



Konstrukce formy pro výrobu zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování

Diplomová práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

N0722A270001 Technologie plastů a kompozitů

Bc. Petr Nováček

Ing. Pavel Brdlík, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie





Zadání diplomové práce

Konstrukce formy pro výrobu zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Nováček**
Osobní číslo: S19000222
Studijní program: N0722A270001 Technologie plastů a kompozitů
Zadávající katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování.
2. Rozbor konstrukce forem technologie vstřikování.
3. Návrh konstrukce formy pro výrobu zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování.
4. Odzkoušení funkčnosti konstrukčního návrhu formy.
5. Vyhodnocení a závěr.

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] TROUGHTON, Michael J. *Handbook of plastics joining: a practical guide*. William Andrew, 2008.
[2] PRUNER, Harry; NESCH, Wolfgang. *Understanding injection molds*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2020.
[3] MENGES, Georg; MICHAELI, Walter; MOHREN, Paul. *How to make injection molds*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2013.
[4] GASTROW, Hans. *Injection molds: 130 proven designs*. München: Hanser, 2002.

Vedoucí práce: Ing. Pavel Brdlík, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání práce: 15. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání: 15. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

4. června 2021

Bc. Petr Nováček

Konstrukce formy pro výrobu zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy na výrobu zkušebního tělesa pro ultrazvukové svařování, které je popsáno pokynem DVS-2216-3. Konstrukční návrh byl navržen s ohledem na požadavky výroby zkušebních těles, u kterých je zejména vyžadováno co nejmenší ovlivnění vlastností vstřikovaného materiálu, zajištění homogenních materiálových vlastností v celém objemu vstřikovaného dílu a možnost zpracovávat více druhů termoplastů. Na základě těchto požadavků byla věnována zvláštní pozornost vtokovému systému a systému chlazení. Navržená forma byla vyrobena a funkčně odzkoušena na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 320 C.

Klíčová slova:

konstrukce vstřikovací formy, zkušební tělesa, ultrazvukové svařování termoplastů.

Mold design of test specimen production for ultrasonic welding technology

Annotation

The thesis deals with the design of an injection mold for a test specimen production for ultrasonic welding technology which is described by instruction DVS-2216-3. The engineering design was designed with regard to the requirements of the production of test specimens which in require particular the least possible influence on the properties of the injected material, assurance homogeneous material properties throughout the volume of the injected part and the ability to process more types of thermoplastics. Based on these requirements, special attention was paid to the runner and the cooling system. The designed mold was manufactured and functionally tested on an ARBURG ALLROUNDER 320 C injection molding machine.

Key words:

injection mold design, test specimens, ultrasonic welding of thermoplastics.

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Pavlovi Brdlíkovi, Ph.D. za odborné konzultace. Poté bych chtěl poděkovat mé mamince za neúnavnou podporu po celou dobu studia a psaní diplomové práce. Dále mé poděkování patří také všem ostatním, kteří mě podporovali při studiu a tvorbě diplomové práce.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	10
1 ÚVOD.....	11
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1 Rozbor problematiky zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování	12
2.1.1 Zkušební tělesa pro technologii ultrazvukového svařování	12
2.1.2 Výroba zkušebních těles	14
2.2 Úvod do konstruování vstřikovacích forem	15
2.3 Obecný postup návrhu vstřikovací formy	15
2.3.1 Obecná specifika a doporučení pro konstruování vstřikovacích forem	16
2.4 Skladba vstřikovací formy	17
2.5 Konstrukční typy vstřikovacích forem	21
2.5.1 Dvoudeskové vstřikovací formy	21
2.5.2 Tříděskové vstřikovací formy.....	21
2.6 Vtokové systémy	23
2.6.1 Vtokový kužel	23
2.6.2 Přidržovač vtoku	24
2.6.3 Rozváděcí kanály	25
2.6.4 Rozváděcí kanály u vícenásobných forem.....	26
2.6.5 Typy ústí vtoku	26
2.7 Chlazení a temperace.....	30
2.8 Vyhazování	33
2.9 Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy.....	35
2.10 Materiály pro jednotlivé komponenty vstřikovacích forem	35
2.11 Standardizované součásti a normy pro vstřikovací formy	37
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	38
3.1 Volba zkušebního tělesa pro technologii ultrazvukového svařování.....	38
3.2 Požadavky na konstrukci vstřikovací formy	38
3.3 Předběžný návrh vstřikovací formy.....	39
3.3.1 Volba vtokového systému	40
3.3.2 Volba chlazení a temperace	40
3.3.3 Volba systému vyhazování	40
3.3.4 Volba dělicí roviny a orientace vstřikovaných dílů ve formě.....	41
3.3.5 Volba materiálů pro komponenty formy	41

3.3.6	Předpokládané smrštění vstřikovaných dílů	42
4	DETAILNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....	43
4.1	Návrh rozměrů vstřikovací formy.....	45
4.2	Návrh vtokového systému	46
4.3	Návrh chlazení a temperace	57
4.4	Návrh vyhazování.....	62
4.5	Konstrukční řešení vyměnitelné tvarové vložky.....	64
4.6	Odvzdušnění dutin formy.....	65
4.7	Ověření uzavírací síly vstřikovacího stroje	66
4.8	Ověření funkčnosti konstrukčního návrhu vstřikovací formy	67
5	ZÁVĚR	70
	Literatura	72
	Seznam příloh a přílohy	74

Seznam použitých zkratk a symbolů

F_u	uzavírací síla	[N]
S	průmětná plocha do směru působící uzavírací síly	[mm ²]
p_i	vnitřní tlak v dutině formy	[MPa]
ABS	akrylonitril-butadien-styren	
ASA	akrylonitril-styren-akrylát	
AWS	Americká svářečská společnost	
DVS	Německá asociace pro svařování a příbuzné procesy	
ISTeP	průmyslové standardizované zkušební těleso	
PA6	polyamid 6	
PA6 GB30	polyamid 6 s obsahem 30 % skleněných kuliček	
PA66 GF30	polyamid 66 s obsahem 30 % skelných vláken	
PBT	polybutylentereftalát	
PC	polykarbonát	
PC/ABS	polymerní směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu	
PHB	polyhydroxybutyrát	
PLA	kyselina polymléčná	
PMMA	polymethylmethakrylát	
PP	polypropylen	
SAN	styren-akrylonitril	
SMA	styren-maleinanhydrid	

1 ÚVOD

Technologie ultrazvukového svařování termoplastů je v současnosti velmi rozšířenou technologií spojování dílů vyrobených z termoplastických materiálů. Jedná se o vysoce výkonnou technologii svařování s velmi dobrou přesností a možností snadné automatizace výroby. Mezi nejčastěji svařované materiály pomocí technologie ultrazvukového svařování patří ABS, PMMA, PA6, PA6 GF30, PC nebo PP. Příkladem svařovaných výrobků jsou světlometry automobilů, ventilátory, pouzdra nabíjecích adaptérů, sprchové hlavice, filtrační nádoby a mnoho dalších.

Stejně jako u ostatních technologií je i zde velmi důležitá kvalita vytvořeného spoje. U ultrazvukového svařování je nejčastěji testována pevnost v tahu a ve smyku, dále těsnost spoje a vizuální kvalita vytvořeného svaru. Pro porovnání a hodnocení kvality spoje vytvořeného technologií ultrazvukového svařování jsou pro tento účel využívána standardizovaná zkušební tělesa. Na těchto tělesech je následně možno kontrolovat a hodnotit kvalitu vytvořeného svaru, a to jak z hlediska vhodnosti použitého materiálu, tak z hlediska nastavení procesních parametrů ultrazvukového svařování. Pro ultrazvukové svařování existuje několik typů standardizovaných zkušebních těles.

V této diplomové práci je rozebrána problematika zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování a rozbor konstrukce vstřikovacích forem. U problematiky zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování jsou uvedeny příklady standardizovaných geometrií zkušebních těles a požadavky na jejich výrobu. U rozboru konstrukce vstřikovacích forem je nejprve uveden obecný postup návrhu vstřikovacích forem společně s obecnými specifiky a doporučeními pro jejich konstrukci. Následně je rozebrána skladba vstřikovacích forem, funkce jednotlivých komponent formy a konstrukční typy vstřikovacích forem. Dále je věnována pozornost funkčním částem vstřikovacích forem, jako jsou vtokové systémy, chlazení a temperace, vyhazování a odzdušnění. Na závěr jsou uvedeny používané materiály a standardizované komponenty vstřikovacích forem.

Hlavním cílem experimentální části diplomové práce byla konstrukce vstřikovací formy na výrobu zkušebních těles pro ultrazvukové svařování s ohledem na zadané požadavky z hlediska výroby zkušebních těles, zpracování různých druhů polymerních materiálů a nákladů na výrobu formy. Dalším cílem diplomové práce byla výroba navržené vstřikovací formy a ověření její funkčnosti na vstřikovacím stroji.

2 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část práce pojednává o zkušebních tělesech technologie ultrazvukového svařování a o konstruování vstřikovacích forem. U zkušebních těles jsou uvedeny používané geometrie a požadavky na jejich výrobu. U vstřikovacích forem je nejprve vyložen obecný postup navrhování vstřikovacích forem a shrnuta obecná doporučení. Dále jsou popsány jednotlivé části vstřikovacích forem, jejich funkce a běžně používaná konstrukční řešení.

2.1 Rozbor problematiky zkušebních těles technologie ultrazvukového svařování

V následujících dvou kapitolách jsou shrnuty tvary zkušebních těles pro hodnocení kvality svaru u technologie ultrazvukového svařování termoplastů a požadavky na výrobu těchto zkušebních těles.

2.1.1 Zkušební tělesa pro technologii ultrazvukového svařování

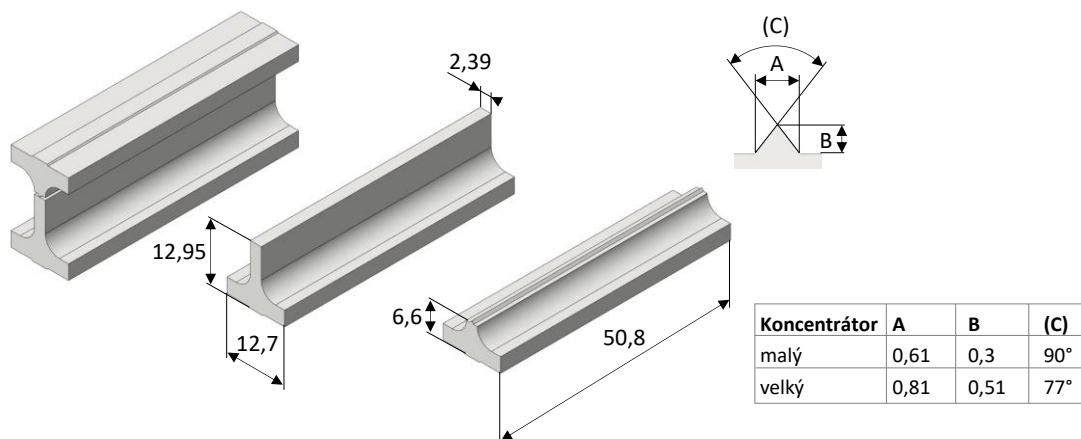
Spojení dvou dílů (zkušebních vzorků) pomocí ultrazvukového svařování by mělo být provedeno způsobem, který je co nejbližší pro využití v praxi. V případech, ve kterých je to možné, by geometrie spojovací oblasti zkušebního tělesa měla odpovídat geometrii skutečného dílu [1].

K vyhodnocování kvality svaru jsou používána následující zkušební tělesa:

- nosník I (AWS), tupý spoj s koncentrátorem ultrazvukových kmitů [2],
- nosník I (AWS), dvojitý smykově namáhaný spoj [2],
- pokročilé zkušební těleso ISTeP [3],
- zkušební těleso DVS s koncentrátorem ultrazvukových kmitů [1].

Nosník I (AWS), tupý spoj s koncentrátorem ultrazvukových kmitů

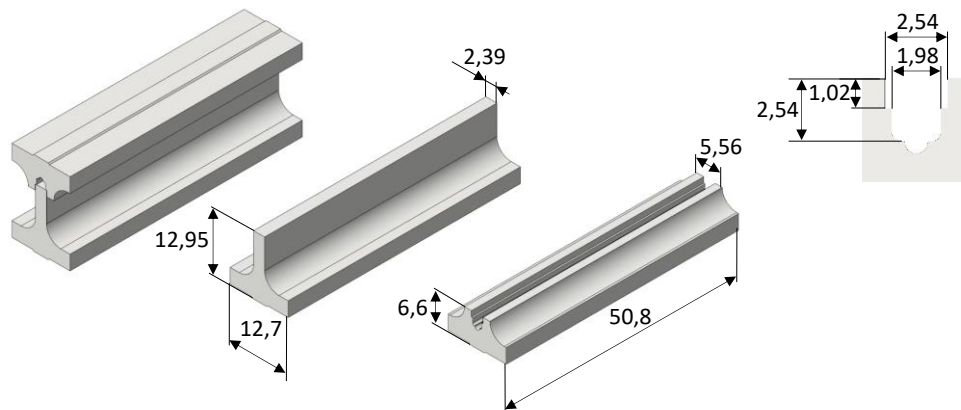
Jedná se o zkušební těleso, které je popsáno normou AWS G1.2M/G1.2:1999. Zkušební těleso je svařeno ze dvou částí tvořících nosník o profilu I (viz obr. 2.1). Koncentrátor ultrazvukových kmitů je umístěn na jedné z částí a může být proveden ve dvou velikostech.



