení pomocí šneku do konečného tvaru. Z tvaru zadaného dílce je možné využít metody vytlačování trubek a profilů. Většinou se používají linky s vytlačovacími stroji (extrudéry) určené k vytlačování trubek a proces



Obr. 4 Vytlačování trubek [21]

probíhá kontinuálně. Nevýhodou této metody je nemožnost výroby složitě tvarových trubek a součástí.

- Odlévání (obr. 5) – tento typ technologie se řadí mezi nejjednodušší z hlediska výroby plastových výrobků. Spočívá v zaplnění dutiny formy kapalným plastem, přičemž je důležitá jeho tekutost z důvodu vyplnění celého prostoru dutiny formy. Mezi nejčastější způsoby se řadí odlévání do statických forem a rotujících forem. Touto technologií lze vyrábět převážnou většinu termoplastů a reaktoplastů. Výhodou u této metody je konstrukční jednoduchost, nízké náklady, minimální odpad. Nevýhodou je použití malého množství plastů, malá přesnost.



Obr. 5 Odlévání [22]

- 3D tisk (obr. 6) – další metodou, která by připadala v úvahu na výrobu zadaného dílce je 3D tisk, konkrétně technologie FDM. Princip spočívá v cívce, na které je navinutý plast. Ten se postupně odvíjí a pomocí tiskové hlavy, která materiál nataví, se postupně nanáší na základovou desku. Základová deska se může posouvat v ose Z, tisková hlava v osách X a Y. Po nanesení první vrstvy se základová deska pohne v ose Z o tloušťku vrstvy směrem dolů. V dalším kroku se tiskne další vrstva a cyklus se opakuje až do úplného vytisknutí modelu. Výhody 3D tisku pomocí technologie FDM jsou levné zařízení, jednoduchost, možnost použití různých materiálů. Nevýhody FDM technologie jsou nízká kvalita tisku, velká tloušťka vrstvy, dodatečné povrchové úpravy.



Obr. 6 3D tiskárna [19]

- Vstřikování plastů (obr. 7) – tato technologie je jedna z nejpoužívanějších pro výrobu plastových výrobků. Princip spočívá v dodávce granulového materiálu do vstřikovacího stroje. V něm se materiál taví, až vznikne tavenina. Následně je pomocí šnekového ústrojí pod vysokým tlakem tavenina dopravována do dutiny vstřikovací formy. V průběhu tuhnutí materiálu dochází ke změně rozměrů vlivem smrštění. Tento úbytek materiálu kompenzuje fáze dotlaku. Po vyplnění celé dutiny formy a fázi dotlaku výrobek tuhne v konečný tvar. Následně dochází k otevření vstřikovací formy a pomocí vyhazovacího systému dojde k vyhození finálního výrobku. Technologie má nespočet výhod, zejména vysokou rozměrovou i tvarovou přesnost, možnost výroby složitých dílů, velmi pěkný vzhled. Mezi nevýhody vstřikování se řadí velké náklady na výrobu vstřikovacích forem nákup a nákup strojů.



Obr. 7 Vstřikování plastů [23]

Z výše popsaných technologií se jeví jako nejlepší metoda vstřikování plastů. Pro výběr vhodné technologie byl brán zřetel na použitý materiál, složitost výlisku a rozměrovou přesnost, kdy vstřikováním lze vyrábět značně složitě výrobky s větší přesností. Vstřikováním se dosahuje kratších výrobních časů, a tím lepší produktivity práce.

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [1], [15], [17], [20], [24], [25]

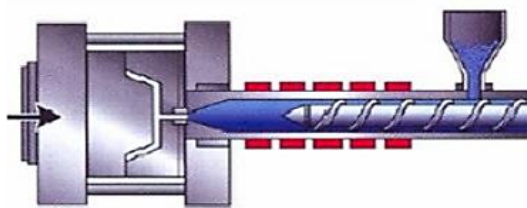
Vstřikování plastů je v současné době jedna z nejpoužívanějších technologií na výrobu plastových výrobků převážně z termoplastických materiálů. Výrobky vyrobené touto technologií mají buď charakter konečného výrobku (nádoby, kryty), nebo slouží jako jednotlivé díly pro sestavení celku (sifony, napouštěcí ventily, ovládací tlačítka apod.). Proces vstřikování probíhá cyklicky, tj. vždy se opakuje jeden výrobní cyklus. To umožňuje mít kratší vstřikovací časy než u jiných technologií. Díky kratším vstřikovacím časům je možné vyrábět díly s velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností, značně tvarové s velmi dobrou kvalitou povrchu. Metodou vstřikování lze zpracovávat termoplasty, ale i reaktoplasty a elastomery.

Před samotným procesem vstřikování se materiál upravuje různými způsoby do podoby, který odpovídá vhodným vlastnostem. Pro získání těchto vlastností se do plastů přidávají nejrozličnější přísady – aditiva. Přísadami se dosahuje lepší stability taveniny, zlepšení toku taveniny a zatékavosti. Mezi nejpoužívanější přísady se řadí stabilizátory, plastifikátory, retardéry hoření, barviva a plniva.

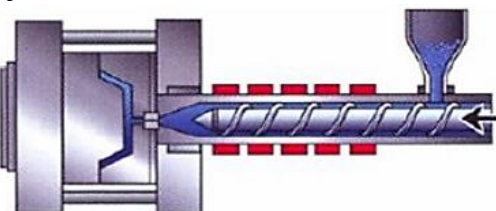
Prvním krokem vstřikovacího procesu je nasazení vstřikovací formy na stroj a upevnění pomocí upínacích prvků. Následně je nutné formu vytemperovat na správnou provozní teplotu.

Vstřikovací cyklus probíhá následovně:

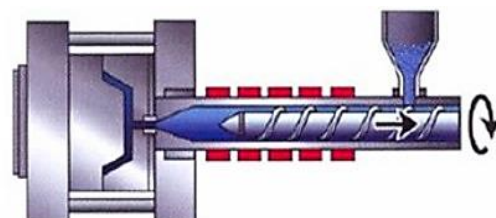
- 1. fáze (obr. 8) – Materiál ve formě granulí se přivede do násypky vstřikovacího stroje. Pomocí šnekového ústrojí je materiál přiveden do komory, kde se postupně natavuje a mění se v taveninu. Vstřikovací forma se uzavře.
- 2. fáze (obr. 9) – Pomocí plastifikační jednotky je plast pod velkým tlakem vstřikován do uzavřené dutiny formy, kde vyplní celý její tvar. Při vstřikování dochází vlivem tepla a tlaku ke zmenšování objemu polymeru (smrštění), což může mít za následek vady na konečném výrobku. Z tohoto důvodu musí být zařazena tzv. dotlaková fáze, která kompenzuje úbytek materiálu doplňováním taveniny do nezchlazených míst výrobku.
- 3. fáze (obr. 10) – Po konci dotlaku následuje tzv. plastifikace, tj. příprava taveniny pro další vstřikovací cyklus. Šnek se otáčí v plastifikační jednotce a před čelo šneku přivádí materiál, který se taví vlivem tření šneku. Následuje tzv. fáze chlazení, kdy dochází k tuhnutí, dokud plast nezíská tvar finálního výrobku.
- 4. fáze (obr. 11) – Poslední fáze spočívá v otevření formy, kdy za pomoci vyhazovacího systému dojde k vyhození konečného výstřiku z formy. Následně dojde k opětovnému uzavření vstřikovací formy a celý cyklus se opakuje.



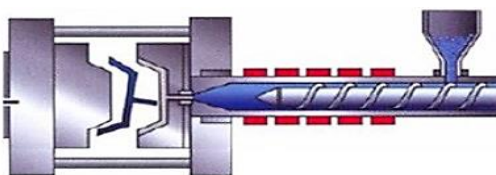
Obr. 8 Uzavření vstřikovací formy [25]



Obr. 9 Plnění a dotlak [25]



Obr. 10 Chlazení a plastifikace [25]



Obr. 11 Otevření formy a vyhození výstřiku [25]

2.1 Vstříkovací cyklus [1], [14], [17], [20]

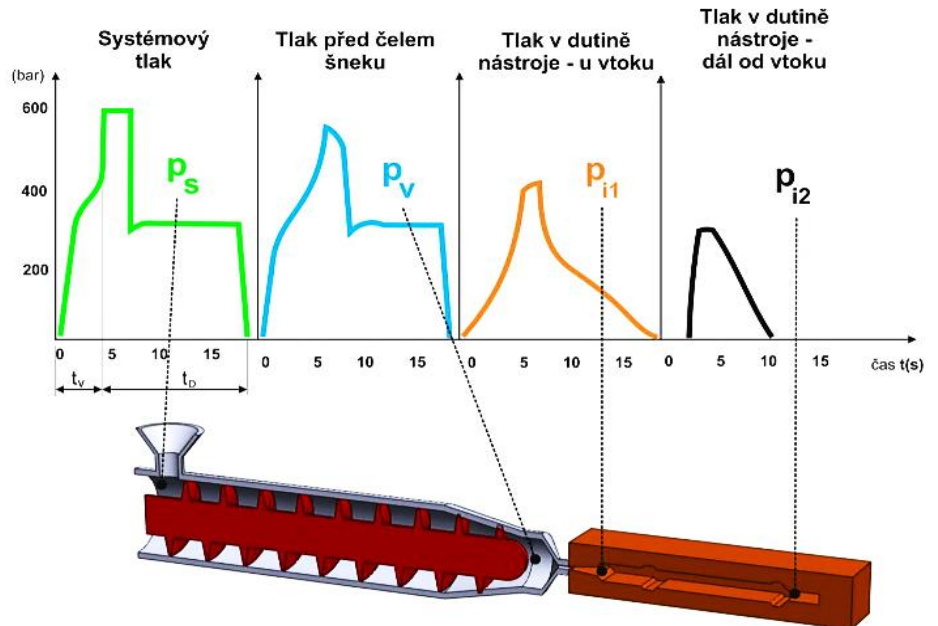
Vstříkovací cyklus je sled postupných kroků a fází, kdy na konci procesu vzniká hotový výrobek, přičemž je důležité vždy definovat začátek vstříkování.

Začátkem se rozumí většinou uzavření vstříkovací formy. Vstříkovací cyklus lze popsat i z hlediska daného polymeru. U

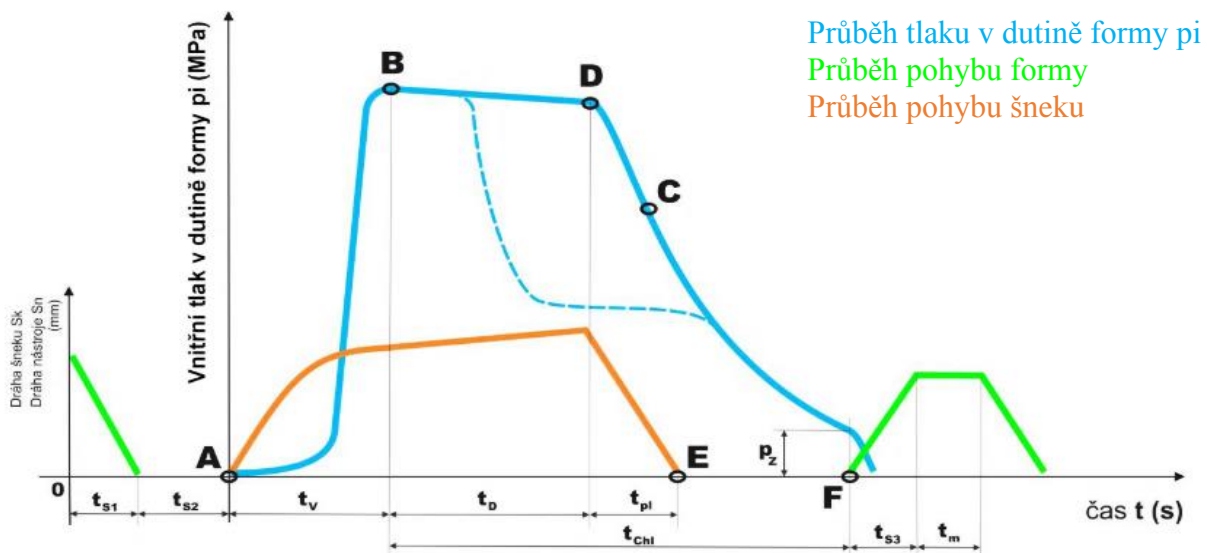
technologie vstříkování existuje několik tlaků, které jsou pro tuto technologii důležité (obr. 12). Prvním je systémový tlak, který se měří

v systému vstříkovacího stroje. Druhým je vnitřní tlak, který se definuje jako tlak v dutině vstříkovací formy v průběhu vstříkování. Třetím je vnější tlak, který se vztahuje na jednotku plochy průřezu šneku. Na základě definovaných tlaků může být popsán samotný vstříkovací cyklus.

Samotný vstříkovací cyklus, znázorněný na obr. 13, určuje závislost tlaku v dutině formy.



Obr. 12 Tlaky vstříkovacího procesu [20]



Obr. 13 Průběh tlaku v dutině formy vstříkovacího cyklu [20]

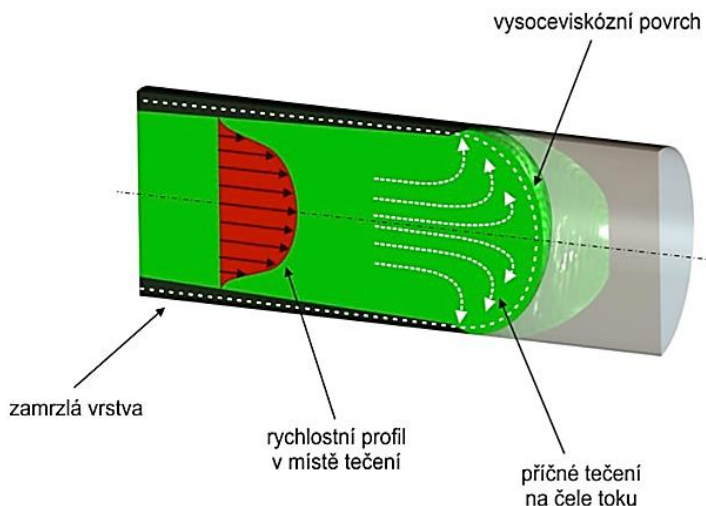
Průběh vstříkování začíná počátkem cyklu, za který se považuje prázdná dutina formy, a kdy je forma otevřená. V první časové fázi 't_{s1}' dochází k uzavření vstříkovací formy. Po fázi 't_{s1}' následuje časová fáze 't_{s2}', ve které dochází k přesunu vstříkovací jednotky stroje ke vstříkovací formě. Časy 't_{s1}' a 't_{s2}' se souhrnně označují jako strojní časy. Mezi body 'A' a 'B' probíhá plnění dutiny vstříkovací formy axiálním pohybem šneku. Doba, za kterou dojde

k vyplnění dutiny formy tekutým polymerem, se nazývá doba plnění označená ' t_v '. Po době plnění následuje fáze chlazení ' t_{chl} '. Chlazení probíhá po celou dobu vstřikování až do otevření formy a vyhození výstřiku z formy. Během procesu vstřikování dochází k chladnutí a smršťování vstřikovaného plastu, kdy zmenšuje svůj celkový objem (vznikají vady). Tento ztracený objem je nutné kompenzovat další taveninou do dutiny formy. Tato kompenzace taveniny se nazývá fáze dotlaku ' t_D ' a začíná v bodě 'B' a končí bodem 'D'. Bodem 'C' se rozumí chvíle, kdy zatuhne tavenina ve studeném vtokovém kanálu. Při dotlaku je důležité neustále udržování procenta taveniny před čelem šneku kvůli dotlačování taveniny do dutiny formy. V další fázi následuje po dotlaku plastifikace značená ' t_{pl} '. Plastifikace spočívá v dodávání nové dávky taveniny pro další výrobní cyklus. Ve vstřikovací formě dochází ke snižování tlaku vlivem permanentního chlazení až na hodnotu zbytkového tlaku ' p_z '. Zbytkový tlak ' p_z ' je tlak, při němž dochází k otevření formy označené bodem 'F' a vyhození výstřiku z formy. Čas potřebný k otevření formy a vyhození výstřiku se nazývá strojní doba ' t_{s3} '. V případě vyjímání dílu z formy manipulátorem se určuje i manipulační doba ' t_m '.

2.1.1 Fáze vstřikovacího cyklu [1], [8], [17], [20], [24]

Vstřikovací cyklus není dán pouze jedním krokem, ale jedná se o sled několika operací ke zhotovení finálního výrobku. Každá fáze vstřikovacího cyklu trvá různě dlouho a je ovlivněna řadou faktorů (geometrie výstřiku, podmínky vstřikování apod.). Detailnější popis jednotlivých fází vstřikovacího cyklu dle obr. 13:

- strojní časy – první fází výrobního cyklu je zavření vstřikovací formy ' t_{s1} ', přesunutí vstřikovací jednotky k formě ' t_{s2} ', otevření formy a vyhození výstřiku ' t_{s3} '. Tyto časy jsou závislé na rychlosti pohybující se formy a na dráze, kterou se forma pohybuje. Otevření formy je odvislé od rozměru výstřiků a musí být dostatečné pro bezproblémové vyjmutí výstřiku z formy i v případě manipulátoru. Strojní časy se zkracují na co nejmenší hodnotu z důvodu zvýšení rychlosti formy. Forma se při zavírání pohybuje velkou rychlostí, avšak při dosednutí se zpomaluje, aby nedošlo k poškození formy. Naopak při otevírání formy je rychlost nejvyšší, postupně se na maximální rozevření stroje snižuje až dojde k pomalému vyhození výstřiku z formy.
- vstřikování (plnění ' t_v ') – jedna z nejdůležitějších fází technologie vstřikování, kdy dochází k vyplnění dutiny formy roztaveným polymerem za velmi krátkou dobu v řádu sekund podle složitosti výstřiku. Doba plnění dutiny formy taveninou probíhá pomocí axiálního pohybu šneku vpřed a rychlost ovlivňuje několik faktorů – vstřikovací tlak, teplota formy, druh polymeru, vtoková soustava apod. Forma se celý výrobní cyklus ochlazuje, a proto by doba jejího plnění měla být co nejkratší, aby nedošlo ke ztrátě tekutosti polymeru a k následnému zatuhnutí čela taveniny. Průběh rychlosti tečení taveniny je zobrazen na obr. 14. Při plnění tvarové dutiny taveninou je třeba dodržet zásadu postupného plnění,

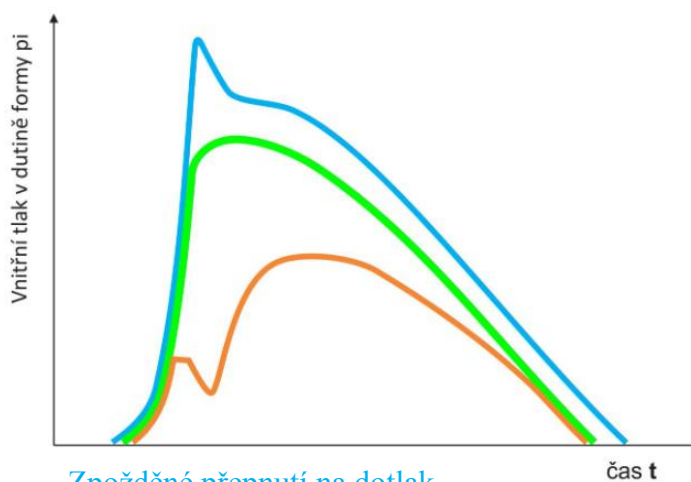


Obr. 14 Průběh tečení taveniny [20]

nikoliv volného. Postupné plnění neboli laminární tok se vyznačuje tzv. vrstvením taveniny. Při průtoku dutinou formy se tavenina ochlazuje díky nižší teplotě formy a následně přilne ke stěnám formy. To má za následek vytvoření ztuhlé hmoty a vytvoření vrstvy izolace. V dutině je tzv. plastické jádro o nízké viskozitě, které umožňuje další průtok taveniny, při kterém dojde k úplnému zaplnění dutiny formy.

- dotlak ' t_D ' – tato fáze slouží ke kompenzaci ztráty objemu (smrštění) výrobku během chladnutí ve formě a následuje ihned po fázi plnění (vstřikování). Úlohou dotlaku je snížit tlak uvnitř dutiny vstřikovací formy. V průběhu vstřikování vzniká vysoký tlak a rychlost, pokud by zůstaly na původní hodnotě, mohlo by to mít za následek vysoké hmotnosti a rozměry výstřiků, namáhání formy, otevření formy v dělicí rovině apod.

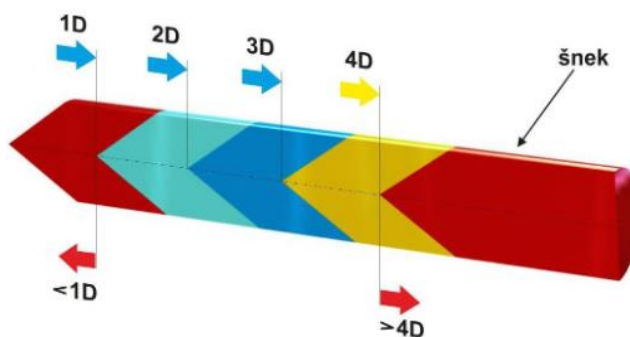
Aby nedošlo k těmto situacím, je nutné po určité časové době tzv. přepnout na dotlak. Mohou nastat dva případy přepnutí na dotlak. Opožděné přepnutí, při kterém bude docházet k jevům popsaným výše. Předčasné přepnutí bude mít za následek výrobek, který nebude vyplněný taveninou, tzv. nedostříknutý. Způsob přepnutí dotlaku v čase lze vidět na obr. 15. Doba dotlaku závisí zejména na konstrukčním řešení vstřikovací formy (průřez vtokového kanálu, teplotě taveniny apod.) a měla by trvat několik sekund až desítky sekund.



Zpožděné přepnutí na dotlak
Optimální přepnutí na dotlak
Předčasné přepnutí na dotlak

Obr. 15 Přepnutí dotlaku v závislosti na čase [20]

- plastifikace ' t_{pl} ' – během vstřikování dochází k neustálému dávkování taveniny pro další výrobní cyklus. Šnek se otáčí v plastifikační jednotce a polymer nejčastěji ve formě granulí se posouvá před čelo šneku. Granulát se mění na taveninu vlivem tření šneku (otáčí se a pohybuje se vzad) a vstřikovací komory, která je vyhřívána elektrickým topením. Důležitá zásada je udržování teploty taveniny, protože ovlivňuje několik faktorů – viskozitu, tlak ve formě, dobu chladnutí výstřiku. Při plastifikaci musí být zajištěno dostatečné dávkování polymeru pro naplnění tvarové dutiny vstřikovací formy, vtokového systému i kompenzaci objemu (smrštění) pro dotlak (dávka se navyšuje o 5–15 % objemu výstřiku). Objem dávkování při plastifikaci ve vztahu ke vstřikovacímu stroji by neměl překročit 4násobek průměru šneku viz obr. 16 (doba vstřikování, vznik vzduchových bublin). Plastifikace nemá vliv na celkovou délku výrobního vstřikovacího cyklu.



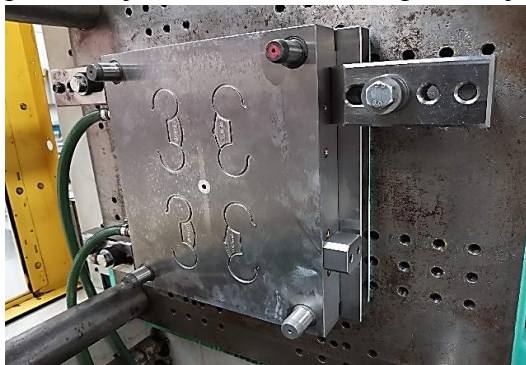
1D až 3D optimální rozsah
3D až 4D možné ve výjimečných případech
< 1D a > 4D nedoporučované hodnoty

Obr. 16 Dávkování vstřikovacího stroje [20]

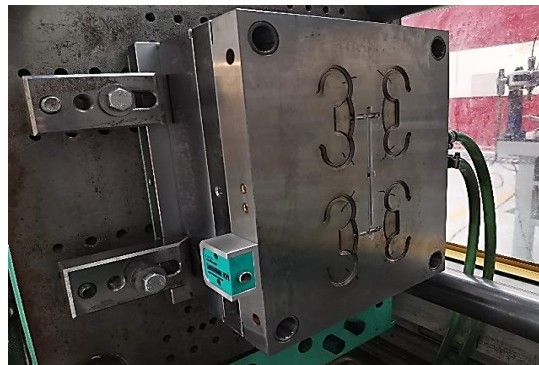
- chlazení ' t_{chl} ' – polymer v průběhu vstřikování ztrácí svoji teplotu vlivem chlazení vstřikovací formy a chlazení pokračuje i během fáze dotlaku. Chlazení probíhá až do úplného ztuhnutí ve finální výstřik, přičemž teplota výstřiku musí být taková, aby nedošlo k deformaci vlivem vyhození ze vstřikovací formy. Plného zchladnutí dosáhne výstřik až mimo pracovní prostor vstřikovací formy. Tato fáze se řadí mezi nejdelší fáze vstřikovacího cyklu z důvodu špatného vedení tepla plastů. Doba chlazení se pohybuje v řádech sekund, ale u tvarově složitějších výrobků se může vyšplhat až na několik minut. Ve vstřikovacích formách se chlazení využívá jako celek vzájemně propojených kanálů, v nichž teče vhodné médium (nejčastěji voda, používá se i olej).
- vyhození – každý hotový výrobek musí být po ochlazení a ztuhnutí vyjmut ze vstřikovací formy pomocí vyhazovacího systému. Vyhození musí být navrhováno tak, aby došlo k úplnému vyhození výstřiku ze vstřikovací formy.

2.2 Vstřikovací forma [1], [17], [20], [26], [27], [28], [29]

Jak již bylo zmíněno výše, technologie vstřikování je jedna z nejpoužívanějších pro výrobu součástek z polymerního materiálu. Ke zhotovení finálního výrobku se používá vstřikovací forma, která je vhodně umístěna na vstřikovacím stroji. Účelem vstřikovací formy je doprava roztaveného polymeru do tvarových částí (dutin), kde dojde k zaplnění celého objemu dutiny, a tím získá díl konečný tvar. Rozměry tvarových částí jsou zvětšeny o hodnotu smrštění daného polymerního materiálu. V průběhu plnění dutiny taveninou vzniká teplo, které je nutné průběžně odvádět, protože by mohlo dojít k předčasnému zatuhnutí taveniny a mohl by vznikat zmetek. Forma se skládá z pevné a pohyblivé poloviny, viz obrázek 17, 18, a každá polovina je složena z několika po sobě jdoucích desek.



Obr. 17 Pevná polovina formy

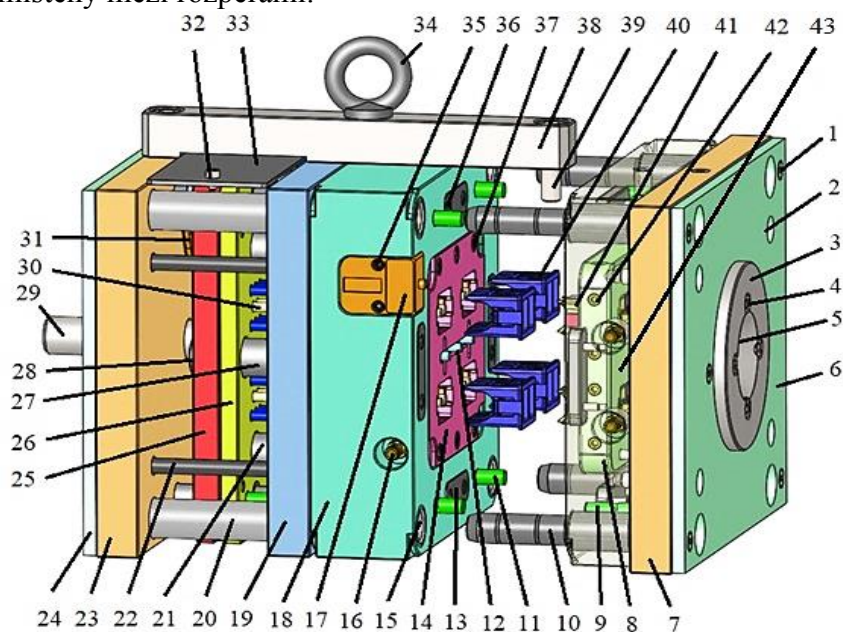


Obr. 18 Pohyblivá polovina formy

Hlavními požadavky kladenými na vstřikovací formu jsou zejména odolnost proti vysokým tlakům během vstřikování, kvalita výstřiku, snadné vyjímání výstřiku. Dále musí splňovat požadavky na snadnou obsluhu, snadnou výrobu. V průběhu vstřikování dochází k velkému namáhání formy vlivem velkých tlaků a teplot. Musí tudíž tomuto zatížení odolávat, aniž by došlo v průběhu cyklu k poškození formy. Mezi nejdůležitější kritéria patří především životnost formy, která se musí pohybovat v řádech statisíců cyklů kvůli vysokým počátečním nákladům. Životnost je dána především vhodně použitým materiálem s následným tepelným zpracováním tvarových částí, které jsou v kontaktu s taveninou. Použitý materiál závisí zejména na druhu polymeru, procesu vstřikování, výrobní sérii, složitosti výstřiku, násobnosti formy. Rámy vstřikovacích forem jsou většinou zhotoveny z nástrojových ocelí, které se dále tepelně nezpracovávají (nekalí). Tvarové části formy, které jsou v kontaktu s taveninou, jsou vyrobeny z kvalitnějších nástrojových ocelí s následným tepelným zpracováním (kalením a popouštěním). Pro úsporu nákladů se v současné době používají rámy, vodící prvky apod. jako polotovary od firem Hasco, Meusburger (normálie). Každý materiál má určitou životnost

a po provedení určitého počtu cyklů ztrácí své původní vlastnosti a účel, proto při volbě materiálu je nejdůležitější velikost výrobní série.

Vstřikovací forma je silně tepelně a tlakově ovlivněna, proto se u ní vyžaduje vysoká přesnost a jakost funkčních ploch, maximální tuhost a pevnost. Dalšími důležitými aspekty je vtokový systém, odvzdušnění, temperování, vyhazování. Vstřikovací formy mají širokou škálu provedení. Může se jednat o jednonásobné či vícenásobné, dvoudeskové, tříděskové, čelist'ové formy. Na obrázku 19 lze vidět základní dvoudeskovou vícenásobnou formu s několika deskami, které se vzájemně spojují šrouby. Dvoudesková forma spočívá v tom, že jsou dvě desky ve styku s taveninou. Mezi tvarovými deskami je umístěna tvarová dutina finálního výstřiku. Hranice mezi tvarovými deskami se nazývá dělicí rovina. V průběhu vstřikování nesmí dojít k jejímu rozevření, proto musí být vyrobená přesně a z velmi odolných materiálů. Dutina se běžně vytváří přímo do tvarových desek nebo do tvarových vložek. Z obrázku 19 je patrné, že konečný výstřik je složitějšího tvaru, proto jsou v tvarových deskách umístěny tvárník a tvárnice. V tomto případě přebírají funkci tvarových desek a je zde umístěna dělicí rovina s tvarovou dutinou. Tvarové vložky jsou často využívány u tvarově složitých dutin. Výhodou je jejich snadnější opravitelnost než u tvarových desek. Další výhodou je úspora nákladů na výrobu vstřikovací formy jako celku. V pohyblivé polovině je v mnoha případech za tvarovou deskou umístěna podpěrná deska z důvodu získání větší tuhosti formy. Pro vyhození výstřiku slouží vyhazovací systém s vyhazovači umístěný mezi rozpěrami.

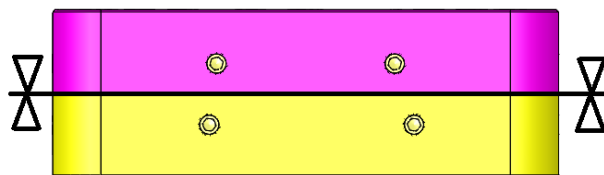


Obr. 19 Dvoudesková vstřikovací forma

1 – šroub izolační desky, 2 – montážní šrouby upínací desky, 3 – středící kruh, 4 – šroub středícího kruhu, 5 – vtoková vložka, 6 – izolační deska, 7 – upínací deska pevná, 8 – tvárnice, 9 – dorazový kolík, 10 – vodící sloupek, 11 – vraccí kolík, 12 – vyhazovač vtoku, 13 – opěrka dělicí roviny, 14 – tvárník, 15 – vodící pouzdro, 16 – přípojka (náustek), 17 – počítadlo zdvihu, 18 – tvarová deska pohyblivá, 19 – podpěrná deska, 20 – středící trubka, 21 – vedení vyhazovacího paketu, 22 – montážní šrouby upínací desky, 23 – upínací deska pohyblivá, 24 – izolační deska, 25 – opěrná deska vyhazovací, 26 – kotevní deska vyhazovací, 27 – podpěrný válec, 28 – podložka vyhazovacího systému, 29 – čep vyhazování, 30 – vyhazovače, 31 – čidlo vyhazovacího systému, 32 – šroub krytu, 33 – kryt, 34 – montážní oko, 35 – šroub počítadla zdvihu, 36 – šroub opěrky dělicí roviny, 37 – šroub tvárníku, tvárnice, 38 – nosník, 39 – šroub nosníku, 40 – výlisek, 41 – jádra, 42 – zátka, 43 – tvarová deska pevná

Celý vyhazovací systém je spojený s vyhazovacím systémem vstřikovacího stroje, přičemž k posuvu dochází pomocí vodících elementů a posléze následnému vyhození výstřiku. Vstřikovací forma se upíná pomocí upínek za upínací desky na vstřikovací stroj. Pomocí středícího kroužku se zajistí upnutí tak, aby forma byla v ose trysky vstřikovacího stroje. Na upínacích deskách se nacházejí izolační desky, které snižují přestup tepla mezi formou a strojem. V procesu vstřikování dochází k vysokým teplotám vlivem neustálého tavení polymeru. Proto je důležité co nejvíce formu ochladit na teplotu vyhození. K tomuto účelu slouží přípojka (nátrubek) a přes hadici je přiváděno temperační médium pomocí zhotovených kanálků v tvarových částech formy. K manipulaci formy se využívá závěsných ok s dostatečnou rezervou kvůli hmotnosti formy. Poloha mezi pevnou a pohyblivou polovinou formy se zajišťuje pomocí přesných vodících prvků (sloupky, pouzdra). V rámci konstrukčního řešení vstřikovací formy je třeba posoudit následující části:

- dělicí rovina (obr. 20) – rozhraní přechodu pevné a pohyblivé formy nebo tvárníku a tvárnice. Tvar dělicí roviny má být vzhledem k výstřiku co nejjednodušší, bez tvarově složitých zlomů a přechodů. V průběhu vstřikování jsou na dělicí rovinu kladeny obrovské tlaky, proto musí být zaručena těsnost dostatečnou uzavírací silou stroje. Uzavírací síla, která se na začátku vstřikování mění v přidržovací, musí mít takovou velikost, aby nedošlo k otevření formy. V případě nedostatečné těsnosti v dělicí rovině mohou vznikat tzv. zástřiky, kdy tavenina vytéká spárou v dělicí rovině. Nevýhodou je neustálá stopa po dělicí rovině na hotovém výstřiku. Z tohoto důvodu je třeba navrhovat dělicí rovinu v místech, kde nejsou tak vysoké požadavky na vzhled.



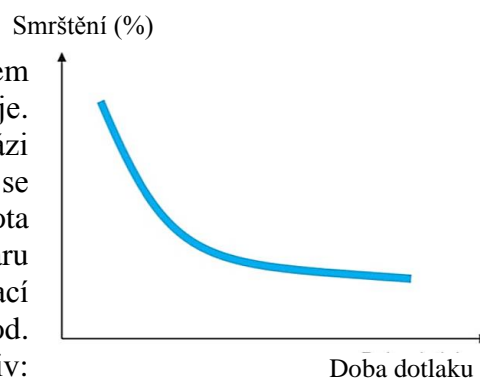
Obr. 20 Dělicí rovina

- násobnost (obr. 21) – vstřikovací formy jsou samy o sobě velmi finančně nákladným nástrojem. Z tohoto hlediska se při menších výstřicích používají tzv. vícenásobné formy. Do jedné formy se vytvoří několik tvarových dutin, vhodně rozmístěných. Optimální násobnost je dána řadou faktorů jako přesnost výstřiku, velikost vstřikovacího stroje, požadovaného množství a ekonomie výroby. Vícenásobné formy mají řadu výhod, ale přináší i řadu nevýhod, protože čím více násobnosti, tím menší přesnost a nižší kvalita výstřiků. Z důvodu nižší kvality a menší přesnosti výstřiků je dobré používat menší násobnosti. U tvarově složitých dílů je vhodné používat pouze jednonásobné formy.