Obr. 2.1 Zkušební tělesa AWS s koncentrátorem ultrazvukových kmitů [2]

Nosník I (AWS), dvojitý smykově namáhaný spoj

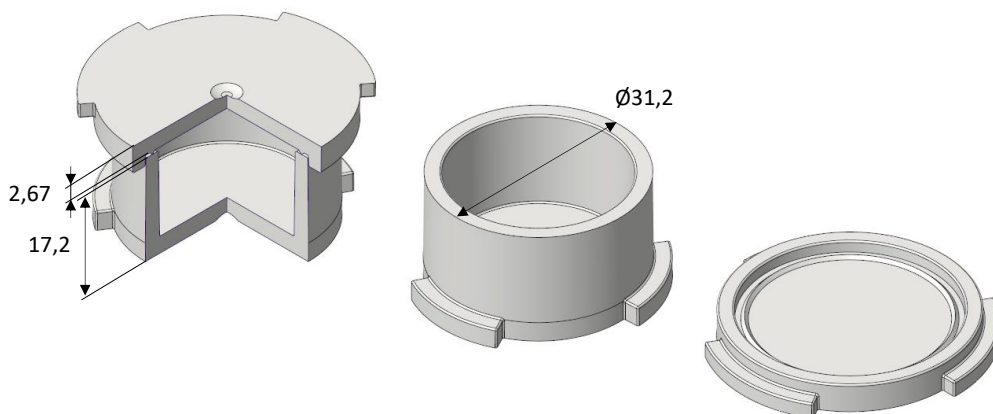
Jedná se o podobné zkušební těleso, jako je popsáno výše, které je definováno též normou AWS G1.2M/G1.2:1999. Rozdíl je ve vytvoření drážky v jedné části tělesa namísto koncentrátoru ultrazvukových kmitů (viz obr. 2.2). Tímto konstrukčním řešením následně nedochází k vytvoření tupého spoje, ale k vytvoření paralelního svaru na obou stranách. Tyto svary jsou pak při zatěžování namáhány smykovým napětím.



Obr. 2.2 Zkušební tělesa AWS s dvojitým smykově namáhaným spojem [2]

Pokročilé zkušební těleso ISteP

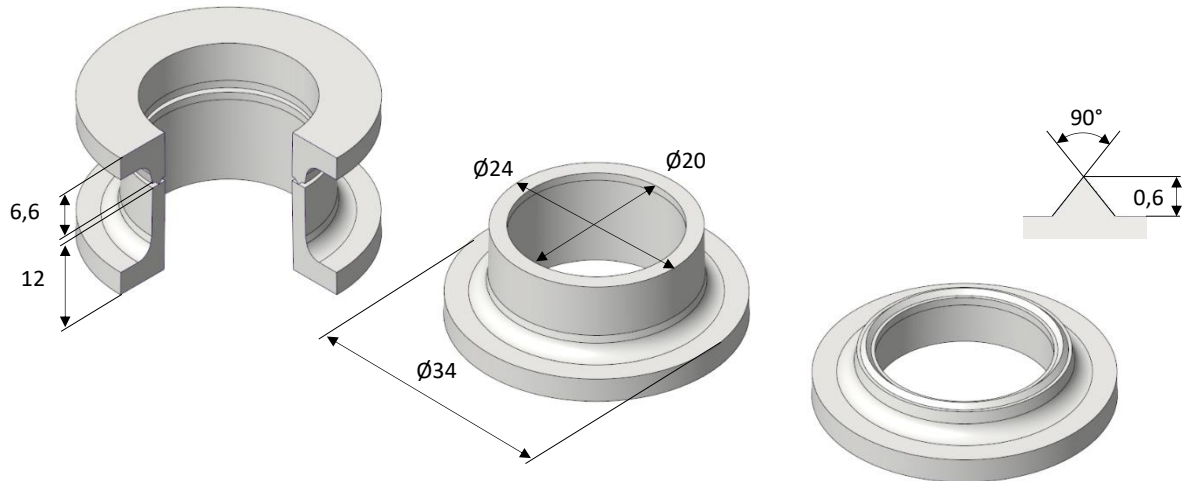
Pro společnost Dukane IAS, s.r.o. zabývající se ultrazvukovým svařováním nebyla vyhovující zkušební tělesa popsána normou AWS. Proto se zaměřila na tvorbu vlastního zkušebního tělesa (viz obr. 2.3), pomocí kterého lze provádět relevantnější zkoušky pro hodnocení ultrazvukového svařování. Výsledné zkušební těleso je modifikovatelné ve svařovací oblasti, a to tak, že může obsahovat buď koncentrátor ultrazvukových kmitů s vrcholovým úhlem 60° nebo 90° anebo drážku pro svařování v paralelním směru (pro zkoušky smykovým namáháním). Zkušební tělesa mohou být následně testována na pevnost v tlaku a tahu, a kontrolována i z hlediska těsnosti. Zároveň byla také společností Dukane IAS, s.r.o. navržena vstřikovací forma s cílem minimálního ovlivnění materiálových vlastností během procesu vstřikování [3].



Obr. 2.3 Zkušební tělesa ISteP [3]

Zkušební těleso DVS s koncentrátorem ultrazvukových kmitů

Pro hodnocení obecných zkoušek svařitelnosti termoplastických materiálů se osvědčilo zkušební těleso DVS (viz obr. 2.4) s koncentrátorem ultrazvukových kmitů ($90^\circ / 0,6$ mm vysoké), které je definováno pokynem DVS-2216-3 [1].



Obr. 2.4 Zkušební tělesa DVS s koncentrátorem ultrazvukových kmitů [1]

Zkušební těleso je svařeno ze dvou částí tupým spojem, z nichž jedno obsahuje ve svařovací ploše koncentrátor ultrazvukových kmitů. Rozdílnou výškou jednotlivých částí je umožněno svařování v blízkém i ve vzdáleném poli. Zkušební těleso lze použít pro tahovou zkoušku, kde lze určit sílu při přetržení pod axiálním napětím v tahu. Dále jej lze použít pro provedení zkoušky těsnosti a ke zjištění přetlaku při roztržení [1].

2.1.2 Výroba zkušebních těles

Zkušební tělesa by měla být vyrobena pomocí technologie vstřikování tak, aby bylo zaručeno dosažení homogenních vlastností v celém objemu. Vzhledem k požadované homogenitě vlastností je důležité rovnoměrné rozložení teploty povrchu dutiny formy. Nežádoucí jsou propadliny, staženiny a studené spoje. Na svařované plochy nesmějí být umístěny vyhazovače [1, 2].

Podmínky zpracování při výrobě zkušebních těles by měly být zvoleny podle výrobce polymerního materiálu. Tím je možné dosáhnout požadované kvality dílů, a především opakovatelnosti výroby [1].

2.2 Úvod do konstruování vstřikovacích forem

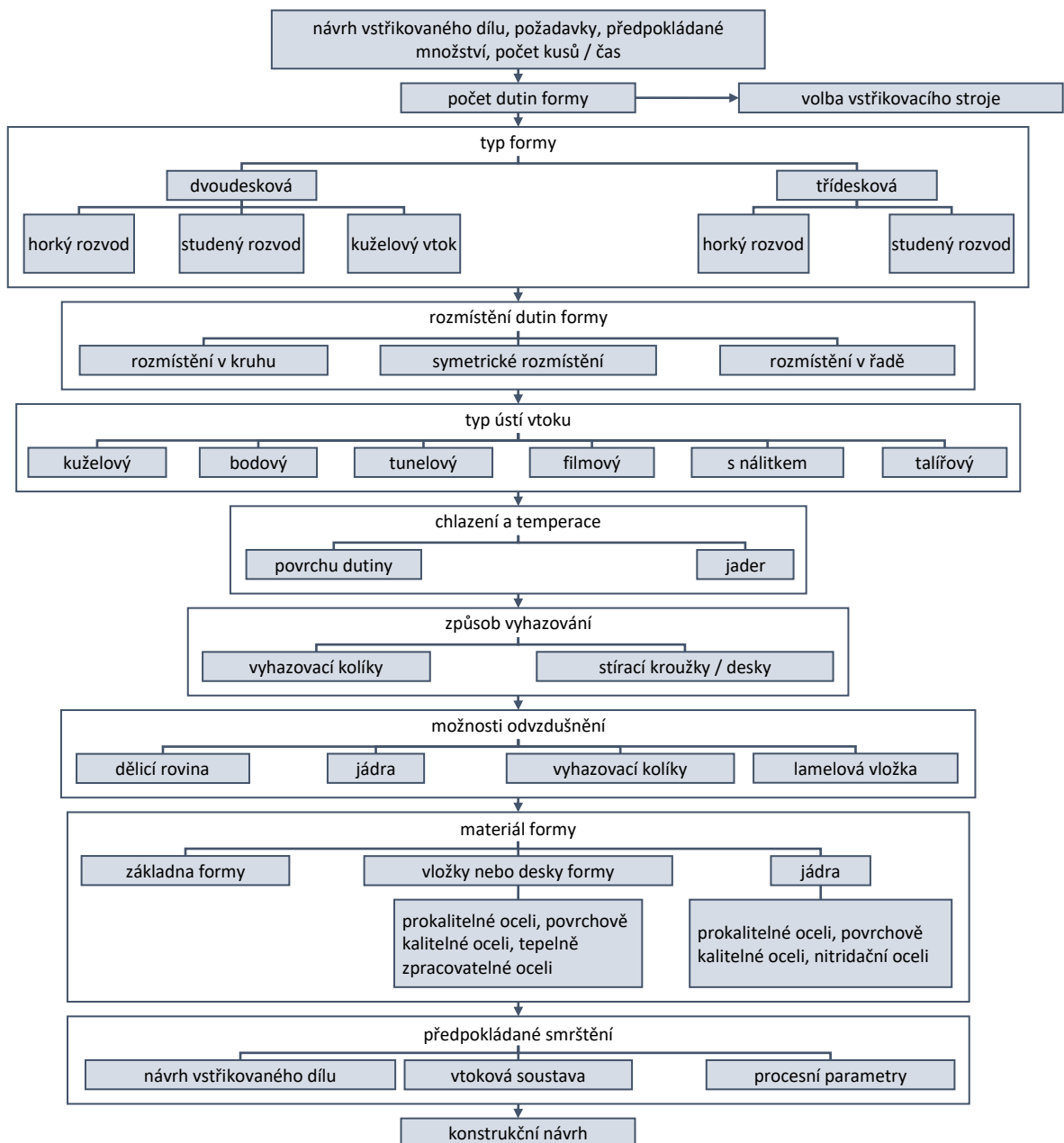
Technologie vstřikování je v dnešní době jednou z nejrozšířenějších technologií zpracování plastů a kompozitů. Touto technologií je možné velice efektivně produkovat díly jednoduchých i komplexních tvarů pro širokou oblast průmyslových aplikací. Nezbytnou součástí technologie vstřikování jsou vstřikovací formy, kterým jsou věnovány následující kapitoly.

2.3 Obecný postup návrhu vstřikovací formy

Při konstruování vstřikovací formy je potřeba splnit mnoho požadavků vyplývajících z procesu vstřikování tak, aby bylo dosaženo dobrého kompromisu mezi požadavky na vyráběný díl a náklady spojenými s výrobou formy. Vstřikovací forma musí být provedena tak, aby byly splněny její tři hlavní funkce, kterými jsou doprava taveniny plastu do její dutiny, zajištění odvodu tepla z povrchu dutiny a bezpečné odformování vstřikovaného výrobku [4].

Navrhování vstřikovacích forem je komplexním procesem zahrnujícím celou řadu hledisek, mezi kterými je konstruktér forem nucen vytvořit funkční kompromis. Návrh je zahájen stanovením všech potřebných požadavků na konstrukci vstřikovací formy. Na základě těchto požadavků a dalších souvislostí je vypracován předběžný návrh formy. Při tvorbě předběžného návrhu formy je třeba vzít v potaz výrobní výkres vstřikované součásti, parametry vstřikovacího stroje, a dále také výrobní a ekonomické požadavky. Výrobním výkresem, popřípadě alternativní dokumentací jsou definovány veškeré požadavky na vstřikovaný díl, mezi které patří například tolerance funkčních rozměrů, geometrické tolerance, materiál, třída přesnosti, definice povrchové úpravy vstřikovaného dílu a další specifikace. Mezi parametry vstřikovacího stroje související s návrhem formy patří především prostor mezi vodícími sloupky omezující maximální velikost formy, velikost zdvihu uzavírací jednotky určující minimální a maximální výšku formy, rozteč montážních otvorů na upínacích deskách, tvar zakončení a vnitřní průměr vstřikovací trysky, průměr středících otvorů a vzdálenost vysunutí vyhazovacího systému. Dalšími náležitostmi, které jsou nezbytnou součástí předběžného návrhu formy je volba jejího typu, návrhu dělení, stanovení počtu dutin a jejich rozmístění, volba vtokového a chladicího systému, způsob vyhazování a odvzdušnění dutiny, výběr použitého materiálu jednotlivých komponent a stanovení předpokládaného smrštění vstřikovaného výrobku [5]. Po zvážení a přezkoumání výše zmíněných aspektů předběžného návrhu formy následuje tvorba podrobného návrhu formy, který v sobě zahrnuje detailní zpracování jednotlivých součástí formy a slouží jako podklad pro její výrobu.

Návaznosti jednotlivých kroků při navrhování vstřikovací formy lze obecně definovat na příkladu vývojového diagramu, který je vyobrazen na obrázku 2.5.



Obr. 2.5 Vývojový diagram pro metodické navrhování vstřikovacích forem [6]

2.3.1 Obecná specifika a doporučení pro konstruování vstřikovacích forem

Obecné znalosti, a především zkušenosti z praxe, mohou být nápomocny k efektivnímu navrhování vstřikovacích forem. V následujících bodech je uveden výběr obecných specifik a doporučení pro konstruování vstřikovacích forem:

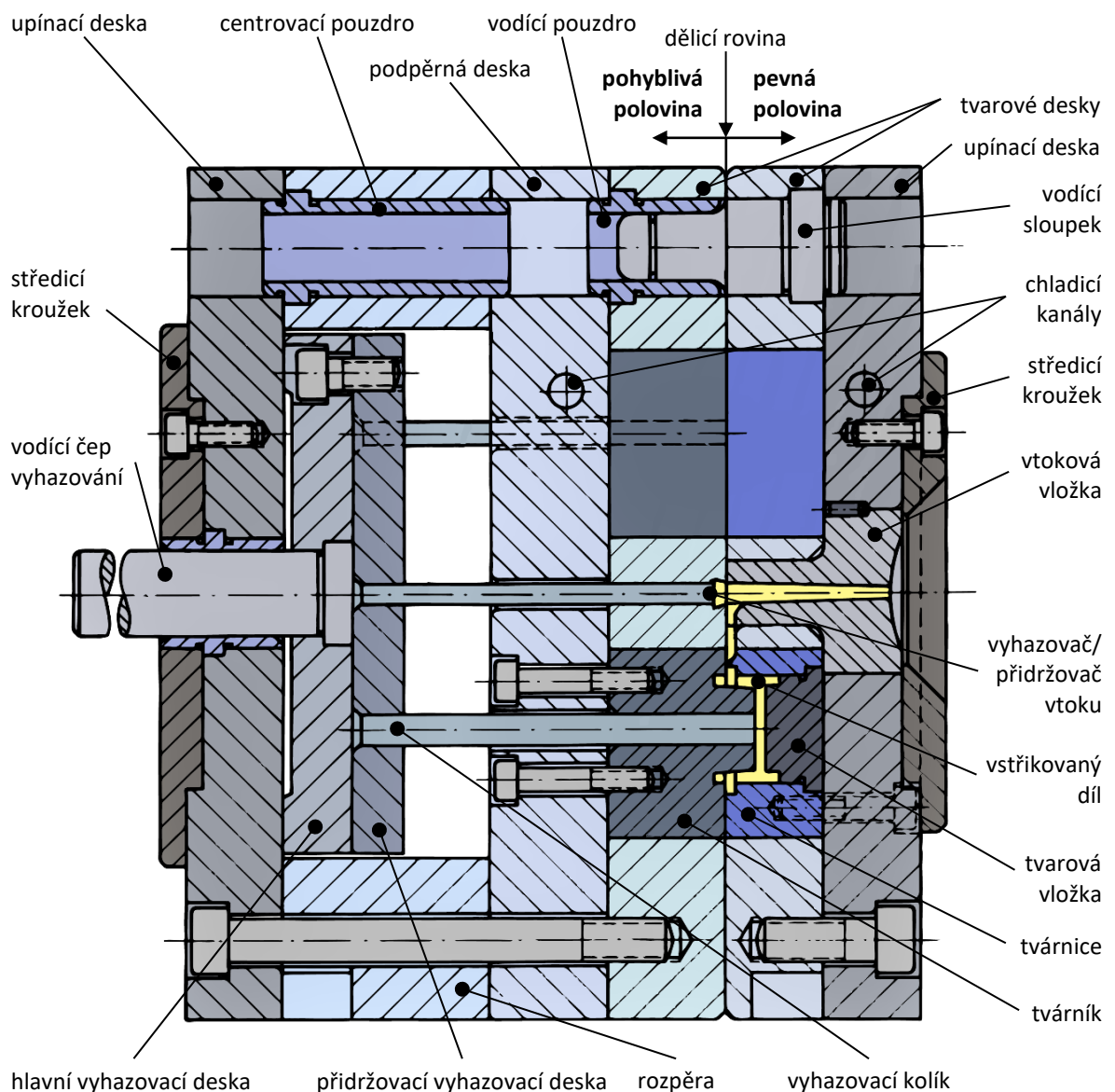
- volba velikosti základny formy s ohledem na optimalizaci nákladů na vstřikovací stroj a dobu výrobního cyklu,
- u vícenásobných forem by měly být jednotlivé dutiny umístěny tak, aby vtokový systém byl vyvážený a délka rozváděcích kanálů byla co nejkratší,

- ponecháním mezery 0,05 – 0,1 mm mezi tvarovými deskami obou polovin formy je možné dosáhnout uzavíracím tlakem dobrého kontaktu mezi vložkami dutin (tvárníku a tvárnice),
- na vrchní i zadní straně každé poloviny formy by měly být otvory v těžišti pro šrouby s okem pro usnadnění montáže formy do vstřikovacího stroje,
- pro každou komponentu formy by měly být použity odpovídající typy ocelí s ohledem na jejich obrobiteľnosť, rozměrovou stabilitu, odolnost proti opotřebení, houževnost a požadovanou pevnost,
- komponenty formy jako jsou vložky vtokového kužele, kolíky jader, vyhazovače, tvarové a dutinové vložky by měly být opatřeny označením, aby bylo zabráněno nesprávnému umístění ve formě a nedošlo k prohození pozice komponenty. Dále by měly výše zmíněné komponenty obsahovat takové konstrukční prvky nebo přídavné označení, aby jejich poloha ve formě byla jednoznačně určena a nebylo možné komponentu do formy umístit nezamýšleným způsobem,
- montáž a demontáž vstřikovací formy na vstřikovací stroj by měla být snadná, aby bylo možné minimalizovat dobu instalace formy,
- vložky dutin formy by měly být dostatečně silné s plynulými přechody, aby byly schopné vydržet namáhání během výroby výlisků,
- jeden vodící kolík a jeden vracecí kolík vyhazovacího systému by měl být odsazen, aby bylo zabráněno otočení vzájemné orientace polovin formy o 180°,
- desky formy by měly být dostatečně pevné a silné pro umístění vložek dutin formy a chladicího systému,
- dostatečně velké podpěrné válce by neměly být v kolizi s vyhazovacími kolíky a měly by být primárně umístěny pod dutinou formy, aby bylo zabráněno průhybu během vstřikování,
- vyhazovací systém by měl být navržen tak, aby jeho velikost zdvihu byla dostačující. Příliš velký zdvih by prodlužoval dobu cyklu, a docházelo by k opotřebení vyhazovacích kolíků a pouzder. Dostatečný zdvih je takový, kdy vstřikovaný díl může volně vypadnout z formy.
- dutina formy musí být řádně odzdušněna, aby během procesu vstřikování mohl zachycený vzduch a těkavé plyny z taveniny uniknout a nezhoršovat tak kvalitu dílu,
- pevná polovina formy (horní upínací deska a horní tvarová deska) musí být dostatečně silná, aby podírala vodící kolíky a poskytla prostor pro kanály chladicího systému [5].

2.4 Skladba vstřikovací formy

Vstřikovací forma může být definována jako sestava dílčích součástí formy. Tyto dílčí součásti jsou buď vyráběné nebo standardizované komponenty, tzv. normálie. Pro seznámení se

s charakteristickou skladbou a jednotlivými komponenty lze použít nejjednodušší konstrukční variantu, a to dvoudeskovou vstřikovací formu (viz obr. 2.6). Jedná se o formu s jednou dělicí rovinou, kterou je forma rozdělena na pevnou a pohyblivou polovinu. Pevná polovina formy obsahuje pevnou část dutiny, středící kroužek a vtokovou vložku. Pohyblivá polovina formy obsahuje pohyblivou část dutiny, jádra a vyhazovací kolíky. Během procesu vstřikování je tavenina plastu přiváděna přímo z trysky stroje skrz vtokovou vložku, rozváděcí kanály a vtokovým ústím do dutiny formy, která je taveninou vyplněna. Po zchlazení taveniny v dutině je vytvořen finální produkt, který je společně se zatuhlou vtokovou soustavou vyhozen z formy posuvným pohybem vyhazovacího systému vpřed [5].



Obr. 2.6 Schéma dvoudeskové vstřikovací formy [7]

Dále jsou shrnuty běžné komponenty vstřikovacích forem a jejich nejdůležitější funkce.

Upínací deska pevné poloviny formy

Přes upínací desku je pevná polovina formy připevněna ke vstřikovacímu stroji. Dále upínací deska slouží k fixaci tvarové desky, středícího kroužku a vtokové vložky. U některých forem může být upínací deska a tvarová deska sloučena v jednu silnější desku [5].

Středící kroužek

Středící kroužek je část formy, která musí přesně lícovat s otvorem v upínací desce vstřikovacího stroje (zajišťuje lícování vstřikovací formy s tryskou stroje). Jelikož jsou u vstřikovacích strojů používány v upínacích deskách odlišné průměry, je důležité mít informaci o stroji, na který je forma navrhována a zvolit tak správnou velikost středícího kroužku [5].

Vtoková vložka

Čelo vstřikovací trysky při vstřikování dosedá na vtokovou vložku, skrze kterou je tavenina dopravována vnitřním kuželovým otvorem přes celý vtokový systém až do dutiny formy. Kuželový otvor ve středu vtokové vložky se může lišit velikostí a úhlem dle potřeby. Délka vtokového kužele by měla být co nejkratší, čímž jsou sníženy tlakové ztráty vtokového systému [5].

Tvarová deska pevné poloviny formy

Tvarová deska pevné poloviny obsahuje první část tvarové dutiny. Tvar dutiny může být vytvořen přímo do tvarové desky, nebo do samostatných tvárnic a jader, které jsou následně vloženy do kapes uvnitř tvarové desky. Tvarová deska společně s upínací deskou slouží rovněž k uchycení vodicích sloupků, které bývají nejčastěji umístěny do pevné poloviny formy [5].

Tvarová deska pohyblivé poloviny formy

Tvarová deska pohyblivé poloviny obsahuje druhou část tvarové dutiny. Stejně jako u tvarové desky pevné poloviny může být tvar dutiny vytvořen přímo do tvarové desky, nebo do samostatně vložených tvárnků a jader. V této desce jsou také umístěna vodicí pouzdra [5].

Podpěrná deska

Tato deska bývá umístěna pod tvarovou deskou pohyblivé poloviny formy a její funkcí je podepření tvarové desky pohyblivé poloviny, aby bylo zamezeno jejímu průhybu během vstřikování taveniny plastu do dutiny formy.

Rozpěry

Rozpěry jsou ocelové bloky obdélníkového průřezu, umístěné paralelně po stranách formy mezi upínací deskou a tvarovou deskou pohyblivé poloviny. Jsou ve formách používány k zajištění potřebné výšky pro pohyb vyhazovacího paketu, který je umístěn do prostoru mezi rozpěrami.

Upínací deska pohyblivé poloviny formy

Pomocí upínací desky pohyblivé části formy je připevněna pohyblivá polovina formy k pohyblivé upínací desce vstřikovacího stroje. K upínací desce je opět připevněn středící kroužek pro zajištění správné polohy formy ve vztahu s vodicím čepem pro vyhazování.

Přidržovací vyhazovací deska

Skrze tuto desku procházejí vyhazovací kolíky, trubkové vyhazovače, vraccí kolíky a vyhazovače vtoku, které jsou zároveň ukotveny za osazení na jejich koncích. Při vyhazování je tato deska tlačena vpřed vodicím čepem pro vedení vyhazování.

Hlavní vyhazovací deska

Hlavní vyhazovací deska je sešroubována společně s přidržovací vyhazovací deskou. Tím jsou pevně zafixovány vyhazovací kolíky, trubkové vyhazovače, vraccí kolíky a vyhazovače vtoku. Zároveň je v této desce ukotven vodicí čep vyhazování [5].

Dorazové destičky

Dorazové destičky bývají umístěny mezi upínací desku pohyblivé poloviny a hlavní vyhazovací desku. Připevněny mohou být na libovolné z nich. Používají se jako zarážky vyhazovacího paketu, když se vyhazovací systém vrací při zavírání formy [5], a zajišťují tak přesnou kontrolu zdvihu vyhazovacího paketu [4].

Podpěrné válce

Podpěrné válce jsou nejčastěji tyče kruhového průřezu umístěné mezi podpěrnou deskou nebo tvarovou deskou a upínací deskou pohyblivé poloviny. Mají stejnou výšku jako rozpěry. Podpěrné válce fungují jako dodatečná podpora, aby se předešlo prohnutí tvarové desky [5].

Vyhazovač / přidržovač vtoku

Při otevírání vstřikovací formy je v některých případech nutné zajistit, aby vtokový kužel s rozváděcími kanály byl oddělen od pevné poloviny formy a zůstal na pohyblivé polovině. Tuto funkci zajišťuje přidržovač vtoku, který může být zároveň také vyhazovačem vtoku, kterým je pak vyhozen zachycený vtokový systém spolu se vstřikovaným dílem [4].

Vyhazovací kolíky

Vyhazovací kolíky vstupují do dutiny formy a jsou zarovnány s jejím povrchem. Úkolem vyhazovacích kolíků je uvolnit vstřikovanou součást z tvárníku při otevření formy.

Vraccí kolíky

Vraccí kolíky se při zavírání formy dostávají do kontaktu s tvarovou deskou pevné poloviny. Tím dochází k vrácení vyhazovacího paketu do své výchozí polohy.

Vodící sloupky

Vodící sloupky jsou broušené ocelové kolíky umístěné v rozích formy, buď na pohyblivé nebo pevné polovině formy. Jejich úkolem je zajištění vyrovnání desek při zavírání formy [5].

Vodící pouzdra

Vodící pouzdra jsou namontována do druhé poloviny formy než vodící sloupky a slouží pro jejich navádění a uložení.

Centrovací pouzdra

Centrovací pouzdro zajišťuje správnou polohu desek, kterými prochází [4]. Nejčastěji jsou používána pro zajištění přesné vzájemné polohy upínací desky, rozpěr a podpěrné desky.

Izolační desky

V případech, kdy je vstřikovací forma temperována na vyšší teplotu, většinou vyšší než 40 °C, je potřeba formu tepelně izolovat od upínacích desek stroje. Izolační desky jsou připevňovány z vnější strany na upínací desky vstřikovací formy.

Vodící čep pro vyhazování

Vodící čep pro vyhazování je používán pro spojení vyhazovacího paketu s vyhazovacím systémem vstřikovacího stroje.

2.5 Konstrukční typy vstřikovacích forem

Podle konstrukce lze vstřikovací formy rozdělit na dvoudeskové, třídeskové, vytáčecí, čelistové, etážové, tandemové a speciální. V následujících podkapitolách je věnována pozornost konstrukčním řešením dvoudeskové a třídeskové formy, které jsou zpravidla nejpoužívanější.