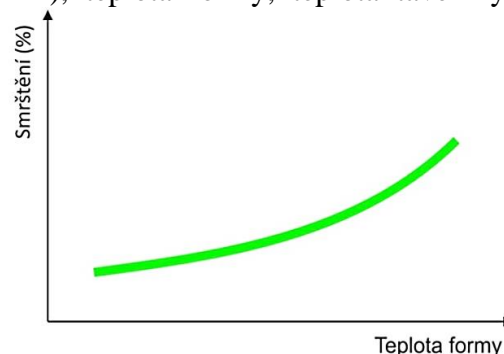
Obr. 21 2násobná vstřikovací forma [29]

- smrštění – každý polymerní materiál se vlivem ochlazení zmenšuje a hmota se smršťuje. Z tohoto důvodu je třeba již v počáteční fázi konstrukčního řešení vstřikovací formy počítat se zvětšením dutiny o hodnotu smrštění. Hodnota smrštění se odvíjí od daného typu polymeru, tvaru výstřiku, technologie vstřikování, ale i vstřikovací formy v podobě vtokové soustavy, chlazení apod. Z technologického hlediska mají na smrštění vliv:



Obr. 22 Vliv smrštění na dotlaku [20]

vstřikovací tlak, rychlost, vliv dotlaku (obr. 22), teplota formy, teplota taveniny, tloušťka stěny, umístění vtoku. Na obrázku 23 je znázorněn vliv teploty formy na smrštění. Smrštění se udává v procentech a jelikož stanovení hodnoty je velmi komplikované využívá se hodnot z tabulek, viz tabulka 2. Smrštění je dvojího druhu, a to výrobní a dodatečné. Po vyhození výstřiku následuje výrobní smrštění, které probíhá dalších 24 hodin. Dodatečné se odvíjí od druhu použitého polymeru a v mnoha případech probíhá za delší časový úsek.



Obr. 23 Vliv smrštění na teplotu formy [20]

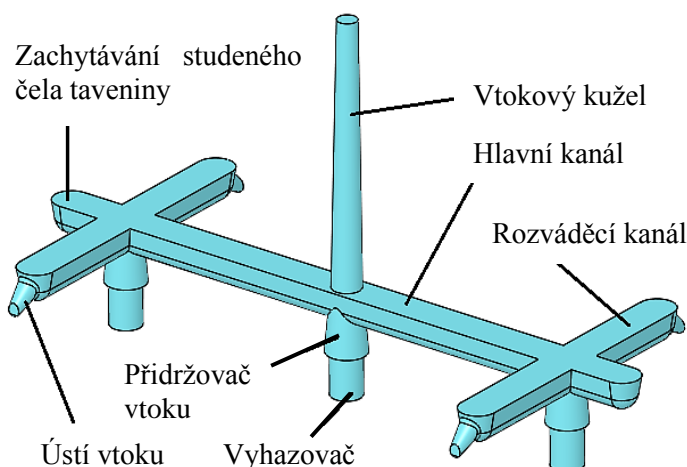
Tab. 2 Hodnoty smrštění polymerů [20]

Termoplast	Smrštění [%]	Termoplast	Smrštění [%]
LDPE	1,5 - 3	PA6	1 - 2,5
HDPE	2 - 4	PA66	1 - 2
PP	1,5 - 2	POM	1 - 3,2
PS	0,2 - 0,5	PC	0,6 - 0,8
ABS	0,4 - 0,7	PBT	1,7 - 2,3
PVC	0,2 - 0,6	PMMA	0,3 - 0,8

2.2.1 Vtoková soustava [1], [14], [17], [26], [27], [28], [30]

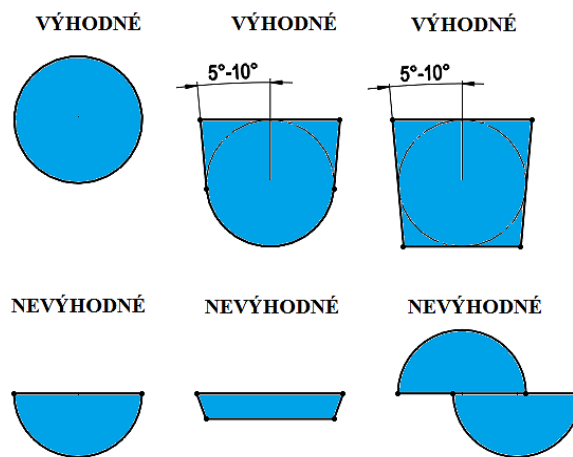
Vtoková soustava má za úkol vhodným způsobem dopravit taveninu z komory vstřikovacího stroje do dutiny formy, přičemž by k naplnění mělo dojít v co možná nejkratším čase. Je řešena jako systém kanálů a ústí vtoku, kdy se zajišťuje úspěšné naplnění tvarové dutiny. Řešení vtokové soustavy spočívá především ve vhodném návrhu konstrukčního řešení vstřikovací formy. To závisí zejména na typu výstřiku, počtu tvarových dutin a jejich rozmístění. Vtok musí být vhodně umístěn, protože má podstatný vliv na proudění taveniny, a v případě špatně zvoleného vtoku by docházelo k vadám na výstřiku. Důležitým hlediskem při návrhu vtokové soustavy je násobnost, u které se požaduje zaplnění všech dutin současně za stejný časový úsek. Rozlišují se dva typy vtokových soustav:

- studená vtoková soustava (obr. 24) – spočívá v průtoku polymeru od vtokové vložky do vtokového kužele až do hlavního kanálu. Následně teče tavenina do rozváděcích kanálků, kde dochází ke ztuhnutí polymeru na stěně kanálu vlivem ochlazování v průběhu vstřikování. Ztuhlý polymer zužuje průřez, kterým tavenina může protékat, až dojde k vyplnění celé dutiny formy vtokovým ústím. Na konci hlavního kanálu je vytvořeno prodloužení, které slouží k zachytávání studeného



Obr. 24 Studená vtoková soustava [30]

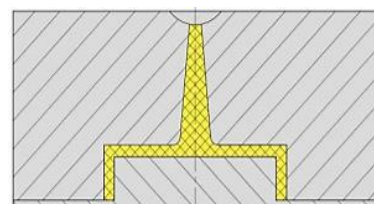
čela taveniny. V tomto místě se studená část taveniny zachytí v tomto prodloužení. Přidržovač vtoku slouží k přidržení vtokové soustavy na pohyblivé straně formy. Výstřik a vtoky postupně vlivem neustálého ochlazování tuhnou až k teplotě potřebné k vyhození výstřiku a vtoku z formy. Hlavní kanál a rozváděcí kanály, jak již bylo zmíněno výše, slouží pro rozvod taveniny do vtokového ústí a následnému vyplnění tvarové dutiny formy. Správný tvar a navržení kanálů ovlivňuje zejména kvalitu vstřikovaného dílu a efektivitu celého procesu vstřikování. Velikost kanálů závisí na velikosti vstřikovaného dílu. Optimální rozměr kanálů má za následek snadné plnění dutiny formy. Kanály by měly být co nejkratší, aby naplnění dutiny proběhlo co nejrychleji, protože v průběhu tečení taveniny dochází k teplotním a tlakovým ztrátám. Na obrázku 25 jsou znázorněny různé tvary kanálů. Nejoptimálnějším tvarem je kruh, který se zhotovuje do obou polovin vstřikovací formy. Z hlediska výroby je to nejjednodušší varianta, avšak vzniká riziko nepřesnosti obou kanálů vlivem obrábění. Z tohoto důvodu lze použít i další tvary blízké kruhu (trapézový, parabolický). K omezení nepřesnosti se používají kanály zhotovené do jedné poloviny formy, tj. trapézové a parabolické. Z důvodu přilnutí taveniny na povrch kanálu při tečení polymeru je důležité zhotovit úkosy minimálně 5° na každé straně pro snadnější vyhození vtokového kanálu. Kanály musí být voleny s dostatečným průřezem pro zatečení do všech tvarových dutin a pro působení dotlaku. Za rozváděcím kanálem následuje zúžená část, tzv. ústí vtoku. Zúžením se dosáhne vyšší teploty při plnění dutiny formy. Ústí vtoku musí zabezpečit snadné oddělení výstřiku od vtokové soustavy. Jelikož po oddělení vznikají na výstřiku stopy, musí být ústí vtoku co nejmenší, ale za předpokladu zaplnění dutiny formy. Existuje několik druhů provedení:



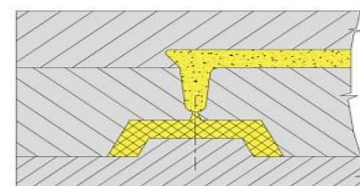
Obr. 25 Tvary vtokových kanálů [28], [30]

obrázku 25 jsou znázorněny různé tvary kanálů. Nejoptimálnějším tvarem je kruh, který se zhotovuje do obou polovin vstřikovací formy. Z hlediska výroby je to nejjednodušší varianta, avšak vzniká riziko nepřesnosti obou kanálů vlivem obrábění. Z tohoto důvodu lze použít i další tvary blízké kruhu (trapézový, parabolický). K omezení nepřesnosti se používají kanály zhotovené do jedné poloviny formy, tj. trapézové a parabolické. Z důvodu přilnutí taveniny na povrch kanálu při tečení polymeru je důležité zhotovit úkosy minimálně 5° na každé straně pro snadnější vyhození vtokového kanálu. Kanály musí být voleny s dostatečným průřezem pro zatečení do všech tvarových dutin a pro působení dotlaku. Za rozváděcím kanálem následuje zúžená část, tzv. ústí vtoku. Zúžením se dosáhne vyšší teploty při plnění dutiny formy. Ústí vtoku musí zabezpečit snadné oddělení výstřiku od vtokové soustavy. Jelikož po oddělení vznikají na výstřiku stopy, musí být ústí vtoku co nejmenší, ale za předpokladu zaplnění dutiny formy. Existuje několik druhů provedení:

- a) kuželový vtok – rozvod taveniny se děje přímo do tvarové dutiny formy (obr. 26). Tento vtok je využíván pro jednoduché výstřiky. Nevýhodou tohoto vtoku je nutnost dodatečného odstraňování zbytku vtokového kanálu. Výhodou je snadná vyrobiteľnosť a veľmi jednoduché provedení.
- b) bodový vtok – řadí se mezi skupinu tzv. zúžených vtoků (obr. 27). Dolní část vtoku je rozšířena z důvodu odtržení a vytažení výstřiku. Částí vtoku je předkomůrka, ve které zůstává tavenina pro další vstřikovací cyklus. Nevýhodou je značná stopa po vtoku na výstřicích. Výhodou je oddělení zbytku až při vyhození dílu z formy.
- c) tunelový vtok – velmi rozšířené ústí vtoku (obr. 28), kterým je možno plnit dutinu formy mimo dělicí rovinu. Při použití tohoto typu je důležitá přítomnost přidržovače vtoku, aby vtok zůstal na pohyblivé straně formy a pomocí

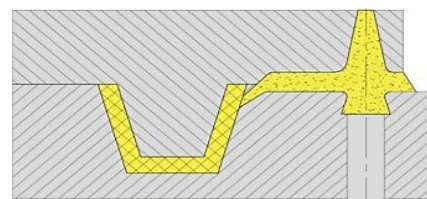


Obr. 26 Kuželový vtok [30]



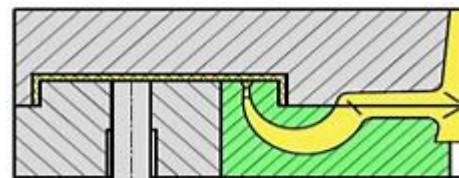
Obr. 27 Bodový vtok [30]

vyhazovací systému došlo k vyhození vtokové soustavy z formy. Dále zajišťuje automatické oddělení od výstřiku při otevření formy nebo při vyhození výstřiku. Důležitá je přítomnost ostré hrany asi v 1/3 průměru ústí, která oddělí výstřik od vtoku. U tunelového ústí musí být zajištěn dostatečný sklon pro co nejjednodušší odformování. Výhodou je automatické oddělení od výstřiku. Nevýhodou je složitá výroba vtoku.



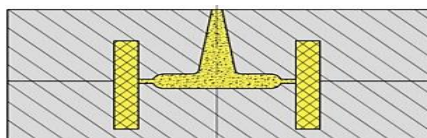
Obr. 28 Tunelový vtok [30]

d) banánový vtok – podobný vtok jako tunelový (obr. 29), s tím rozdílem, že plnění neprobíhá z boku, ale umožňuje plnit díl zesponu. Výhodou je vstřikování zesponu dílu na nevhledových plochách. Nevýhodou je velmi náročná výroba.



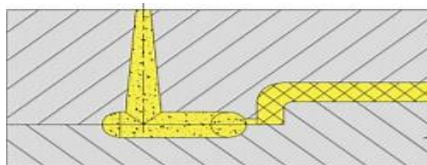
Obr. 29 Banánový vtok [30]

e) deštníkový – použití zejména u rotačních součástí (obr. 30). Nevýhodou je velká spotřeba materiálu a stopa od vtokového zbytku. Výhodou je plnění v celém objemu výstřiku.



Obr. 30 Deštníkový vtok [30]

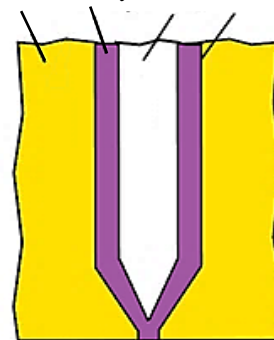
f) filmový – u obdélníkových výstřiků a různých druhů plastů (obr. 31). Výhodou je použití u tenkých dílů. Nevýhodou je nutnost odstraňovat vtokový zbytek až po vyhození výstřiku z formy.



Obr. 31 Filmový vtok [30]

- horká (vyhříváná) vtoková soustava – jak již samotný název napovídá, jedná se o vtokovou soustavu, kdy roztavený polymer je tlačěn za pomoci horké trysky do tvarové dutiny. Horký rozvod je složen z několika částí – vyhříváná vtoková vložka, vtokový systém, vtokové ústí, kabeláž pro vytápění systému. Při vytápění vznikají vysoké teploty a je třeba brát v úvahu teplotní roztažnost a izolaci. Ve formě musí být uložen horký systém s vůlí, aby se mohl v průběhu provozu zvětšovat neboli dilatovat. Vyhřívání horkých systémů může být dvojího druhu – vnitřní (obr. 32) nebo vnější (obr. 33). U vnějšího vytápění je topení umístěno mimo kanál, kudy teče polymer. U vnitřního je topení umístěno uvnitř kanálu, kterým proudí tavenina polymeru. Nevýhodou vnitřního vytápění je postupné tuhnutí při kontaktu taveniny se studeným povrchem vstřikovací formy (degradace či vznik vad). Ústí vtoku je poslední částí horkého rozvodu, tavenina polymeru ho opouští a teče do dutiny formy. Po kompletním zaplnění dutiny dochází k zatuhnutí ústí vtoku, přičemž se zamezí unikání polymeru z horkého systému při otevření formě. Lze je vyrábět v několika podobách, přičemž nejpoužívanější jsou mini kuželová a uzavíratelná ústí,

Studný Proudění Topné Zamrzlá
materiál taveniny těleso vrstva



Obr. 32 Vytápění vnitřní [28]

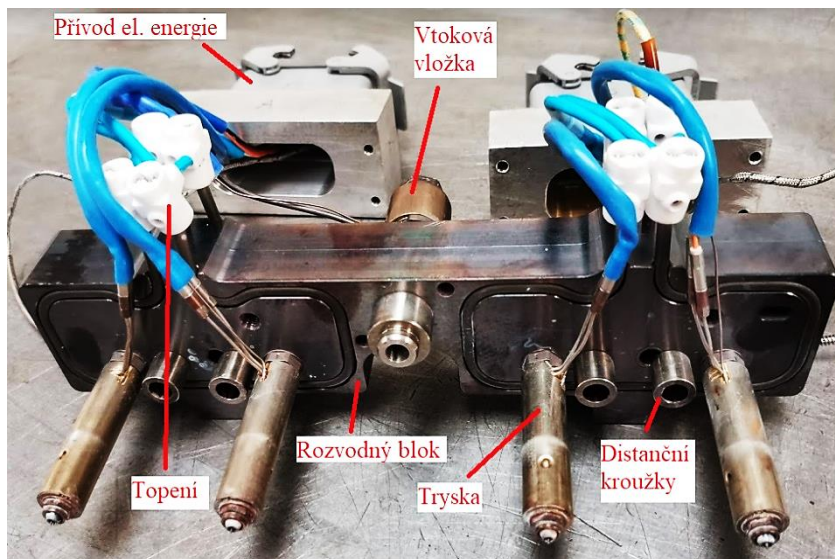
Studný Izolační Proudění Topné
materiál mezera taveniny těleso



Obr. 33 Vytápění vnější [28]

viz příloha 1. Tyto typy většinou zanechávají vtokový zbytek a je nutné je dodatečně odstraňovat.

Existují i varianty vtokových ústí, kdy jsou nepatrné stopy po vtokovém zbytku, viz příloha 2. V současné době je mnoho různých typů a může se jednat o tzv. samostatné horké trysky u jednonásobných forem nebo rozvodný blok s tryskami u vícenásobných forem. Samostatná horká tryska je vedena přímo do dutiny formy nebo do pomocných kanálů, odkud je vedena do dutiny formy. Rozvodný blok (obr. 34) s tryskami ústí přímo do dutiny formy nebo do pomocných kanálů studeného rozvodu, odkud je veden pomocí vtokového ústí do dutiny formy.

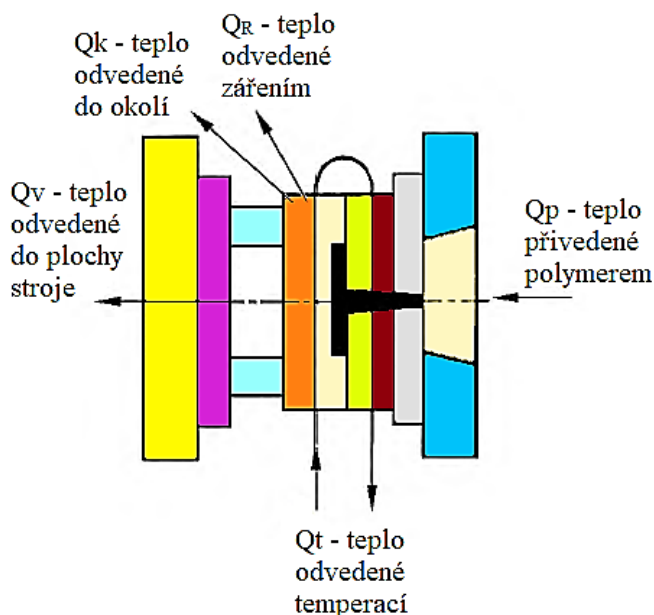


Obr. 34 Horká (vyhřívaná) soustava

V rámu pevné poloviny formy se vytvoří dutina, do které je vhodným způsobem horký systém umístěn. Výhodou oproti studenému rozvodu je minimální nebo žádný produkovaný odpad. Tímto se sníží celkové náklady na výrobu výstřiku a urychlení vstřikovacího cyklu. Další výhodou je lepší přenos tlaku, vyšší produktivita, možnost různých vtokových ústí. Nevýhodou jsou mnohonásobně vyšší náklady na vstřikovací formy než v případě studených vtokových soustav.

2.2.2 Temperační systém [26], [27], [28], [31]

Důležitou součástí všech vstřikovacích forem je temperační systém, který udržuje konstantní teplotu v průběhu celého vstřikovacího cyklu. Temperace slouží k vytápění formy před vstřikováním a chlazení během jejího provozu. Vhodnou teplotou formy se dosahuje požadované kvality u výstřiků, zejména tedy rozměrových přesností, povrchu, menší deformace apod. Při vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který vyplní dutinu a posléze tuhne. Neustálým přívodem taveniny se forma více a více ohřívá, tudíž se toto přebytečné teplo musí odvést pomocí temperačního systému. Platí zásada, že teplo přivezené do formy se musí vyrovnat teplu odvedenému pomocí temperace a dalšími ztrátami (pasivní temperace), viz obrázek 35. Při pasivní temperaci se využívá tepelně vodivých a izolačních materiálů mezi vstřikovací formou a upínacími deskami



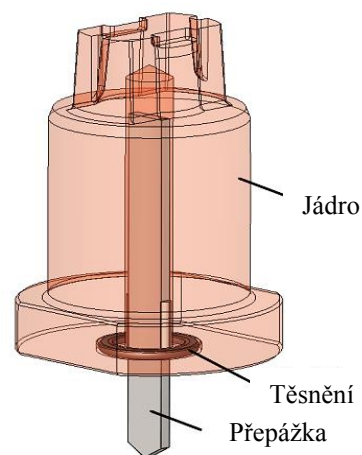
Obr. 35 Tepelná bilance formy [26]

stroje (používají se izolační desky ze sklotextilu apod). Dalším způsobem pasivní temperace je pomocí tepelných trubíc, viz příloha 3. V uzavřené trubici se nachází teplonosná látka (voda), která se v průběhu ohřívání jedné části trubice vypařuje a odebírá teplo z teplejší části. Výpary proudí do druhé části trubice, která je ochlazována. Vzniklé výpary kondenzují a předávají teplo chladicímu prostředí.

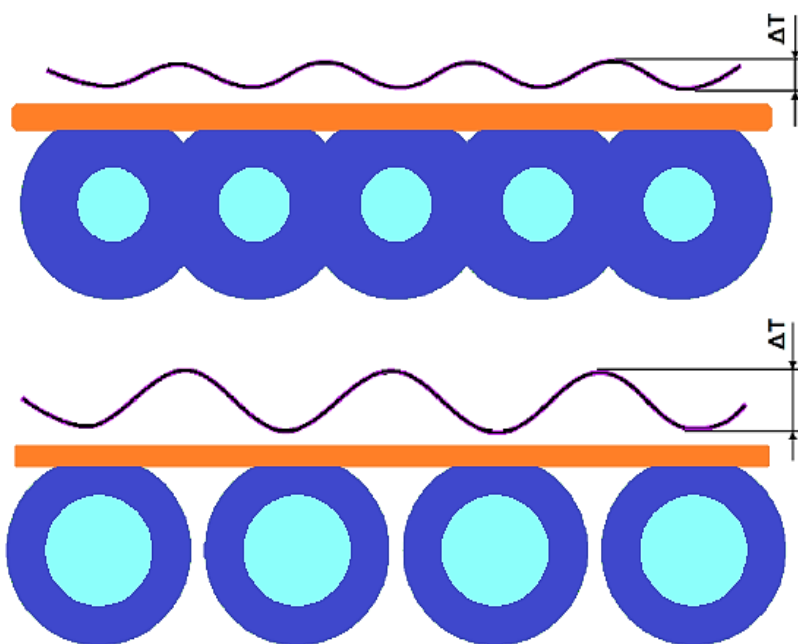
Hlavním požadavkem temperace je zajistit co nejrychlejší a nejrovnoměrnejší odvod tepla ze vstřikovací formy. Je konstruován zvlášť pro pevnou a pohyblivou polovinu formy v systému jednotlivých kanálů vzájemně propojených v několika okruzích. Dále se zajišťuje chlazení důležitých prvků jako tvárníků, tvárníc a na těžko dostupných místech jader, vložek apod. V takto těžce nepřístupných místech se většinou využívá speciálních prvků (většinou normálií) různých fontán, přepážek, chladících trysek (obr. 36). Jak již bylo zmíněno výše, temperační systém je okruh kanálů vzájemně propojených, kudy může vhodným způsobem protékat temperační médium, a tím ochlazovat tvarovou dutinu formy. Nejčastějším médiem je voda, která se využívá do 90°C. Nad 90°C se využívá olej. Jako temperační médium lze využít i vzduch (méně vhodné). Pro zajištění dostatečného chlazení je třeba volit rozložení kanálů co možná nejrovnoměrnejší. V případě špatného rozvržení kanálů dochází ke špatnému odvodu tepla ze vstřikovací formy, a tím může docházet k možným deformacím výstřiku. Rozměry kanálů se volí s ohledem na dutinu formy, kdy nesmí dojít k zeslabení stěny, avšak musí být dostatečně blízko, aby docházelo k přestupu tepla. Velikost kanálů se volí s ohledem na rozměry výstřiku, druh polymeru apod. Nejčastěji se používá kruhový průřez o velikostech $\varnothing 6$, $\varnothing 8$, $\varnothing 10$ mm. Doporučené hodnoty kruhových průřezů kanálů jsou uvedeny v příloze 4.

Z hlediska co nejintenzivnějšího chlazení se volí více kanálů přednostně o menších průměrech (obr. 37). V případě větších průměrů s menším počtem kanálů dochází k velkému kolísání teplot (méně výhodné).

K přivedení temperačního média se využívají přípojky (náustky), které jsou za pomoci hadic spojené se vstřikovací formou. Systém kanálů vzájemně propojených musí vytvořit cirkulační okruh pro proudění média. V případě, že propojením nevznikne cirkulační okruh, musí se pomoci vhodných prvků, tzv. zásepky, zaslepit vhodné místo, a tím tento okruh vytvořit. Pro zabránění vytékání média z formy jsou používány uzavíratelné šrouby, tzv. zátky.



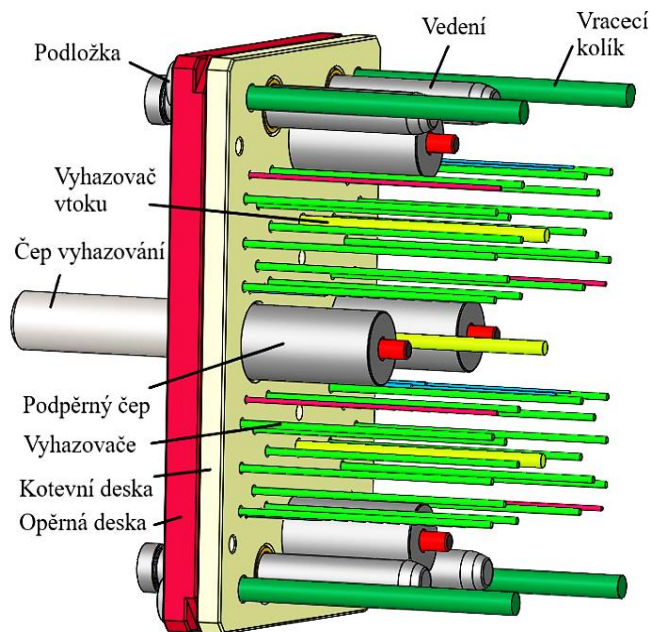
Obr. 36 Chlazení jádra



Obr. 37 Vliv hustoty kanálů na intenzitě chlazení [28]

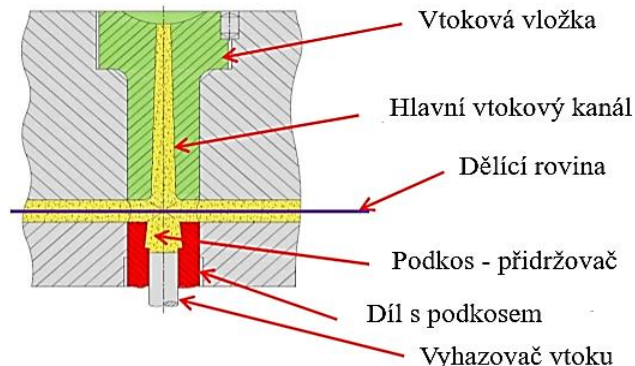
2.2.3 Vyhazovací systém [26], [27], [28], [30]

Vyhazovací systém slouží k vyhození zchlazeného výstřiku z dutiny otevřené vstřikovací formy pohybem vpřed dostatečně velkou vyhazovací silou, viz obr. 38. Po vyhození výstřiku následuje zasunutí vyhazovacího systému zpět do základní polohy, zavření vstřikovací formy a opakování vstřikovacího cyklu. Pohyb vpřed zajišťuje vstřikovací stroj pomocí svého vyhazovacího mechanismu, který je připojen k formě za pomoci vyhazovacího čepu. Dalším způsobem vyhození je narážecím kolíkem umístěným na stroji, hydraulickým nebo pneumatickým zařízením. Pohyb vzad je řízen vstřikovacím strojem (jako pohyb vpřed), pružinami, hydraulickým či vzduchovým zařízením.



Obr. 38 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém musí pracovat, pokud možno, rovnoměrně v dráze pohybu vstřikovací formy, aby nedošlo k přičení výstřiku či ke vzniku deformací. K vyjmutí výstřiku ze vstřikovací formy se využívají vyhazovače různých tvarů (kruhové, ploché, tvarové), záleží na tvaru výstřiku. Nevýhodou všech vyhazovačů je zanechání stopy na výstřiku, proto by se měly umísťovat do nevhledových ploch a do ploch, kde nebude narušena funkčnost konečného výstřiku. Vyhazovače se používají i jako odvzdušnění, především u hlubokých tvarů. Dalším použitím vyhazovače je vyhazování vtokových zbytků (obr. 39).



Obr. 39 Přidržovač vtoku [30]

Při otevření formy má vtok tendenci zůstat na pevné polovině formy, z tohoto důvodu je umístěn ve vyhazovacím paketu vyhazovač vtoku pro přidržení vtokového zbytku na pohyblivé polovině formy. Další možnosti řešení přidržovačů vtoku jsou uvedeny v příloze 5. Posléze dojde k vyhození výstřiku z formy. Vyhazovací systémy lze dělit na:

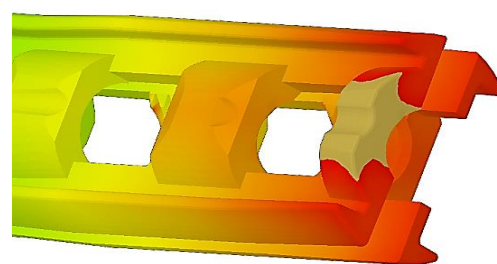
- mechanické vyhazování – jedná se o mechanický způsob vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků a stíracích desek. Způsoby mechanického vyhazování:
 - a) vyhazovací kolíky (vyhazovače) – jeden z nejpoužívanějších a nejlevnějších způsobů mechanického vyhazování. Jsou upnuty mezi dvěma vyhazovacími deskami umístěnými proti ploše výstřiku.
 - b) stírací deska – v tomto případě vyhazování se používá stírací kroužek, stírací deska, trubkový vyhazovač pro setření výstřiku z tvarové dutiny. Výhodou stíracích desek je nezanechání stopy jako od vyhazovače, menší deformace výstřiku. Nevýhodou je nutnost rovného dosednutí výstřiku na stírací desku.
 - c) šikmé vyhození – u tohoto způsobu dochází k vyhození pomocí šikmých kolíků umístěných pod různými úhly. Šikmého vyhazování se využívá u malých a středních výstřiků.

d) dvoustupňové vyhazování – jedná se o kombinaci několika prvků vzájemně propojených, které se mezi sebou ovlivňují. Výhodou těchto systémů je vyhazování výstřiků v různém čase s různou délkou zdvihu. Hojně se využívá při výrobě dílů se zápichem.

- vzduchové vyhazování – princip spočívá v přivedení stlačeného vzduchu mezi výstřik a líc vstřikovací formy. Vzduch se přivádí pomocí ventilů, kdy otevření vyvolá tlak, a zavření ventilu je řízeno pomocí pružiny. Výhodou je možnost vyhazovat tenkostěnné výstřiky, rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku.
- hydraulické vyhazování – vyhazovač ve tvaru hydraulické jednotky, která se umísťuje do formy. Slouží k ovládání mechanických vyhazovačů či stírací desky.

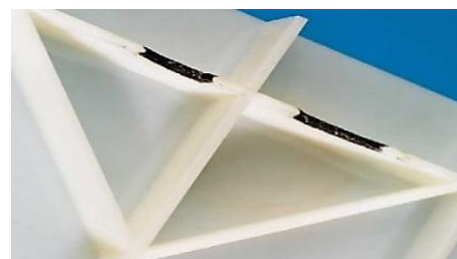
2.2.4 Odvzdušnění [17], [26], [27], [28]

Po uzavření vstřikovací formy dochází k plnění dutiny taveninou. V dutině následkem velkého tlaku vzniká stlačený vzduch, který se tlačí až k místům, odkud nemůže samovolně uniknout. Část vzduchu unikne přes plochy dělicí roviny, jádra, vyhazovače. Určení správného místa odvzdušnění závisí zejména na tvaru výstřiku. Vždy platí zásada, že odvzdušnění se musí vytvořit tam, kde dojde k poslednímu naplnění nejbližšího místa, viz obr. 40.



Obr. 40 Uzavírání vzduchu

Pokud toto místo není řádně odvzdušněno, může docházet k uzavírání vzduchu, což vede až k zažehnutí plastu a vzniku tzv. dieselova efektu, viz obr. 41. Z hlediska výsledné kvality výstřiků vzduch negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti, čímž dochází k vytváření bublin uvnitř výstřiku.



Obr. 41 Diesel efekt [17]

Nejjednodušší odvod vzduchu je přes dělicí rovinu. V dělicí rovině se vhodným způsobem zhotoví odvzdušňovací plochy o doporučených rozměrech daných tabulkou 3. Další způsob úniku vzduchu je přes plochy navazující na dělicí rovinu (jádra apod.).

Tab. 3 Hodnoty šířky odvzdušňovacích kanálů [28]

Typ polymeru	Hloubka odvzdušňovacího kanálu [mm]
PA	0,02 - 0,03
PBT	max. 0,03
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PE, PP	max. 0,04

Další alternativou pro odvod vzduchu z dutiny formy je pomocí vyhazovačů. Vyhazovače se v dnešní době nemusejí speciálně upravovat, protože se dodávají jako normálie s předepsanou tolerancí pro odvzdušnění. Pro odvod vzduchu se využívají i normalizované odvzdušňovací vložky.

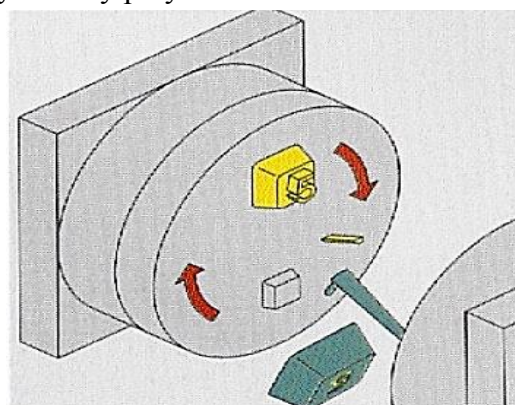
2.3 Speciální technologie vstřikování [17], [20], [27]

Kromě klasické technologie vstřikování plastů existuje celá řada dalších způsobů vstřikování. Liší se principem fungování, konstrukcí nástroje apod. Jelikož speciálních způsobů vstřikování je nepřehledné množství, budou zde popsány pouze vybrané technologie. Mezi speciální technologie vstřikování patří:

- sendvičové vstřikování – neboli třístupňový proces (obr. 42). Princip spočívá ve dvou vstřikovaných polymerech, přičemž se využívá laminárního proudění taveniny v dutině formy. Do vstřikovací formy se vstříkne první polymer a vytvoří tzv. obal. Do tohoto obalu je následně vstříknut druhý polymer, který tvoří tzv. jádro, a poté se ještě vstříkne na povrch dílu polymer, čímž dojde k uzavření celého dílu. Vrstva materiálu se po prvním vstřiku a zchlazení dál neposunuje, dochází pouze k posunu po vrstvách, čímž dojde k uzavření jádra do obalu. Výhodou technologie je možnost vyrábět tenkostěnné i tlustostěnné výrobky, a výrobky, k jejichž výrobě je možné využít recyklovaný polymer
- vícekomponentní (vícebarevné) vstřikování – u tohoto vstřikování se vytváří konečný výrobek vhodnou kombinací dvou či více materiálů nebo barev (obr. 43). Oba materiály se vzájemně spojují a spoje se dosahuje jednak pomocí adhezních sil, nebo pomocí zastříknutí tvaru. Může se jednat o dvoukomponentní, tříkomponentní, nebo čtyřkomponentní vstřikování. U dvoukomponentního vstřikování v první fázi dojde ke vstříknutí prvního polymeru do dutiny formy. Poté se forma otevře, vyhodí vtokový zbytek a dojde k pootočení pohyblivé poloviny formy pomocí vstřikovacího stroje. Forma se uzavře do nepohyblivé části a vstříkne se druhý polymer a následuje vyhození. Tento princip se cyklicky opakuje.
- vstřikování s podporou plynu (obr. 44) – je technologie podobná klasickému vstřikování, avšak rozdíl spočívá v přívodu inertního plynu (dusíku) do dutiny formy. Dodávaný plyn do dutiny kompenzuje dotlak. Nejdříve se přivádí plyn o nižším tlaku, po vyplnění dutiny se tlak zvýší. U této technologie dochází mezi vstřikem a přívodem plynu k časové prodlevě, která je důležitá k navedení plynu do určitých míst výrobku. Nevýhodou je přivedení plynu v okamžiku, kdy polymer ještě nez tuhne. V případě nedodržení této zásady mohou vznikat nejrůznější vady na výstřiku. Další nevýhodou technologie jsou



Obr. 42 Sendvičové vstřikování [20]



Obr. 43 Vícebarevné vstřikování [20]



Obr. 44 Vstřikování s podporou plynu [20]

vyšší ceny nástrojů, stroje, potřeba plynu. Výhodou je, že je ve všech místech dutiny stejný tlak, tudíž se nevyžaduje vysokých tlaků jako u technologie vstřikování. Dále lze vyrábět tenkostěnné díly, dochází k menšímu smrštění a cyklus je kratší.