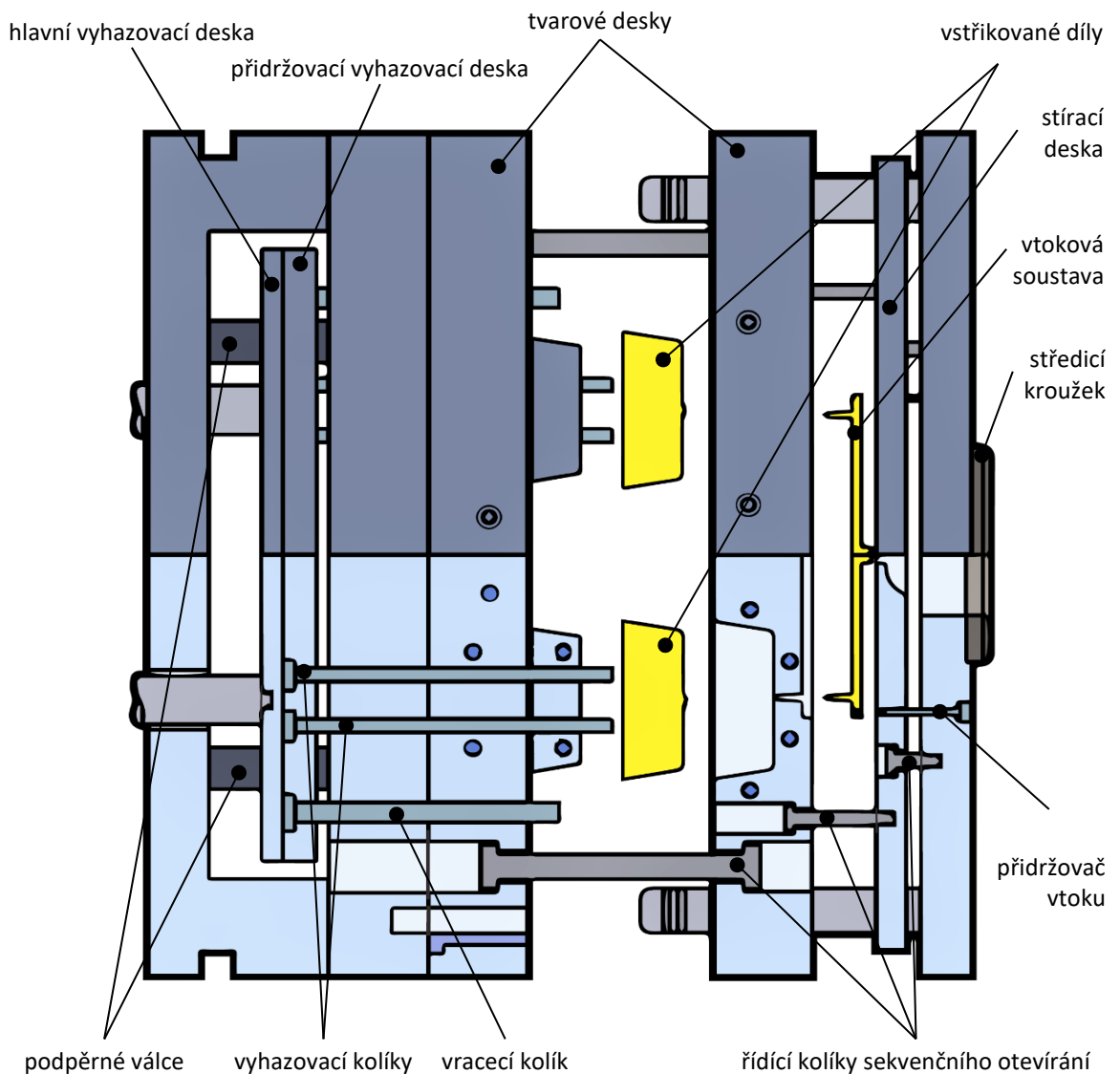
2.5.1 Dvoudeskové vstřikovací formy

Dvoudesková forma je jednou z nejběžnějších a nejjednodušších konstrukčních variant vstřikovacích forem s jednou dělicí rovinou. Skladba dvoudeskové formy byla již popsána v kapitole 2.4, kde byla uvedena jako typický představitel vstřikovacích forem. Jejimi výhodami jsou především konstrukční jednoduchost a výrobní cena. Další výhodou může být dostupnost široké škály standardizovaných komponent a předobrobených desek, které přispívají k velmi rychlé výrobě dvoudeskových vstřikovacích forem.

2.5.2 Třídeskové vstřikovací formy

Hlavní rozdíl oproti dvoudeskové formě je v otevírání formy ve dvou hlavních místech. Na obrázku 2.7 je znázorněno schéma plně otevřené třídeskové formy. Sekvence otevírání formy je obvykle řízena spojovacím systémem mezi třemi hlavními deskami. Forma je nejprve otevřena v primární dělicí rovině, která odpovídá dělicí rovině vstřikovaných dílů. Při otevírání dochází

k oddělení vstřikovaných dílů od bodového ústí vtoku a také k oddělení od tvárnice. Poté je forma otevřena v sekundární dělicí rovině rozváděcího kanálu, aby bylo usnadněno vyjmutí vtokové soustavy. Nakonec stírací deska oddělí vtokovou soustavu od přidržovače vtoku a zároveň vyhazovací kolíky uvolní vstřikované díly z formy [8].



Obr. 2.7 Schéma otevřené třideskové vstřikovací formy

Na rozdíl od konvenčních dvoudeskových vstřikovacích forem, třideskové formy umožňují umístění vtoku přímo do středových ploch dílu. Umístění vtoku vprostřed je výhodné pro díly miskovitěho tvaru nebo pro velké díly, které vyžadují kaskádovitě vtokové ústí napříč plochou. Nevýhodou je složitější konstrukce formy a větší množství odpadu způsobeného větší délkou rozváděcích kanálů. Kromě toho bodové ústí vtoku, které je vyžadováno pro jeho čisté automatické oddělování, může generovat vysoké smykové napětí vedoucí k degradaci materiálu, a malý průřez vtoku může vést k menší efektivitě dotlaku. Vzhledem k výše zmíněným

nevýhodám nejsou třideskové formy doporučovány pro zpracování materiálů citlivých na smykové namáhání. Takovým materiálem může být například materiál SMA, PC/ABS [9], nebo materiály obsahující některá barviva a retardéry hoření [8].

2.6 Vtokové systémy

Vtokové systémy jsou určeny k dopravě taveniny plastu od trysky vstřikovacího stroje do dutiny formy. Podle jejich provedení je lze rozdělit na studené vtokové systémy a vyhřívané vtokové systémy.

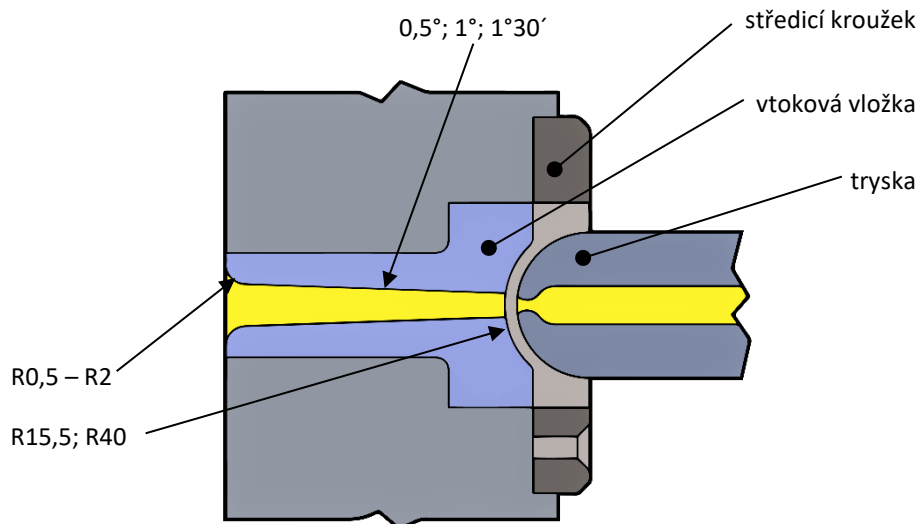
U vstřikovacích forem používajících studený vtokový systém dochází k zatuhnutí vtokového systému, který je buď součástí výrobku, nebo dochází k jeho odstranění během odformování výrobku. Výhodou studených vtokových systémů je levnější a jednodušší provedení formy, zejména vícenásobných, než je tomu u vyhřívaných vtokových systémů. Nevýhodou je větší spotřeba materiálu.

Formy s vyhřívanými vtokovými systémy využívají vytápěné nebo izolované rozváděcí kanály. Jejich hlavním smyslem je efektivní rozvod taveniny do dalece rozptýlených vtokových ústí s malou tlakovou ztrátou a minimálním poklesem teploty taveniny. Tím může být dosaženo efektivnějšího plnění dutiny formy a následného dotlaku, čímž může být dosažena vyšší přesnost vstřikovaného dílu. Další výhodou oproti studeným vtokovým systémům je značná úspora materiálu, jelikož nedochází k zatuhnutí vtokové soustavy během každého cyklu. Nevýhodami při použití horkých rozvodů jsou zvýšené náklady na konstrukci formy, náročnější údržba a potřeba energetického připojení [8].

V následujících kapitolách je věnována pozornost zejména studeným vtokovým systémům. Ty jsou nejčastěji složeny z vtokového kužele, hlavních a vedlejších rozváděcích kanálů, ústí vtoku, přidržovače vtoku a případně zachycovače studeného čela taveniny.

2.6.1 Vtokový kužel

Vtokovým kuželem je tavenina plastu dopravována od ústí trysky stroje do požadované hloubky formy, obvykle do dělicí roviny. Vtokový kužel je nejčastěji do formy umístován v podobě vtokové vložky s kuželovým otvorem (viz obr. 2.8), která je dostupná jako standardizovaný díl. Provedení vtokové vložky závisí na potřebné délce, požadovaném úkosu, velikosti rádiusu kulového zakončení trysky a průměru trysky stroje, kde je obecně doporučeno, že vstupní průměr vtokového kužele by měl být větší o 0,5 až 1 mm, než je průměr trysky stroje [8].

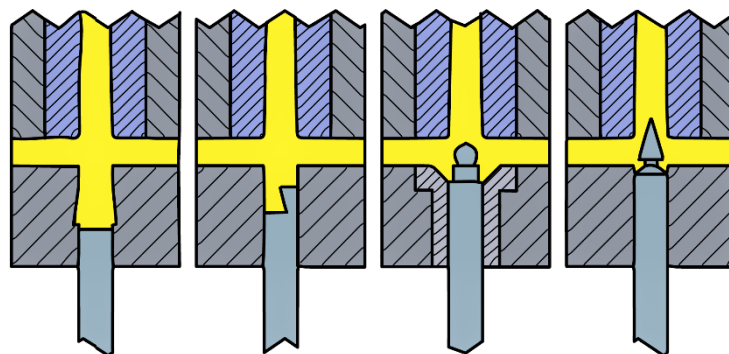


Obr. 2.8 Základní princip vtokové vložky [4, 10]

Návrh vtokového kužele má významný vliv na efektivitu procesu vstřikování. Je snahou navrhnout vtokový kužel co nejkratší, aby byly sníženy tlakové ztráty a množství technologického odpadu. Dále je nutné zvolit odpovídající vstupní průměr ke vstřikovanému polymeru. Například amorfní polymery jako je SAN, ABS a ASA vyžadují větší průměr vtokového kužele a rozváděcích kanálů, než je tomu u semikrystalických polymerů jako je PA6 nebo PBT [8]. U velkých dílů nebo dílů, u kterých je potřebná vysoká plnicí rychlost, je vyžadován větší průměr vstupního otvoru vtokového kuželu, aby bylo zabráněno problémům spojených s nadměrným smykovým namáháním taveniny plastu [8]

2.6.2 Přidržovač vtoku

Přidržovač vtoku je tvořen záměrně vyrobeným podkosem, který je při vstřikování zastříknut taveninou plastu a při otevírání formy zadržuje zatuhlou vtokovou soustavu na straně formy, ze které bude následně vyhozena vyhazovačem či stírací deskou. Na obrázku 2.9 jsou zobrazeny různé varianty přidržovačů, kde je podkos vytvořen buď na vyhazovači vtoku, nebo v otvoru, kterým vyhazovač vtoku prochází.

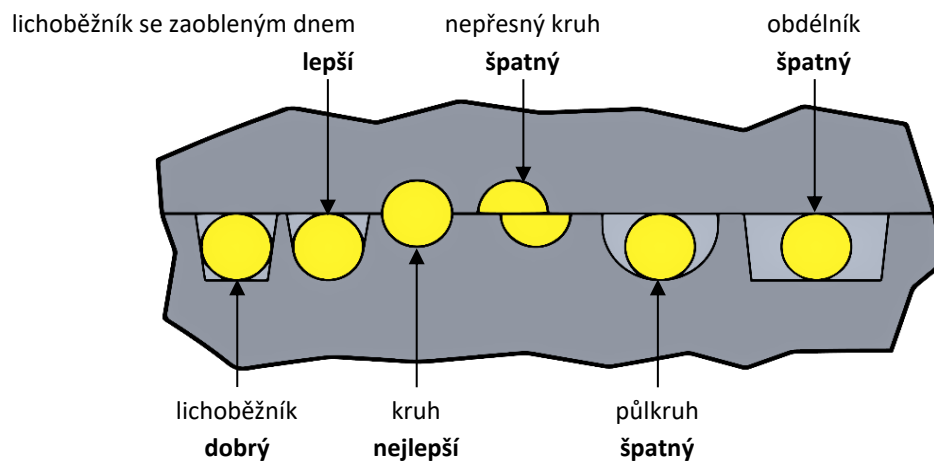


Obr. 2.9 Různé varianty provedení přidržovače vtoku

2.6.3 Rozváděcí kanály

Na rozdíl od vtokových kuželů, kterými je tavenina dopravována v kolmém směru na tvarové desky formy, rozváděcí kanály obvykle vedou taveninu obroběnými kanály v dělicí rovině. Návrh rozváděcího kanálu ovlivňuje kvalitu vstříkovaného dílu a efektivitu procesu vstříkávání. Příliš velké průřezy rozváděcích kanálů mohou zbytečně prodlužovat dobu cyklu a zvyšovat množství technologického odpadu. V opačném případě příliš malé průřezy vedou ke zvýšení tlakových ztrát, s čímž jsou spojené vysoké vstříkovací tlaky, rychlosti a smykové namáhání taveniny. Optimální konstrukce rozváděcích kanálů vyžaduje rovnováhu mezi snadným plněním dutiny, proveditelností výroby rozváděcích kanálů a množstvím technologického odpadu [8].