- vstřikování s podporou vody – neboli technologie označovaná zkratkou WIT (obr. 45). Princip je v zásadě podobný jako u vstřikování s podporou plynu, ovšem do dutiny formy se přivádí voda. I v tomto případě přebírá voda funkci dotlaku, tlak plynu se přivádí nižší a po vyplnění dutiny se zvýší pro přesnější tvar dílce. Ve všech místech dutiny je tlak stejný. Důležitá je časová prodleva mezi vstřikem taveniny a přívodem vody. Voda se z polymerního dílu vytlačuje pomocí tlakového vzduchu. Výhodou této technologie je možnost vyrábět tlustší díly, potřeba menších uzavíracích sil, zkrácení délky cyklu, menší hmotnost výstřiku, nízká deformace.



Obr. 45 Vstřikování s podporou plynu [20]

Nevýhodou je vyšší pořizovací cena nástroje a nutnost dodatečných zařízení.

- intervalové vstřikování – jedná se o vstřikování více barvami. Používají se speciální trysky, ve kterých dochází k mísení dvou barev potřebných pro vstříknutí do dutiny formy.
- mramorové vstřikování – tato technologie spočívá ve vzájemném mísení polymerů. U vstřikování se nevyužívá plastifikace pomocí šneku, ale je zde tzv. hnětací člen, jenž se blíží tvaru šneku. Postupně se hnětací člen posouvá a plastifikuje polymer.
- tandemové vstřikování – u tandemového vstřikování je cyklus rozdělen na dvě fáze. V první fázi dojde v jedné z dutin k plnění, dotlaku, otevření, vyhození a zavření formy. Ve druhé fázi a v druhé dutině probíhá chlazení výstřiku.

2.4 Vady výstřiků při vstřikování [1], [32], [33]

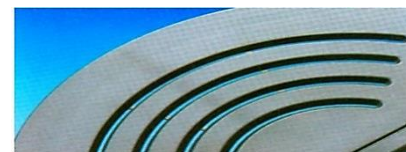
Při vstřikování polymerů dochází vlivem vstřikovací formy, stroje, technologických parametrů ke vzniku vad na výstřiku. Jedná se o defekt vyznačující se rozdílným tvarem, rozměry, vzhledem a povrchem od požadovaného výstřiku. Při rozjíždění nových forem se většinou vyskytují i vady, které nelze pomocí technologických parametrů ovlivnit. Těmito vadami se většinou rozumí konstrukční chyby výstřiků nebo forem. Tyto příčiny bývají nositeli problémů vzniklých u výstřiků. Vady lze rozdělit do dvou skupin:

- zjevné – vady rozlišitelné pouhým pohledem, které se porovnávají s referenčním výstřikem. Zjevné vady se mohou dále dělit:
 - a) vady tvaru – propadliny, deformace, přetoky (obr. 46), otřepy
 - b) vady povrchu – spálení výstřiku vlivem diesel efektu, matný a málo lesklý povrch, stopy, stříbření, vrstvení apod.
- skryté – vady, které nelze rozlišit pouhým pohledem. Mají výrazný vliv na výsledné vlastnosti, kdy se zhoršuje zejména kvalita výstřiků. Tyto vady lze dále dělit:



Obr. 46 Přetok

- a) pnutí uvnitř výstřiku
- b) studené spoje (obr. 47) – vady, které pevnostně zeslabují výstřik a projevují se i na vzhledu výsledného výstřiku. Vznikají v místech, kdy se proud taveniny rozdělí pomocí jader, trnů na více toků.
- c) bubliny
- d) vzduch uzavřený v dutině výstřiku (dieselův efekt), viz obr. 41



Obr. 47 Studený spoj [32]

2.5 Vstřikovací stroj [1], [15], [17], [28], [34], [35]

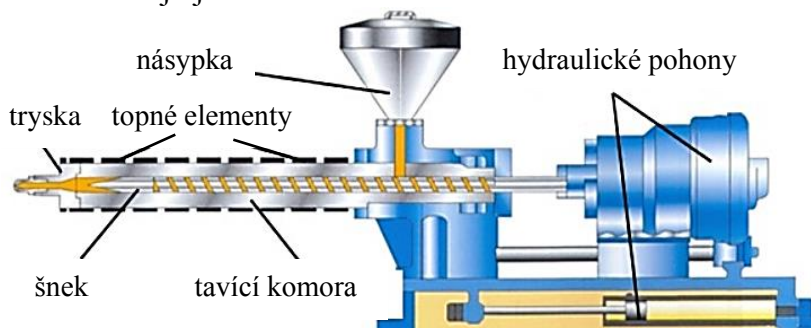
Samotný výrobní proces probíhá na vstřikovacích strojích (vstřikolisech). V dnešní době jsou řešeny jako plně automatizované z důvodu co největší produktivity práce. Slouží ke zpracování polymerních materiálů převážně ve formě granulí. Mají širokou škálu využití, přičemž převážně závisí na druhu použitého polymeru. Pro správnou funkci vstřikování je stroj složen z několika základních částí, viz obrázek 48.



Obr. 48 Vstřikovací stroj [15], [28]

Nejdůležitějšími částmi vstřikovacích strojů jsou:

- vstřikovací jednotka (obr. 49) – má za úkol přeměnit polymer nejčastěji jako granulát na taveninu, která následně plní dutinu vstřikovací formy.



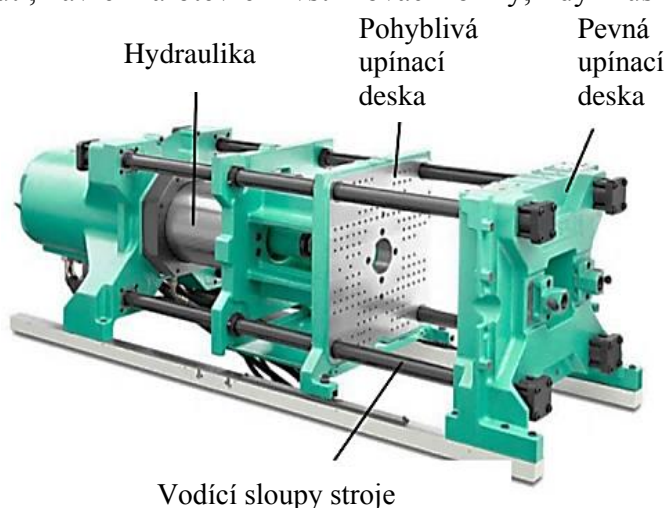
Obr. 49 Vstřikovací jednotka [34]

Mezi nejrozšířenější jednotky se řadí vstřikovací jednotky se šnekem, kdy dochází k otáčení šneku kolem své osy a axiálně vykonávanému pohybu vpřed a vzad. Do jednotky je dodáván polymer, který šnek stlačuje a následně přemístí do tavicí komory. V tavicí komoře dochází k tavení polymeru, až vznikne tekutá hmota (tavenina). Ta se následně

hromadí před čelem šneku a šnek se otáčí směrem dozadu. Poté dojde k zastavení otáčení a následuje pohyb vpřed, kdy se vstříkne tavenina do vstříkovací formy.

Vstříkovací jednotka je sestavená jako celek z dílčích částí:

- a) šnek – slouží k dopravě taveniny přes trysku do vstříkovací formy. Většina šneků je řešena jako diferenciální určujícím kompresním poměrem. Kompresní poměr má tři pásma – vstupní, kompresní, výstupní. Ve vstupním pásmu se stlačuje granulovaný materiál, poté se ohřívá a postupně měkne. V druhém pásmu materiál ještě více měkne, ale je nehomogenní. Ve výstupním pásmu následuje homogenizace. Důležitým prvkem u všech šneků je jeho zakončení, při kterém se nesmí tavenina vracet zpět. Délka celého šneku je dána poměrem délky a jeho průměru.
 - b) tavíci komora – v této části vstříkovací jednotky dochází vlivem topných těles k tavení granulátu, a tím ke vzniku taveniny
 - c) tryska – zakončení, které slouží k dopravě taveniny od šneku do vstříkovací formy
 - d) násypka – materiál ve formě granulí je dodáván do násypky, odkud směřuje do tavíci komory, kde se mění v taveninu
- uzavírací jednotka – zajišťuje upnutí, zavření a otevření vstříkovací formy, kdy musí vyvodit takovou sílu, aby v průběhu vstříkování nedošlo k otevření formy. Zajišťuje i vyhození výstřiku ze vstříkovací formy. Uzavírací jednotka se skládá z několika částí: vodící sloupy pro přesné vedení, upínací desky pevné a pohyblivé strany pro upnutí vstříkovací formy, upínací systém, mechanismus potřebný pro otevření a zavření formy. Uzavírací jednotky mohou být mechanické, hydraulické (obr. 50) či jejich kombinace. Nejběžněji jsou řešeny jako horizontální uzavírací jednotky.



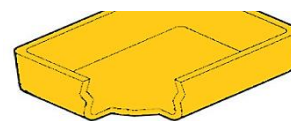
Obr. 50 Hydraulická uzavírací jednotka [35]

2.6 Technologičnost [8], [28], [36]

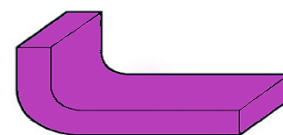
Při vstříkování plastových dílů platí zásada plynulosti s krátkou dobou plnění tvarové dutiny formy. Plynulost proudění taveniny ovlivňují zejména různé přechody, rádiusy, změny průřezů apod. Před samotným návrhem vstříkovací formy je třeba zhodnotit technologičnost plastového dílu z několika hledisek:

- dělicí rovina – rovina, ve které dochází k dělení pevné a pohyblivé poloviny formy, a která uzavírá tvarovou dutinu formy. Závisí na tvaru výstřiku a jeho složitosti. Měla by se konstruovat co nejjednodušší.
- tloušťka stěny – pokud možno co nejmenší, aby nedocházelo ke vzniku vnitřních a vnějších vad (propadliny). Tloušťka stěny ovlivňuje délku doby chlazení, spotřebu materiálu apod. Minimální tloušťka je dána tuhostí a pevností výstřiku.

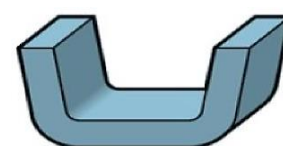
- rovnoměrnost tloušťky stěny (obr. 51) – na všech částech výstřiku by měla být splněna podmínka rovnoměrných tloušťek stěn. V případě různých tloušťek dochází k různému chlazení, smrštění a negativně ovlivňuje výsledné rozměry a kvalitu výstřiku.
- zaoblení (obr. 52) – využívá se pro snadnější plnění tvarové dutiny. Z důvodu menších odporů při proudění taveniny se volí co největší rádiusy s ohledem na tvar a rozměr výstřiku. Rádiusy je nutné tam, kde to umožňuje tvar výstřiku a neovlivní funkci dílu.
- úkosy (obr. 53) – zhotovují se pro snadné vyjímání výstřiku ze vstřikovací formy. Optimální úkosy pro snadné vyjímání jsou 1° až 2° . Menší úhel zvyšuje riziko poškození dílu a v některých případech je třeba úpravy povrchu formy (leštění apod.)
- žebra (obr. 54) – pro vyztužení výstřiků s možností vytvářet tenké stěny. Žebra by měla být řešena už při návrhu součásti, pokud možno o stejné tloušťce k omezení vzniku případných deformací. Výšku a tvar žeber navrhovat vždy stejné (vnitřní pnutí) za použití zaoblení a úkosů.
- závitů – mohou být vnější i vnitřní. Tvary závitů jsou zaoblené a ve velké míře oblé či lichoběžníkové, zejména u materiálů typu PP, PE. Zhotovují se jak na vnějším povrchu, tak uvnitř výrobku.
- otvory – na výstřiku se vytváří pomocí tzv. jader, kdy se polymer při chladnutí smršťuje na jádro a posunuje se spolu s pohyblivou polovinou formy. V případě bočních otvorů slouží k vytvoření otvorů tzv. tahače s šikmým kolíkem.
- vroubkování (obr. 55) – k zabránění prokluzování výrobků, zamezení otáčení šroubových matic, uzávěrů apod. Tvar vroubků je různý, záleží na mnoha faktorech (vzhled, funkce, použití). Mělo by být co nejjednodušší, pokud možno se zaoblenými hranami.
- tolerance a přesnost – při výrobě součástí v důsledku technologie výroby, lidského faktoru vznikají nejrůznější nepřesnosti. Tvar a rozměry součástí jsou předepsány výkresem, ale ve skutečnosti se od vyrobeného dílu liší v určitých mezích. Předepisování mezí přesnosti, s nimiž mají být v reálu vyrobeny, se nazývá tolerování. Způsoby tolerování polymerních materiálů se dělí do tří skupin – obecné, přesné, velmi přesné a přesněji jsou dány normou DIN 16901.



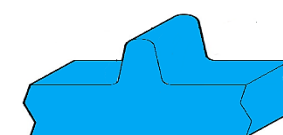
Obr. 51 Rovnoměrná tloušťka stěny [28]



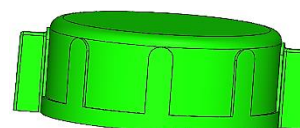
Obr. 52 Zaoblení [28]



Obr. 53 Úkosy [28]



Obr. 54 Žebro [28]



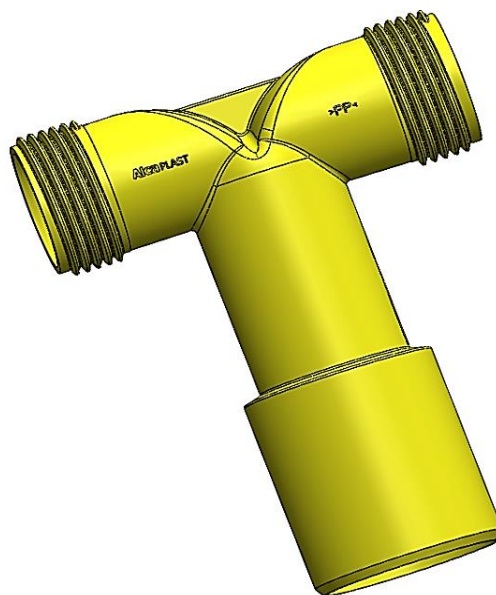
Obr. 55 Vroubkování

3 NÁVRH ŘEŠENÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY [7]

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1, vyráběnou součástí je dvojitě koleno (obr. 56) sestavy sifonu. Svě uplatnění nachází v koupelnách pro připojení nejrůznějších spotřebičů jako pračky, myčky apod. S ohledem na množství výrobní série, která činí 100 000 kusů za 3 měsíce, dále výrobní toleranci a složitosti je pro součást zvolena technologie vstřikování plastů.

Pro výrobu dvojitě kolena byl jako materiál zvolen polypropylen. Konkrétně se jednalo o dva materiály, jeden pro vzorování prvních kusů a druhý pro sériovou výrobu součástí. První materiál pro vzorování je polypropylen s obchodním názvem SS-14 J1000 Midilena. Vzorování je proces přípravy výroby, při kterém se ověřuje funkčnost nové vstřikovací formy a použití vhodného materiálu. Při vzorování se forma do vstřikovacího stroje (vstřikolisu) upne a nastaví základní parametry na stroji. Tento mezikrok slouží k přípravě vstřikovací formy pro sériovou výrobu.

Druhým materiálem pro výrobu dvojitě kolena je polypropylen s obchodním názvem Tatren HT 25 11. Tento polymer bude využit pro sériovou výrobu součástí. V tabulce 4 a příloze 6 jsou uvedeny základní vlastnosti materiálu, které jsou dále použity ve výpočtech technologických parametrů.



Obr. 56 Dvojitě koleno

Tab. 4 Vlastnosti polypropylenu Tatren HT 25 11 [1], [27], [37], [38], [39]

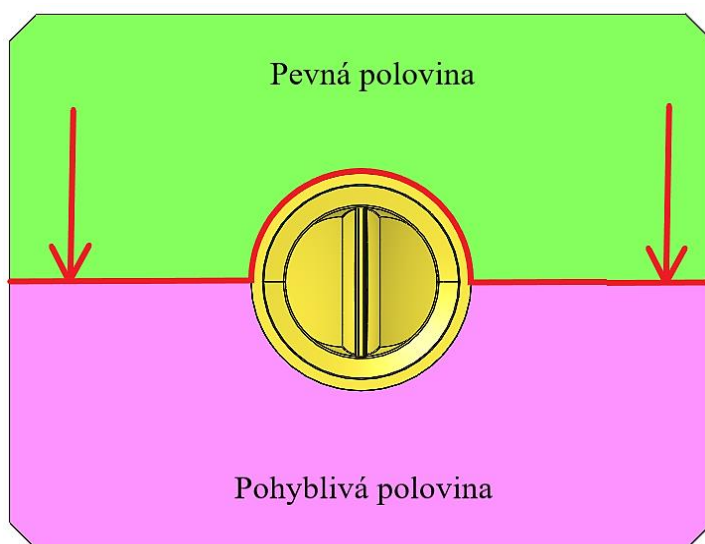
Vlastnost	Značení	Hodnota	Jednotka
Hustota při 23 °C	ρ	0,9	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Teplota tání	-	163	°C
Teplota tání dle Vicata	-	150	°C
Viskozita při smykové rychlosti 1000 s^{-1} a teplotě 230 °C	η	71	$\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$
Faktor schopnosti tečení	K_f	1,8	$\text{bar} \cdot \text{mm}^{-1}$
Teplota taveniny	T_T	200 – 260	°C
Teplota formy	T_F	20 – 25	°C
Maximální obvodová rychlost šneku	v_s	0,3	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Faktor navýšení objemu taveniny	K_a	0,8	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Efektivní tepelná vodivost	a	0,067 – 0,063	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Teplota vyhození	T_v	80	°C
Rozdíl entalpií	Δh	420	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Index toku	IT	25	$\text{g} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$

3.1 Prvotní návrh vstřikovací formy [28], [30], [40], [41]

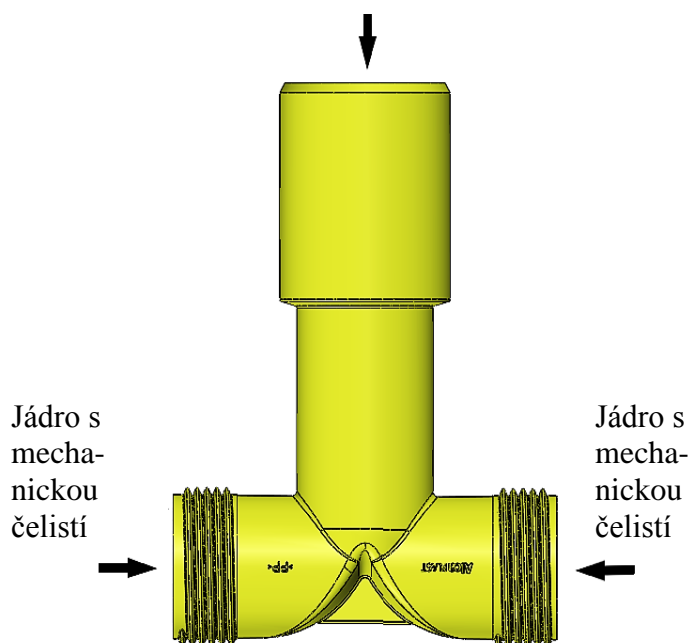
Vstřikovací forma je nástroj, který slouží ke zhotovení plastových dílů technologií vstřikování. Před samotným konstrukčním řešením vstřikovací formy je potřeba určit několik důležitých parametrů, které následně ovlivňují konstrukci a funkci výsledné vstřikovací formy. V prvotním návrhu formy se stanovují tyto následující parametry:

- poloha dělicí roviny – jedná se o základní parametr při návrhu vstřikovací formy.

Dělicí rovina je kolmá na směr otevření a slouží k dělení pevné a pohyblivé části formy. Správný návrh dělicí roviny ovlivňuje výslednou kvalitu výstřiku, popřípadě jeho vzhled. Z geometrie vstřikované součásti vyplývá, že nejvhodnější poloha dělicí roviny je uprostřed součásti, kdy dojde k rozdělení (obr. 57) na pevnou a pohyblivou polovinu. Tento způsob řešení dělicí roviny byl volen s ohledem na složitost součásti pro co možná nejjednodušší výrobu a vyhození výstřiku. Dva přípojný průměry se zhotoví pomocí pohybujícího se jádra s čelistí, kdy zajiždění a odjíždění je řešeno pomocí šikmého kolíku. Průměr, který je napojen na odpadní trubku o světlosti DN 40/32, se zhotoví pomocí jádra, který bude ovládán pomocí hydraulického válce. Tento způsob řešení dělicí roviny byl volen s ohledem na složitost součásti pro co možná nejjednodušší výrobu a vyhození výstřiku. Umístění výstřiku ve formě je zobrazeno na obrázku 58.



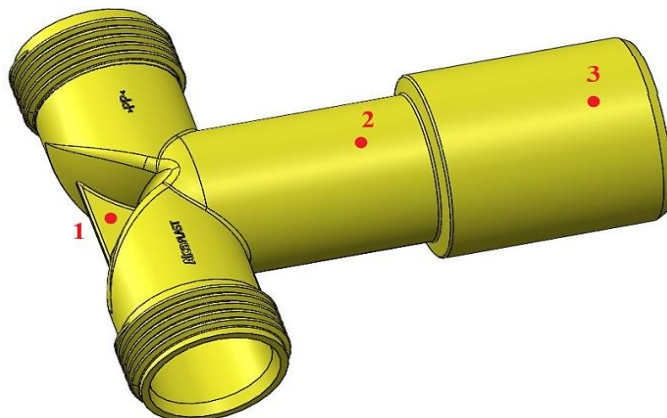
Obr. 57 Zvolená dělicí rovina
Jádro s hydraulickým válcem



Obr. 58 Zaformování dílu a umístění ve vstřikovací formě

- smrštění – každý polymerní materiál při vstřikování musí být navýšen o hodnotu smrštění, které kompenzuje ztráty v průběhu vstřikovacího cyklu. Hodnoty jsou různé a závisí na použitém polymeru. Součást bude vyráběna z materiálu polypropylen Tatren HT 25 11. V podkapitole 2.2 a v tabulce 2 je uvedena hodnota smrštění PP v rozmezí od 1,5 % do 2 %. Dle podnikových zvyklostí firmy Alca plast je smrštění zvoleno o hodnotě 1,8 %.

- vtokové ústí – poloha a umístění vtokového ústí má vliv zejména na výslednou kvalitu a tvar vstříkované součásti. Dále vtokové ústí ovlivňuje konstrukční řešení celé vstříkovací formy. Umístění a polohu určuje konstruktér vstříkovací formy s ohledem na tvar a složitost součásti. V současné době se využívá i řada simulačních softwarů pro vhodné umístění ústí vtoku.

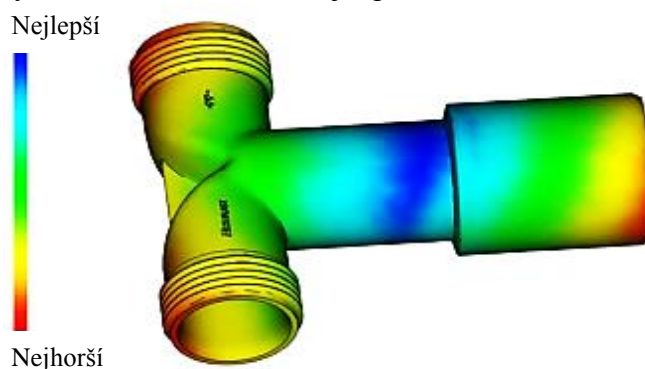


Obr. 59 Předběžný návrh vtokových ústí

U řešené součásti byly konstruktérem navržena tři místa umístění vtoků přímo na plochu dílu (obr. 59). Tato místa jsou označena čísly 1, 2, 3. První, označený číslem 1, je umístěn do nejslabšího místa na součásti. Druhý, označený číslem 2, je umístěn na povrchu průměru 32 mm. Třetí, označený číslem 3, je zvolen na povrchu největšího průměru 40 mm. Z těchto tří možností se určí nejvhodnější místo pro umístění vtoku. Pro určení nejvhodnějšího místa vtoku byl využit simulační program od firmy Autodesk. Konkrétně se jedná o Moldflow Adviser 2017. Tento program slouží ke vstříkování plastů – výpočet doby chlazení, deformace dílce, určení toku plastu apod.

Výsledky simulace jsou zobrazeny na obrázku 60, kde je patrné, že umístění je nejlepší volit mimo dělicí rovinu (tmavě modrá barva). Vtok bude umístěn v oblasti přibližně středu součásti (na ploše průměru 32 mm), které je označené číslem 2 dle obr. 59. V tomto místě bude umožněno tavenině rovnoměrně zatéct do všech míst tvarové dutiny včetně těch nejvzdálenějších míst.

Výsledky simulace jsou zobrazeny na obrázku 60, kde je patrné, že umístění je nejlepší volit mimo dělicí rovinu (tmavě modrá barva). Vtok bude umístěn v oblasti přibližně středu součásti (na ploše průměru 32 mm), které je označené číslem 2 dle obr. 59. V tomto místě bude umožněno tavenině rovnoměrně zatéct do všech míst tvarové dutiny včetně těch nejvzdálenějších míst.



Obr. 60 Simulace vhodnosti umístění vtoku

- vtoková soustava – volba typu vtokové soustavy závisí zejména na velikosti výrobní série, složitosti součásti, ceně vstříkovací formy. Provedení studené vtokové soustavy je jednodušší a levnější než v případě horké vyhřívané soustavy, avšak za cenu větší spotřeby polymerního materiálu. U vyráběné součásti je zvolena horká vyhřívaná soustava z důvodu složitosti součásti, zvolené polohy dělicí roviny a umístění vtoku. Je volena i kvůli nižší spotřebě materiálu, ovšem za vyšší pořizovací cenu vstříkovací formy. Z hlediska vstříku přímo na díl neobsahuje vtoková soustava vtokový zbytek.

3.2 Výpočet technologických parametrů [1], [14], [20], [27], [42], [43], [44]

Po prvotním návrhu vstříkovací formy, kdy se určuje poloha dělicí roviny, smrštění, vtoková soustava a ústí vtoku následuje výpočet technologických parametrů, na jejichž základě se stanoví násobnost formy, doba vstříkování, doba chlazení, odvzdušnění apod. Slouží pro konstrukční řešení vstříkovací formy a vhodnou volbu vstříkovacího stroje. Stanovení technologických parametrů:

- objem vstřikovaného dílce V_{vd} – základní parametr důležitý pro určení výpočtů při vstřikování. Stanovení objemu lze provést rozložením součásti na jednotlivé části, u kterých se využije již známých matematických vzorců. Další možností stanovení objemu je pomocí 3D softwaru. V tomto případě je zvolena možnost, kdy se určí objem pomocí softwaru Solidworks 2018:

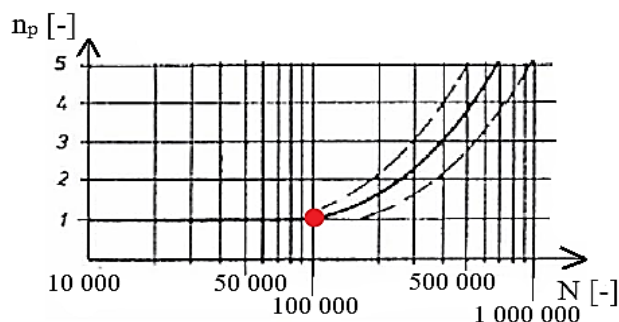
$$V_{vd} = 39\,311 \text{ mm}^3 \doteq 39,31 \text{ cm}^3$$

- hmotnost vstřikovaného dílce m_{vd} – hmotnost součásti se stanoví dle následujícího vztahu:

$$m_{vd} = \rho \cdot V_{vd} \text{ [g]} \quad (3.1)$$

$$m_{vd} = 0,9 \cdot 39,31 \doteq 35,38 \text{ g}$$

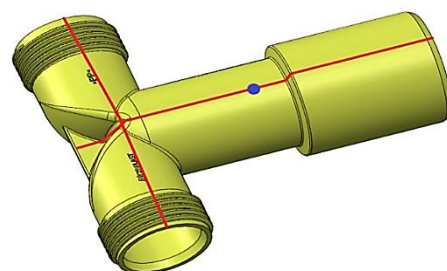
- praktická násobnost n_p – určuje se z grafu, kdy se stanovuje v závislosti praktické násobnosti n_p na velikosti výrobní série N . Část grafu praktické násobnosti lze vidět na obr. 61. Celý graf je přiložen v příloze 7. Produkce vyráběné součásti činí $N = 100\,000$ kusů a dle grafu (obr. 61) je praktická násobnost $n_p = 1$.



Obr. 61 Částečný graf praktické násobnosti [42]

- délka dráhy toku taveniny f_c – je délka od místa ústí vtoku po celou dráhu toku vstřikované taveniny. Pro stanovení délky se využije programu Solidworks 2018. Dráha toku je vyznačená červenou barvou na obrázku 62. Naměřená hodnota je přibližně:

$$f_c = 201,6 \text{ mm}$$



Obr. 62 Určení délky toku taveniny

- velikost vstřikovaného objemu neboli dávka taveniny V_D – jak již bylo zmíněno v podkapitole 3.1, vstřikovací forma je vybavena horkou vyhřívanou soustavou, tudíž objem rozváděcích kanálů je nulový. Výpočet dávky taveniny se stanoví dle následujícího vztahu:

$$V_D = n_p \cdot \frac{m_{vd}}{K_a} \text{ [cm}^3\text{]} \quad (3.2)$$

kde: K_a – faktor navýšení objemu taveniny [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$], viz tab. 4

$$V_D = 1 \cdot \frac{35,38}{0,8} = 44,2 \text{ cm}^3$$

- minimální plnicí tlak p_f – stanoví se dle následujícího vztahu:

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1,6} \text{ [bar]} \quad (3.3)$$

kde: K_f – faktor schopnosti tečení [$\text{bar} \cdot \text{mm}^{-1}$], viz tab. 4
 s – tloušťka stěny součásti [mm]

$$p_f = 3 \cdot 1,8 \cdot 201,6 \cdot 1,9^{-1,6} = 389,8 \text{ bar} = 38,98 \text{ MPa}$$

- doporučený vstřikovací tlak p_v – je dán z tabulky vstřikovacích parametrů (příloha 8) pro materiál polypropylen. Dle přiložené tabulky je tlak $p_v = 50 \div 120 \text{ MPa}$.

Vstřikovací tlak je zvolen 90 MPa. Tento tlak musí být větší než tlak plnicí vypočtený ze vztahu 3.3.

$$p_v > p_f \Rightarrow 90 > 38,98 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- tvářecí tlak p_A – je stanoven dle následujícího vztahu:

$$p_A = \frac{p_v}{2} + 100 \text{ [bar]} \quad (3.4)$$

$$p_A = \frac{900}{2} + 100 = 550 \text{ bar} = 55 \text{ MPa}$$

- uzavírací síla F_u – jeden z nejdůležitějších parametrů pro konstrukci vstřikovací formy. Na základě uzavírací síly se následně stanovuje vhodný vstřikovací stroj. Uzavírací síla je závislá na ploše průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny formy. Průmět tvarové dutiny se stanoví pomocí programu Solidworks 2018:

$$A_{proj} = 3659 \text{ mm}^2$$

Velikost uzavírací síly se stanoví dle následujícího vztahu:

$$F_u = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot A_{proj} \cdot n_p \cdot p_A \text{ [kN]} \quad (3.5)$$

$$F_u = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 3659 \cdot 1 \cdot 55 = 221 \text{ kN}$$

- vyhazovací síla F_v – její stanovení je velice komplikované a určení vyhazovací síly závisí na různých faktorech, především na geometrii výstřiku. Přesné stanovení síly by spočívalo v určení každého prvku, který přilne na tvárník pohyblivé poloviny formy. Kvůli složitosti geometrie řešené součásti (závity, popisy, přechody apod.) bude velikost vyhazovací síly určena orientačně pro zjednodušenou geometrii součásti (obr. 63). Hodnota vyhazovací síly bude navýšena o 25 % vzhledem ke tvarové složitosti. Vyhazovací síla se stanoví dle následujícího vztahu:

$$F_v = n_p \cdot f_t \cdot S_{TV} \cdot p_T \cdot 1,25 \text{ [kN]} \quad (3.6)$$

kde: f_t – koeficient tření mezi polymerem a tvárníkem z oceli; 0,05 pro PP [45]

S_{TV} – zjednodušená plocha přilnutá na tvárník [mm^2]

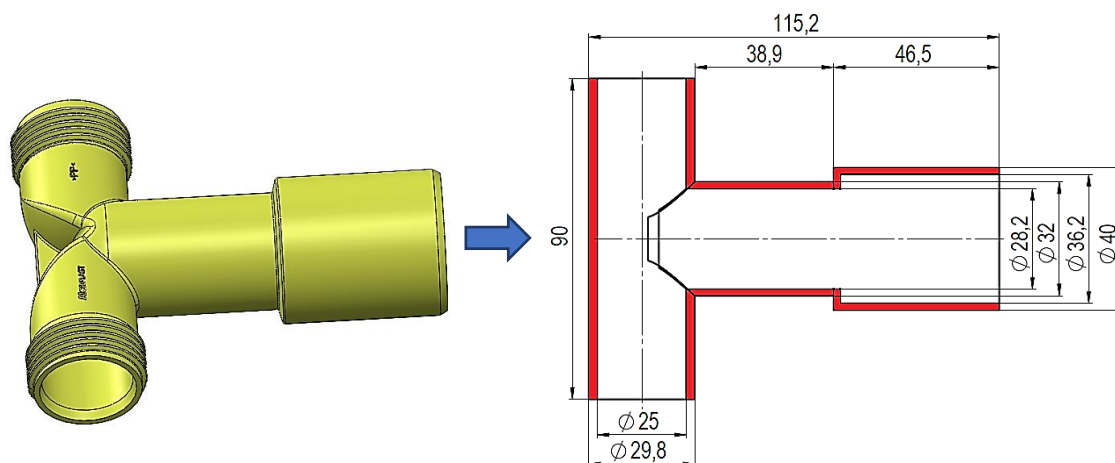
p_T – tlak mezi polymerem a tvárníkem [MPa]

Zjednodušená plocha součásti přilnuté na tvárník se stanoví dle vztahu:

$$S_{TV} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.7)$$

kde: r – vnější poloměr nahrazené geometrie součásti [mm]

h – výška nahrazené geometrie součásti [mm]



Obr. 63 Zjednodušená geometrie součásti

Zjednodušená plocha součásti přilnuté na tvárník dle vztahu 3.7:

$$S_{TV} = 2 \cdot \pi \cdot 14,9 \cdot 90 + 2 \cdot \pi \cdot 16 \cdot 38,6 + 2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 46,5 = 18\,150 \text{ mm}^2$$

Tlak vyvolaný tahovým napětím mezi polymerem a tvárníkem lze stanovit vztahem:

$$p_T = \sigma_{tah} \cdot \frac{S_M}{r_t} \text{ [MPa]} \quad (3.8)$$

kde: σ_{tah} – napětí v tahu mezi výstřikem a tvárníkem [MPa]

S_M – tloušťka stěny zjednodušené geometrie součásti [mm]

r_t – poloměr plochy tvárníku [mm]

Napětí v tahu mezi výstřikem a tvárníkem je způsobeno od smršštění vstřikovaného materiálu. Tahové napětí je určeno Hookovým zákonem podle vztahu:

$$\sigma_{tah} = \varepsilon \cdot E \text{ [MPa]} \quad (3.9)$$

kde: ε – smršštění [%], dle podkapitoly 3.1, zvoleno 1,8 %

E – modul pružnosti v tahu [MPa], viz příloha 6

$$\sigma_{tah} = 0,018 \cdot 1550 = 27,9 \text{ MPa}$$

Tlak vyvolaný tahovým napětím mezi polymerem a tvárníkem dle vztahu 3.8:

$$p_T = 27,9 \cdot \frac{1,9}{20} + 27,9 \cdot \frac{1,9}{16} + 27,9 \cdot \frac{2,4}{14,9} = 10,5 \text{ MPa}$$

Velikost vyhazovací síly F_v dle vztahu 3.6:

$$F_v = 1 \cdot 0,05 \cdot 18\,150 \cdot 10,5 \cdot 1,25 = 11\,911 \text{ N} = 11,91 \text{ kN}$$

- optimální průměr šneku vstřikovacího stroje D_s – je stanoven dle tabulky normalizovaných šneků, viz tab. 5. Pro určení normalizovaného šneku se musí dodržet následující podmínka daná vztahem:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_D} \quad (3.10)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{44,2} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{44,2}$$

$$26,5 < D_s < 37,1$$

Tab. 5 Průměry šneku vstřikovacího stroje D_s [37]

Průměr šneku D_s [mm]											
20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90

Na základě stanovené podmínky ze vztahu 3.10 se z tabulky 5 určí vhodný průměr šneku. Na základě výpočtu je zvolen šnek $D_s = 35$ mm.