Na obrázku 2.10 níže jsou zobrazeny příklady vhodných a nevhodných řešení rozváděcích kanálů. U kruhového průřezu je minimalizován kontakt s povrchem formy, takže zamrzlá vrstva zaujímá nejmenší část průřezu. Nicméně kruhové průřezy je nutné obrábět do obou polovin formy, což může vést k problémům s nepřesností (viz obr. 2.10). Používanější variantou je lichoběžníkový průřez se zaobleným dnem, který vyžaduje obrobení pouze jedné poloviny formy. V podstatě se jedná o kruhový průřez se stranami rozšířenými o 5°. Toto řešení je z hlediska vedení taveniny téměř stejně efektivní jako kruhový průřez [8].



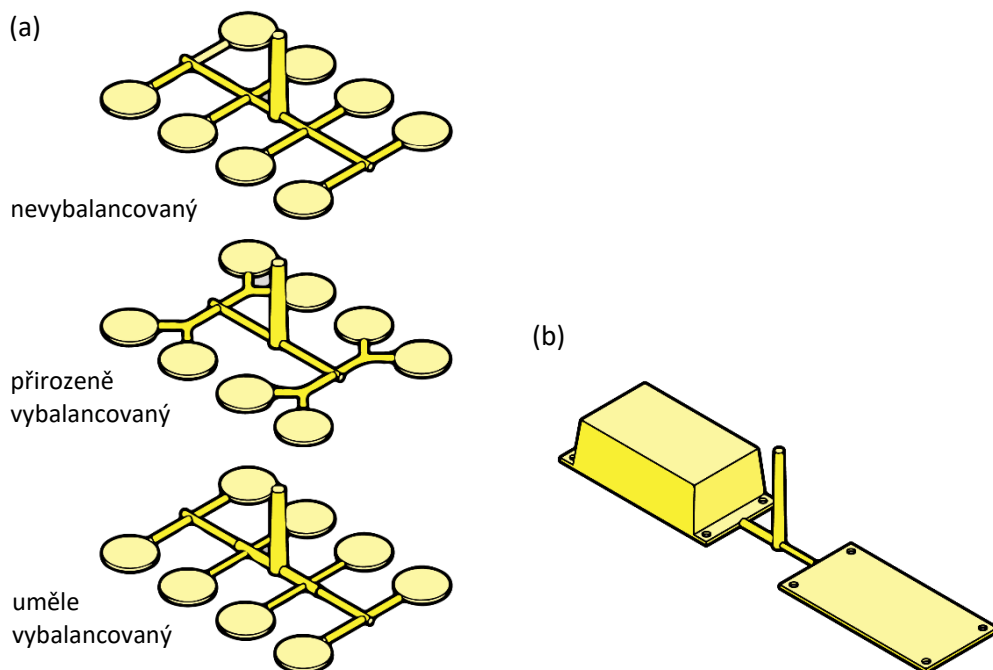
Obr. 2.10 Příklady průřezů rozváděcích kanálů [8]

Návrh optimální šířky rozváděcích kanálů je závislý na více faktorech, jako jsou například objem a tloušťka stěny vstříkovaného dílu, vstříkovací rychlost a tlak, délka rozváděcích kanálů a viskozita vstříkovaného polymeru. Při navrhování rozváděcích kanálů je nutno brát v potaz následující doporučení. V první řadě je důležité navrhovat rozváděcí kanály co nejkratší, aby byly minimalizovány tlakové ztráty, nedocházelo k poklesu teploty taveniny a bylo redukováno množství technologického odpadu. Pro efektivní aplikaci dotlaku je potřebné navrhnout šířku rozváděcího kanálu alespoň stejně velkou jako je nominální tloušťka stěny dílu. S rostoucí délkou rozváděcích kanálů je nutné úměrně zvětšovat i velikosti průřezů. Při návrhu rozváděcích kanálů je

nutno vzít v potaz i materiálové hledisko. Amorfnní polymery vyžadují širší rozváděcí kanály, než je tomu u semikrystalických polymerů [8]. Stanovení velikosti průřezů hlavních a vedlejších rozváděcích kanálů je v současnosti běžně realizováno pomocí simulačních softwarů (např. CADMOULD nebo SIGMASOFT).

2.6.4 Rozváděcí kanály u vícenásobných forem

Rozváděcí kanály pro vícenásobné formy vyžadují speciální pozornost. Rozváděcí kanály pro tzv. „family” formy (viz obr. 2.11 b), kterými jsou produkovány rozdílné díly nebo sestavy najednou, by měly být navrženy tak, aby plnění dutin formy bylo dokončeno ve stejný čas. Jinak by mohlo docházet k problémům například s dotlakem, což by mohlo vést k odlišné míře smrštění jednotlivých dílů a celkově špatné kontrole nad jejich kvalitou. Pro umělé vybalancování vtokové soustavy (viz obr. 2.11 a) je dobrým nástrojem počítačová simulace plnění forem, pomocí které lze systematicky upravovat délky nebo velikosti průřezů jednotlivých rozváděcích kanálů tak, aby bylo docíleno vyváženého toku do každé dutiny. Stejným způsobem lze balancovat vtokové soustavy pro vícenásobné formy, kterými je produkováno větší množství stejných dílů. Další možností k dosažení rovnoměrného plnění je přirozené balancování rozváděcích kanálů (viz obr. 2.11 a), které je zajištěno stejnou délkou od vtokového kužele do ústí jednotlivých dutin formy [8].



Obr. 2.11 (a) Možnosti návrhu rozváděcích kanálů z hlediska vybalancování toku, (b) Vybalancování rozváděcích kanálů u "family" formy [8]

2.6.5 Typy ústí vtoku

Kromě speciálních případů, jako je přímý kuželový vtok, který ústí přímo do dutiny formy, ústí vtoku spojuje rozváděcí kanály a dutinu formy. Vtoky plní dvě hlavní funkce, z nichž obě

vyžadují, aby tloušťka vtoku byla menší, než je tloušťka rozváděcích kanálů a stěny vstřikovaného dílu. První funkcí je zatuhnutí taveniny v zúženém místě vtoku, aby bylo zabráněno po ukončení fáze dotlaku zpětnému unikání taveniny z dutiny formy do rozváděcích kanálů. Fáze dotlaku tak může být ukončena ještě před tím, než dojde k úplnému zatuhnutí taveniny v dutině formy a ve vtokové soustavě. Tím je ušetřena nejenom energie, ale také vstřikovací stroj a forma před delším namáháním, a do dílu je vnášeno menší vnitřní pnutí. Druhou funkcí vtokového ústí je vytvoření zeslabeného místa, ve kterém dochází ke snadnému oddělení zatuhlé vtokové soustavy od vstřikovaného dílu [8].

Faktory ovlivňující optimální velikost průřezu zahrnují tloušťku stěny a objem vstřikovaného dílu, dále rychlost plnění, reologické vlastnosti polymeru a násobnost vtoků. Velikostí průřezu vtoku je přímo ovlivněna efektivita dotlaku. Pro správnou funkci dotlaku je důležité, aby vtok zůstal otevřený po dostatečně dlouhou dobu, během které může být tavenina doplňována do dutiny formy za účelem kompenzování smrštění. Obecně jsou nejčastěji pro neplněné materiály používány vtoky o velikosti 1/2 tloušťky stěny dílu. Pro díly, u kterých je vyžadována vysoká kvalita povrchu, nebo je velké riziko vzniku propadlin způsobených například přítomností žeber či jinou kumulací materiálu a dílů vyrobených z plněných materiálů je doporučená velikost vtoku 2/3 tloušťky stěny dílu [8].

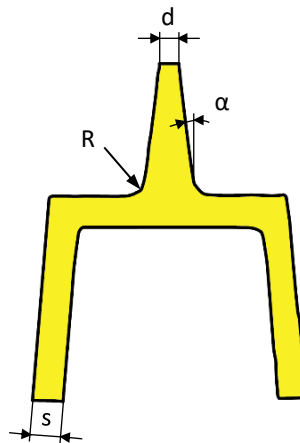
Umístění vtokového ústí má přímý dopad na kvalitu, vzhled a cenu vstřikovaného dílu, a dále také na efektivitu procesu vstřikování. Proto by umístění vtoku mělo být pečlivě zváženo a měla by být brána v potaz následující doporučení:

- vtok by měl být umístěn do místa s největší tloušťkou stěny výrobku,
- vtok by měl být umístěn do geometrického středu dutiny, aby bylo zajištěno rovnoměrné plnění,
- pokud je požadována větší přesnost vstřikovaného dílu, je potřeba brát v potaz rozdíly podélného a příčného smrštění, zvláště pak u semikrystalických a plněných polymerů,
- vtok by měl být umístěn ve směru orientace žeber, pro lepší zatékání taveniny,
- vtok by měl být umístěn mimo pohledové nebo namáhané plochy,
- u obdélníkových tvarů výrobků by měl být vtok umístěn ve směru delší strany,
- vtok by měl být umístěn tak, aby umožnil únik vzduchu z dutiny,
- vtok by měl být umístěn tak, aby bylo minimalizováno riziko vzniku studeného spoje,
- vtok by měl být umístěn tak, aby bylo zabráněno vzniku volného toku taveniny (jetting),
- vtok by měl být umístěn tak, aby dráha proudění taveniny byla co nejkratší [11].

Jak již bylo zmíněno, v současné době jsou k dispozici simulační softwary, kterými lze určit optimální umístění vtoku. Nicméně tento návrh musí být zkontrolován a zhodnocen podle výše zmíněných doporučení zkušeným konstruktérem forem.

Přímý kuželový vtok

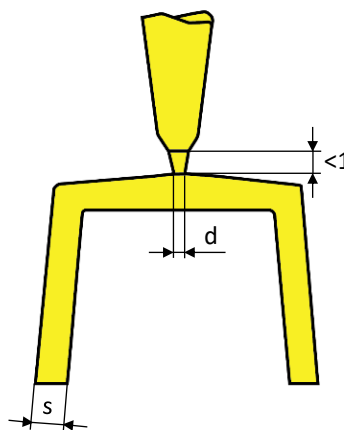
Přímý kuželový vtok (viz obr. 2.12) je v podstatě vtokový kužel ústící přímo do plochy dílu. Vtok je vhodný pro vstřikování jednoduchých silnostěnných výrobků nebo tam, kde je potřeba použití delšího dotlaku. Hlavní nevýhodou je nutnost odstranění vtokového kužele z dílu po jeho vyhození. Další nevýhodou může být použití pouze pro jednonásobné formy [9].



Obr. 2.12 Přímé kuželové ústí vtoku, s – tloušťka stěny dílu, R – rádius, α – úhel, d – průměr vtoku, $d \geq s$ [6]

Bodový vtok

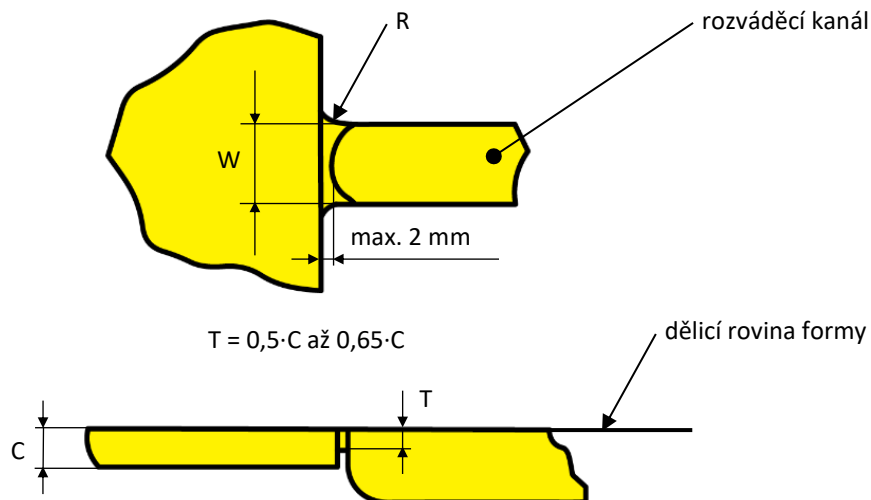
Bodový vtok (viz obr. 2.13) je vhodný pro tenkostěnné výrobky. V porovnání s plným kuželovým vtokem je jeho hlavní výhodou automatické oddělení od vstřikovaného dílu a dále malá stopa po odstraněném vtoku. Nevýhodou je velké smykové namáhání taveniny způsobené malým průřezem ústí vtoku, který je ale potřebný k bezproblémovému oddělení vtoku od vstřikovaného dílu. Proto bodový vtok není vhodný pro materiály, které jsou citlivé na zvýšené smykové namáhání.



Obr. 2.13 Bodové ústí vtoku, s – tloušťka stěny dílu, d – průměr vtoku, $d \leq 2/3 s$ [6]

Filmový (boční) vtok

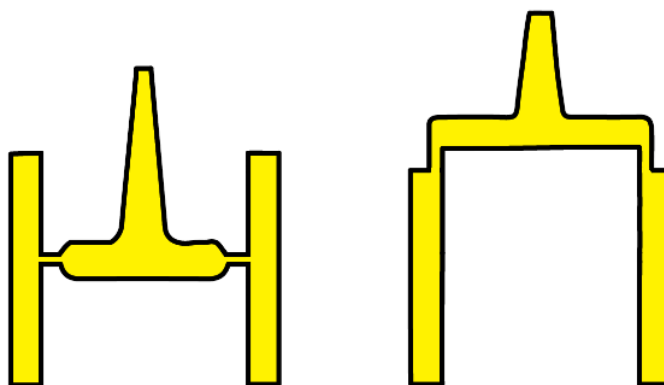
Filmový vtok (viz obr. 2.14) je vtok s obdélníkovým průřezem umístěný v dělicí rovině. Používá se pro plošné deskovité výrobky. Tento typ ústí vtoku je vhodný pro vstřikování plněných materiálů např. skelnými vlákny, polymerů citlivých na smykové namáhání během fáze plnění, materiálů s nízkou tekutostí. Dále se filmový vtok používá u vstřikovaných dílů s vysokými požadavky na kvalitu povrchu nebo velkoobjemových dílů (automobilový nárazník, palubní deska apod.). Výhodou filmového vtoku jsou podstatně nižší tlakové ztráty, než je tomu u samooddělovacích typů vtoků, ale naopak jeho nevýhodou je nutnost následného odstranění vtokového zbytku ze vstřikovaného dílu po vyhození z formy.