- délka dráhy pohybu šneku L_s – závisí na objemu vstřikované taveniny a stanoví se dle následujícího vztahu:

$$V_D = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4 \cdot 10^3 \cdot L_s} \Rightarrow L_s = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_s^2} \text{ [mm]} \quad (3.11)$$

$$L_s = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_D}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 44,2}{\pi \cdot 35^2} \doteq 46 \text{ mm}$$

Optimální poměr mezi průměrem šneku a jeho dráhou se stanoví dle následující podmínky:

$$1 \cdot D_s < L_s < 3 \cdot D_s \quad (3.12)$$

$$1 \cdot 35 < L_s < 3 \cdot 35$$

$$35 < 46 < 105$$

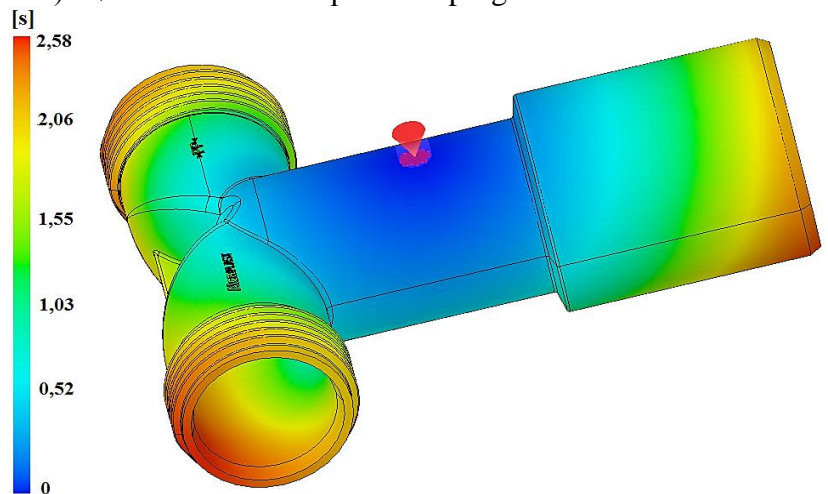
- otáčky šneku vstřikovacího stroje při plastifikaci n_s – závisí na obvodové rychlosti šneku a jeho průměru. Otáčky šneku se stanoví dle vztahu:

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v_s}{\pi \cdot D_s} \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (3.13)$$

kde: v_s – obvodová rychlost šneku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], viz tab. 4

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 35} = 164 \text{ min}^{-1}$$

- doba vstřikování (plnění) t_v – se stanoví pomocí programu Solidworks 2018 a doplňkového modulu simulační analýzy Solidworks Plastics. Doba vstřikování (plnění) určená analýzou (obr. 64) a celou analýzou je uvedena v příloze 12: $t_v = 2,58 \text{ s}$



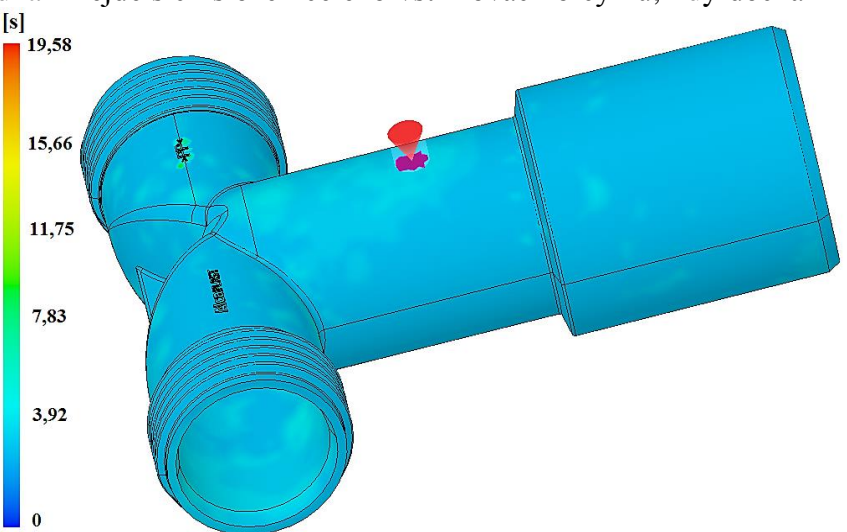
Obr. 64 Simulace doby plnění

- vstřikovací rychlost v_s – je určena hodnotou plnění ze simulační analýzy. Vstřikovací rychlost se určí dle následujícího vztahu:

$$v_s = \frac{V_D}{t_v} \text{ [cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (3.14)$$

$$v_s = \frac{44,2}{2,58} = 17,1 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

- doba chlazení t_{chl} – jedna z nejdelších složek celého vstřikovacího cyklu, kdy dochází ke zchlazení výstřiku na teplotu vyjmutí z formy. Chlazení ve velké míře ovlivňuje výslednou kvalitu výstřiku. Provádí se na základě ideálního odvodu tepla ať výpočtem či simulační analýzou a pro porovnání doby chlazení se využije obou způsobů. Simulační analýzou byla určena doba chlazení 19,58 s, viz obr. 65.



Obr. 65 Simulace doby chlazení

Chlazení je určeno vztahem:

$$t_{chl} = \frac{s^2}{\pi \cdot a} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_T - T_F}{T_V - T_F}\right) [s] \quad (3.15)$$

kde: a – součinitel teplotní roztažnosti [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], viz příloha 9 a tabulka 4,
zvoleno $a = 0,065 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

T_T – teplota taveniny [$^{\circ}\text{C}$], viz tab. 4, zvoleno $T_T = 230 \text{ }^{\circ}\text{C}$

T_F – teplota formy [$^{\circ}\text{C}$], viz tab. 4, zvoleno $T_F = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

T_V – teplota při vyhození [$^{\circ}\text{C}$], viz tab. 4

$$t_{chl} = \frac{1,9^2}{\pi \cdot 0,065} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{230 - 25}{80 - 25}\right) \doteq 19,54 \text{ s}$$

Hodnoty chlazení simulací a výpočtem vyšly přibližně stejně. Pro další výpočty se použije hodnota stanovená výpočtem.

- celková doba vstřikovacího cyklu t_c – je doba, ve které probíhají všechny úkony spojené se vstřikovacím cyklem. Řadí se sem uzavření formy, přisunutí vstřikovací jednotky ke vstřikovací formě, plnění, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výstřiku a prodleva na opětovné zavření formy.

$$t_c = t_{s1} + t_{s2} + t_v + t_D + t_{chl} + t_{s3} + t_{s4} [s] \quad (3.16)$$

kde: t_{s1} – doba zavření vstřikovací formy [s], (1 – 1,5 s), zvoleno $t_{s1} = 1 \text{ s}$

t_{s2} – doba přisunu vstřikovací jednotky k formě [s], zvoleno $t_{s2} = 0,5 \text{ s}$

t_{s3} – doba otevření formy a vyhození [$^{\circ}\text{C}$], (1 – 1,5 s), zvoleno $t_{s3} = 1,5 \text{ s}$

t_{s4} – doba prodlevy [s], zvoleno $t_{s4} = 0,5 \text{ s}$

$$t_c = 1 + 0,5 + 2,58 + 3,1 + 19,54 + 1,5 + 0,5 \doteq 29 \text{ s}$$

- doba produkce t_p – se stanovuje pro výpočet termínové násobnosti vstřikovací formy. Termín zhotovení dvojitého kolena je stanoven na 3 měsíce v celé produkci 100 000 kusů, kdy je uvažováno 21 pracovních dní v měsíci v třísměnném provozu. Doba produkce se stanoví dle vztahu:

$$t_p = n_{pm} \cdot n_{pd} \cdot h_{pph} [h] \quad (3.17)$$

kde: n_{pm} – počet měsíců výroby dvojitého kolena [-]

n_{pd} – počet pracovních dní v měsíci [-], zvoleno 21 dní

h_{pph} – počet pracovních hodin za jeden den v třísměnném provozu [-]

$$t_p = 3 \cdot 21 \cdot 24 = 1512 \text{ h}$$

- termínová násobnost formy n_T – se stanovuje násobnost formy s ohledem na termínu dodání. Pro výpočet se využije následujícího vztahu:

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{t_p \cdot K \cdot 3600} [-] \quad (3.18)$$

kde: N – velikost série [ks], ze zadání zvoleno $N = 100 \text{ 000}$ kusů

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

$$n_T = \frac{100000 \cdot 29}{1512 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 0,67 \doteq 1$$

- plastifikační kapacita vstřikovacího stroje C_p – se využívá pro vhodný návrh vstřikovacího stroje a je daná vztahem:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot \rho \cdot n_T \cdot V_{vd}}{t_c} [kg \cdot h^{-1}] \quad (3.19)$$

$$C_p \geq \frac{4 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 39,31}{29} = 4,88 \doteq 5 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

- minimální vstřikovací kapacita vstřikovacího stroje C_v – druhá veličina důležitá pro stanovení vhodného vstřikovacího stroje daná vztahem:

$$C_v \geq 1,1 \cdot n_T \cdot V_{vd} [cm^3] \quad (3.20)$$

$$C_v \geq 1,1 \cdot 1 \cdot 39,31 = 43,2 cm^3$$

- průchod taveniny ze stroje do formy \dot{G} – je stanoven dle následujícího vztahu:

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot V_D \cdot \rho}{t_c} [kg \cdot h^{-1}] \quad (3.21)$$

$$\dot{G} = \frac{3,6 \cdot 44,2 \cdot 0,9}{29} = 4,9 kg \cdot h^{-1}$$

- teplo vnesené taveninou Q – je teplo, které je stanoveno následujícím vztahem:

$$Q = \dot{G} \cdot \Delta h [kJ \cdot h^{-1}] \quad (3.22)$$

kde: Δh – rozdíl entalpií [$kJ \cdot kg^{-1}$], viz tab. 4 a graf přílohy 10

$$Q = 4,9 \cdot 420 = 2058 kJ \cdot h^{-1}$$

- odvzdušnění – je možné zvolit některé rozměry dle doporučených hodnot šířky odvzdušňovacích kanálů pro zvolený typ z tabulky 3. Hloubka odvzdušňovacího kanálu lze stanovit i výpočtem celkového průřezu odvzdušnění podle následujícího vztahu:

$$f = 2,5 \cdot G_1 \cdot \frac{\sqrt{T_1}}{p_o \cdot t_v} [mm^2] \quad (3.23)$$

kde: G_1 – hmotnost vzduchu ve formě [kg]

T_1 – teplota stlačeného vzduchu [K]

p_o – tlak vzduchu ve formě [MPa]

Hmotnost vzduchu ve formě se stanoví dle vztahu:

$$G_1 = n_T \cdot V_{vd} \cdot \rho_{vz} [kg] \quad (3.24)$$

kde: ρ_{vz} – hustota vzduchu při 20 °C [$kg \cdot m^{-3}$], zvoleno $\rho_{vz} = 1,205 kg \cdot m^{-3}$ [46]

$$G_1 = 1 \cdot 39,31 \cdot 1,205 \cdot 10^{-6} = 4,7 \cdot 10^{-5} kg$$

Teplota stlačeného vzduchu T_1 je určena vztahem:

$$T_1 = T_o \cdot \left(\frac{p_1}{p_o}\right)^{\frac{n-1}{n}} [K] \quad (3.25)$$

kde: T_o – teplota okolí [K], zvoleno $T_o = 293,15 K$

p_1 – tlak stlačeného vzduchu v uzavřené dutině vstřikovací formy na konci plnění [MPa], (20 – 30 MPa), zvoleno $p_1 = 20 MPa$

n – polytropický koeficient [-], zvoleno $n = 1,15$

$$T_1 = 293,15 \cdot \left(\frac{20}{0,1}\right)^{\frac{1,15-1}{1,15}} = 585,1 K$$

Celkový průřez odvzdušnění:

$$f = 2,5 \cdot 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\sqrt{585,1}}{0,1 \cdot 10^6 \cdot 2,58} = 1,1 \cdot 10^{-8} m^2$$

$$f = 0,011 mm^2$$

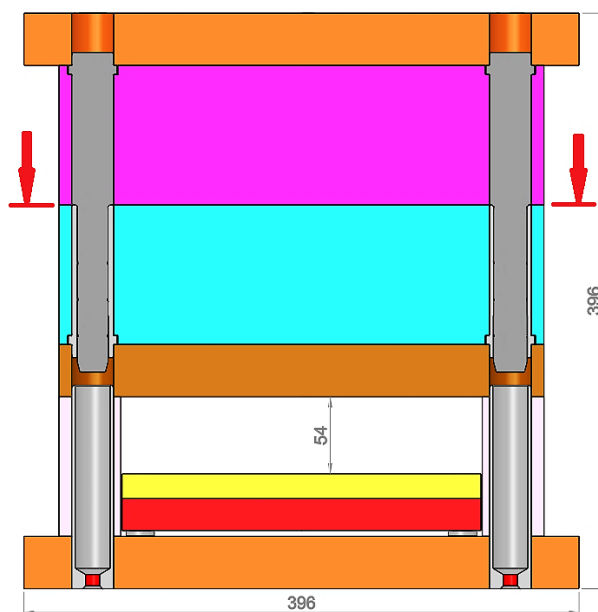
3.3 Konstrukční řešení [17], [27], [28], [43]

Konstrukčních řešení vstřikovací formy existuje nespočet a vždy záleží na konstruktérovi, kterou možnost zvolí jako tu nejideálnější a nejvhodnější jak z hlediska složitosti vstřikovací formy, tak i případně cenových nákladů na výrobu formy, které se mnohdy pohybují v řádech statisíců korun. Z tohoto důvodu se při prvotním návrhu vstřikovací formy musí dbát na správné zvolení dělicí roviny, zvolení smrštění polymeru, zvolení vtokového ústí, určení správné vtokové soustavy, jak bylo zmíněno v podkapitole 3.1. Na základě těchto prvotních úkonů se stanovují další prvky vstřikovací formy jako rámy, vyhazovací systém, systém vodicích prvků formy apod.

3.3.1 Základní rám vstřikovací formy [28], [43], [44], [47], [48], [49], [50], [51]

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.2, vstřikovací forma je rozdělena na pevnou a pohyblivou část a je složena z několika po sobě jdoucích desek, které tvoří rozebíratelný celek. Jedná se o desky tvaru obdélníku nebo čtverce a v současné době jsou pro úsporu nákladů na vstřikovací formu dodávány většinou jako polotovary (normálie) od specializovaných firem Hasco, Meusburger, DME apod. a společně tvoří základní rám vstřikovací formy. Základní polotovar rámu obsahuje otvory pro vodicí sloupky, pouzdra a středící trubky, které slouží k vymezení přesné polohy desek, a jsou dodávány též jako normálie.

Vstřikovací forma byla z velké části sestavena z normálií od firmy Hasco, některé i od firmy Meusburger. Určení vhodné velikosti rámu vstřikovací formy spočívá ve správném rozvržení výstřiku ve formě. Cílem správného rozmístění je jednoduchá výroba, produkce apod. Velikost rámu se stanovuje na základě počtu tvarových dutin ve formě. Z řešené součásti vyplývá, že násobnost vstřikovací formy byla stanovena výpočtem na 1 dutinu. Z hlediska velikosti vstřikovaného dílu se zvolí větší rám, kdy je třeba zohlednit i případné kolize všech vodicích sloupků, pouzder apod. Základní rám formy je možné vidět na obrázku 66. Pevná část se skládá z upínací desky obdélníkového tvaru o rozměrech 346 mm x 396 mm a tvarové desky pro tvárnici o čtvercovém tvaru 346 mm x 346 mm.



Obr. 66 Základní rám vstřikovací formy

Pohyblivá část se skládá též z upínací desky o stejném rozměru a tvaru. Dále je složena z podpěrné desky, tvarové desky pro tvárnici o čtvercovém tvaru 346 mm x 346 mm. Součástí pohyblivé poloviny jsou dvě rozpěrné desky a vyhazovací systém s kotevní a opěrnou deskou. U jednotlivých rámu vstřikovací formy se stanovuje:

- volba materiálu – se určuje na základě tvarové dutiny. V případě použití tvarových vložek (tvárník, tvárnice) v rámech jsou obvykle rámy vyrobeny z ušlechtilé oceli pro zaručení tvarové stálosti a pevnosti vstřikovací formy. Na rámy jsou kladeny požadavky na pevnost, houževnatost, odolnost proti rázům, obrobiteľnosť v zušlechťeném stavu. V případě vytvoření tvarové dutiny přímo do rámu musí umožňovat i zakalení na vysokou tvrdost. V tabulce 6 jsou uvedeny zvolené materiály pro jednotlivé použité rámy ve vstřikovací formě.

Tab. 6 Zvolené materiály pro rámy formy [28], [47], [48], [49], [50]

Název rámu	Počet kusů	Rozměr [mm]	Zvolený materiál	Označení dle DIN EN ISO 4957
Upínací deska	2	346 x 396 x 36	1.1730	C45U
Tvarová deska pevné poloviny formy	1	346 x 346 x 96	1.2312	40CrMnMoS8-6
Tvarová deska pohyblivé poloviny formy	1	346 x 346 x 96	1.2312	40CrMnMoS8-6
Podpěrná deska	1	346 x 346 x 36	1.2312	40CrMnMoS8-6
Rozpěrná deska	2	43 x 346 x 96	1.1730	C45U
Desky pro vyhazovací systém	2	258 x 346 x 17/22	1.1730	C45U

Materiál 1.1730 je uhlíková nástrojová ocel s vysokou houževnatostí, dobrou tvárností a obrobiteľnosťou v žíhaném stavu. Tento materiál je vhodný pro nářadí, vstříkovací formy jako rámy, pouzdra, sloupky apod. Chemické složení materiálu a označení oceli 1.1730 je uvedeno v tabulce 7.

Tab. 7 Chemické složení a označení oceli 1.1730 [47], [48], [49]

Norma oceli	ČSN	DIN	W.Nr	Böhler	AISI	Afnor
	19 083	C45U	1.1730	K 945	SAE 1045	XC 48
Prvek	C	Si	Mn	P	S	
Obsah [%]	0,45	0,3	0,7	0,035	0,035	

Materiál 1.2312 je chrom-mangan-molybdenová ocel s dobrou prokalitelností, dobrou pevností za tepla, je dobře tvárná a obrobiteľná. Tento materiál je vhodný pro zpracování umělých hmot, tudíž vstříkovací formy jako rámy apod. Chemické složení materiálu a označení oceli 1.2312 je uvedeno v tabulce 8.

Tab. 8 Chemické složení a označení oceli 1.2312 [47], [50], [51]

Norma oceli	ČSN	DIN	W.Nr	Böhler	AISI	Afnor
	19 520+S	40CrMnMoS8-6	1.2312	M 200	P20+S	40CMD8+S
Prvek	C	Mn	S	Cr	Mo	P
Obsah [%]	0,4	1,5	0,07	1,9	0,2	0,03

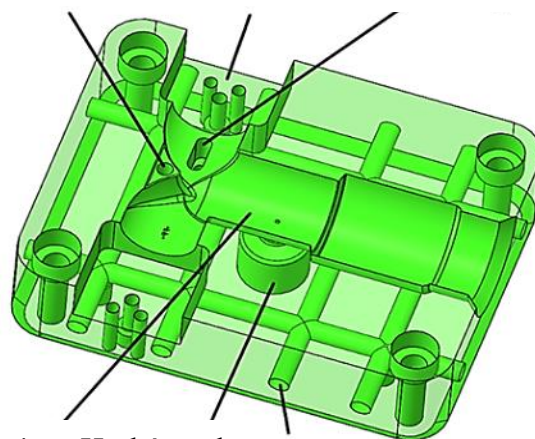
3.3.2 Tvarové části vstříkovací formy [27], [28], [43], [44], [52], [53]

Pro řešenou součást byla v podkapitole 3.1 navržena dělicí rovina, zaformování součásti a umístění dílu ve vstříkovací formě. Na základě těchto prvotních kroků a seriovosti se stanovuje vhodnost výroby tvarové dutiny přímo do rámu formy nebo zhotovení tvarových vložek (tvárník, tvárnice). Z tvaru řešené součásti vyplývá, že umístění součásti přímo do rámu není příliš vhodné z hlediska složitosti součásti a případných velkých cenových nákladů na opravu poškozených tvarů. Z tohoto důvodu byla zvolena možnost umístění vnitřních dutin do tvarových vložek tvárnice a tvárníku. Toto řešení umožňuje snadnou opravitelnost a případnou výrobu nových vložek v případě poškození. Další částí jsou dva přípojné průměry

dvojitého kolena, které se zhotoví pomocí bočního pohybujícího se jádra s čelistí, kdy zajištění a odjíždění je řešeno pomocí šikmého kolíku. Průměr, který je napojen na odpadní trubku o světlosti DN 40/32, se zhotoví pomocí jádra, který bude ovládán pomocí hydraulického válce. Závity na přípojních průměrech kolena budou zhotoveny pomocí vsazených vložek, z důvodu možného poškození závitu. Následovně jsou detailněji popsány všechny tvarové části potřebné ke zhotovení tvaru dvojitého kolena:

- tvárnice – je součástí pevné poloviny vstřikovací formy. Vkládá se do předem zhotovených kapes v tvarových deskách rámu a je zajištěna pomocí imbusových šroubů. Tvárnice byla zhotovena z obdélníkového polotovaru o rozměru 130 mm x 170 mm x 50 mm, viz obr. 67. Na obrázku 67 lze vidět tvárnici s popisem jednotlivých částí. V tvárnici byla zhotovena dutina kolena, kapsy pro vsazené vložky závitů, otvor pro datumovku, oválný otvor pro vložku loga Alca plast. Dále lze na obrázku vidět zástavbový otvor pro horkou soustavu (trysku) a chladicí kanály (temperace). Na tvárnici jsou v průběhu

Datumovka Vsazená vložka Vložka loga



Dutina Horká tryska Temperace

Obr. 67 Tvárnice

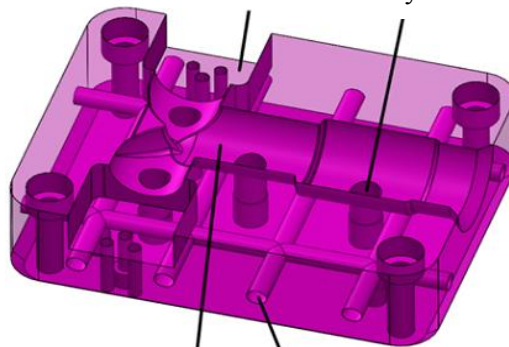
vstřikování kladeny vysoké nároky na tvarovou stálost a otěruvzdornost při zajištění dobré obrobitelnosti, proto je nutné ji po opracování zakalit na hodnotu tvrdosti 52-54 HRC. Na základě těchto požadavků je pro tvárnici zvolena nástrojová ocel 1.2343. Jedná se o chrom-molybden-vanadovou ocel s vysokou prokalitelností a houževnatostí. Chemické složení materiálu a označení oceli 1.2343 je uvedeno v tabulce 9.

Tab. 9 Chemické složení a označení oceli 1.2343 [52]

Norma oceli	ČSN	DIN	W.Nr	Böhler	AISI	Afnor
	19 552	X38CrMo V 5-1	1.2343	W 300	H11	Z38CDV5
Prvek	C	Si	Mn	V	P	S
Obsah [%]	0,36 – 0,42	0,9 – 1,2	0,3 – 0,5	0,25 – 0,5	0,03	0,03

- tvárník – je součástí pohyblivé poloviny vstřikovací formy. Vkládá se též jako tvárnice do předem zhotovených kapes v tvarových deskách rámu a je zajištěn pomocí imbusových šroubů. Tvárník byl zhotoven z obdélníkového polotovaru o rozměru 130 mm x 170 mm x 50 mm, viz obr. 68. Na obrázku 68 lze vidět tvárník s popisem jednotlivých částí. V tvárníku byly zhotoveny kapsy pro vsazené vložky závitů, dutina dvojitého kolena. Dále byly zhotoveny 4 otvory pro vyhazovače

Vsazená vložka Vyhazovače

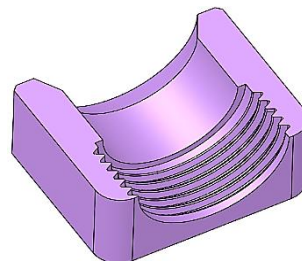


Dutina Temperace

Obr. 68 Tvárník

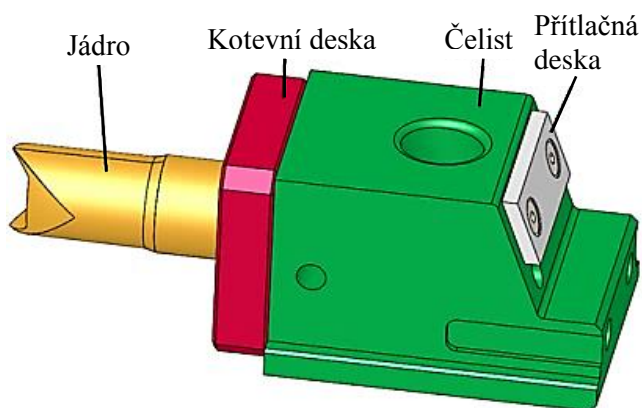
a chladicí kanály (temperace). Zvolený materiál tvárníku je nástrojová ocel 1.2343 se zakalením na tvrdost 52-54 HRC. Chemické složení a označení této oceli viz tabulka 9.

- vsazená vložka – bude zhotovena pro závity na přípojných průměrech dvojitého kolena. Vsazená vložka, viz obrázek 69, se vkládá do tvárnice či tvárníku a je zajištěna pomocí šroubů a kolíků. Základní polotovár je zhotoven z obdélníkového tvaru o rozměrech 42 mm x 34,46 mm x 21 mm. Materiálem vsazené vložky je nástrojová ocel 1.2343 se zakalením na tvrdost 52-54 HRC. Chemické složení a označení této oceli viz tabulka 9.



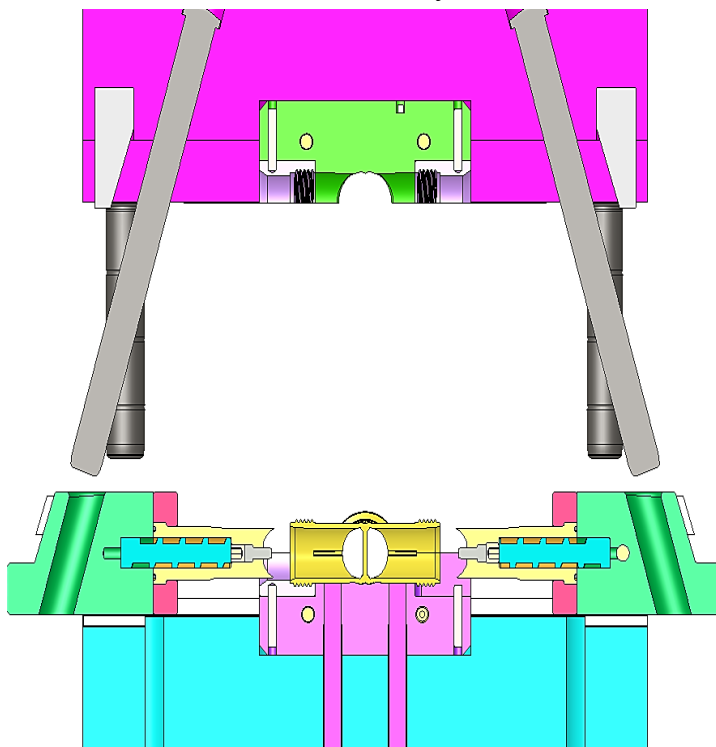
Obr. 69 Vsazená vložka

- boční jádra – slouží ke zhotovení vnitřní části dvou přípojných průměrů dvojitého kolena. Jádro je ukotveno v kotevní desce, která je spojena pomocí šroubů a kolíků do čelisti. Materiálem jádra je nástrojová ocel 1.2343 se zakalením na tvrdost 52-54 HRC. Chemické složení a označení této oceli viz tabulka 9. Vzájemný pohyb vykonává jádro, kotevní deska a čelist (dále je využíván název sestava čelisti, viz obr. 70). Fáze pohybu otevírání a zavírání vstřikovací formy:



Obr. 70 Sestava čelisti

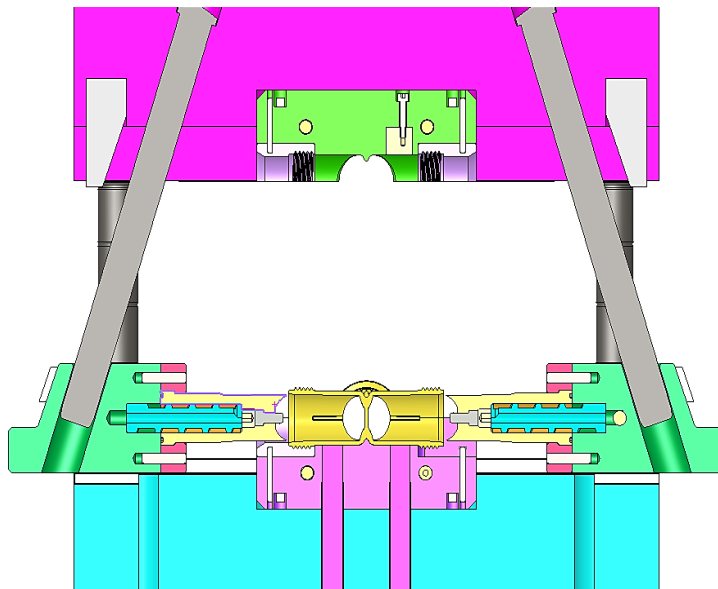
- a) v první fázi se dává do pohybu celá levá pohyblivá polovina formy. Čelisti spolu s jádrem a kotevní deskou se otevírají s určitým zpožděním způsobeným zvětšeným otvorem v čelisti, jenž vede šikmé kolíky. Při dotyku stěny čelisti s šikmým kolíkem se postupně čelisti rozevírají a je zajištěn pohyb od tvárníku směrem ven z formy (obr. 71). Pohyb čelistí ve formě je zajištěn pomocí kluzné desky a vodících lišt. Pohyb



Obr. 71 1. fáze – rozevření čelistí

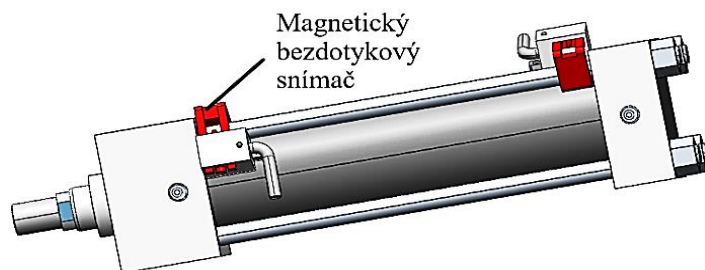
sestavy čelisti končí v okamžiku úplného rozevření a možnosti vyhození výstřiku z formy. K zabránění vypadnutí sestavy čelisti se využívá stavěcích šroubů s pružinou, viz příloha 11.

- b) ve druhé fázi dochází k přiblížení pohyblivé poloviny k pevné polovině formy (obr. 72). Při přiblížení pohyblivé části k pevné nacházejí vodící šikmé kolíky otvory v čelistech, čímž je pomáhají správně ustavovat. Při neustálém přibližování pohyblivé poloviny dojde k úplnému ustavení sestavy čelisti do základní polohy pro opětovný proces vstřikování.



Obr. 72 2. fáze – navedení šikmých kolíků do čelistí

- jádro s hydraulickým válcem – ke zhotovení vnitřní části dvojitého kolena, která je napojena na odpadní trubku o světlosti DN 40/32, se průměr zhotoví pomocí jádra, které je ovládáno pomocí hydraulického válce. Hydraulické válce vychází z tlaků v tvarové dutině při vstřikovacím cyklu. Jejich funkcí je působit dostatečně velkou silou na jádro, aby nedošlo v průběhu vstřikování k jeho vysunutí.



Obr. 73 Hydraulický válec VEGA V160CB [53]

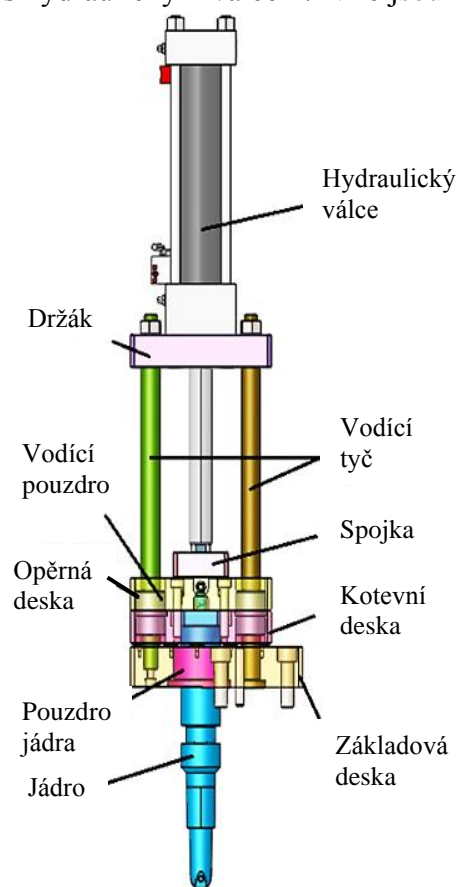
Na základě této podmínky byl zvolen hydraulický válec od firmy VEGA Cylinder V160CB (obr. 73) s katalogovým označením CB6328C3MHAM200. Parametry tohoto hydraulického válce jsou uvedeny v tabulce 10. Tento válec byl zvolen i s ohledem na dostatečnou sílu, která udrží tvarové jádro při vstřikovacím procesu, aniž by došlo k jeho posunu.