Obr. 2.14 Filmové (boční) ústí vtoku, R – rádius, T – tloušťka vtoku, C – tloušťka stěny dílu, W – šířka vtoku [4]

Talířový a deštníkový vtok

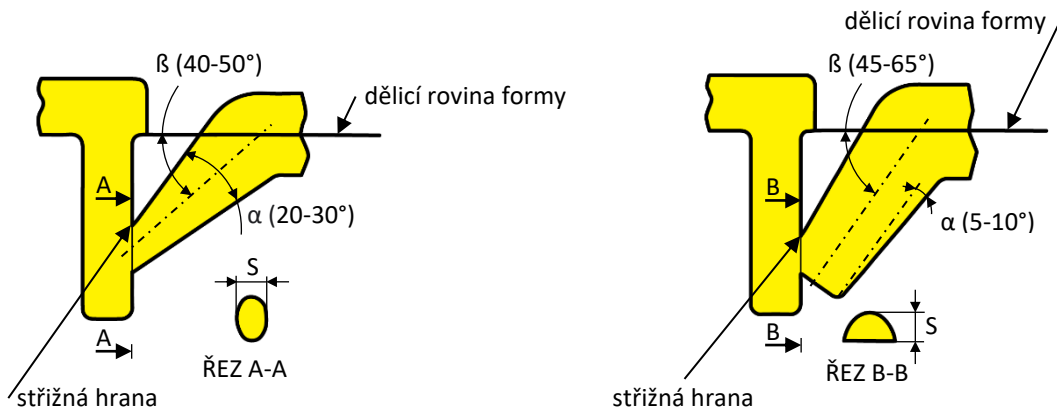
Talířový a deštníkový typ vtoku (viz obr. 2.15) je vhodný pro vstřikování dílů kruhového tvaru. Geometrie vtoku umožňuje rovnoměrné plnění dutiny bez vzniku studených spojů. Nevýhodou může být větší míra technologického odpadu a nutnost řešení odstranění vtokového zbytku od vstřikovaného dílu.



Obr. 2.15 Talířové ústí vtoku (vlevo) a deštníkové ústí vtoku (vpravo) [6]

Tunelový vtok

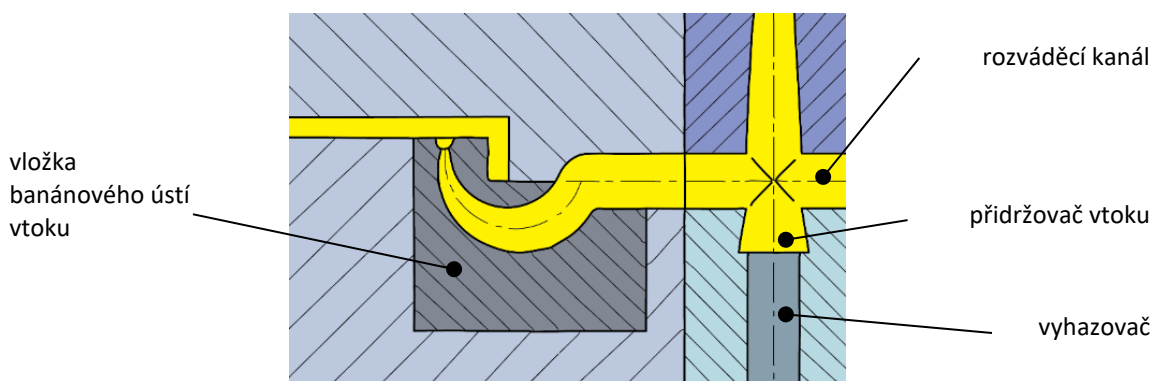
Tunelový vtok (viz obr. 2.16) je možné umístit do ploch, které jsou mimo dělicí rovinu. Zajišťuje automatické oddělení vtokového systému od vstřikovaného dílu, kdy je vtok oddělen střížnou hranou při vyhazování. Modifikace standardního tunelového ústí (viz obr. 2.16 vpravo) je navržena tak, aby bylo dosaženo konstantního průřezu tunelového vtoku až ke stěně vstřikovaného dílu [4].



Obr. 2.16 Tunelové ústí vtoku (vlevo), modifikované tunelové ústí vtoku (vpravo), S – efektivní průřez vtoku, β – úhel sklonu tunelového vtoku, α – kuželovitost tunelového vtoku [4]

Banánový vtok

Banánový vtok je možné umístit do protilehlé strany, než z které je přiváděna tavenina. Tento typ ústí vtoku tedy umožňuje umístění vtoku do nepohledové plochy vstřikovaného výrobku. Při vyhazování je vtok od vstřikovaného dílu snadno oddělen. Banánový vtok bývá vyroben jako standardizovaná vložka (viz obr. 2.17), z důvodu náročných požadavků na jeho návrh a výrobu [4]. Další výhody a nevýhody korespondují s výše popsaným bodovým vtokem.



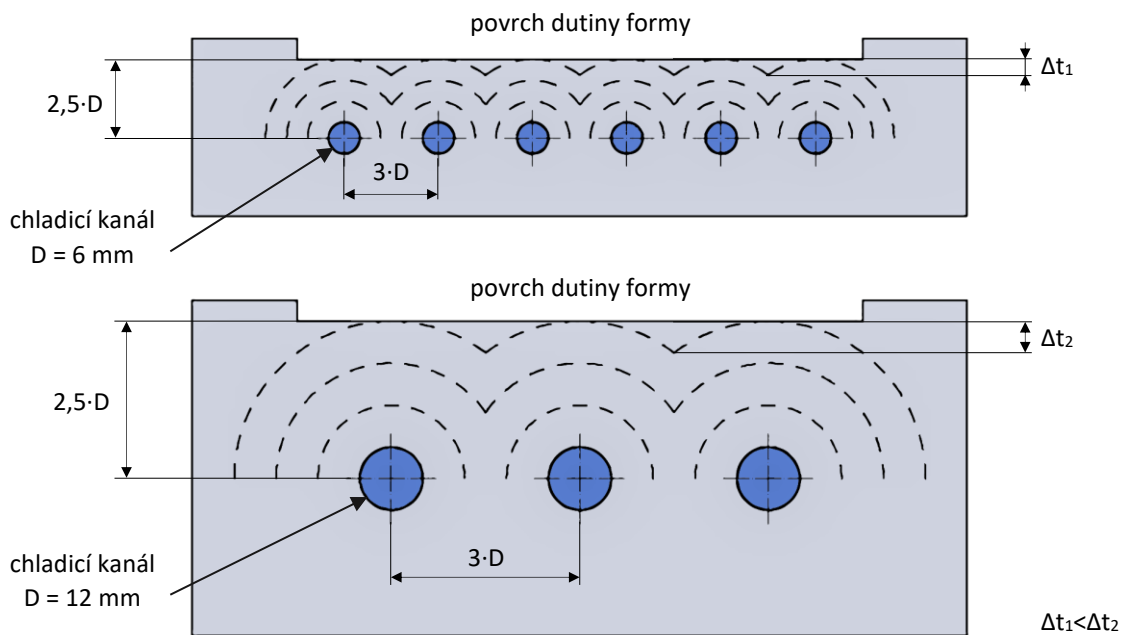
Obr. 2.17 Banánové ústí vtoku (standardizovaná vložka) [4]

2.7 Chlazení a temperace

Doba vstřikovacího cyklu je do značné míry předurčena odvodem tepla z povrchu dutiny formy. Navzdory tomu je konstrukce chladicích kanálů často řešena až po dokončení návrhu vtokového systému a rozmístění dutin formy. V mnoha případech musí být také vytvořen

kompromis mezi návrhem chladicího a vyhazovacího systému. Z těchto důvodů je velmi často návrh chlazení navržen tak, aby spíše vyhovoval dostupnému prostoru a snadnému obrábění, než termodynamickým potřebám vstřikovaného dílu a vstřikovací formy [8].

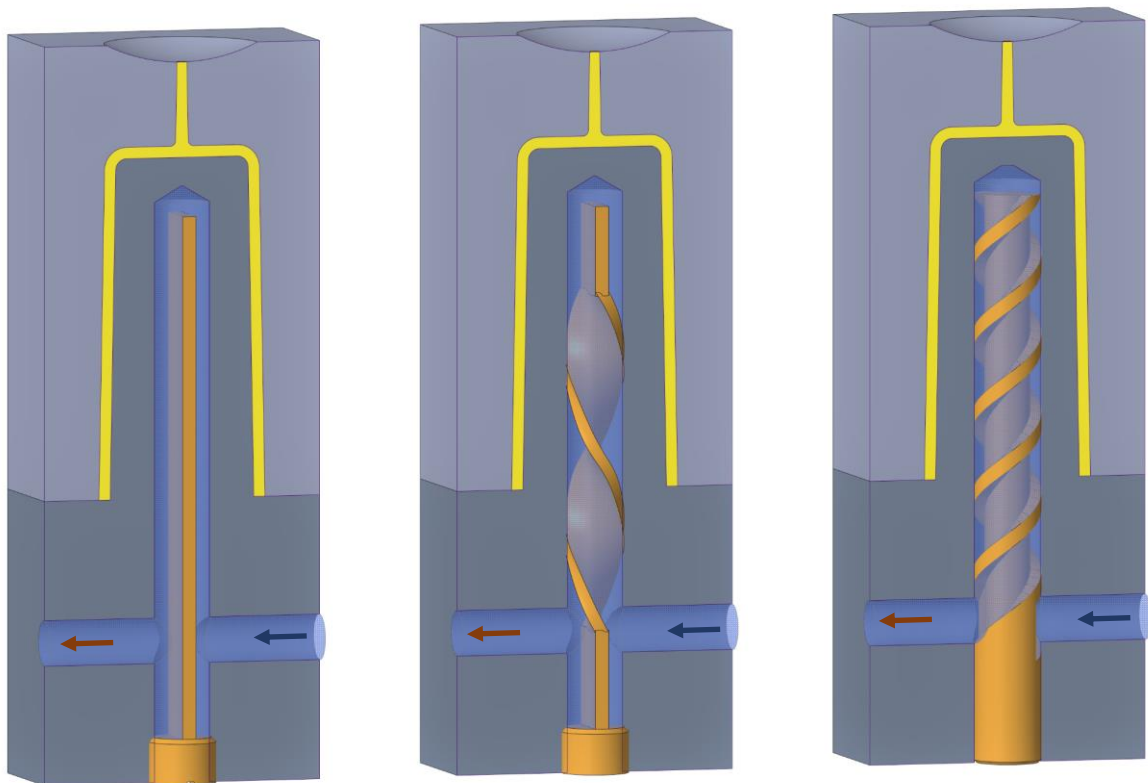
Správný návrh systému chlazení musí zajišťovat rovnoměrné a efektivní odvádění tepla z povrchu dutiny formy. V případě, že tomu tak není, je výsledkem rozdílné smrštění vstřikovaného dílu, které zapříčiňuje nežádoucí deformace dílu, případně vznik vnitřního napětí [8]. Účinnost a rovnoměrnost chlazení jsou dány především velikostí průměrů chladicích kanálů, jejich vzdáleností od povrchu dutiny formy a roztečí mezi jednotlivými chladicími kanály. Pro rovnoměrnější odvod tepla z povrchu dutiny formy je vhodné použít chladicí kanály menších průřezů, které mohou být umístěny blíže k sobě a ve větším počtu (viz obr. 2.18). Volba velikosti průměrů chladicích kanálů je ovlivňována tloušťkou stěny dílu, velikostí formy a dostupným prostorem pro umístění chladicích kanálů. Průměry chladicích kanálů se pohybují nejčastěji v rozmezí 5–20 mm [4]. Pro malé chladicí kanály do průměru 6 mm je potřeba chladicí systém provozovat s upraveným chladicím médiem, aby nedocházelo k rychlému zanášení chladicích kanálů například vodním kamenem [4]. V případě, že jsou chladicí kanály umístěny příliš blízko k povrchu dutiny formy, mohou na povrchu dutiny vzniknout chladnější místa, která by vedla k nerovnoměrnému chlazení. Naopak, pokud jsou chladicí kanály umístěny příliš daleko od povrchu dutiny, chlazení se sice stává rovnoměrnější, ale účinnost chlazení je snížena. Obecně je doporučováno umísťovat osy chladicích kanálů přibližně o 2,5násobek průměru chladicího kanálu od povrchu dutiny formy. Zároveň by mezera mezi středy chladicích kanálů neměla být větší, než je 3násobek průměru chladicího kanálu [8].



Obr. 2.18 Ovlivnění teploty povrchu formy rozmístěním chladicích kanálů

V některých případech, jako jsou například díly vyžadující dlouhá jádra, u kterých není možná výroba standardních vrtaných chladicích okruhů, je pro chlazení možné použít jiná konstrukční řešení, mezi které patří systém plochých a spirálových přepážek, dále systém tzv. fontánek, systém využívající tepelné trubice a vložky jader se spirálovou drážkou po obvodu [4]. Systém plochých a spirálových přepážek je vhodný pro jádra o větším průměru, než je 10 mm [5]. Účinnost chlazení je vyšší u spirálových přepážek z důvodu rovnoměrnějšího rozložení teploty. Systém fontánek je možné použít pro chlazení jader o průměru větším, než je 6 mm [5]. Oproti systému plochých přepážek je ale její účinnost chlazení menší. Systém využívající tepelné trubice je možné použít pro jádra o průměru 5 mm a více [5], nicméně účinnost chlazení je horší než u systémů fontánek, které jsou ale složitější na konstrukci. Pro větší průměry jader, zpravidla 20 mm a více, je možné aplikovat vnitřní vložky jader se spirálovou drážkou pro vedení chladicího média [5]. Pro ještě větší jádra o průměru 50 mm a více je možné použít konformní chlazení, které přesně kopíruje tvar výrobku a umožňuje tak nejúčinnější rovnoměrné chlazení.