Tab. 10 Parametry hydraulického válce V160CB [53]

Průměr pístu	ø63 mm
Průměr pístnice	ø28 mm
Zdvih	200 mm
Síla v tlaku	4985 kg
Síla v tahu	4000 kg

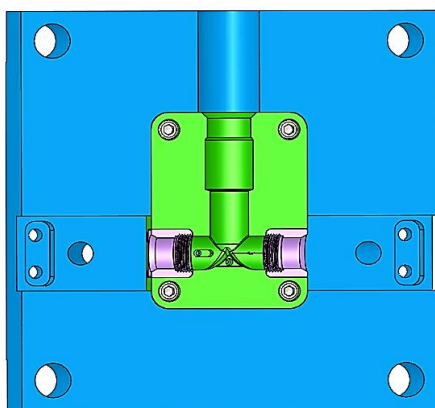
Hydraulický válec je vybaven dvěma magnetickými snímači pro zajištění koncové polohy pístu ve válci. Jak již bylo zmíněno výše, jádro zhotoví vnitřní průměr napojení na odpadní trubku o světlosti DN 40/32. Materiálem jádra je nástrojová ocel 1.2343

s následným zakalením na tvrdost 52-54 HRC. Chemické složení a označení této oceli viz tabulka 9. Na obrázku 74 lze vidět sestavu jádra s hydraulickým válcem. Níže jsou popsány jednotlivé díly této sestavy s popisem a detailněji rozebrán princip funkce. Z obrázku 74 lze usoudit, že základová deska je umístěna na vstřikovací formě a rozebíratelně spojena pomocí šroubů a kolíků k tvarovým deskám a podpěrné desce. V základové desce je zhotoven otvor pro pouzdro jádra. Pouzdro jádra slouží pro vedení jádra při pohybu zasouvání do formy a vysouvání ven z formy. Jádro je ukotveno v kotevní desce a z důvodu tvarových částí na jádře musí být v kotevní desce zajištěno zaaretování, aby nedošlo v průběhu vstřikovacího cyklu k pootočení jádra. Na kotevní desce je umístěna opěrná deska, která je k ní spojena pomocí šroubů. Spojka je spojena s pístnicí hydraulického válce pomocí závitu a je ukotvena pomocí šroubů a kolíků k opěrné desce. Kotevní deska, opěrná deska, spojka společně s pístnicí hydraulického válce se vzájemně pohybují po vodících tyčích pomocí vodících pouzder. Jelikož se vodící pouzdra posouvají po vodících tyčích a časem by mohlo dojít k jejich otlacení, zadření apod., je povrch vodících tyčí cementovaný. Vodící pouzdra jsou řešena jako normálie. Tělo hydraulického válce je umístěné v drážce držáku, přičemž držák je spojen pomocí matic k vodícím tyčím. Tělo hydraulického válce je spojeno pomocí šroubů k držáku, čímž dojde k ustavení celého válce. Zasouvání a vysouvání jádra se provádí při otevřené formě.

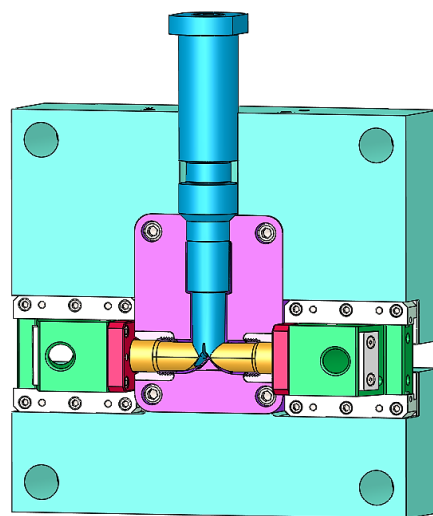


Obr. 74 Sestava jádra a hydraulického válce

Na obrázku 75 lze vidět pevnou polovinu vstřikovací formy se zaformovanou tvárnici do tvarové desky zajištěnou imbusovými šrouby a vsazenou vložku vloženou do tvárnice a zajištěnou šrouby a kolíky. Pohyblivou polovinu se zaformovaným tvárníkem, vsazenou vložkou, sestavou čelisti a pro zjednodušení samostatně jádro lze vidět na obrázku 76. Vzájemnou polohu všech jader zajišťují vnitřní kolíky.



Obr. 75 Zaformování v pevné polovině formy

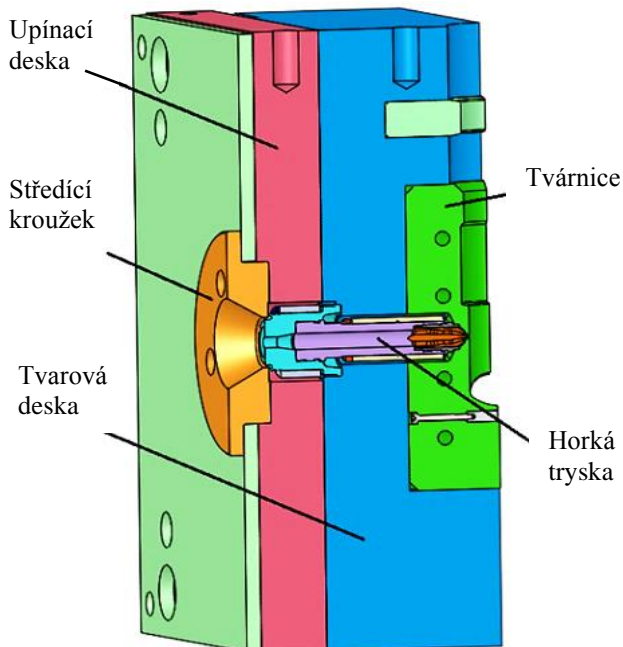


Obr. 76 Zaformování v pohyblivé polovině formy

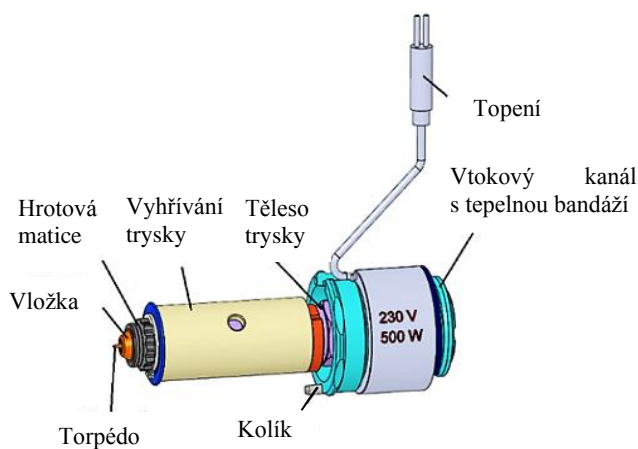
3.3.3 Horká vtoková soustava [27], [28], [44], [54], [55]

V podkapitole 3.1 bylo zmíněno, že pro řešenou součást bude využita horká vtoková soustava. Ta rozvádí taveninu od vstřikovací jednotky stroje do dutiny vstřikovací formy.

Horká soustava udržuje taveninu v roztaveném stavu po celou dobu vstřikovacího cyklu. Obvykle je vhodným způsobem umístěna ve vstřikovací formě. V případě bloku s vyhřívanými tryskami se využívá další deska, která se vkládá mezi upínací a tvarovou desku. Pokud se jedná o single horkou trysku, není nutné přidávat další desku, tryska se vloží do upínací a tvarové desky, případně i tvárnice. Horká soustava se vkládá do již připravené dutiny v deskách případně tvárnici. Jelikož pracuje za vysokých teplot, je třeba v provozu zohlednit teplotní roztažnost a izolaci tepla. Z tohoto důvodu se ve formě zvětšují rozměry dutiny, aby mohly prvky horké soustavy v průběhu provozu dilatovat a nedošlo k jejich poškození. Hlavní části a umístění horkého systému jsou k vidění na obrázku 77. Z určení násobnosti formy, kdy byla výpočtem stanovena jedna dutina ve formě, je zvolena jedna samostatná horká tryska umístěná v ose vstřikovací formy a je vedena přímo do dutiny formy. Horká tryska byla vybrána od firmy Synventive molding solutions. Tryska s popisem jednotlivých částí viz obrázek 78. Přes vtokový kanál proudí tavenina, kdy se pomocí tepelné bandáže po přívodu elektrické energie udržuje teplota pro neustálou tekutost polymeru. Dále tavenina pokračuje přes těleso trysky, přičemž těleso je udržováno při stálé teplotě.



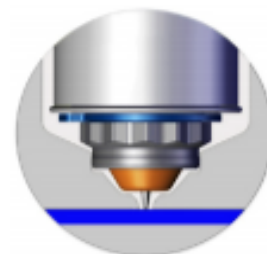
Obr. 77 Zafornování horké vtokové soustavy



Obr. 78 Tryska [54]

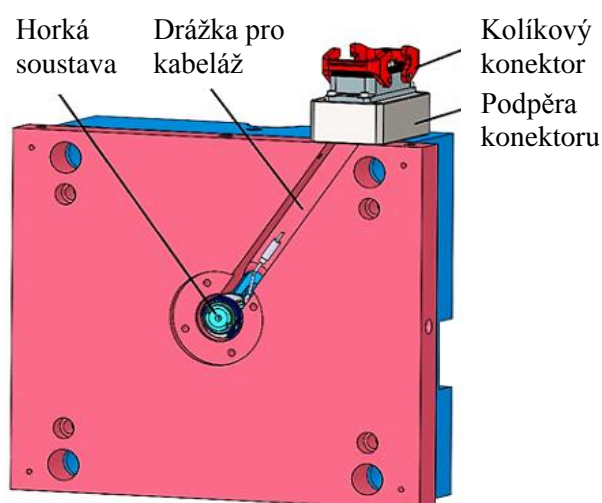
Na konci trysky je umístěné torpédo, ze kterého proudí tavenina do dutiny vstřikovací formy. Pro zamezení vypadnutí torpéda je nasazena vložka zajištěna hrotovou maticí. Pro ustavení horké trysky ve vstřikovací formě se využívá kolíku pro zajištění polohy trysky.

Trysky jsou voleny zejména na základě vstřikované dávky, typu daného polymeru a viskozity. Na základě těchto kritérií byla zvolena tryska s vtokovou objímkou a katalogovým označením 09S-02 řady W10T. Jedná se o trysku s ústím vtoku o $\varnothing 1,6$ mm zavedeným přímo do dutiny vstřikovací formy, viz obr. 79. Tato tryska byla zvolena z důvodu minimálního až nulového vtoku kvůli vstřikování polymeru na průměr součástí. Dalším důvodem zvolení tohoto ústí je nulový vtokový zbytek.



Obr. 79 Ústí vtoku trysky [55]

Na základě dodaných příslušných parametrů do firmy Synventive molding solutions byla vzápětí dodána data modelu trysky, topení a předpřipravené dutiny do desek pro vložení trysky. Celý horký systém je nutné připojit ke zdroji elektrické energie. Elektrická energie je zajištěna pomocí kolíkového konektoru. Konektor je opatřen pákami proti vypadnutí přípojky elektrické energie. Je umístěn na podpěře a zajištěn imbusovými šrouby. Pro kabeláž od soustavy po konektor je umístěna drážka v upínací desce, viz obr. 80.

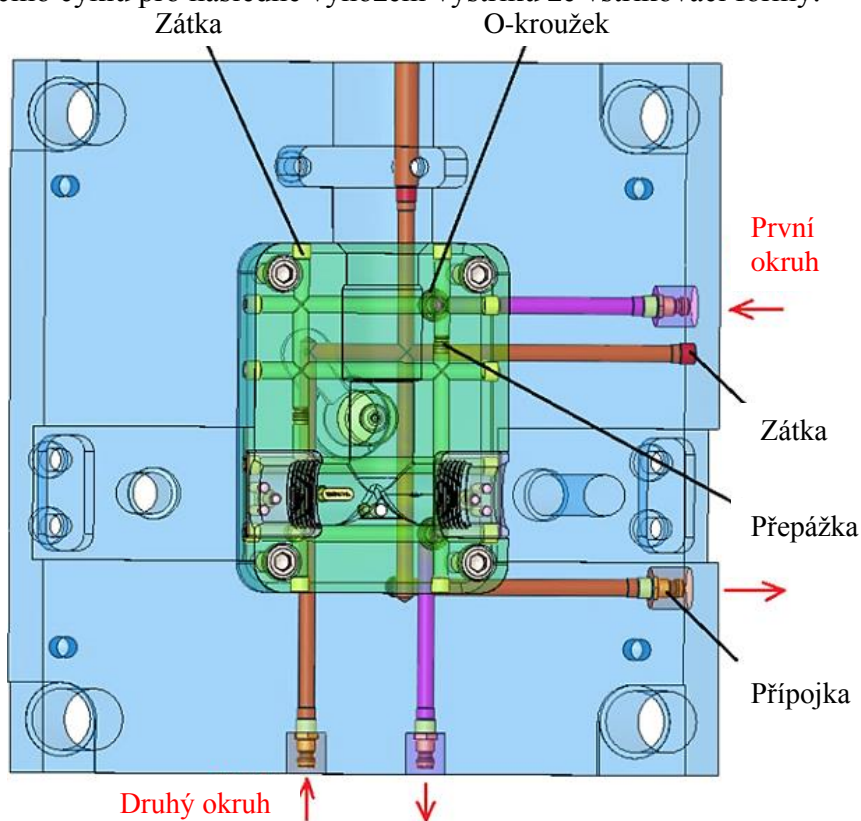


Obr. 80 Desky s horkou soustavou

3.3.4 Temperační soustava [27], [28], [43], [44]

Pro dutinu formy byla navržena vlastní síť okruhů kanálů, kdy je zapotřebí brát v úvahu dosažení co možná nejrovnoměrnějšího rozložení teplot při chlazení a dostatečného chlazení výstřiku v průběhu vstřikovacího cyklu pro následné vyhození výstřiku ze vstřikovací formy.

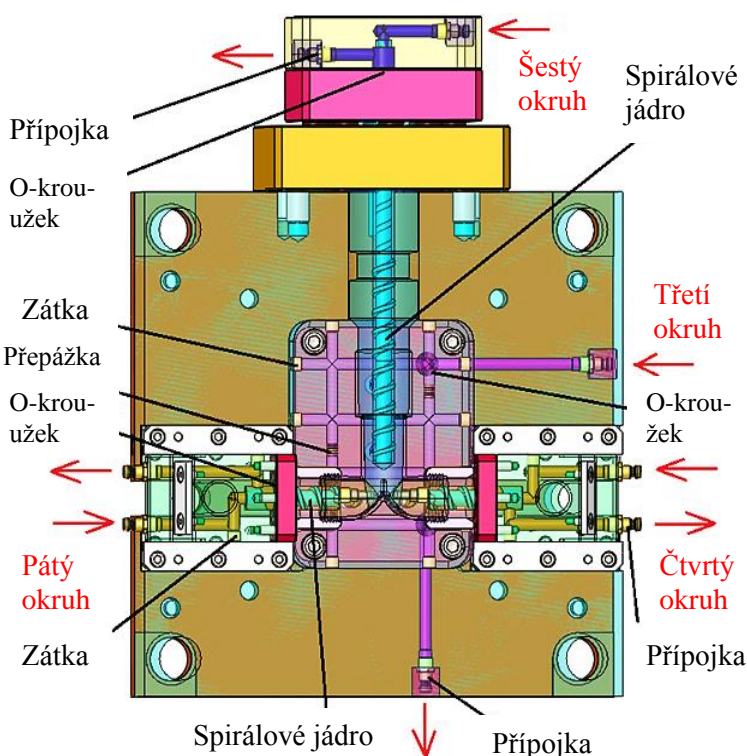
V řešené vstřikovací formě je navržen temperační systém s celkem šesti okruhy chlazení. V pevné polovině formy jsou umístěny dva okruhy chlazení, viz obr. 81. První okruh je určen ke chlazení dutiny dvojitého kolena ve tvárnici. Z hlediska větších rozměrů formy a snadnějšího zhotovení temperačních kanálů byl pro jejich velikost zvolen průměr 8 mm. Začátek temperačního okruhu pro tvárnici začíná ve tvarové desce, odtud pomocí spojovací díry přechází do tvárnice. Ta umožňuje tok do tvárnice a chlazení dutiny dvojitého kolena. Aby byla zajištěna těsnost okruhu při přechodu,



Obr. 81 Temperace pevné poloviny formy

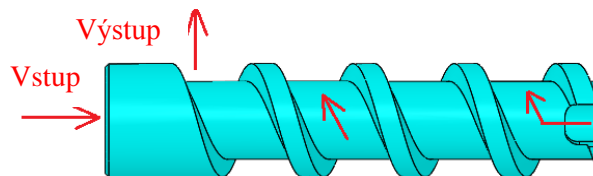
jsou mezi tvarovou deskou a tvárnicí vytvořeny po obvodu drážky a do nich vsazeny O-kroužky. Pro zajištění nevytečení temperačního média jsou ve tvárnici umístěné zátky. Pro vytvoření cirkulačního okruhu pro temperační médium je nutné umístit do vhodných míst kanálů tvárnice tzv. přepážky. Vstup a výstup temperačního média je řešen pomocí přípojky (náustku). K zabránění jejich poškození při manipulaci formy musí být jejich část zapuštěna v desce. Druhý okruh je určen ke chlazení horké vtokové soustavy, aby nedocházelo k nežádoucímu přenosu tepla.

V pohyblivé polovině jsou navrženy celkem čtyři okruhy chlazení, viz obr. 82. Třetí okruh je určen ke chlazení dutiny dvojitého kolena ve tvárníku. Pro jejich velikost byl zvolen průměr 8 mm. Začátek temperačního okruhu pro tvárník začíná ve tvarové desce, odtud pomocí spojovací díry přechází do tvárníku. Ta umožňuje tok do tvárníku a chlazení dutiny dvojitého kolena. Mezi deskou a tvárníkem jsou vytvořeny po obvodu drážky a do nich jsou vsazeny O-kroužky. Jako v případě pevné poloviny jsou ve tvárníku umístěny zátky, přepážky, pro vstup a výstup přípojky. Ve čtvrtém a pátém okruhu jsou boční jádra chlazená pomocí spirálového jádra přes čelist.



Obr. 82 Temperace pohyblivé poloviny formy

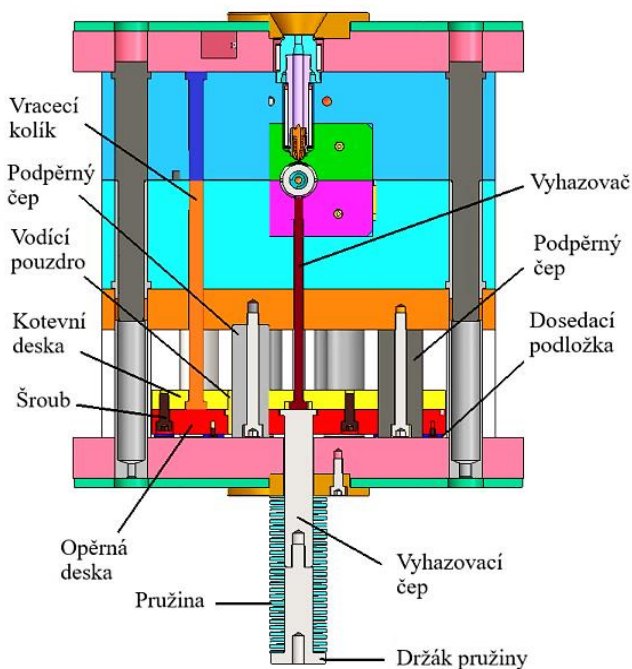
System proudění ve spirálové čelisti je ukázán na obrázku 83. Velikost temperačních kanálů je 8 mm. V první fázi dojde k přívodu temperačního média do středu spirálového jádra. Na konci je vytvořena drážka pro tok média po spirále. Na výstupu dojde k odvodu média z jádra a čelisti. K utěsnění mezi čelisti a bočním jádrem slouží O-kroužek. Šestý okruh je založen na stejném způsobu chlazení jádra jako v případě bočních jader a velikost temperačních kanálů je 8 mm. Jsou použity přípojky, O-kroužek.



Obr. 83 Spirálové jádro

3.3.5 Vyhazovací systém [27], [28], [43], [44], [56]

Po provedení vstřikovacího cyklu a všech úkonů s tím spojených dojde k otevření vstřikovací formy a v té chvíli je nutné zajistit vyjmutí výstřiku z pohyblivé části formy. Pro řešení součást byl zvolen systém vyhazovacích kolíků, dále jen vyhazovačů. Celý vyhazovací systém je znázorněn na obrázku 84. Vyhazovací systém je složen z několika částí. V tomto případě byl pro vyhození využit systém s narážecím kolíkem umístěným na vstřikovacím stroji. Mezi narážecím kolíkem a vstřikovací formou není pevné spojení. Držák pružiny je spojen s vyhazovacím



Obr. 84 Vyhazovací systém

čepem a mezi nimi je mírně stlačená pružina. Vyhazovací čep je pevně sevřen mezi kotevní a opěrnou deskou, přičemž obě desky jsou spojeny imbusovými šrouby. Mezi oběma deskami jsou umístěny vyhazovače pro vyjmutí výstřiku z formy. Vracecí kolíky zajišťují zamezení kolize vyhazovačů s tvarovou dutinou na pevné polovině formy. Narážecím kolíkem je přenášena vyhazovací síla od stroje, která zatlačí na držák pružiny, a dojde ke stlačení pružiny, čímž se dá do pohybu celý vyhazovací systém. Pohyb systému je zajištěn pomocí přesných podpěrných čepů umístěných ve vodícím pouzdře a jsou spojeny imbusovým šroubem do podpěrné desky. K zajištění větší tuhosti systému se využívá i podpěrných čepů bez vedení umístěných do podpěrné desky za pomoci šroubů. Celý vyhazovací systém se vrací do základní polohy při zavření formy samovolně pomocí pružiny, kdy dojde k zatlačení vodících kolíků. Aby vyhazovací desky při návratu nedosedaly přímo na upínací desku, jsou zde pro vymezení prostoru umístěny dosedací podložky.

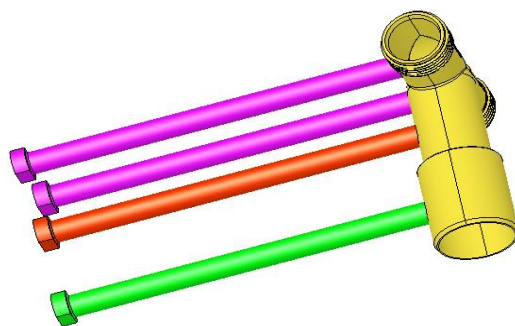
Rozmístění vyhazovačů pro řešenou součást lze vidět na obrázku 85. Jelikož jsou vyhazovače umístěny v tvarové části a část tvaru samy zhotovují, je třeba jejich zaaretování v kotevní desce, aby nedošlo v průběhu zavření formy a při průběhu vstřikovacího cyklu k jejich natočení.

Velikost zdvihu vyhazovacího systému je 54 mm, která plně dostačuje k vyhození výstřiku z formy. K zajištění bezpečného vyhození musí dojít k rozevření formy i odjetí bočních jader. Optimální rozevření formy je stanoveno na 200 mm, viz obrázek 86. Pro vyhození výstřiku z formy je potřeba 30 mm (měřeno od středu výstřiku).

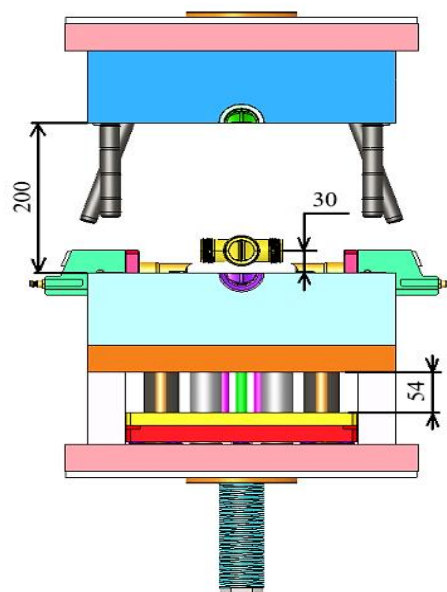
3.3.6 Odvzdušnění [27], [28]

Pro návrh odvzdušnění byla využita simulace plnění tvarové dutiny formy v programu Solidworks 2018 a doplňkového modulu simulační analýzy Solidworks Plastics. Místa uzavírání vzduchu na řešené součásti jsou zobrazena na obrázku 87. Podrobnější simulace plnění s místy uzavírání vzduchu jsou znázorněny v příloze 12. Z obrázku 87 je patrné, že k uzavírání vzduchu dochází po naplnění dutiny na konci všech průměrů.

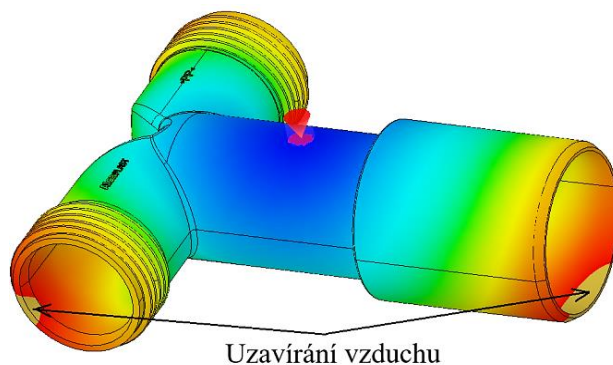
Nutná plocha k odvzdušnění byla stanovena technologickým výpočtem na $0,011 \text{ mm}^2$. Z hlediska tvaru součásti bude v tomto případě odvzdušnění řešeno přes plochy pohybujících se jader, což by mělo zajistit úplný odvod vzduchu z dutiny vstřikovací formy. Část vzduchu unikne i přes plochy dělicí roviny z důvodu netěsnosti.



Obr. 85 Rozmístění vyhazovačů na výstřiku



Obr. 86 Rozevření a vyhození součásti



Obr. 87 Místa uzavírání vzduchu

3.3.7 Doplnkové a manipulační prvky vstřikovací formy [28], [47], [57]

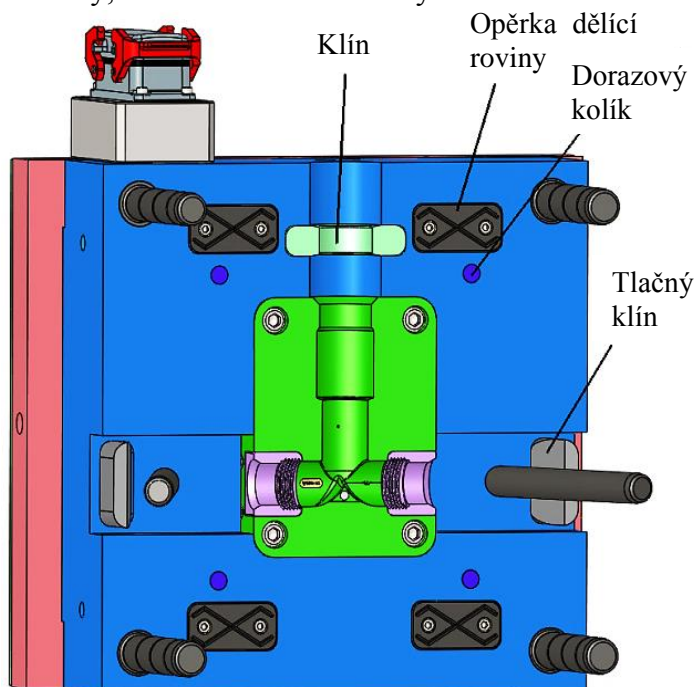
Vstřikovací formy obsahují i několik doplňkových prvků, které jsou důležité pro provoz a funkci. Stanovují se na základě velikosti formy, složitosti tvarové dutiny.

V pevné polovině formy (obr. 88) jsou umístěny opěrky dělicí roviny, klín, tlačné klíny, dorazové kolíky. Při vstřiku nesmí dojít k rozevření desek od sebe, ale také by se neměly deformovat. K lepšímu rozložení uzavírací síly se používají opěrky dělicí roviny. Na opěrku dělicí roviny je třeba zhotovit do tvarové desky kapsy. Opěrky se připevní pomocí imbusových šroubů a jsou dodávány jako normálie. Klín slouží k udržení jádra v dutině formy po celou dobu vstřikovacího cyklu. Tlačné klíny tlačí na čelist a přitlačnou desku v uzavřené formě, aby byla zajištěna poloha bočních jader v průběhu vstřikovacího cyklu.

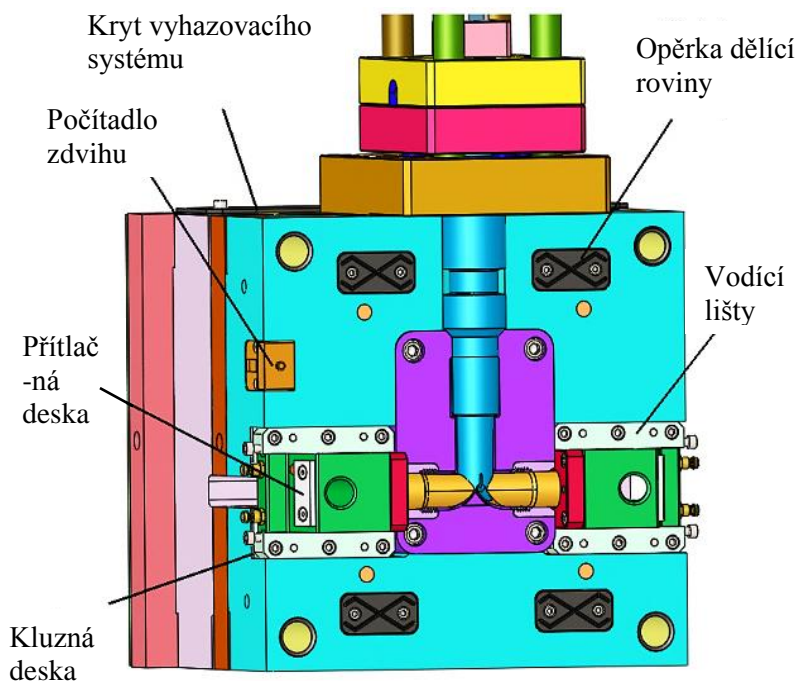
Další funkcí tlačných klínů je zamezení samovolného vypadnutí čelisti při manipulaci s formou.

Poslední částí jsou dorazové kolíky, které slouží k dosednutí vraccích kolíků.

V pohyblivé polovině formy (obr. 89) jsou umístěny opěrky dělicí roviny, vodící lišty, kluzné desky, přitlačná deska, kryt vyhadzovacího systému, počítadlo zdvihu. Opěrky dělicí roviny mají stejnou funkci jako u pevné poloviny formy. Musí na sebe vzájemně dosedat. Vodící lišty jsou spojeny pomocí šroubů a kolíků do tvarové desky. Slouží pro pohyb čelisti při otevírání a zavírání formy. Pod vodícími lištami se nachází kluzné desky. Podobně jako vodící lišty se využívají pro pohyb čelisti. Pro zajištění dobré kluzné plochy se na stykové ploše desky a lišty zhotovují mazací drážky. Kluzné desky jsou připevněny ke tvarové desce pomocí šroubů. V současné době jsou hojně využívány vodící lišty a kluzné desky z grafitu dodávané jako normálie. Přitlačná deska je připevněna přímo do čelisti pomocí šroubů. Slouží k dosednutí tlačných klínů z pevné poloviny formy.

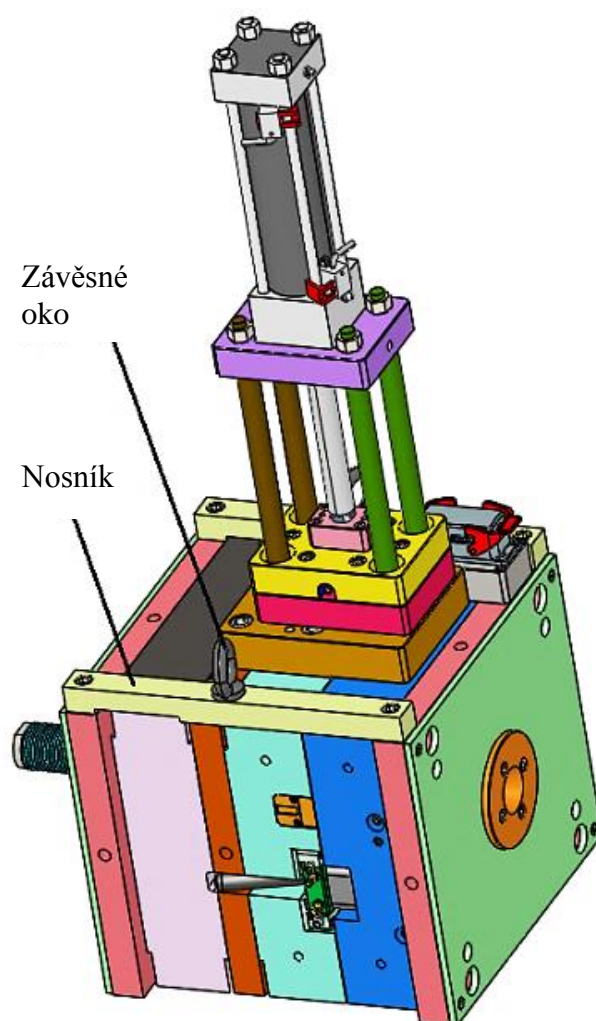


Obr. 88 Pevná polovina formy



Obr. 89 Pohyblivá polovina formy

Vstřikovací formy mohou být jednonásobné či vícenásobné, tudíž mohou být velkých rozměrů i vysoké hmotností. Hmotnost se odvíjí především od velikosti formy, kdy malé formy mohou mít několik stovek kilogramů, naopak velké i několik tun. Z tohoto důvodu se běžně k manipulaci s formou využívají dílenské jeřáby. Aby bylo možné vůbec s formou manipulovat, je třeba několika základních prvků (viz obr. 90). Nosnost těchto manipulačních prvků musí být vyšší, než je celková hmotnost formy. Hmotnost formy byla zjištěna v programu Solidworks 2018 a je přibližně 405 kg. Pevná polovina má cca 135 kg a pohyblivá polovina 270 kg bez manipulačních prvků. Kvůli překážce v podobě hydraulického válce jsou manipulační prvky umístěné na kraji formy z obou stran, aby bylo možné s formou manipulovat. Pro manipulaci byla zvolena dvě závěsná oka od firmy Hasco se závitem M16 s maximální nosností jednoho oka 500 kg. Závěsné oko je vloženo do nosníku (obr. 90), který slouží k zabránění otevření formy během manipulace. Aby byla zajištěna stabilita v průběhu manipulace, je třeba umístit závěsné oko do těžiště vstřikovací formy, které bylo stanoveno pomocí programu Solidworks 2018. Na každé desce jsou umístěny závity z důvodu manipulace s deskami.



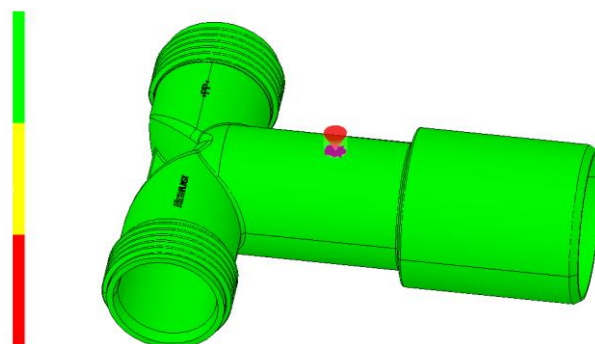
Obr. 90 Manipulační prvky

3.4 Simulační analýzy [36], [58]

V současné době existuje řada možností, jak ověřit správnost návrhu konstrukce vstřikovací formy. Jednou z nich je využití simulační analýzy, která může pomoci s odhalením nejrůznějších chyb v konstrukci či případně špatně zvolených vstřikovacích parametrů. Použitým programem pro zvolení vhodnosti umístění vtoku je Autodesk Moldflow Adviser 2017. Pro ostatní analýzy jako doba plnění, chlazení apod. je využito programu Solidworks 2018 s doplňkovým modulem simulační analýzy Solidworks Plastics. U tohoto programu se jedná pouze o základní licenci, tudíž není možné provést celkovou analýzu vstřikování (kontrola temperačního systému, deformace apod.). Ovšem i tato základní licence poslouží k určení správnosti navržené konstrukce formy. Simulační analýzy jsou prováděny na základě několika parametrů, mezi které patří především teplota formy 25°C, teplota taveniny 230°C a doporučený vstřikovací tlak 90 MPa.

Při návrhu vstřikovací formy byly určité simulace provedeny (doba plnění, chlazení, umístění vtoku). V této podkapitole jsou zmíněny některé další simulace, které byly v modulu Solidworks Plastics k dispozici:

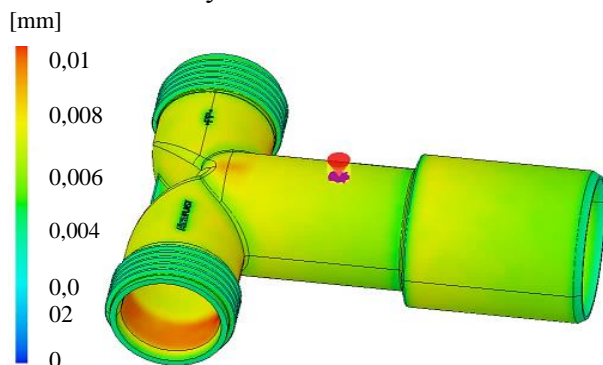
- snadnost zaplnění tvarové dutiny – je jednou z nejdůležitějších analýz při návrhu konstrukce formy. Zobrazuje oblasti součásti s vysokou, střední a špatnou kvalitou zaplnění, popřípadě oblasti bez žádného zaplnění. Při vysokém zaplnění lze dutinu vyplnit s normálním vstřikovacím tlakem. U středního zaplnění vstřikovací tlak překračuje 70 % maximálního vstřikovacího tlaku stroje. Při špatném zaplnění vstřikovací tlak překračuje 85 % maximálního vstřikovacího tlaku stroje. Na obrázku 91 lze vidět, že navržená vstřikovací forma nemá žádná kritická místa a dojde k úplnému vyplnění tvarové dutiny taveninou. Z tohoto hlediska je i místo zvoleného ústí vtoku ideální.



Nízká

Obr. 91 Snadnost zaplnění tvarové dutiny

- propadliny – jsou otevřené dutiny, které vznikají ve stěně výstřiku při smršťování hmoty při jejím tuhnutí. Obvykle jsou v místech s velkým množstvím nahromaděného materiálu (silnější části výstřiku), kde tuhne polymer výrazně pomaleji než ve zbytku výstřiku. Příčinou propadlin je nerovnoměrná tloušťka stěn, nízká teplota formy, nízká plnicí fáze vstřikovacího cyklu apod. Z tohoto důvodu byla provedena simulace, kterou lze vidět na obrázku 92. Z obrázku 92 vyplývá, že místa s propadlinami se objevují na dvou přípojních průměrech u závitů. V tomto místě se nachází výstupek, a to způsobuje větší tloušťku stěny. Největší hodnota propadlin je 0,01 mm. Z hlediska zanedbatelné hodnoty nebudou mít tyto propadliny na funkci a vzhled součásti žádný vliv.



Obr. 92 Propadliny

3.5 Vstřikovací stroj [28], [59], [60]

Na základě navržené vstřikovací formy je třeba zvolit vhodný vstřikovací stroj. Při volbě stroje se vychází zejména z technologických výpočtů vstřikovací formy. Dalšími důležitými parametry jsou uzavírací síla, vstřikovací tlak, velikost dávky taveniny, průměr šneku a velikost formy.

Vstřikovací stroj se navrhuje na vyšší hodnoty, než jsou hodnoty vypočítané v podkapitole 3.2, přičemž se volí takový stroj, který bude maximálně využit. Zvolený stroj s mnohonásobně vyššími hodnotami je pro provoz neekonomický. Pro



Obr. 93 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420 C [59]

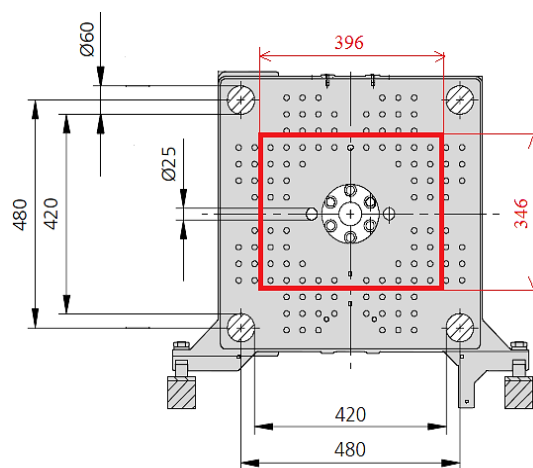
navrženou vstřikovací formu byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 420 C od firmy Arburg, který je na obrázku 93.

V tabulce 11 jsou uvedeny parametry stroje, které jsou následně porovnány s vypočtenými hodnotami z podkapitoly 3.2. Ostatní parametry a informace o stroji jsou uvedeny v příloze 13.

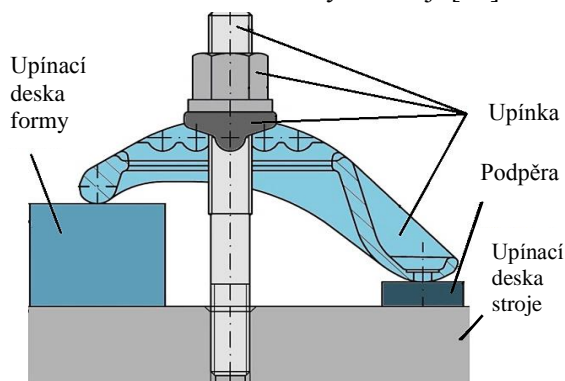
Tab. 11 Porovnání parametrů stroje s vypočtenými hodnotami [60]

Parametr	Jednotka	Hodnoty stroje	Hodnoty návrhu	Vyhovuje/nevhovuje
Uzavírací síla	kN	1000	221	Vyhovuje
Vyhazovací síla	kN	40	11,91	Vyhovuje
Vstřikovací tlak	MPa	153	90	Vyhovuje
Velikost dávky taveniny	cm ³	213	44,2	Vyhovuje
Průměr šneku	mm	30, 35, 40	35	Vyhovuje
Výška formy	mm	420	346	Vyhovuje
Šířka formy	mm	420	396	Vyhovuje
Vzdálenost mezi sloupky	mm	420	346 x 396	Vyhovuje
Zdvih vyhazovačů	mm	175	54	Vyhovuje

Dle tabulky 11 všechny porovnávané parametry stroje a hodnot při návrhu formy vyhovují, tudíž se tento stroj pro danou vstřikovací formu může použít. Umístění formy do stroje je znázorněno na obrázku 94. Rozměr mezi vodičnými sloupky je 420 mm x 420 mm, což při rozměru formy 346 mm x 396 mm umožňuje bez problémů umístit formu do stroje. Forma se umístí na upínací desky stroje a pomocí středících kroužků se forma vycentruje, aby byla umístěna v ose stroje. Délka formy s čepem je 578 mm. Maximální hodnota rozevření stroje je 750 mm (příloha 13), tudíž nebude problém formu upnout na vstřikovací stroj. Aby došlo k vyhození výstřiku z formy, je třeba úplné otevření formy, kdy celková délka formy a rozevření činí 613 mm, tudíž i tato hodnota je splněna. Upnutí formy na stroj se provádí pomocí upínek mechanických, hydraulických a používá se i magnetické upínání. Nejčastějším způsobem je mechanické (obr. 95), které je řešené pomocí upínek se šrouby. Upnutí na vstřikovací stroj se provádí za upínací desku.



Obr. 94 Umístění formy ve stroji [60]



Obr. 95 Mechanické upínání formy [28]

3.6 Technologický postup výroby součásti

Pro každou vyráběnou součást se stanovuje technologický postup se sledem operací, jak jdou za sebou pro zhotovení konečné součásti. Pro řešenou součást dvojitého kolena je stanoven technologický postup, který je uveden v tabulce 12.

Tab. 12 Technologický postup řešené součásti

Název součásti		Dvojité koleno HTHT 32/40 GI
Materiál		Polypropylen Tatren HT 25 11
Číslo operace	Pracoviště	Popis
1	Sklad	Příjem materiálu
2	-	Přeprava materiálu do lisovny
3	Lisovna	Transport formy, nasazení na vstříkovací stroj, připojení dodatečných systémů a kontrola systému
4	Lisovna	Nastavení důležitých parametrů stroje, příprava materiálu a jeho sušení, vložení materiálu do násypky stroje
5	Lisovna	Zahájení výroby součásti
6	Lisovna	Vizuální kontrola vyrobených kusů (v případě neshodných kusů dodatečné upravení vstupních parametrů stroje)
7	Lisovna	Po odsouhlasení vyhovujících kusů zahájení sériové výroby součásti
8	Lisovna	Průběžná vizuální kontrola vyrobených součástí
9	Lisovna	Přesypaní vyrobených součástí do přepravních beden
10	OTK	Výstupní kontrola součástí (kontrola rozměrů)
11	-	Přeprava součástí na montáž
12	Montáž	Kompletace dvojitého kolena a dalších součástí v sestavený celek sifonu
13	Montáž	Uložení a označení sifonů do krabic
14	-	Přeprava do expedičního skladu
15	Sklad	Expedice

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [42], [47], [57], [61], [62], [63], [64], [65], [66], [67]

Technické zhodnocení je součástí každého technologického návrhu výroby a pojednává o zhodnocení provedení řešené součásti. Součást je řešena technologií vstřikování plastů. Pro řešenou součást byla na základě vstupních parametrů, technologických výpočtů navrhována vstřikovací forma s jednou tvarovou dutinou. Zaformování je řešeno pomocí tvárníku a tvárnice, dva přípojně průměry pomocí pohybujících se čelistí s navádějícím šikmým kolíkem. Průměr na odpadní trubku je řešen pomocí jádra, které je napojené na hydraulický válec. K vysouvání i zasouvání jádra dochází při otevřené formě. Ve formě se provedly návrhy temperace, vyhazovacího systému, horké vtokové soustavy a odvodu vzduchu. Pro formu byl na základě uzavírací síly a dalších parametrů zvolen vstřikovací stroj Allrounder Arburg 420 C.

Ekonomické zhodnocení pojednává o vyčíslení nákladů na výrobu jednoho kusu součásti dvojitého kolena. Nejedná se o skutečný výpočet nákladů, ale pouze teoretický, protože některé údaje jsou pouze odhadnuty. Výrobní náklady obsahují variabilní náklady, fixní náklady a zisk. Variabilní náklady jsou spojené s počtem kusů a fixní náklady se s počtem kusů nemění. Pro určení celkových nákladů se bude využívat hodnot z tabulky 13.

Pro materiál PP Tatren HT 25 11 byla použita cena materiálu od firmy Slovnaft ke dni 6. 4. 2020, která činila 1100 €/t = 1,1 €/kg. Při převodu měny zjišťujeme, že jeden kilogram materiálu 30,36 Kč.

Tab. 13 Údaje pro výpočet výrobních nákladů [38], [39]

Název	Značení	Hodnota	Jednotka
Velikost produkce	N	100 000	ks
Hmotnost výstřiku	m_{vd}	35,38	g
Termínová násobnost formy	n_T	1	-
Doba vstřikovacího cyklu	t_c	29	s
Cena materiálu	C_m	30,36	Kč·kg ⁻¹
Cena stroje (odhad)	C_s	1 500 000	Kč
Cena provozu stroje (odhad)	C_{ps}	400	Kč·h ⁻¹
Hrubá mzda operátora (odhad)	N_{hm}	200	Kč·h ⁻¹
Životnost formy, počet cyklů (odhad)	\check{Z}_f	1 000 000	-
Doba odpisu stroje	t_o	5	rok
Požadovaný zisk	Z	25	%

Výpočet nákladů na stanovení ceny nákladů pro výrobu jednoho kusu součásti – dvojitého kolena:

- přímé náklady – jsou náklady, které jsou přiřaditelné k určitému objektu. V praxi to mohou být náklady na produkt (materiál), zaměstnance a jejich mzdy apod.

Stanovení potřebného množství materiálu M_m pro celou výrobní sérii:

$$M_m = N \cdot \frac{m_{vd}}{1000} [kg] \quad (4.1)$$

kde: N – velikost výrobní série [-], viz tab. 13

$$M_m = 100\,000 \cdot \frac{35,38}{1000} = 3538 \text{ kg}$$

Stanovení nákladů za materiál N_{mat} pro celou výrobní sérii:

$$N_{mat} = M_m \cdot C_m \text{ [Kč]} \quad (4.2)$$

kde: C_m – cena materiálu [$\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$], viz tab. 13

$$N_{mat} = 3538 \cdot 30,36 = 107\,413,7 \text{ Kč}$$

Stanovení nákladů za materiál pro jeden výtřik $N_{mvýtřik}$:

$$N_{mvýtřik} = \frac{N_{mat}}{N} \text{ [Kč]} \quad (4.3)$$

$$N_{mvýtřik} = \frac{107\,413,7}{100\,000} = 1,07 \text{ Kč}$$

Náklady na provoz vstřikovacího stroje Allrounder ARBURG 420 C jsou vztahovány k čistému strojnímu času. Dále je potřeba stanovit roční odpis pořizovacích nákladů stroje a jeho podíl nákladů je zahrnutý do této výrobní zakázky. Podíl je vztahován k celkové době produkce, ke které jsou dále zahrnuty prostoje apod.

Stanovení čistého strojního času $t_{sč}$:

$$t_{sč} = \frac{N \cdot t_c}{n_T \cdot 3600} \text{ [h]} \quad (4.4)$$

kde: t_c – doba vstřikovacího cyklu [s], viz tab. 13

$$t_{sč} = \frac{100\,000 \cdot 29}{1 \cdot 3600} = 806 \text{ h}$$

Stanovení celkového času produkce $t_{čp}$:

$$t_{čp} = \frac{t_{sč}}{K} \text{ [h]} \quad (4.5)$$

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

$$t_{čp} = \frac{806}{0,8} = 1007,5 \text{ h}$$

Stanovení podílu z ročního odpisu stroje Allrounder Arburg 420 C N_{os} :

$$N_{os} = \frac{C_s}{t_o \cdot 365 \cdot 24} \cdot t_{čp} \text{ [Kč]} \quad (4.6)$$

kde: C_s – cena vstřikovacího stroje [Kč], viz tab. 13

t_o – doba odpisu stroje [rok], viz tab. 13

$$N_{os} = \frac{1\,500\,000}{6 \cdot 365 \cdot 24} \cdot 1007,5 = 28\,752,9 \text{ Kč}$$

Stanovení celkových nákladů na provoz stroje Allrounder ARBURG 420 C pro celou výrobní sérii N_{ps} :

$$N_{ps} = t_{sč} \cdot C_{ps} + N_{os} \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

kde: C_{ps} – cena provozu stroje [$\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$], viz tab. 13

$$N_{ps} = 806 \cdot 400 + 28\,752,9 = 351\,152,9 \text{ Kč}$$

Náklady na vstřikovací formu – jsou složeny z několika výdajů, z kterých se stanoví výsledná cena formy. V nákladech jsou obsaženy konstrukční práce, technologické práce, výroba formy, materiál na formu. Konstrukční a technologické práce byly odhadnuty na 50 000 Kč. Náklady na výrobu formy byly odhadnuty na 800 000 Kč. Cena materiálu normalizovaných součástí je stanovena převážně z katalogů firmy

Hasco a některé i Meusburger. Dle cenových nabídek to je hydraulický válec a horký systém. Ostatní prvky jsou dány na základě ceny dodavatelů materiálu. Přehled jednotlivých cen za všechny díly pro vstřikovací formu jsou uvedeny v tabulce 14. Jelikož jsou určité hodnoty v cizí měně, je k převodu použit kurz ČNB ke dni 6. 4. 2020, který je 27,6 Kč za 1 euro (€).

Tab. 14 Ceny jednotlivých dílů [47], [57]

Název dílu	Počet kusů	Cena za všechny kusy [€]
Upínací deska	2	315,86
Tvarová deska	2	731,86
Podpěrná deska	1	189,37
Rozpěrná deska	2	157,34
Izolační deska	2	130
Desky pro vyhazovací systém	2	157,94
Vedení	18	476,92
Horký systém	1	783
Hydraulický válec	1	1121
Tvarové části	9	900
Temperační systém	-	420,03
Ostatní části	-	2678,6
Manipulační prvky	-	20
Spojovací materiál	-	350
Celkem [€]		8131,9
Celkem [Kč]		224 440

Pro výpočet celkových nákladů formy C_f se využije vztah:

$$C_f = C_{kf} + C_{vf} + C_{mf} \text{ [Kč]} \quad (4.8)$$

kde: C_{kf} – náklady na konstrukci formy [Kč]

C_{vf} – náklady na výrobu formy [Kč]

C_{mf} – náklady na materiál formy [Kč]

$$C_f = 50\,000 + 800\,000 + 224\,440 = 1\,074\,440 \text{ Kč}$$

Stanovení nákladů na amortizaci vstřikovací formy N_f :

$$N_f = \frac{C_f \cdot N}{\check{Z}_f \cdot n_T} \text{ [Kč]} \quad (4.9)$$

kde: C_f – cena vstřikovací formy [Kč]

\check{Z}_f – životnost formy (počet cyklů) [-], viz tab. 13

$$N_f = \frac{1\,074\,440 \cdot 100\,000}{1\,000\,000 \cdot 1} = 107\,444 \text{ Kč}$$

Stanovení nákladů na mzdu operátora N_{mzdaop} :

$$N_{mzdaop} = t_{\check{c}p} \cdot N_{hm} [K\check{c}] \quad (4.10)$$

kde: N_{hm} – hrubá mzda operátora [$K\check{c} \cdot h^{-1}$], viz tabulka 13

$$N_{mzdaop} = 1007,5 \cdot 200 = 201\,500 \text{ K}\check{c}$$

Stanovení celkových přímých nákladů N_{pn} na celou výrobní sérii:

$$N_{pn} = N_{mat} + N_{ps} + N_f + N_{mzdaop} [K\check{c}] \quad (4.11)$$

$$N_{pn} = 107\,413,7 + 351\,152,9 + 107\,444 + 201\,500 = 767\,510,6 \text{ K}\check{c}$$

- nepřímé náklady – jsou někdy označovány jako režijní náklady. Jsou to výdaje spojené s řízením a organizací firemního podniku. Nejsou ovlivněny zakázkou, jedná se o fixní výdaje. Jelikož nelze stanovit přesné hodnoty režii, budou u všech režijních nákladů pouze odhadnuty.

Výrobní režie – obsahují výdaje za energie, opravy, údržbu apod. Výrobní režie jsou odhadnuty na 130 % mzdových nákladů ($VR = 1,3$) a stanoví se dle vzorce:

$$N_{VR} = VR \cdot N_{mzdaop} [K\check{c}] \quad (4.12)$$

$$N_{VR} = 1,3 \cdot 201\,500 = 261\,950 \text{ K}\check{c}$$

Správní režie – složeny z nákladů na správu a řízení podniku (personalistika, účetnictví apod.) Správní režie jsou odhadnuty na 60 % mzdových nákladů ($SR = 0,6$) a stanoví se dle následujícího vzorce:

$$N_{SR} = SR \cdot N_{mzdaop} [K\check{c}] \quad (4.13)$$

$$N_{SR} = 0,6 \cdot 201\,500 = 120\,900 \text{ K}\check{c}$$

Odbytová režie – obsahuje náklady, které souvisejí s uskladněním materiálu, skladováním, expedicí výrobků. Tyto náklady jsou odhadnuty na 30 % mzdových nákladů ($OR = 0,3$) a je stanovena dle vzorce:

$$N_{OR} = OR \cdot N_{mzdaop} [K\check{c}] \quad (4.14)$$

$$N_{OR} = 0,3 \cdot 201\,500 = 60\,450 \text{ K}\check{c}$$

Stanovení celkových nepřímých nákladů N_{nn} na celou výrobní sérii:

$$N_{nn} = N_{VR} + N_{SR} + N_{OR} [K\check{c}] \quad (4.15)$$

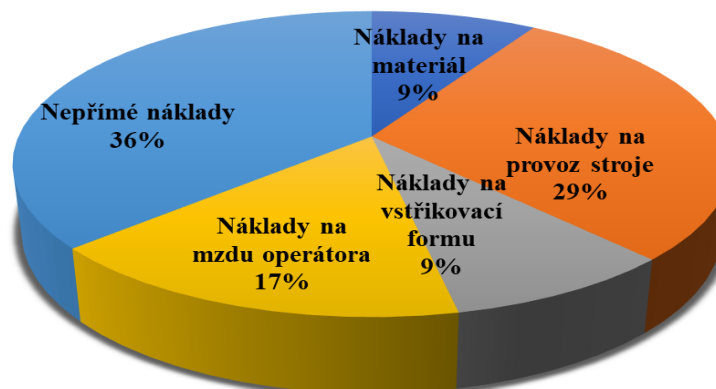
$$N_{nn} = 261\,950 + 120\,900 + 60\,450 = 443\,300 \text{ K}\check{c}$$

- celkové výrobní náklady – se určují ke stanovení ročního zisku z přímých a nepřímých nákladů dle vztahu:

$$N_{celk} = N_{pn} + N_{nn} [K\check{c}] \quad (4.16)$$

$$N_{celk} = 767\,510,6 + 443\,300 = 1\,210\,810,6 \text{ K}\check{c} \doteq 1\,210\,811 \text{ K}\check{c}$$

Jednotlivé podíly z celkových výrobních nákladů jsou znázorněny na obrázku 96.



Obr. 96 Podíly nákladů

- zisk – je stanoven dle tabulky 13 na 25 % z celkových výrobních nákladů. Hodnota zisku se stanoví dle vztahu:

$$Z_{celk} = N_{celk} \cdot Z \text{ [Kč]} \quad (4.17)$$

$$Z_{celk} = 1\,210\,811 \cdot 0,25 = 302\,702,8 \text{ Kč}$$

Stanovení ceny jednoho výstřiku $C_{výstřik}$ bez započtení daně z přidané hodnoty (DPH) se ziskem 25 % se stanoví dle vztahu:

$$C_{výstřik} = \frac{N_{celk} + Z_{celk}}{N} \text{ [Kč]} \quad (4.18)$$

$$C_{výstřik} = \frac{1\,210\,811 + 302\,702,8}{100\,000} = 15,1 \text{ Kč}$$

Stanovení zisku z jedné součásti $Z_{výstřik}$ se provede dle následujícího vztahu:

$$Z_{výstřik} = \frac{Z_{celk}}{N} \text{ [Kč]} \quad (4.19)$$

$$Z_{výstřik} = \frac{302\,702,8}{100\,000} = 3,03 \text{ Kč}$$

- bod zvratu – určuje počet kusů, při kterých se celkové náklady vyrovnají se všemi výnosy. Po dosažení tohoto bodu se následně začíná tvořit zisk. Pro výpočet bodu zvratu je nutné stanovit variabilní náklady N_{vn} pro jeden kus dle vztahu:

$$N_{vn} = \frac{N_{pn}}{N} \text{ [Kč]} \quad (4.20)$$

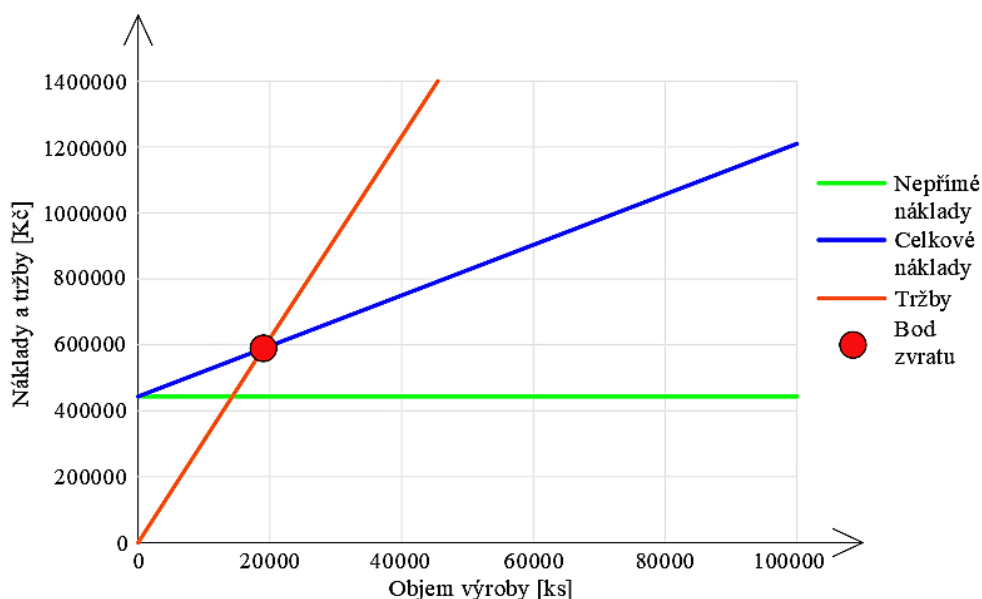
$$N_{vn} = \frac{767\,510,6}{100\,000} = 7,68 \text{ Kč}$$

Bod zvratu Q_{BZ} lze stanovit dle vztahu:

$$Q_{BZ} = \frac{N_{nn}}{C_{výstřik} - N_{vn}} \text{ [Ks]} \quad (4.21)$$

$$Q_{BZ} = \frac{443\,300}{15,1 - 7,68} = 17\,911 \text{ Ks}$$

Grafické znázornění bodu zvratu lze vidět na obrázku 97. Při dosažení počtu 17 911 ks se začne generovat zisk.



Obr. 97 Grafické znázornění výše nákladů a tržeb na objemu výroby

5 ZÁVĚRY

Pro výrobu dvojitého kolena, jenž je součástí sestavy sifonu od firmy Alca plast, který se využívá v koupelnách pro připojení pračky, myčky apod., byla na základě jeho rozboru vybrána technologie vstřikování plastů. Pro zadanou součást byly zvoleny dva materiály. Prvním je polypropylen s obchodním názvem SS-14 J1000 Midilena a bude využit pro vzorování součásti. Druhý polypropylen s obchodním názvem Tatren HT 25 11 byl zvolený pro výrobní sérii, přičemž vlastnosti tohoto materiálu vyhovují zadané součásti.

Při návrhu vstřikovací formy byla na základě tvaru součásti určena poloha dělicí roviny a zaformování součásti. Dále pomocí simulace bylo stanoveno nejlepší možné místo pro umístění vtoku a zvolena horká vtoková soustava. Technologickými výpočty byla zjištěna celková doba plnění 29 s včetně doby působení temperace. Pro celou produkci, která má být zhotovena za 3 měsíce, byla zvolena jako dostačující jednonásobná forma. Z hlediska složitosti řešené součásti a opravitelnosti byla dutina formy navržena do vložek tvárníku a tvárnice ukotvených ve tvarových deskách s pohyblivými se bočními jádry s čelistí a jádrem s hydraulickým válcem. Pro naplnění tvarové dutiny taveninou byla z hlediska dělicí roviny, umístění vtoku a velikosti výrobní série zvolena samostatná horká tryska od firmy Synventive Molding Solutions. Pro odvod tepla byl navržen temperační systém s celkem šesti okruhy chlazení, kdy dva okruhy jsou určeny ke chlazení horké trysky a tvárnice. Další okruhy jsou určeny ke chlazení tvárníku, jader s čelistí a jádra s hydraulickým válcem. Všechny okruhy svým rozložením zajišťují rovnoměrné chlazení všech částí výstřiku, přičemž nedochází k nežádoucímu přenosu tepla od taveniny. Pro vyhození výstřiku ze vstřikovací formy byl navržen systém kolíků (vyhazovačů), který zajistí rovnoměrné vyhození výstřiku z formy pomocí dostatečně velké vyhazovací síly. Dále na základě simulace byla stanovena místa uzavírání vzduchu a bylo navrženo odvzdušnění pomocí ploch pohyblivých se jader. K manipulaci s formou byly navrženy manipulační prvky pro její snadné přenášení. Forma byla sestavena z velké části pomocí normálií od firmy Hasco a v menší míře i od firmy Meusburger.

K ověření správnosti návrhu vstřikovací formy posloužily simulace, které splňují požadavky pro výrobu vstřikované součásti. Na základě konstrukčního řešení formy a technologických výpočtů byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder Arburg 420 C od firmy Arburg, který splňuje veškeré nároky na vstřikovací formu.

V technicko – ekonomickém zhodnocení byl proveden výpočet nákladů pro požadovanou výrobní sérii 100 000 kusů za 3 měsíce. Na základě vstupních parametrů byly stanoveny celkové výrobní náklady ve výši 1 210 811 Kč. Od této hodnoty se odvíjí cena jednoho kusu dvojitého kolena, která činí 15,1 Kč bez DPH. Nakonec byla zjištěna hodnota bodu zvratu 17 911 kusů, která určuje hranici počtu kusů, od které se začne generovat zisk.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
2. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2020-02-22]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
3. Technologie zpracování plastů a kompozitů. *Úvod, historie, materiály, zpracovatelské technologie a recyklace* [online]. Praha: Ústav strojírenské technologie. Fakulta strojní. České vysoké učení technické v Praze. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/116/Pedmt-2331507-c-1-2016-02-23.pdf>
4. SKD Bojkovice, s.r.o. *Galerie díly* [online]. Bojkovice [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <http://www.skd-bojkovice.cz/>
5. S – KUNSTSTOFFTECHNIK s.r.o. *Výrobky z plastů* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <http://www.sktech.cz/vyrobky-z-plastu/>
6. MATEICIUC a.s. *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://mat-plasty.cz/zakazkova-vyroba/vstrikovani-plastu>
7. Alcaplast. *Alcaplast* [online]. 2020 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.alcaplast.cz/>
8. KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1986. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 232 s. ISBN 04-247-86.
9. Sittech. *Sittech* [online]. Most, 2000 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://sittech.cz/download/plasty/pp-polypropylen.pdf>
10. Plastivěda. *Encyklopedie plastů* [online]. 2020 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2019/10/25/encyklopedie-plastu-polypropylen-pp/>
11. VM Plast s.r.o. *Prodej a opracování technických plastů* [online]. Nedakonice, 2020 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.vmplast.cz/>
12. FÜRbacher, Ivan, Josef STEIDL a Karel MACEK. *Lexikon technických materiálů: se zahraničními ekvivalenty : kovy : plasty : keramika : kompozity*. Praha: Verlag Dashöfer, 1998. ISBN 80-862-2902-5.
13. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Přírodovědecká fakulta, Katedra chemie, *Polyolefiny: polyethylen, polypropylen: Výroba, vlastnosti, použití* [online]. Ústí nad Labem, 2013 [cit. 2020-02-22]. Dostupné také z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PE%20a%20PP2013.pdf>
14. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 5. vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
15. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2020-02-22]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Impresum.html>
16. Pipelife Czech s.r.o. *Jak se vyrábí plastové trubky* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: https://www.pipelife.cz/media/cz/pdf_servis/faq/Jak-se-vyrabi-trubky-z-umele-hmoty.pdf
17. LENFELD, Petr. *Skripta technologie II. Technologie II: Část II – Zpracování plastů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec - Fakulta strojní - Katedra strojírenské

- technologie-Oddělení tváření kovů a plastů, 2005 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
18. Cotu. *FDM* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/134/fdm-fused-filament-fabrication>
 19. Svět hardware. *3D tisk* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457>
 20. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2020-02-22]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>
 21. Lageentubes. *Extrusion* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.lageentubes.com/technologies/extrusion/>
 22. Smooth-On. *Cast Smooth-Cast™ 300 White Liquid Plastic* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.smooth-on.com/tutorials/casting-quickies-smooth-cast-300-white-liquid-plastic/>
 23. Process cooling. *Temperature Control* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.process-cooling.com/articles/89826-the-need-for-temperature-control-in-plastic-injection-molding>
 24. 14220. *Tváření plastů a výroba forem I.* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-i/>
 25. Avance Europe. *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <https://www.vyrobaplastu.eu/vstrikovani-plastu/>
 26. ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy* [online]. Ústav strojírenské technologie FSI VUT v Brně: Odbor technologie tváření kovů a plastů: Podklady pro cvičení [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf
 27. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Praha: Sekurkon, 2008, 225 s. ISBN 978-80-86604-36-7.
 28. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2020-02-23]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
 29. Nástrojárna Matrix s.r.o. *Produkty* [online]. Vsetín [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <http://www.matrix-sro.eu/produkty-nastrojarna-matrix.php>
 30. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Studené a živé vtokové systémy* [online]. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. Plzeň, 2013 [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
 31. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Temperace vstřikovacích forem* [online]. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. Plzeň, 2013 [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf
 32. MMspektrum. *Vady výstřiků* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>

33. BUREŠ, Bedřich. *Základy zpracování polymerů - Průvodní jevy při vstřikování termoplastů* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1914554/>
34. SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2020-02-26]. ISBN 978-80-88058-71-7 Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
35. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Vstřikovací lisy* [online]. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. Plzeň, 2013 [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Vstrikovaci_lisy.pdf
36. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 464 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
37. Molgroup Chemicals. *Technical data sheet* [online]. [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: https://www.molgroupchemicals.com/userfiles/products/67/67_tds_en.pdf
38. GAJDA, Tomáš. Osobní rozhovor s technickým ředitelem firmy Alcaplast. Břeclav 6. 3. 2020
39. BAUMLOVÁ, Barbora. Rozhovor se zaměstnankyní technického servisu firmy Slovnaft. Břeclav 7. 3. 2020
40. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Zaformování a odformování* [online]. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. Plzeň, 2013 [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Zaformovani_a_odformovani.pdf
41. CadStudio. *Autodesk Moldflow* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.cadstudio.cz/moldflow>
42. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů (HTZ): Přednášky a cvičení*. Obor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2016
43. MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. *How to make injection molds*. 3rd ed. Cincinnati: Distributed in USA by Hanser Gardner Publications, c2001, 612 s. ISBN 15-699-0282-8.
44. REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2002. ISBN 34-462-1659-6.
45. Sittech. *Polypropylen (PP)* [online]. Most, 2000 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.sittech.cz/polypropylen-pp>
46. E-konstruktor: Portál pro strojní konstruktéry. *Vlastnosti vzduchu* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/vlastnosti-vzduchu>
47. Hasco. *Produktový katalog* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/c/1>
48. JKZ Bučovice, a.s. *W. NR. 1.1730* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/pro-prace-za-studena/w-nr-11730/>
49. PRECIZ. *Jakosti dle chemické analýzy: W. Nr 1.1730* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.preciz.cz/sluzby/prevodnik-materialu/details/1/15-15>

50. PRECIZ. *Jakosti dle chemické analýzy: W. Nr 1.2312* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.preciz.cz/sluzby/prevodnik-materialu/details/1/8-8>
51. JKZ Bučovice, a.s. *W. NR. 1.2312* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/na-vyrobu-forem/w-nr-12312/>
52. PRECIZ. *Jakosti dle chemické analýzy: W. Nr 1.2343* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.preciz.cz/sluzby/prevodnik-materialu/details/1/6-6>
53. SVOBODA, Jan. *Hydraulické válce - V160CB* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.jansvoboda.cz/files/other/jansvoboda/vega/01-V160C-beta-2010.pdf>
54. Synventive molding solutions. *Technical Data - Sprue Bushing 09S-02* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://www.synventive.com/uploadedFiles/Private_Content/Current_Hot_Runner_Instruction_Manual/10-26_Nozzle_09S_EN.pdf
55. Synventive molding solutions. *09S-02 Product catalog* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Nozzles/PDFs/CAT-01-0080_EN-REV08.pdf
56. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *Vyhazovací sestava a vyhazovače* [online]. Západočeská univerzita, Katedra konstruování strojů, Fakulta strojní. Plzeň, 2013 [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
57. Meusburger. *Katalogy a prospekty* [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/aktualne/katalogy>
58. SOLIDVISION, S.R.O. *SolidWorks 2018 - Solidworks Plastics: Poradce pro výsledek* [online]. Brno: SolidVision [cit. 2020-04-06].
59. ARBURG. *Preview Interplastica 2010* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/presse/2009/16179-01_420c_ge.jpg
60. ARBURG Allrounder 420C. *Technical data* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_420C_GOLDEN_EDITION_TD_523677_en_GB.pdf
61. Česká národní banka. *Kurzy devizového trhu* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/index.html?date=06.04.2020>
62. Slideplayer. *Základní veličiny efektivnosti podnikání* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2849890/>
63. SYNEK, Miloslav. *Výpočty v ekonomice a řízení průmyslového podniku: vysokoškolská příručka pro vysoké školy ekonomické*. Praha: SNTL, 1984.
64. Firemnislovník.cz. *Přímé náklady* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.firemnislovník.cz/p/prime-naklady/>
65. Firemnislovník.cz. *Režijní náklady* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.firemnislovník.cz/r/rezijni-naklady/>
66. Firemnislovník.cz. *Nepřímé náklady* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.firemnislovník.cz/n/neprime-naklady/>