Princip funkčnosti plochých a spirálových přepážek a vložky jádra se spirálovou drážkou je zobrazen na obrázku 2.19.



Obr. 2.19 Princip funkčnosti (zleva) ploché přepážky, spirálové přepážky, vložky jádra se spirálovou drážkou

Dalším aspektem, kterým je chlazení ovlivňováno, je tepelná vodivost materiálu tvárnic a tvárníků. V některých částech dutiny formy, kde je předpoklad špatného odvodu tepla, může být řešením použití vložek z materiálu s vyšší hodnotou tepelné vodivosti. Příkladem může být slitina

mědi Ampcoloy 940 ($\lambda = 208 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [12]), nebo beryliová měď C-17200 BeCu ($\lambda = 118 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [8]), které mají výrazně vyšší hodnotu tepelné vodivosti oproti běžně používané nástrojové oceli 1.2311 ($\lambda = 35 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ při $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [8]).

Uspořádání chladicích okruhů je často komplikováno skutečností, že chladicí kanály nesmí být vrtány v jedné tvarové desce příliš blízko jakéhokoli jiného otvoru či vybrání, které jsou vytvořeny pro vyhazovací kolíky, vodící pouzdra, vtokové vložky, samotné dutiny formy, vložky jader a další komponenty. Pro zachování dostatečné tuhosti formy a její optimální životnosti by tloušťka stěny mezi jednotlivými otvory ve tvarové desce neměla být menší než 5 mm [5].

2.8 Vyhazování

Po ztuhnutí a ochlazení vstřikovaného dílu je potřeba vyjmout díl z formy. Během ochlazování taveniny v dutině formy dochází k určité míře smrštění v závislosti na zpracovávaném materiálu a vstřikovaný díl je fixován v dutině adhezními silami a silami způsobenými vnitřním napětím. Vyhazovací systém musí tyto síly překonat a zajistit bezproblémové odformování vstřikovaného výrobku [13].

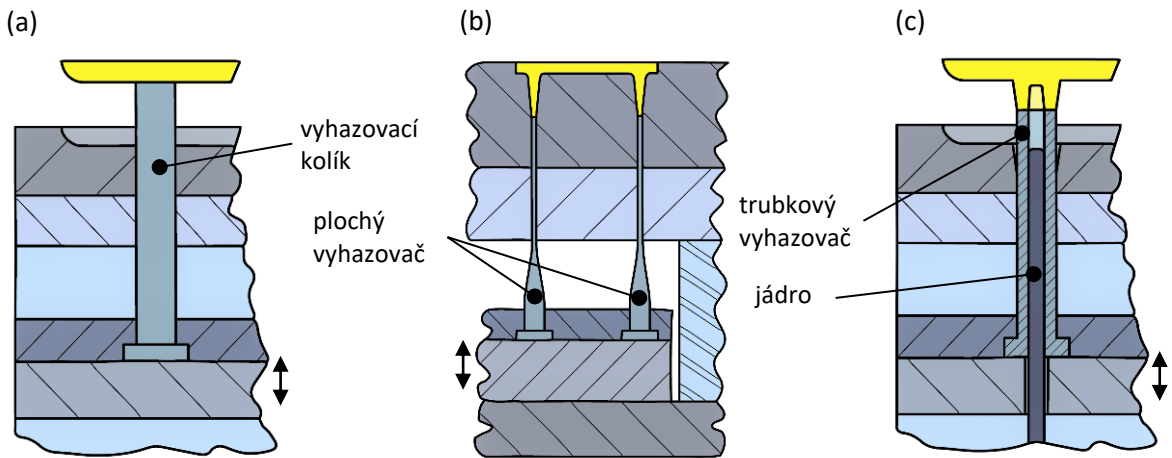
Vyhazovací systém je obvykle uložen v pohyblivé polovině formy a je ovládán pomocí hydraulického vyhazovacího systému stroje. Předpokladem pro vyhazování z pohyblivé poloviny formy je, že při otevření formy vstřikovaný díl zůstává na pohyblivé polovině. Toho lze dosáhnout orientací vstřikovaného dílu tak, aby byla jádra umístěna na pohyblivé polovině formy, nebo lze do nepohledových ploch dílu vytvořit nepatrné podříznutí tvořící podkos [13].

Pro vyhazování jsou nejčastěji používány vyhazovací kolíky, trubkové a ploché vyhazovače, stírací kroužky a desky, nebo stlačený vzduch.

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků, trubkových a plochých vyhazovačů

Systém vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků bývá nejběžnějším typem vyhazování, z důvodu snadného začlenění do konstrukce formy. Vstřikovaný díl je vyhozen pomocí ocelové tyče kruhového průřezu nazývané vyhazovací kolík. Na obrázku 2.20 (a) je zobrazen princip činnosti. Vyhazovací kolík je ukotven mezi přidržovací a hlavní vyhazovací deskou. K vyhazování dochází během pohybu celé sestavy dopředu. Při opětovném zavírání jsou vyhazovací kolíky vráceny zpět do původní polohy pomocí vraccích kolíků. Obdobným způsobem jsou používány ploché vyhazovače (viz obr. 2.20 b), které mají namísto kruhového průřezu obdélníkový tvar. Tyto vyhazovače jsou používány pro vyhazování tenkých prvků vstřikovaných dílů, jako jsou například žebra, kde by použití vyhazovacího kolíku nebylo efektivním řešením. Trubkové vyhazovače jsou nejčastěji používány pro vyhazování komínků pro šrouby nebo další montážní prvky. Jedná se opět o stejný princip vyhazování jako u vyhazovacích kolíků s tím rozdílem, že trubkový vyhazovač je

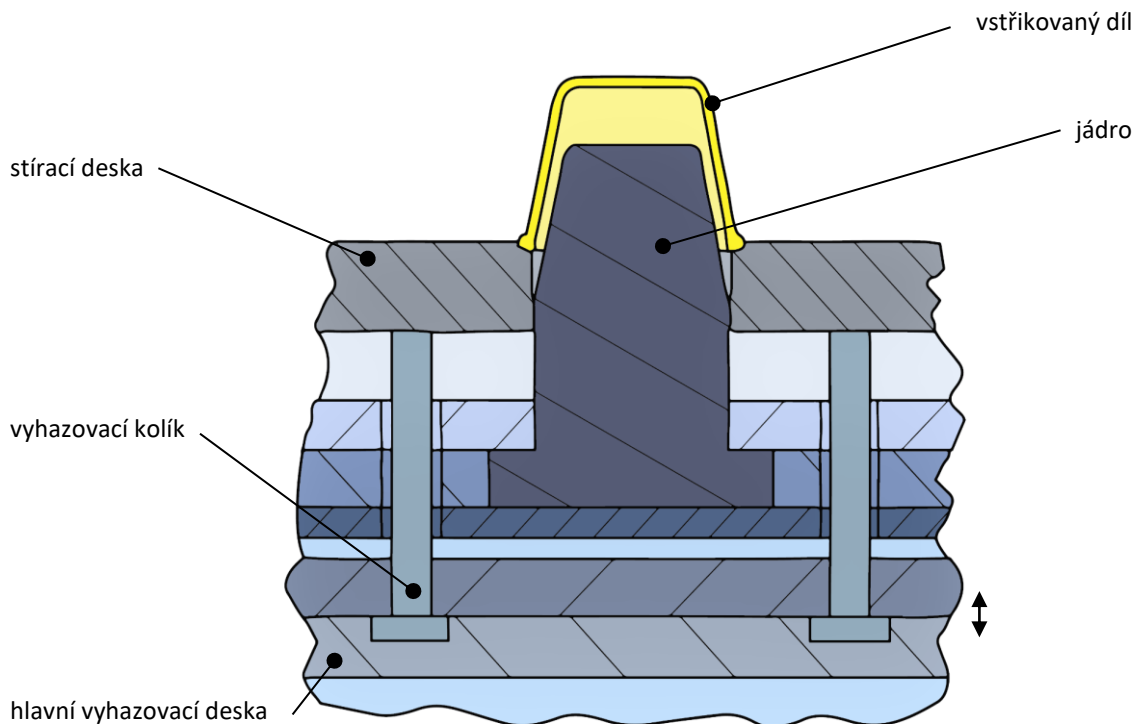
dutý a skrz jeho střed prochází jádro (viz obr. 2.20 c), kterým je formována například vnitřní geometrie komínku pro šroub [13].



Obr. 2.20 Principy vyhazování, (a) vyhazovací kolík, (b) plochý vyhazovač, (c) trubkový vyhazovač [5]

Vyhazování pomocí stíracích kroužků a desek

V případě vyhazování velmi hlubokých dutých dílů, které jsou pevně přichyceny na jádra, může být použití vyhazovacích kolíků pro jejich vyhození nedostatečné. V takovémto případě jsou používány stírací kroužky nebo desky. Princip činnosti stíracích desek a kroužků je zobrazen na obrázku 2.21 [13].



Obr. 2.21 Princip vyhazování pomocí stírací desky [5]

2.9 Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy

Dalším velmi důležitým aspektem při konstruování formy, na který musí být brán zřetel, je otázka správného odvzdušnění dutiny formy a vtokového systému. Nedostatečným odvzdušněním dutiny formy může být způsobena řada zpracovatelských problémů, kterými je ovlivněna kvalita vstřikovaných dílů [5].

Pro odvzdušnění dutiny formy je standardně dostačující mezera způsobená nerovnostmi v dělení formy a v uložení vyhadzovacích kolíků a jader. Pro nejjednodušší odvzdušnění má tedy značný vliv umístění dělicí roviny, orientace dílu a rozmístění vyhadzovacích kolíků. Proto bývají většinou běžně umísťovány vyhadzovací kolíky do míst s větším rizikem uzavření vzduchu, jako jsou například vrcholy komínků pro šrouby, žebra a další vyčnívající konstrukční prvky.

V případech, ve kterých je již výše zmíněný způsob odvzdušnění nedostačující, je nutné použít další možnosti odvzdušnění. Častým řešením odvzdušnění problematických míst především v nejbližších oblastech od vtoku je vytvoření odvzdušňovacích drážek v dělicí rovině. Tyto odvzdušňovací drážky jsou obvykle snadno vyrobitelné, snadno se udržují od nečistot a poskytují přímou cestu pro uzavřený vzduch unikající z formy [8]. Odvzdušňovací drážky jsou umísťovány s určitým odstupem podél rozváděcích kanálů a dutiny formy. Jednotlivé rozměry drážek jsou závislé na vstřikovaném typu materiálu. Obecně lze říct, že pro plast s nižší viskozitou jsou vyžadovány menší rozměry odvzdušňovacích kanálů a naopak [4]. Dalšími odvzdušňovacími prvky jsou vyhadzovací kolíky a jádra opatřená po stranách odvzdušňovací ploškou, lamelové odvzdušňovací vložky, vzduchové ventily a vložky ze spékanych kovů [5]. Odvzdušňovací prvky jsou umísťovány do míst, kde se předpokládá riziko uvíznutí vzduchu, např. uzavřené hluboké dutiny. Užitečným nástrojem může být opět simulace toku taveniny, pomocí které lze tato místa s uzavřeným vzduchem lépe předvídat a do návrhu formy začlenit odvzdušnění těchto oblastí.

2.10 Materiály pro jednotlivé komponenty vstřikovacích forem

Při výběru materiálů pro výrobu komponent formy musí konstruktér forem brát v úvahu řadu faktorů zahrnujících snadnou obrobitelnost, svařitelnost, odolnost proti abrazi, tvrdost, tepelnou vodivost, odolnost proti korozi a životnost. Používaných materiálů pro výrobu forem je celá řada. Příkladem mohou být jak slitiny lehkých kovů používané k výrobě prototypových forem, tak i vysoce legované oceli, které disponují vysokou pevností a tepelnou odolností a jsou používány k výrobě tvárnic a tvárníků [8]. V následující tabulce 2.1 je uveden výběr používaných materiálů, jejich důležitých vlastností a doporučené použití pro výrobu jednotlivých komponent vstřikovací formy [4].

Tab. 2.1 Vybrané materiály používané pro komponenty vstřikovacích forem [4]

OZNAČENÍ MATERIÁLU	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI	DOPORUČENÉ POUŽITÍ
1.0577	ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ OCEL dobrá svařitelnost, nekalená	obyčejné díly formy bez požadavku na vyšší mechanické vlastnosti
1.1730	NÁSTROJOVÁ OCEL desková ocel	netvrzené díly forem a přípravků, upínací desky forem, rozpěry
1.2083	PROKALITELNÁ OCEL částečná korozivzdornost, legovaná, vhodná k leštění	vložky dutin forem, tvarové desky
1.2085	NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená, korozivzdorná, dobrá obrobiteľnosť, legovaná	korozně odolné díly forem – vložky apod.
1.2162	OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ legovaná	desky forem
1.2210	ZA STUDENA OBRÁBĚNÁ OCEL odolnost proti opotřebení	jádrové kolíky, malé soustružené díly
1.2311	NÁSTROJOVÁ OCEL legovaná a předtvrzená vhodná pro nitridování a leštění	desky forem, vložky a mechanicky namáhané díly
1.2312	NÁSTROJOVÁ OCEL legovaná a předtvrzená, dobrá obrobiteľnosť	desky a díly vysoce mechanicky namáhané
1.2316	NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená, korozivzdorná, vhodná pro leštění	díly forem pro korozivní polymery
1.2738	NÁSTROJOVÁ OCEL předtvrzená ocel s rovnoměrnými mechanickými vlastnostmi	velké desky s hlubokými dutinami např. pro formy na nárazníky či přístrojové desky
1.7131	OCEL K LOKÁLNÍMU KALENÍ legovaná	vodicí elementy a jádra
1.2379	OCEL K PROKALENÍ rozměrová stálost, vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení, dobrá obrobiteľnosť	desky forem, vložky

2.11 Standardizované součásti a normálie pro vstřikovací formy

Aby bylo možné vyrábět vstřikovací formy rychle a ekonomicky, je k dispozici velké množství standardizovaných komponent. Mezi známé firmy zabývající se touto problematikou patří společnosti HASCO Hasenclever GmbH + Co KG a Meusburger Georg GmbH & Co KG.