67. Marketing Mind. *Bod zvratu* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.marketingmind.cz/bod-zvratu-priklad-vzorec-vypocet-graf/>
68. JANCUŠOVA, Maria. *Formy na tvárnenie plastov*. 1. vyd. Žilina : EDIS - ŽU, 2010. 155 s. ISBN 978-810-550-0191-5
69. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2012 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_{proj}	Plocha průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny	$[\text{mm}^2]$
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren	[-]
a	Efektivní tepelná vodivost	$[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
C_f	Celkové náklady na formu	[Kč]
C_{kf}	Náklady na konstrukci formy	[Kč]
C_{mf}	Náklady na materiál formy	[Kč]
C_{vf}	Náklady na výrobu formy	[Kč]
C_m	Cena materiálu	$[\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}]$
C_s	Cena stroje	[Kč]
C_p	Plastifikační kapacita vstřikovacího stroje	$[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$
C_{ps}	Cena provozu stroje	$[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$
C_v	Minimální vstřikovací kapacita vstřikovacího stroje	$[\text{cm}^3]$
$C_{výstřik}$	Cena jednoho výstřiku	[Kč]
D_s	Průměr šneku vstřikovacího stroje	[mm]
DN	Jmenovitá světlost potrubí	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_u	Uzavírací síla	[kN]
F_v	Vyhazovací síla	[kN]
f	Odvzdušnění	$[\text{mm}^2]$
f_c	Délka dráhy toku taveniny	[mm]
f_t	Koeficient tření	[-]
FDM	Fused Deposition Modeling	[-]
\dot{G}	Průchod taveniny ze stroje do formy	$[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$
G_1	Hmotnost vzduchu ve formě	[kg]
$G1$	Velikost závitu	[palec]
h	Výška nahrazené geometrie součásti	[mm]
HT	Odpadní trubka	[-]
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou	[-]
IT	Index toku	$[\text{g} \cdot 10 \text{ min}^{-1}]$
K	Koeficient využití času	[-]
K_a	Faktor navýšení objemu taveniny	$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$
K_f	Faktor schopnosti tečení	$[\text{bar} \cdot \text{mm}^{-1}]$
L_s	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou	[-]
m_{vd}	Hmotnost vstřikovaného dílu	[g]
M_m	Stanovení potřebného množství materiálu	[kg]
n	Polytropický koeficient	[-]
n_p	Praktická násobnost	[-]
n_s	Otáčky šneku při plastifikaci	$[\text{min}^{-1}]$
n_{pd}	Počet pracovních dní v měsíci	[-]
n_{pm}	Počet měsíců výroby dvojitého kolena	[-]
n_{pph}	Počet pracovních hodin za jeden den v třisměnném provozu	[-]
n_T	Termínová násobnost	[-]
N	Velikost výrobní série	[-]
N_{celk}	Celkové výrobní náklady	[Kč]
N_{hm}	Hrubá mzda operátora	[Kč]
N_{mat}	Stanovení nákladů za materiál	[Kč]

N_{mzdaop}	Stanovení nákladů na mzdu operátora	[Kč]
$N_{mvystřik}$	Stanovení nákladů za materiál pro jeden výstřik	[Kč]
N_{nn}	Stanovení celkových nepřímých nákladů	[Kč]
N_{os}	Stanovení podílu z ročního odpisu stroje	[Kč]
N_{pn}	Stanovení celkových přímých nákladů	[Kč]
N_{ps}	Stanovení celkových nákladů na provoz stroje	[Kč]
N_{vn}	Variabilní náklady	[Kč]
N_{OR}	Odbytová režie	[Kč]
N_{SR}	Správní režie	[Kč]
N_{VR}	Výrobní režie	[Kč]
p_f	Minimální plnicí tlak	[MPa]
p_{i1}	Tlak v dutině nástroje – u vtoku	[MPa]
p_{i2}	Tlak v dutině nástroje – dál od vtoku	[MPa]
p_o	Tlak vzduchu ve formě	[MPa]
p_s	Systémový tlak	[MPa]
p_v	Doporučený vstřikovací tlak	[MPa]
p_A	Tvářecí tlak	[MPa]
p_T	Tvářecí mezi polymerem a tvárníkem	[MPa]
p_V	Tlak před čelem šneku	[MPa]
p_Z	Zbytkový tlak	[MPa]
p_1	Tvářecí stlačeného vzduchu v uzavřené dutině	[MPa]
PA	Polyamid	[-]
PA6	Polyamid	[-]
PA66	Polyamid	[-]
PBT	Polybutylentereftalat	[-]
PMMA	Polymethylmethakrylát	[-]
PC	Polykarbonát	[-]
PE	Polyethylen	[-]
POM	Polyoxymethylen	[-]
PP	Polypropylen	[-]
PS	Polystyren	[-]
PVC	Polyvinylchlorid	[-]
Q	Teplo vnesené taveninou	[kJ·h ⁻¹]
Q_t	Teplo odvedené temperací	[K]
Q_{BZ}	Bod zvratu	[Ks]
Q_K	Teplo odvedené do okolí	[K]
Q_P	Teplo přivedené polymerem	[K]
Q_R	Teplo odvedené zářením	[K]
Q_V	Teplo odvedené do plochy stroje	[K]
r	Vnější poloměr nahrazené geometrie součásti	[mm]
r_t	Poloměr plochy tvárníku	[mm]
s	Tloušťka stěny součásti	[mm]
s_M	Tloušťka stěny zjednodušené geometrie součásti	[mm]
S_{TV}	Zjednodušená plocha přilnutá na tvárník	[mm ²]
t_c	Celková doba vstřikovacího cyklu	[s]
$t_{čp}$	Stanovení celkového času produkce	[h]
t_D	Doba dotlaku	[s]
t_{chl}	Doba chlazení	[s]
t_m	Doba manipulátoru	[s]
t_o	Doba odpisu stroje	[rok]

t_p	Doba produkce	[h]
t_{pl}	Doba plastifikace	[s]
$t_{s\check{c}}$	Stanovení čistého strojního času	[h]
t_v	Doba plnění	[s]
t_{s1}	Strojní čas uzavření formy	[s]
t_{s2}	Strojní čas přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
t_{s3}	Strojní čas otevření formy a vyhození výstřiku	[s]
t_{s4}	Doba prodlevy	[s]
T_F	Teplota formy	[°C]
T_T	Teplota taveniny	[°C]
T_o	Teplota okolí	[K]
T_v	Teplota vyhození	[°C]
T_1	Teplota stlačeného vzduchu	[K]
v_s	Vstřikovací rychlost	[cm ³ ·s ⁻¹]
$v_{\check{s}}$	Maximální obvodová rychlost šneku	[m·s ⁻¹]
V_D	Velikost vstřikovaného objemu taveniny	[cm ³]
V_{vd}	Objem vstřikovaného dílu	[cm ³]
WC	Water closet	[-]
WIT	Water Injection Technology	[-]
Z	Požadovaný zisk	[%]
Z_{celk}	Zisk	[Kč]
$Z_{výstřik}$	Zisk jedné součásti	[Kč]
\check{Z}_f	Životnost formy	[-]
3D	Trojrozměrný	[-]
Δh	Rozdíl entalpií	[kJ·kg ⁻¹]
ε	Smrštění	[%]
η	Viskozita	[Pa·s ⁻¹]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_{TAH}	Napětí v tahu mezi výstřikem a tvárníkem	[MPa]
ρ	Hustota	[g·cm ⁻³]
ρ_{vz}	Hustota vzduchu	[kg·m ⁻³]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výrobky z polymerů [4], [5], [6]	9
Obr. 2 Sestava sifonu [7]	10
Obr. 3 Základní rozměry kolena	10
Obr. 4 Vytlačování trubek [21]	11
Obr. 5 Odlévání [22]	12
Obr. 6 3D tiskárna [19]	12
Obr. 7 Vstřikování plastů [23]	12
Obr. 8 Uzavření vstřikovací formy [25]	13
Obr. 9 Plnění a dotlak [25]	13
Obr. 10 Chlazení a plastifikace [25]	13
Obr. 11 Otevření formy a vyhození výstřiku [25]	13
Obr. 12 Tlaky vstřikovacího procesu [20]	14
Obr. 13 Průběh tlaku v dutině formy vstřikovacího cyklu [20]	14
Obr. 14 Průběh tečení taveniny [20]	15
Obr. 15 Přepnutí dotlaku v závislosti na čase [20]	16
Obr. 16 Dávkování vstřikovacího stroje [20]	16
Obr. 17 Pevná polovina formy	17
Obr. 18 Pohyblivá polovina formy	17
Obr. 19 Dvoudesková vstřikovací forma	18
Obr. 20 Dělicí rovina	19
Obr. 21 2násobná vstřikovací forma [29]	19
Obr. 22 Vliv smrštění na dotlaku [20]	19
Obr. 23 Vliv smrštění na teplotu formy [20]	20
Obr. 24 Studená vtoková soustava [30]	20
Obr. 25 Tvary vtokových kanálů [28], [30]	21
Obr. 26 Kuželový vtok [30]	21
Obr. 27 Bodový vtok [30]	21
Obr. 28 Tunelový vtok [30]	22
Obr. 29 Banánový vtok [30]	22
Obr. 30 Deštníkový vtok [30]	22
Obr. 31 Filmový vtok [30]	22
Obr. 32 Vytápění vnitřní [28]	22
Obr. 33 Vytápění vnější [28]	22
Obr. 34 Horká (vyhřívána) soustava	23
Obr. 35 Tepelná bilance formy [26]	23
Obr. 36 Chlazení jádra	24
Obr. 37 Vliv hustoty kanálů na intenzitě chlazení [28]	24
Obr. 38 Vyhazovací systém	25
Obr. 39 Přidržovač vtoku [30]	25
Obr. 40 Uzavírání vzduchu	26
Obr. 41 Diesel efekt [17]	26
Obr. 42 Sendvičové vstřikování [20]	27
Obr. 43 Vícebarevné vstřikování [20]	27
Obr. 44 Vstřikování s podporou plynu [20]	27
Obr. 45 Vstřikování s podporou plynu [20]	28
Obr. 46 Přetok	28
Obr. 47 Studený spoj [32]	29
Obr. 48 Vstřikovací stroj [15], [28]	29

Obr. 49 Vstřikovací jednotka [34]	29
Obr. 50 Hydraulická uzavírací jednotka [35]	30
Obr. 51 Rovnoměrná tloušťka stěny [28]	31
Obr. 52 Zaoblení [28]	31
Obr. 53 Úkosy [28]	31
Obr. 54 Žebro [28]	31
Obr. 55 Vroubkování	31
Obr. 56 Dvojité koleno	32
Obr. 57 Zvolená dělicí rovina	33
Obr. 58 Zaformování dílu a umístění ve vstřikovací formě	33
Obr. 59 Předběžný návrh vtokových ústí.....	34
Obr. 60 Simulace vhodnosti umístění vtoku.....	34
Obr. 61 Částečný graf praktické násobnosti [42]	35
Obr. 62 Určení délky toku taveniny.....	35
Obr. 63 Zjednodušená geometrie součásti	36
Obr. 64 Simulace doby plnění	38
Obr. 65 Simulace doby chlazení	38
Obr. 66 Základní rám vstřikovací formy	41
Obr. 67 Tvárnice	43
Obr. 68 Tvárník.....	43
Obr. 69 Vsazená vložka	44
Obr. 70 Sestava čelisti	44
Obr. 71 1. fáze – rozevření čelistí	44
Obr. 72 2. fáze – navedení šikmých kolíků do čelistí.....	45
Obr. 73 Hydraulický válec VEGA V160CB [53].....	45
Obr. 74 Sestava jádra a hydraulického válce	46
Obr. 75 Zaformování v pevné polovině formy	46
Obr. 76 Zaformování v pohyblivé polovině formy.....	46
Obr. 77 Zaformování horké vtokové soustavy	47
Obr. 78 Tryska [54]	47
Obr. 79 Ústí vtoku trysky [55].....	47
Obr. 80 Desky s horkou soustavou	48
Obr. 81 Temperace pevné poloviny formy	48
Obr. 82 Temperace pohyblivé poloviny formy	49
Obr. 83 Spirálové jádro.....	49
Obr. 84 Vyhazovací systém	49
Obr. 85 Rozmístění vyhazovačů na výstřiku	50
Obr. 86 Rozevření a vyhození součásti	50
Obr. 87 Místa uzavírání vzduchu.....	50
Obr. 88 Pevná polovina formy.....	51
Obr. 89 Pohyblivá polovina formy	51
Obr. 90 Manipulační prvky.....	52
Obr. 91 Snadnost zaplnění tvarové dutiny	53
Obr. 92 Propadliny.....	53
Obr. 93 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420 C [59]	53
Obr. 94 Umístění formy ve stroji [60]	54
Obr. 95 Mechanické upínání formy [28]	54
Obr. 96 Podíly nákladů	59
Obr. 97 Grafické znázornění výše nákladů a tržeb na objemu výroby	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní vlastnosti polypropylenu (PP) [9], [11], [12], [13], [14]	11
Tab. 2 Hodnoty smrštění polymerů [20]	20
Tab. 3 Hodnoty šířky odvzdušňovacích kanálů [28]	26
Tab. 4 Vlastnosti polypropylenu Tatren HT 25 11 [1], [27], [37], [38], [39]	32
Tab. 5 Průměry šneku vstřikovacího stroje D _s [37]	37
Tab. 6 Zvolené materiály pro rámy formy [28], [47], [48], [49], [50]	42
Tab. 7 Chemické složení a označení oceli 1.1730 [47], [48], [49]	42
Tab. 8 Chemické složení a označení oceli 1.2312 [47], [50], [51]	42
Tab. 9 Chemické složení a označení oceli 1.2343 [52]	43
Tab. 10 Parametry hydraulického válce V160CB [53]	45
Tab. 11 Porovnání parametrů stroje s vypočtenými hodnotami [60]	54
Tab. 12 Technologický postup řešení součásti	55
Tab. 13 Údaje pro výpočet výrobních nákladů [38], [39]	56
Tab. 14 Ceny jednotlivých dílů [47], [57]	58

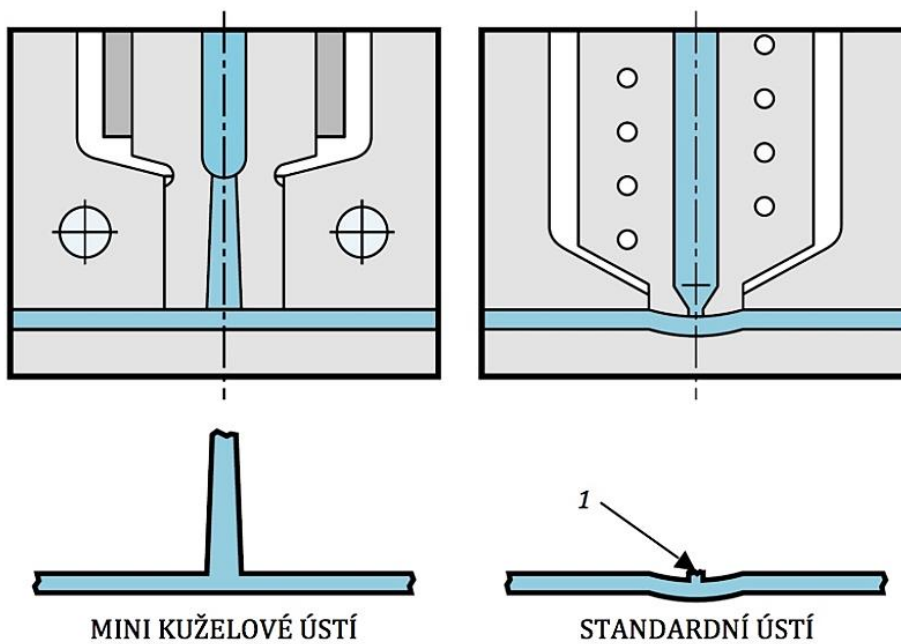
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Mini kuželová a uzavíratelná ústí [28]	
Příloha 2	Nepatrné stopy po ústí vtoku horkého systému [28]	
Příloha 3	Tepelné trubice [26], [28]	
Příloha 4	Doporučené hodnoty průřezů kruhových kanálů [26]	
Příloha 5	Další možnosti řešení přidržovače vtoku [30]	
Příloha 6	Materiálový list polypropylen Tatren HT 25 11 [37]	(2 strany)
Příloha 7	Graf praktické násobnosti [42]	
Příloha 8	Vstřikovací parametry [1]	
Příloha 9	Součinitel teplotní roztažnosti [27]	
Příloha 10	Entalpie [27]	
Příloha 11	Stavěcí šroub s pružinou [47]	
Příloha 12	Simulace plnění dutiny	(2 strany)
Příloha 13	Parametry stroje [60]	(3 strany)
Příloha 14	3D model vstřikovací formy – pevná polovina	
Příloha 15	3D model vstřikovací formy – pohyblivá polovina	
Příloha 16	3D model vstřikovací formy – sestava	
Příloha 17	Upnutí vstřikovací formy na lis – pevná polovina	
Příloha 18	Upnutí vstřikovací formy na lis – pohyblivá polovina	(2 strany)

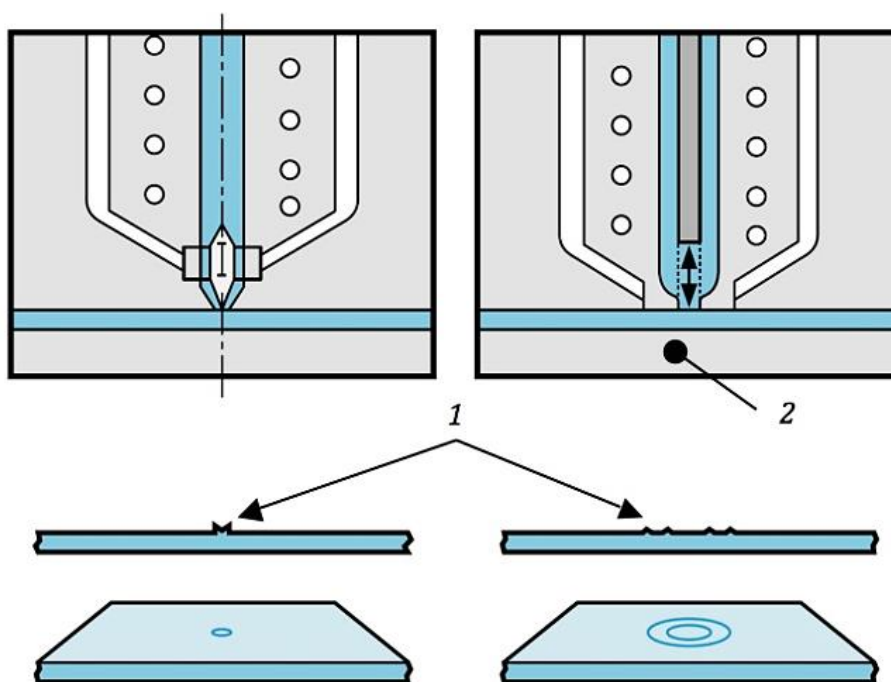
SEZNAM VÝKRESŮ

Dvojité koleno	A2-4454/02
Tvárnice	2020-DP-157852-10
Tvárník	2020-DP-157852-11
Vsazená vložka	2020-DP-157852-12
Vsazená vložka	2020-DP-157852-13
Jádro	2020-DP-157852-39
Jádro	2020-DP-157852-67
Sestava vstřikovací formy	2020-DP-157852-00
Kusovník	2020-DP-157852-00

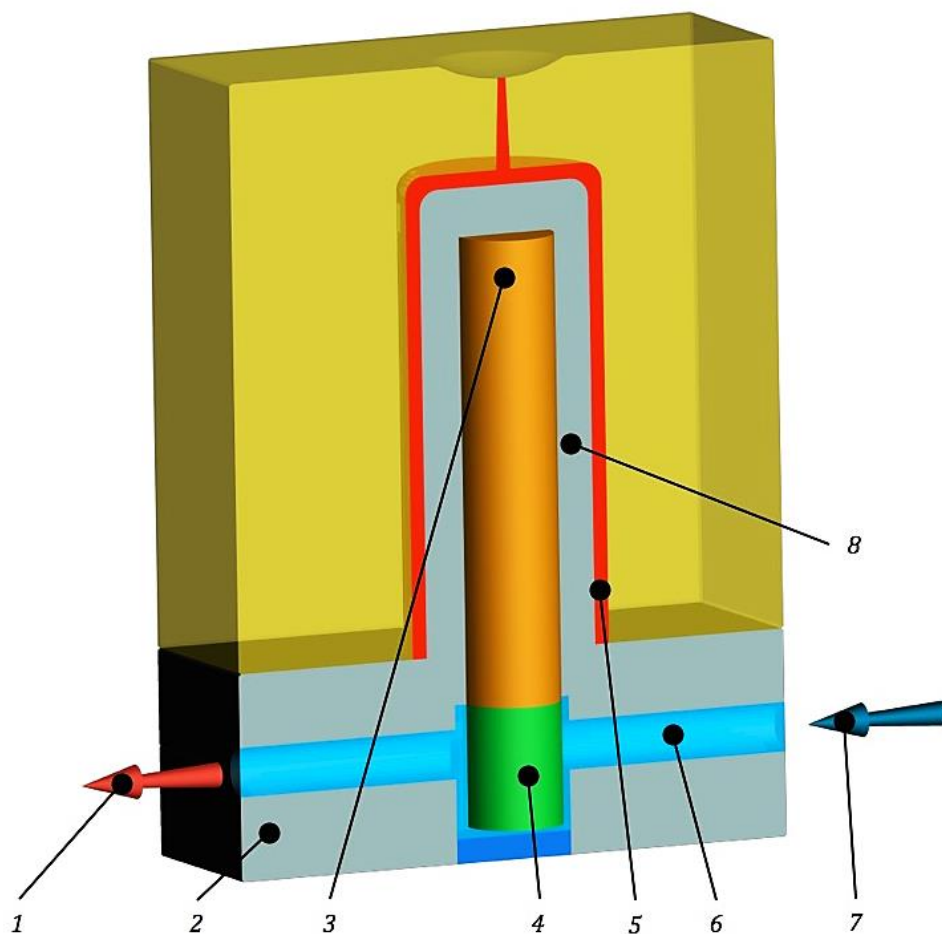
Příloha 1 Mini kuželová a uzavíratelná ústí [28]



Příloha 2 Nepatrné stopy po ústí vtoku horkého systému [28]



Příloha 3 Tepelné trubice [26], [28]

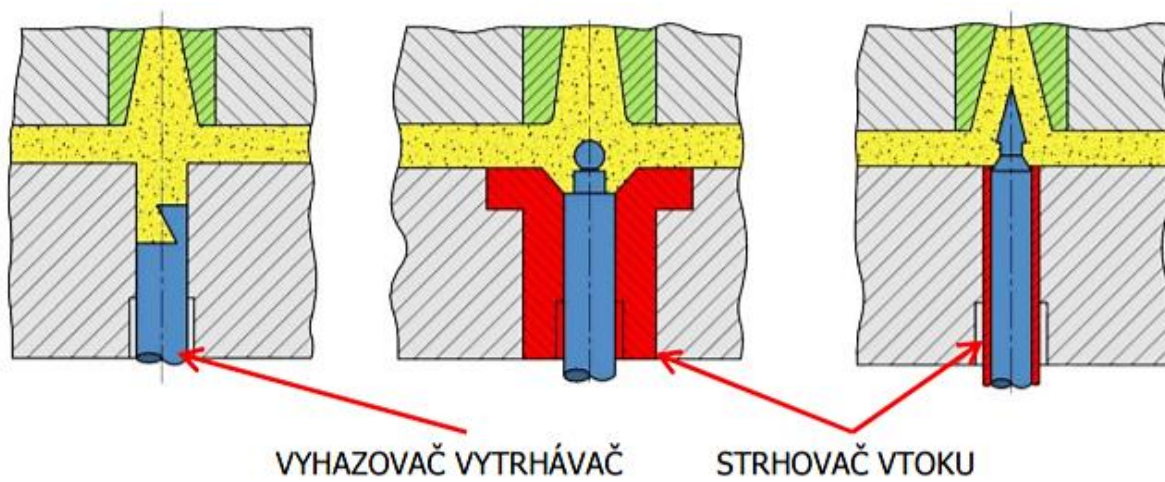


1 – výstup temperačního média, 2 – těleso pohyblivé části vstříkovací formy, 3 – výparná část tepelné trubice, 4 – kondenzační část tepelné trubice, 5 – vstříkovaný díl, 6 – hlavní temperační kanál, 7 – vstup temperačního média, 8 – těleso pevné části vstříkovací formy

Příloha 4 Doporučené hodnoty průřezů kruhových kanálů [26]

výstřik [g] rám [mm]		1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800
	1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800	1000
160x160	6	6	6	6	6										
160x230		6	8	8	8	8	8	8	8						
230x230		8	8	8	8	8	8	8	8	8					
230x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10				
300x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10	10			
300x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10		
370x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	
370x440					8	8	8	8	8	8	10	10	10	12	12
440x440					8	8	8	8	8	10	10	12	12	12	12
440x510						8	8	8	10	10	10	12	12	12	12
510x510						8	8	8	10	10	10	12	12	12	12
510x650							8	8	10	10	12	12	12	12	12

Příloha 5 Další možnosti řešení přidržovače vtoku [30]



TECHNICAL DATA SHEET

POLYPROPYLENE TATREN HT 25 11

Homopolymer for spun bond

TIPELIN / TIPOLEN / TIPPLEN / TATREN / BRALEN+

The joint product portfolio of MOL Petrochemicals and Slovnaft provides infinite opportunities

DESCRIPTION

TATREN HT 25 11 is a controlled rheology homopolymer of very narrow molecular weight distribution. Consistent processability, good colour and thermal stability, very low volatiles and low smoke make this grade suitable to be used for very demanding fibre applications. This grade contains anti gas fading additive package.

APPLICATIONS

TATREN HT 25 11 is intended to be used especially for production of non-woven (spun bond) fabrics weight of 14 – 50 gsm for hygienic industry. Unique structure of this grade gives possibility to produce high strength spun bond fabrics while having a superior softness and excellent drapability.

TATREN HT 25 11 can be used for production of spun bond fabrics intended for other than hygienic applications as well. This product is also suitable for extrusion coating of PP fabrics, injection moulding of general purpose items and for compounding.

TATREN HT 25 11 is suitable for food contact. The product complies with Food Contact Regulations. The grade is suitable for manufacturing of pharmaceutical packing-product.

PROPERTIES

	Test method	Unit	Typical value
MFR (230 °C/2.16 kg)	ISO 1133-1	g/10 min	25
Tensile stress at yield *	ISO 527-1,2	MPa	33
Tensile strain at yield *	ISO 527-1,2	%	10
Modulus of elasticity in tension *	ISO 527-1,2	MPa	1550
Flexural modulus *	ISO 178	MPa	1450
Izod impact strength (notched, 23 °C) *	ISO 180/A	kJ/m ²	3
HDT (0.45 MPa, flatwise) *	ISO 75-1,2	°C	78
Rockwell hardness *	ISO 2039-2	R scale	101

Typical properties, not to be used as specification.

* Typical properties measured on standard injection moulded test specimen according to ISO 294-1.

PROCESSING

TATREN HT 25 11 can be processed on standard and also on modern high speed spun bond machines.

TECHNICAL DATA SHEET

POLYPROPYLENE TATREN HT 25 11

Homopolymer for spun bond

TIPELIN / TIPOLEN / TIPPLEN / TATREN / BRALEN+

The joint product portfolio of MOL Petrochemicals and Slovnaft provides infinite opportunities

2

STORAGE AND HANDLING

Pellets are packed in 25 kg PE-LD bags and transported on stretch or shrink-wrapped pallets at eligible load of polymer 1375 kg. Heat treated pallets are available as well. We use adhesive between the bags in order to avoid their slipping. Pay attention to this fact during the removing of the bags from the pallets. The preferred method is to lift the bag at first without rotation. Transportation in a road silo or rail silo is also available. For more detailed information please contact SLOVNAFT and MOL Petrochemicals sales representative.

Since polypropylene is a combustible substance, the fire safety rules applicable for combustible materials in warehouses and store rooms should be observed.

If polymer is stored in conditions of high humidity and fluctuating temperatures, then atmospheric moisture can condense inside the packing. If it happened, it is recommended the pellets to be dried before use. During the storage polypropylene should not be exposed to UV radiation and temperatures above 40°C. Producer does not take responsibility for any damages caused by adverse storage.

REACH STATEMENT

Polymers are exempt of REACH registration. However, their raw materials which mean monomers and relevant additives have been registered. SLOVNAFT, a.s. is committed to fully respect legislation and will only use REACH compliant raw materials. At this point in time PP TATREN does not contain any substances specifically identified as SVHC at levels greater than 0.1%.

SAFETY

See MSDS.

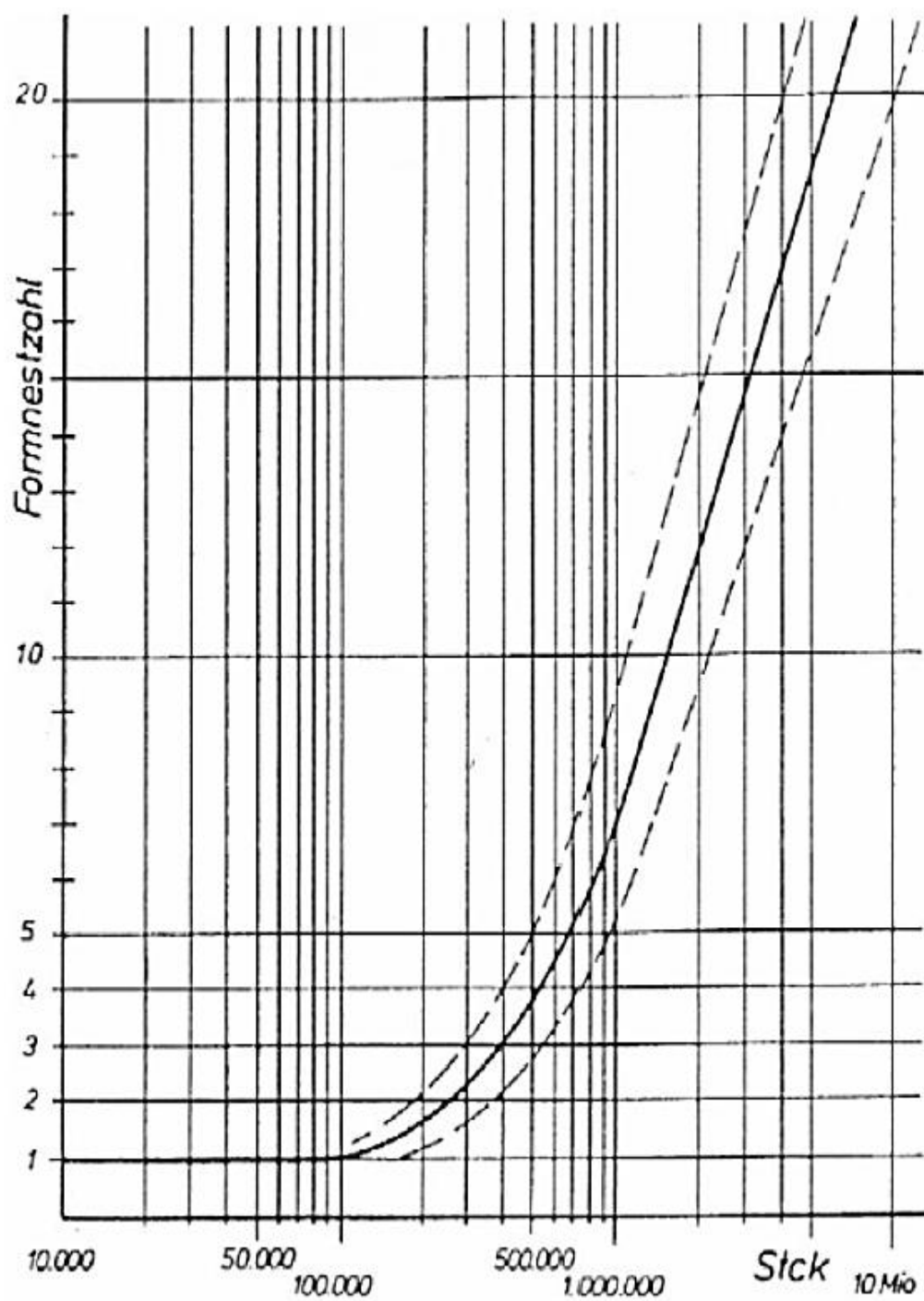
RECYCLING

Polypropylene resins are suitable for recycling using modern recycling methods. In-house production waste should be kept clean to facilitate direct recycling.

DISCLAIMER

©2018 MOL Group. To the extent the user is entitled to disclose and distribute this document, the user may forward, distribute, and/or photocopy this copyrighted document only if unaltered and complete, including all of its headers, footers, disclaimers, and other information. You may not copy this document to a web site. MOL Group does not guarantee the typical (or other) values. Analysis may be performed on representative samples and not the actual product shipped. The information in this document relates only to the named product or materials when not in combination with any other product or materials. We based the information on data believed to be reliable on the date compiled, but we do not represent, warrant, or otherwise guarantee, expressly or impliedly, the merchantability, fitness for a particular purpose, suitability, accuracy, reliability, or completeness of this information or the products, materials, or processes described. The user is solely responsible for all determinations regarding any use of material or product and any process in its territories of interest. We expressly disclaim liability for any loss, damage, or injury directly or indirectly suffered or incurred as a result of or related to anyone using or relying on any of the information in this document. There is no endorsement of any product or process, and we expressly disclaim any contrary implication. The terms, "we", "our", "MOL", or "MOL Group" are used for convenience, and may include any one or more of MOL Group, or any affiliates they directly or indirectly control. MOL Group, the MOL Group logo, and all other product names used herein are trademarks of MOL Plc. or SLOVNAFT, a.s. unless indicated otherwise.

Příloha 7 Graf praktické násobnosti [42]



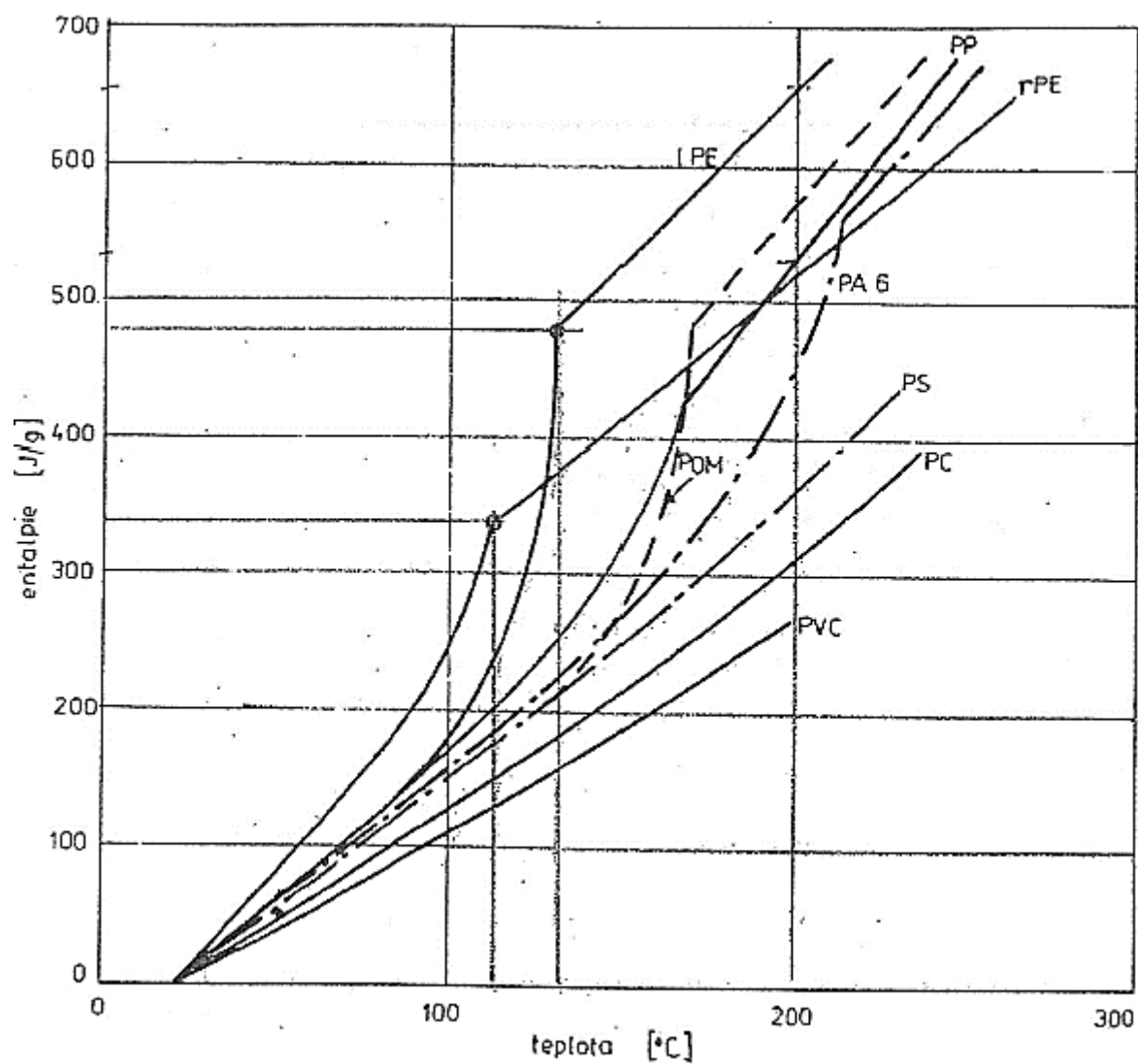
Priloha 8 Vstřikovací parametry [1]

Termoplast	Zkratka	Amorfní - A Crystalline - K	Hustota [g/cm ³]	Sudění suchým vzduchem (typický hodnoty)	doba	Max. obsah zbytkové vlhkosti po sušení	Teplota taveniny (typický rozsah)	Teplota formy (typický rozsah)	Vstřikovací tlak před celem šneku (typický rozsah)	Dotlak v % 28 vstřikovacího tlaku	Zplněný odpor - hydraulický sak (typický rozsah)	Ověřovací rychlost na šneku	Max. doba prodloužení ve vstřikovacím věleci a hořícím rozvodu (př.)	Počet v % z dívký (typický rozsah)		Vyrobití směšeni	
														[s]	[%]	[%]	[%]
Acetát celulózy	CA	A	1,20-1,31	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	
Budroacetát celulózy	CAB	A	1,18-1,22	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	
Propionát celulózy	CP	A	1,18-1,24	55-85	2-3	0,25 (0,15)	180-230	40-80	500-1400	40-80	60-30	0,1-0,2	12	4-6	0,3-0,6	0,3-0,6	
Polypropylen	PP	K	0,900-0,907	ne. 80	ne. 2-3	0,1	180-300	20-80(100)	500-1200	50-90	60-50	0,3-0,3	40	0,10	1,5-2,5	1,5-2,5	
Polypropylen s 20 % sítku	PP 20T	K	1,04	110-120	3-5	0,1	220-280	30-40	600-1600	50-90	60-50	0,3-0,3	40	0,10	0,8-1,6	0,7-1,4	
Polypropylen s 30 % SV	30SV	K	1,14	110-120	3-5	0,1	240-300	40-80	800-1800	50-90	60-30	0,25-0,25	40	0,10	0,6-1,4	0,6-1,4	
Vysokohustotní polyethylen	HDPE	K	0,938-0,965	ne. 80	ne. 2-3	0,5	200-280	10-90	600-1400	50-80	60-50	0,3-0,3	40	0,10	1,4-2,5	1,2-2,2	
Nizkonustotní polyethylen	LDPE	K	0,914-0,928	ne. 80	ne. 2-3	0,5	180-260	10-60	300-800	50-80	60-50	0,3-0,3	40	0,10	1,8-3,5	1,8-3,0	
Standardní polyethylen	PS	A	1,05-1,10	60	2	0,1	170-260	30-70	400-1500	30-80	60-50	0,3-0,3	30	0,10	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	0,3-0,3	30	0,10	0,4-0,7	0,4-0,7	
Styren - akrylonitrilový kopolymér	SAN	A	1,07-1,09	70-80	3-4	0,1	200-260	40-80	700-1500	40-60	60-40	0,3-0,3	30	0,10	0,4-0,6	0,4-0,6	
Akrylonitril-butadien-styrenový kopolymér	ABS	A	1,04-1,10	80	4-6	0,1	190-260	40-90	600-1400	40-80	60-40	0,3-0,3	30	0,10	0,4-0,8	0,4-0,8	
Methylmetakrylát-akrylonitril-butadien-styrenový kopolymér	ABS/SV	A	1,23-1,38	60	4-6	0,1	230-280	60-100	800-1800	40-80	60-30	0,2-0,2	30	0,10	0,2-0,3	0,2-0,3	
Methylmetakrylát-akrylonitril-butadien-styrenový kopolymér	MABS	A	1,10-1,12	80	2-4	0,1	200-260	40-80	600-1600	50-80	60-20	0,2-0,2	30	0,10	0,4-0,8	0,4-0,8	
Ethylen-vinyl-acetátový kopolymér	EVA		0,94-0,95	50-60	1 (6)	0,1	150-200	10-50	600-1000	50-80	60-30	0,2-0,2	20	0,10	2,0-3,0	2,0-3,0	
Polyvinylchlorid (tvrdý)	PVC		1,38-1,39	60-70	2-3		160-190	20-50	900-1500	30-60	60-30	0,2-0,2	20	0,5	0,5-0,9	0,5-0,9	
Polyvinylchlorid (houževnatý)	PVC		1,35-1,36	60-70	2-3		150-190	20-50	900-1500	30-60	60-30	0,2-0,2	20	0,5	0,7-1,2	0,7-1,2	
Polyvinylchlorid (mekký)	PVC		1,18-1,28	50-60	2-3		140-200	20-50	400-1000	30-60	60-30	0,2-0,2	20	0,5	0,8-3,5	0,8-3,5	
Polydimethylmetakrylát	PMMA	A	1,18-1,19	80-90	4-6	0,1	180-260	40-80	800-2000	40-90	60-30	0,2-0,2	30	0,5	0,2-0,8	0,2-0,8	
Polyamid 6	PA6	K	1,12-1,14	80	4-8	0,2	230-270	40-80	900-1200	40-90	60-40	0,25-0,25	20	0,10	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	0,15-0,15	20	0,10	0,2-0,4	0,8-1,2	
Polyamid 6, minerální právo	PA6 M	K	1,22-1,50	80-90	4-8	0,2	240-290	50-110	800-1400	40-90	60-40	0,25-0,25	20	0,10	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	600-1400	40-90	60-40	0,25-0,25	20	0,10	1,2-1,9	1,2-2,2	
Polyamid 66-skleněné vlákno	PA66 SV 15-50	K	1,28-1,42	80	4-8	0,2	280-310	50-120	800-1600	40-90	60-30	0,15-0,15	20	0,10	0,2-0,5	0,7-1,2	
Polyamid 66-minerální právo	PA66 M	K	1,24-1,50	80-90	4-8	0,2	280-300	50-110	800-1500	40-90	60-40	0,25-0,25	20	0,10	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	0,20-0,20	10	0,50	2	2	
Polyamid 11	PA11	K	1,04-1,05	75-80	8-16	0,1	270-280	40-80	500-1000	40-90	60-30	0,25-0,25	20	0,10	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	0,15-0,15	20	0,10	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	600-1200	40-90	60-20	0,25-0,25	20	0,10	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	0,15-0,15	20	0,10	0,4-0,8	0,8-1,2	
Polyamid transparentní	PA-T	K	1,00-1,08	80	6-12	0,08	260-300	80-120	800-1600	40-90	60-30	0,20-0,20	20	0,10	0,4-0,6	1,2-2,0	
Folykarbonát	PC	A	1,20-1,21	120	4-6	0,02	260-320	70-120	800-1800	50-80	60-30	0,25-0,25	10	0,10	0,6-0,8	0,6-0,8	
Folykarbonát 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	0,15-0,15	10	0,10	0,2-0,8	0,2-0,8	
Polyoxymethylen nebo polyformaldehyd nebo polyacetát	PCM	K	1,41-1,43	100-110	2-4	0,1	180-220	80-120	600-1800	50-100	60-20	0,25-0,25	15	0,5	1,6-2,2	2,2-2,6	
Folyfenylenoxid	PPO	A	1,06	110-120	2-4	0,1	260-280	80-110	1000-1800	50-80	60-30	0,25-0,25	10	0,5	0,5-0,8	0,5-0,8	
Folyethylen-terefalát	PET	K	1,37-1,38	120-140	2-8	0,02	260-280	90-140	600-1600	50-80	60-20	0,25-0,25	6	0,5	0,5-2,0	0,5-2,0	

Příloha 9 Součinitel teplotní roztažnosti [27]

PC - 0,11	α_w - tepl. formy,	90 ⁰ C	PA 6.6 - 0,086	80 ⁰ C
PMMA - 0,07		70 ⁰ C	PA 6 - 0,07	80 ⁰ C
SAN - 0,085		70 ⁰ C	PBT - 0,09	90 ⁰ C
ABS - 0,0835		70 ⁰ C	PP 0,067-0,063	20-60 ⁰ C
POM - 0,058		80 ⁰ C	LDPE 0,09-0,075	20-60 ⁰ C
PS 0,085-0,08		30 - 60 ⁰ C	HDPE 0,095-0,07	20-60 ⁰ C

Příloha 10 Entalpie [27]

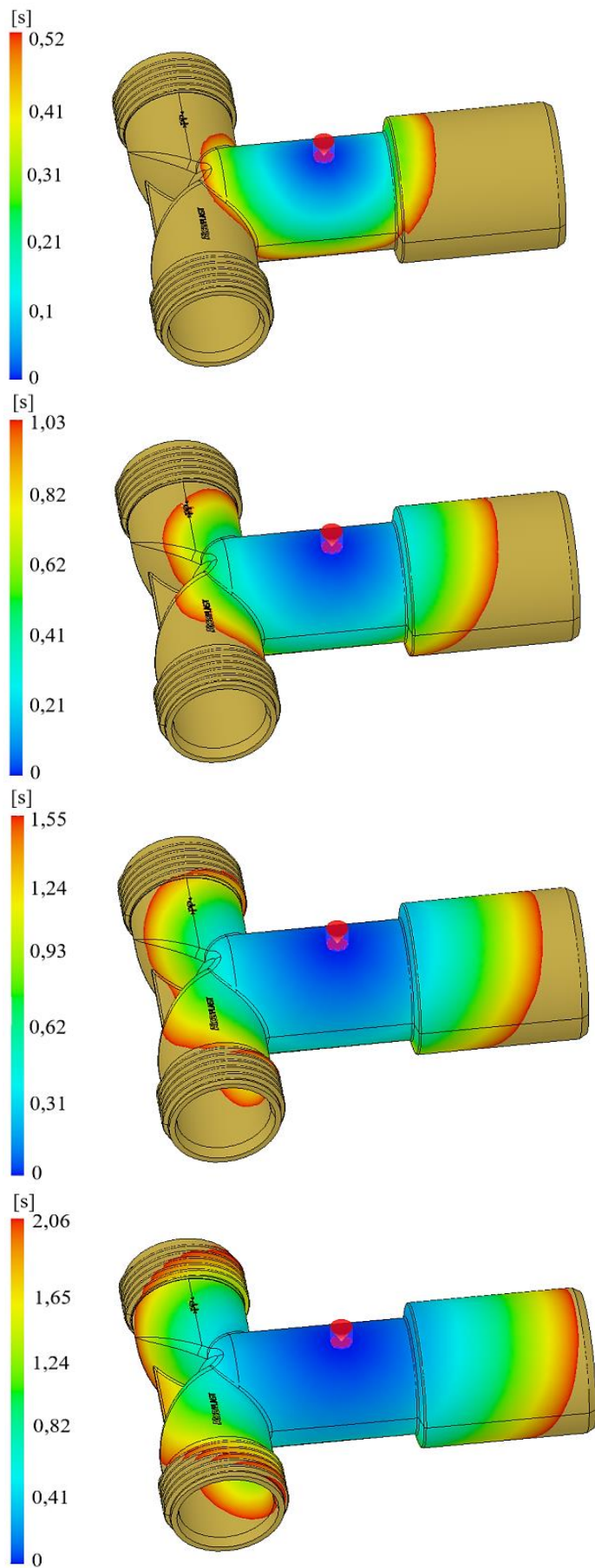


Příloha 11 Stavěcí šroub s pružinou [47]



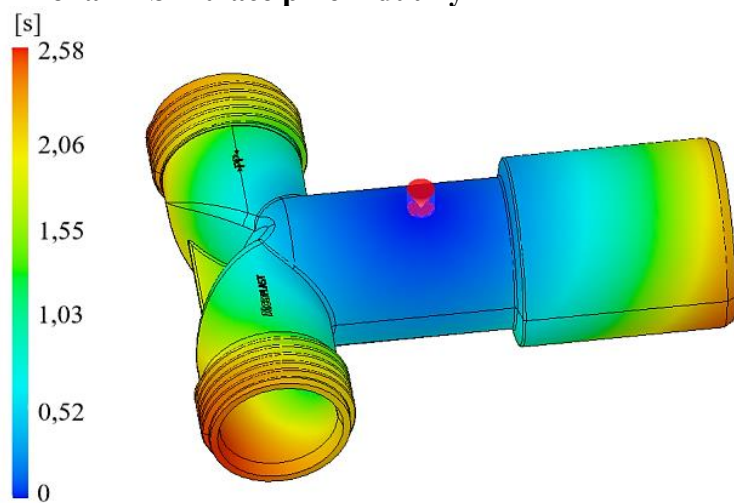
Příloha 12 Simulace plnění dutiny

(1/2)



Příloha 12 Simulace plnění dutiny

(2/2)



Příloha 13 Parametry stroje [60]

(1/3)

Clamping unit		420 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. kN	1000	
Opening force stroke	max. kN mm	250 500	
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---	
Platen daylight fixed variable	max. mm	750 ---	
Distance between tie bars (w x h)	mm	420 x 420	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	570 x 570	
Weight of movable mould half	max. kg	600	
Ejector force stroke	max. kN mm	40 175	
Dry cycle time EUROMAP ²	min. s - mm	1,8 - 294	

Injection unit		290		
with screw diameter	mm	30	35	40
Effective screw length	L/D	23,3	20	17,5
Screw stroke	max. mm	150		
Calculated stroke volume	max. cm ³	106	144	188
Shot weight	max. g PS	97	132	172
Material throughput	max. kg/h PS	17	20,5	24,5
	max. kg/h PA6.6	8,5	10,5	12,5
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1530
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1530
Injection flow ²	max. cm ³ /s	102	140	182
Screw circumferential speed ²	max. m/min	46	54	62
Screw torque	max. Nm	320	380	430
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 240		
Heating capacity zones	kW	6,4 5		
Feed hopper	l	50		

Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		290	
Net weight of machine	kg	3650	
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	68 3	
Oil filling	l	235	
Drive power ²	max. kW	15	
Electrical connection ³	kW	24	
	Total	80	
	Machine	---	
	Heating	---	
Cooling water connection	max. °C	30	
	min. Δp bar	1,5 DN 25	

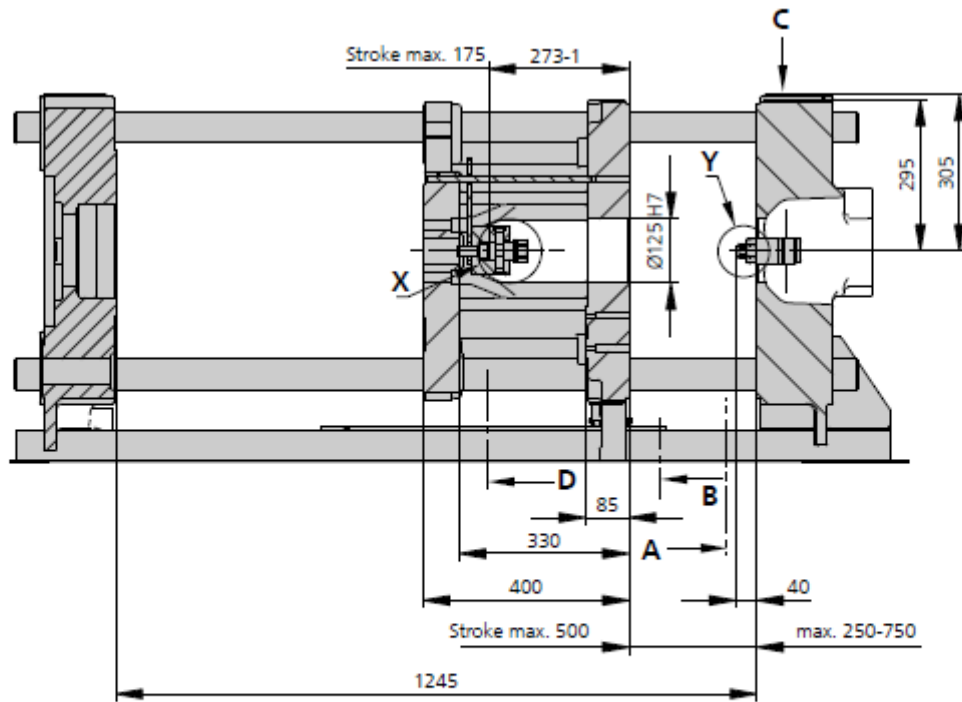
Machine type

with EUROMAP size designation ¹

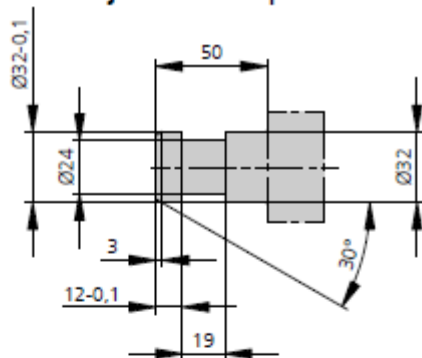
420 C GOLDEN EDITION 1000-290

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.

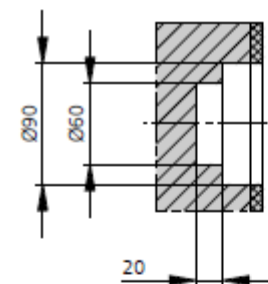
- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.



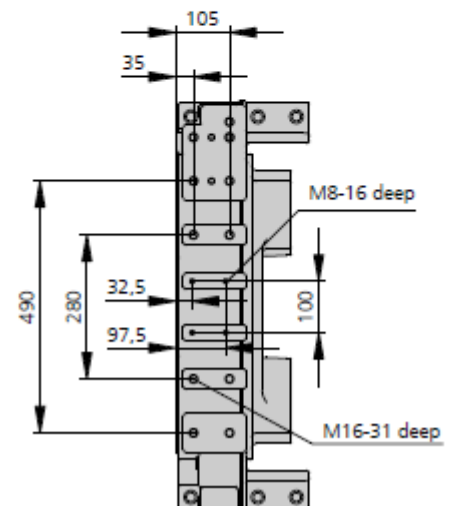
Ejector bolt | X



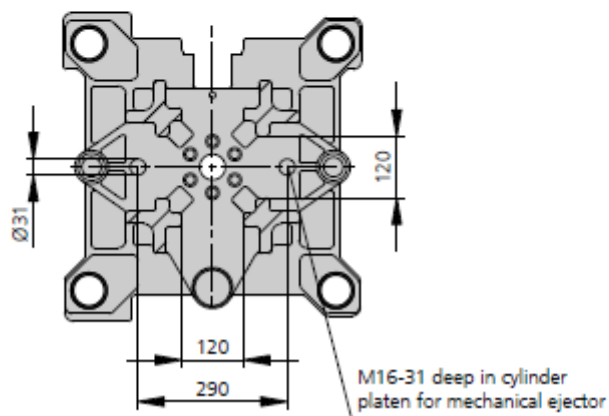
Bore in mould (if required) | Y



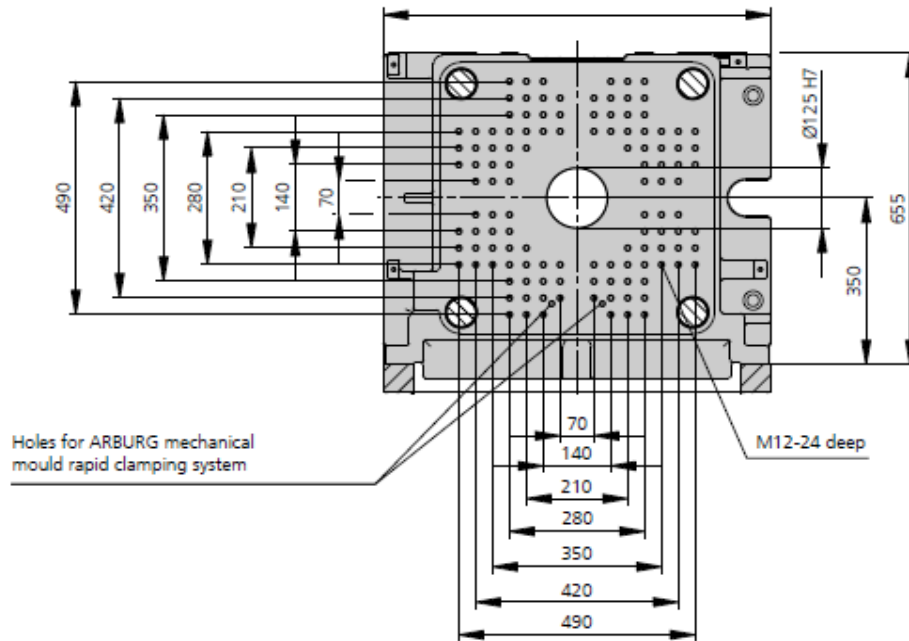
Robotic system mounting | C



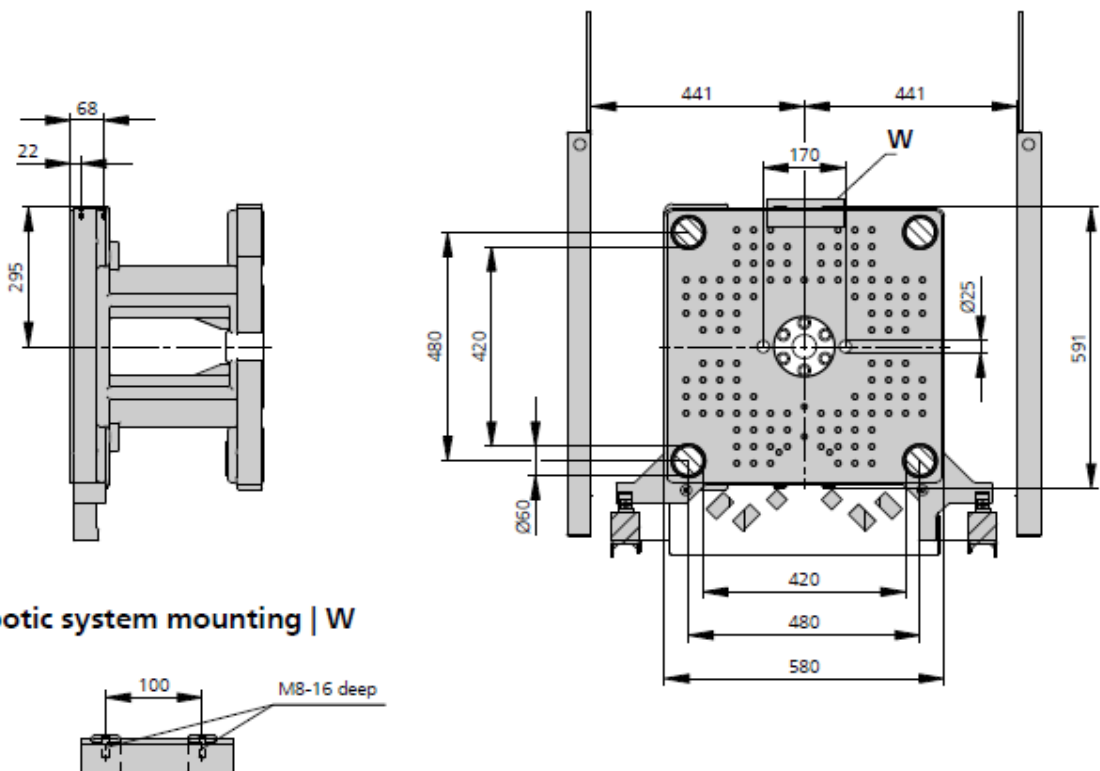
D view



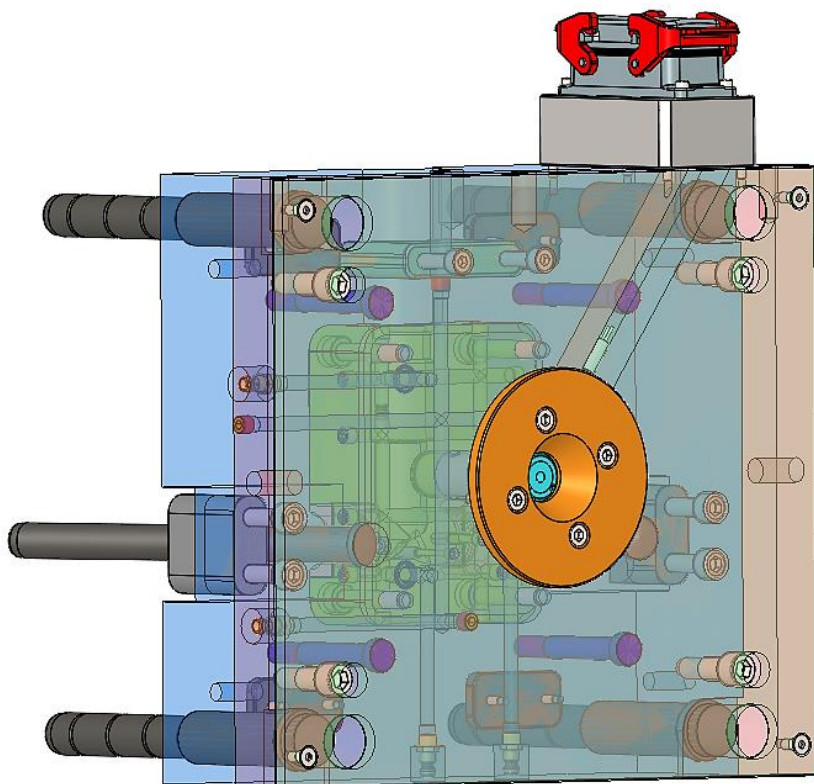
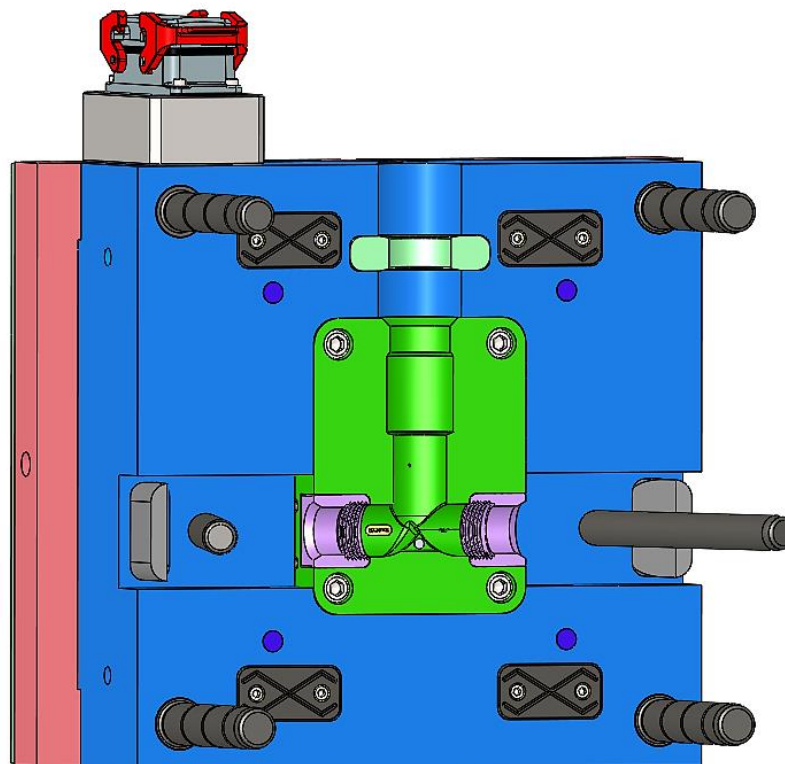
Fixed mould mounting platen | A



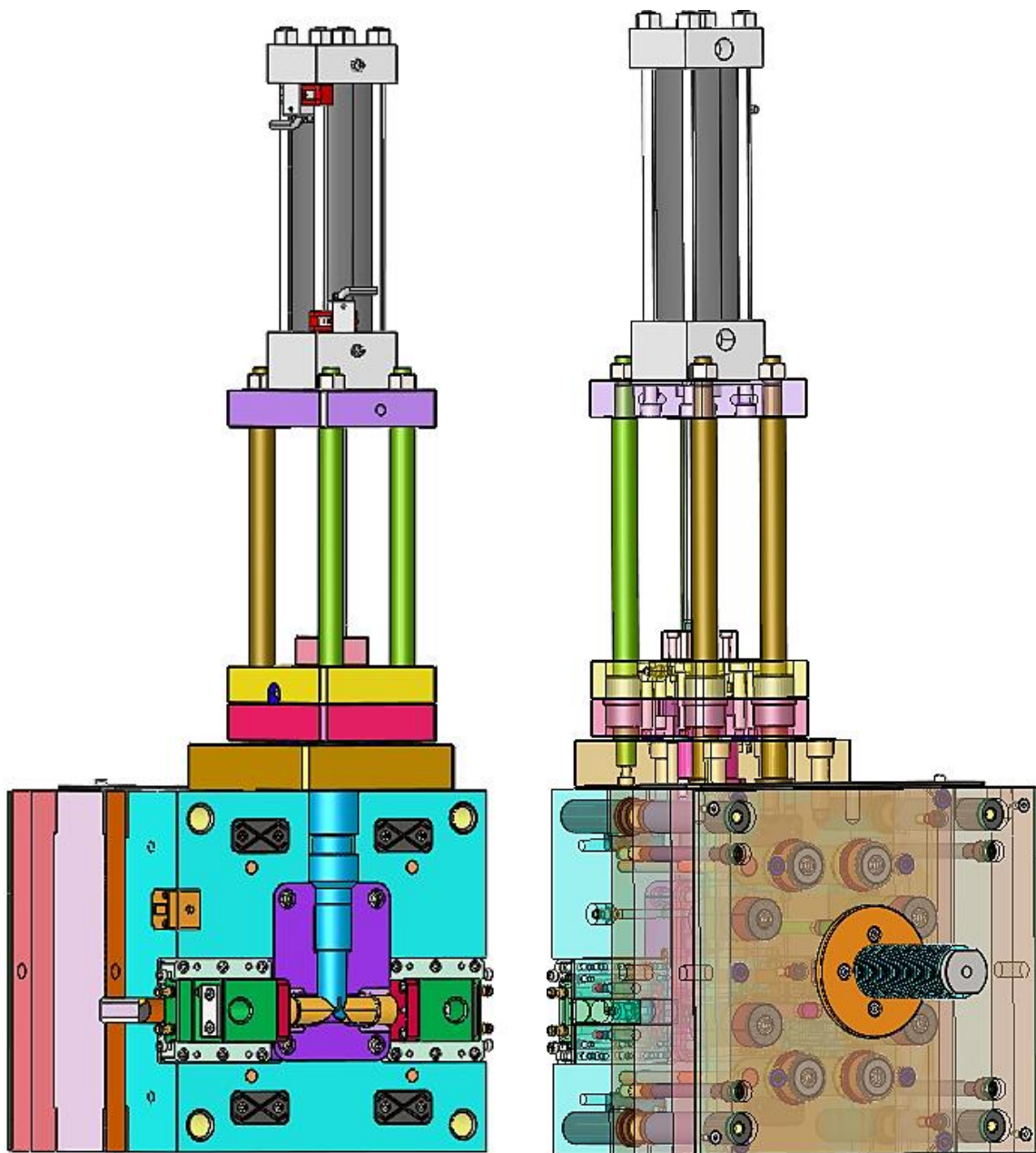
Moving mould mounting platen | B



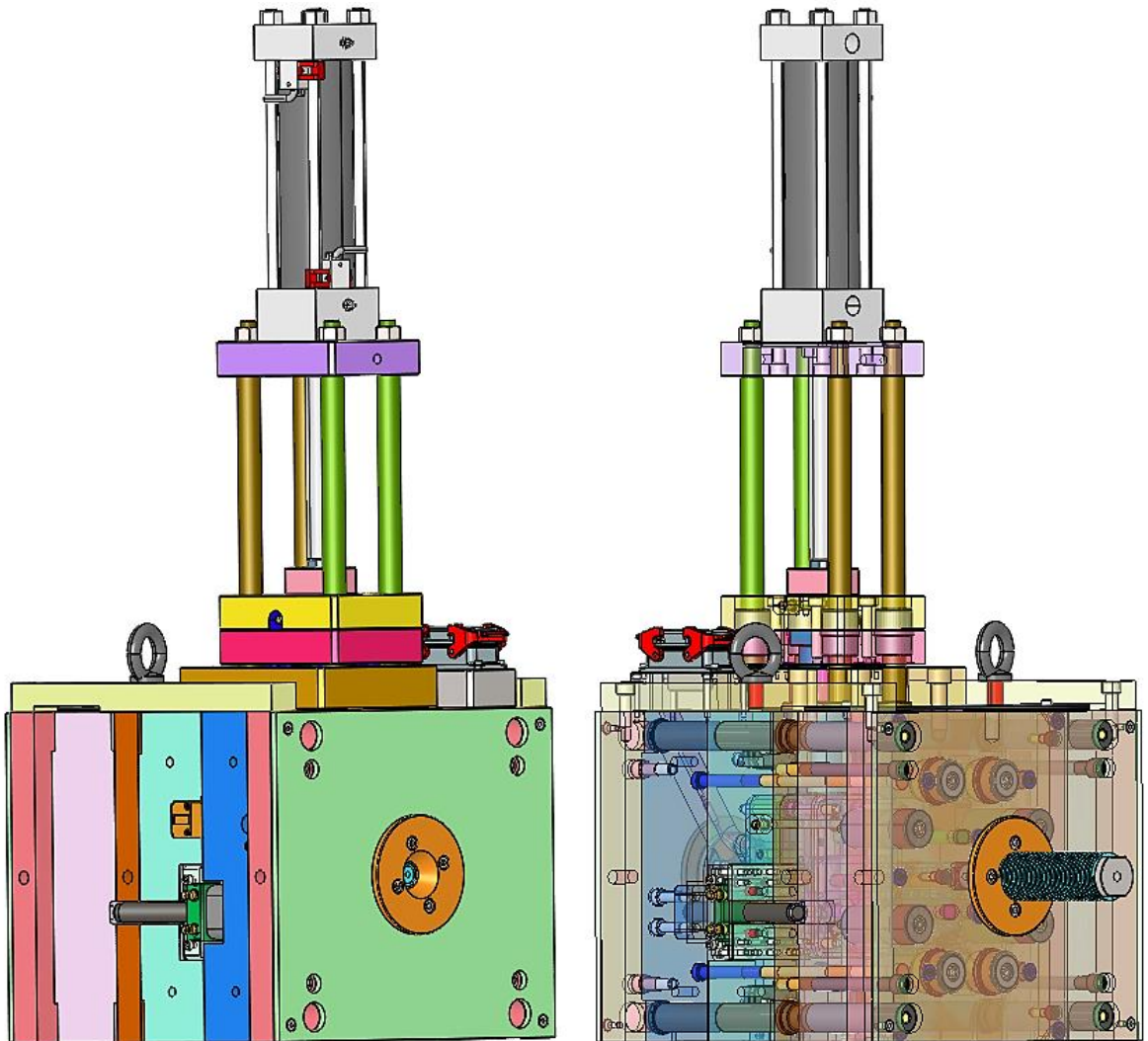
Příloha 14 3D model vstříkovací formy – pevná polovina



Příloha 15 3D model vstříkovací formy – pohyblivá polovina



Příloha 16 3D model vstřikovací formy – sestava



Příloha 17 Upnutí vstříkovací formy na lis – pevná polovina