Standardizované komponenty a normálie (viz obr. 2.22) zahrnují nevrtané i hotové vrtané desky a rámy forem, vložky dutin forem, vodící sloupky a pouzdra. Dále středící elementy pro vystředění formy v dělicí rovině, různé spojovací prvky pro sestavení formy, středící kroužky, izolační desky, vtokové vložky a vložky vtokových ústí, jádra, vyhazovače a další komponenty pro podporu odformování, prvky temperančních systémů, vložky do datumek, posuvné systémy, počítadla zdvihů, vyhřívané vtokové systémy a mnoho dalších komponent.



Obr. 2.22 Standardizované komponenty a normálie od firmy Meusburger Georg GmbH & Co KG, (a) rám formy, (b) vodící elementy, (c) středící elementy, (d) středící kroužky, (e) vložky do datumek, (f) vyhazovače a jádra, (g) prvky chladicích systémů, (h) vtokové vložky, (i) komponenty pro horké vtoky [14]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části diplomové práce jsem se zabýval návrhem vstřikovací formy na výrobu zkušebních těles pro technologii ultrazvukového svařování. Nejprve bylo vybráno zkušební těleso, pro které byla vstřikovací forma navržena. V dalším kroku byly shrnuty předvýrobní požadavky na vstřikovací formu a následně podle těchto požadavků byl vytvořen předběžný návrh. V předběžném návrhu byl zvolen způsob provedení vtokového systému, chladicího systému a systému vyhadzování. Dále byla definována dělicí rovina vstřikovaných dílů a způsob zaformování. Poté byla věnována pozornost volbě materiálů pro výrobu komponent formy a stanovení předpokládaného smrštění vstřikovaných dílů.

3.1 Volba zkušebního tělesa pro technologii ultrazvukového svařování

Hlavním kritériem pro volbu zkušebního tělesa byla geometrie odpovídajících produktů, které jsou v praxi spojovány pomocí technologie ultrazvukového svařování. Dalším kritériem byla možnost relevantního porovnávání vzorků vyrobených z různých polymerních materiálů a standardizace geometrie zkušebních těles. Podle výše zmíněných hledisek bylo pro výrobu zvoleno zkušební těleso DVS (viz obr. 3.1), které bylo již představeno v kapitole 2.1.1 teoretické části práce. Zkušební těleso DVS svým tvarem blíže reprezentuje reálné výrobky, je vhodné pro vyhodnocování a porovnávání obecné zkoušky svařitelnosti různých termoplastických materiálů a jeho geometrie je definována pokynem DVS 2216-1. Jako podklad pro výrobu byly použity detailnější výkresy zkušebních těles DVS, které jsou doplněny jako příloha č. 1 a 2. Podle těchto výkresů byly vytvořeny 3D modely zkušebních těles pro následující návrh vstřikovací formy.



Obr. 3.1 Vstřikované díly (zkušební těleso DVS)

3.2 Požadavky na konstrukci vstřikovací formy

Před zahájením návrhu konstrukce formy bylo potřeba stanovit veškeré požadavky a specifikace na konstrukci formy.

Požadavky a specifikace s vysokou prioritou:

- konstrukce vstřikovací formy s ohledem na nízké pořizovací náklady při zachování požadované kvality vstřikovaných dílů,

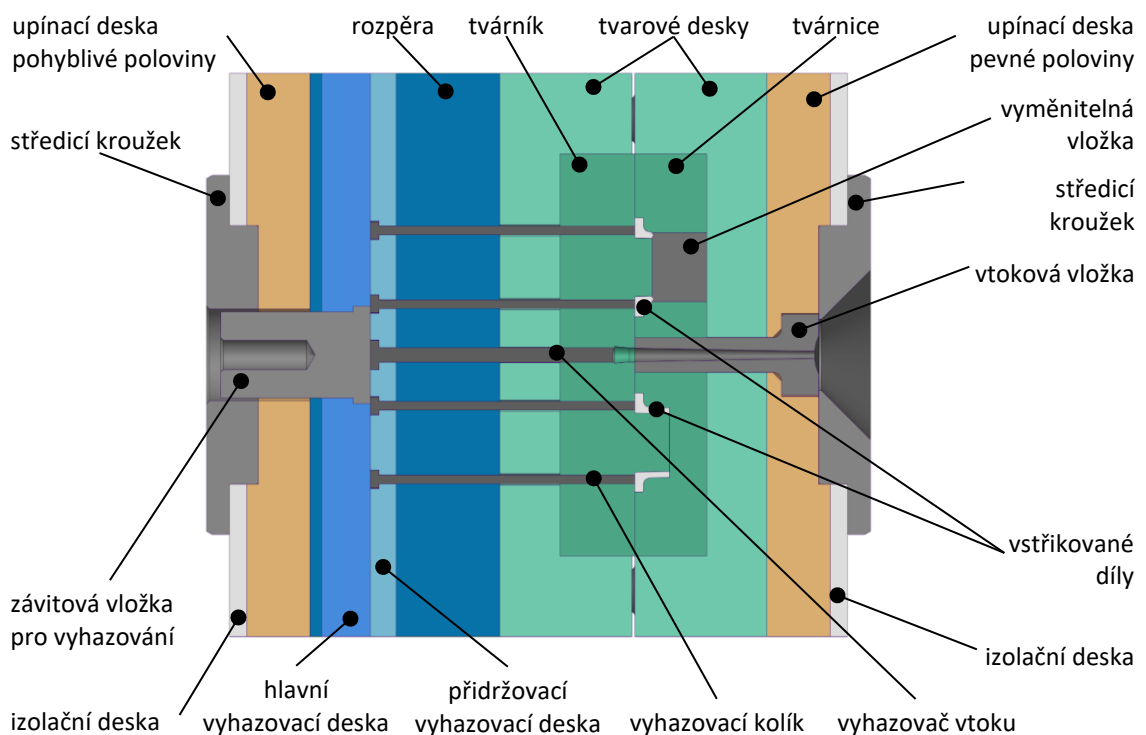
- vtoková soustava a dutina formy vhodná pro více druhů polymerních materiálů včetně polymerních kompozitů,
- stejné zpracovatelské podmínky obou protikusů,
- snadná modifikace tvaru koncentrátoru ultrazvukových kmitů,
- minimalizace vlivu technologie vstřikování na kvalitu vstřikovaných dílů (např. smykové namáhání taveniny),
- geometrická přesnost vstřikovaných dílů.

Ostatní požadavky a specifikace:

- kompatibilita se vstřikovacím strojem ARBURG ALLROUNDER 320 C,
- produkce zkušebních těles v laboratorních podmínkách,
- účinná temperace vstřikovací formy.

3.3 Předběžný návrh vstřikovací formy

Koncepce vstřikovací formy byla zvolena s ohledem na výše uvedené požadavky a specifikace. Pro návrh byla zvolena standardní dvoudesková vstřikovací forma (viz obr. 3.2). Mezi hlavní výhody dvoudeskové vstřikovací formy patří konstrukční jednoduchost, široká dostupnost normálií, a především nižší výrobní náklady v porovnání s ostatními typy vstřikovacích forem. Vzhledem k požadovanému zajištění stejných zpracovatelských podmínek obou částí je forma dispozičně řešena jako dvojnásobná a při jednom vstřikovacím cyklu jsou vyprodukovány oba díly současně.



Obr. 3.2 Schéma předběžného návrhu vstřikovací formy

3.3.1 Volba vtokového systému

Pro rozvod taveniny byl zvolen studený vtokový systém z důvodu nižších nákladů. Nevýhodou studených vtokových systémů je větší množství technologického odpadu. Jelikož jsou díly produkovány v laboratorních podmínkách v menším množství, je tato nevýhoda akceptována. Ústí studeného vtokového systému je tvořeno bočním vtokem. Pro co nejmenší ovlivnění vlastností materiálu průtokem taveniny a zároveň pro efektivní řízení dotlaku a dalších technologických parametrů byla velikost průřezů vtoků záměrně předimenzována. Nevýhodou bočního ústí vtoku je nutnost následného odstranění vtokové soustavy od vstřikovaných dílů, což je pro produkci v laboratorních podmínkách také přijatelné, a dokonce v tomto případě může být výhodně využito pro udržení párově zpracovaných zkušebních těles pohromadě až do okamžiku před umístěním do svařovacího přípravku.

3.3.2 Volba chlazení a temperace

Pro chlazení a temperaci formy byl zvolen konvenční způsob systému chlazení pomocí vrtaných kanálů v okolí dutiny formy s cílem odvádět rovnoměrně z povrchu dutiny teplo za pomoci temperujícího média – vody. Vrtané kanály jsou snadno vyrobitelné a jejich náklady na výrobu jsou nízké v porovnání s konformním chlazením. Nevýhodou vrtaných kanálů je nižší účinnost a horší rovnoměrnost chlazení, než je tomu u zmíněného konformního chlazení, ale jedná se o značně levnější variantu. V případě zvýšení efektivity chlazení jader je možné využít přepážkové systémy chlazení. Dalším omezením návrhu chladicích okruhů je nutnost brát v potaz následné rozmístění vyhazovacích kolíků a dalších prvků ve formě tak, aby nedocházelo ke kolizím, a aby z hlediska tuhosti formy byla dodržena minimální tloušťka stěn mezi jednotlivými otvory ve tvárnici a tvárníku.

Dále pro snížení tepelných ztrát a zvýšení účinnosti temperace je forma opatřena izolačními deskami na obou upínacích deskách vstřikovací formy.

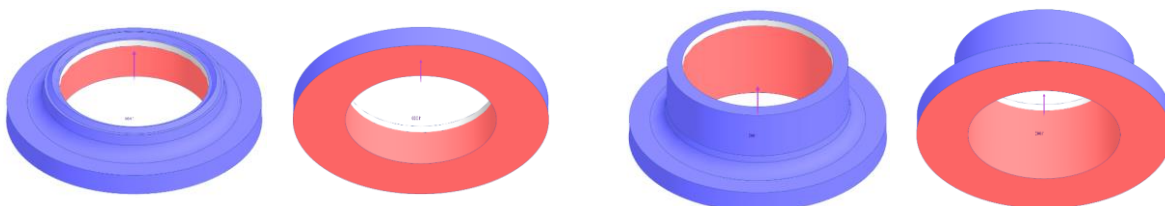
3.3.3 Volba systému vyhazování

Pro systém vyhazování bylo zvoleno řešení využívající vyhazovacích kolíků. Jedná se o nejčastější řešení, pro které je dostupná široká škála normalizovaných komponent. Vyhazovací systém je vytvořen v podobě vyhazovacího paketu, který je složen z přidržovací a hlavní vyhazovací desky, mezi kterými jsou fixovány vyhazovací kolíky, vraccí kolíky a čep pro vyhazování. Pomocí vodicího čepu pro vyhazování je vyhazovací paket propojen s hydraulickým systémem stroje, kterým je vyhazování řízeno. Vraccí kolíky slouží k navrácení vyhazovacího paketu do původní polohy při zavření vstřikovací formy. Z konstrukčního hlediska je vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků jednodušší než vyhazování pomocí stíracího kroužku. Nevýhodou

použití vyhazovacích kolíků jsou stopy po vyhazovacích kolících na vstřikovaném díle, proto je potřeba vyhazovací kolíky umísťovat do nepohledových a nefunkčních ploch. Dále je nutné počítat s kompromisem, mezi návrhem rozmístění vyhazovacích kolíků a chladicích kanálů.

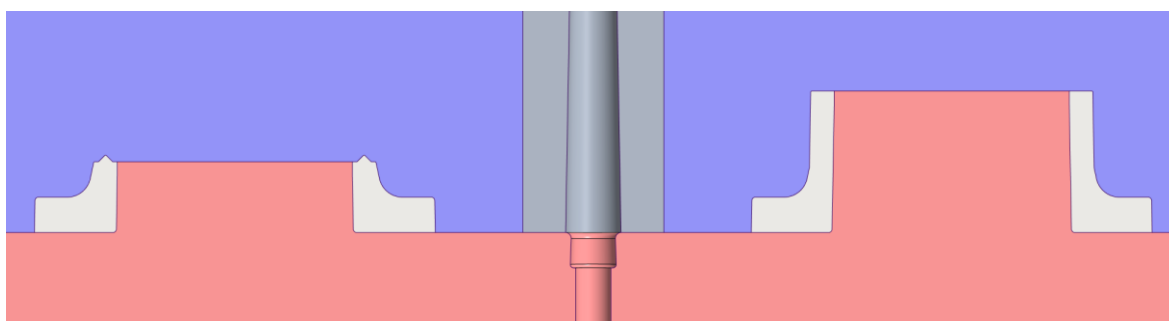
3.3.4 Volba dělicí roviny a orientace vstřikovaných dílů ve formě

Dělicí rovina byla zvolena s ohledem na co nejjednodušší výrobu dutin formy, umožňující odvodu vzduchu dutiny dělicí rovinou a snadné odformování vstřikovaných dílů. Podle této dělicí roviny byly vytvořeny úkosy na jednotlivých plochách, aby bylo možné díl snadno vyjmout z formy. Na obrázku 3.3 je zobrazena analýza úkosů jednotlivých dílů, ze které je patrná zvolená dělicí rovina.



Obr. 3.3 Analýza úkosů vstřikovaných dílů

Po definování dělicí roviny vstřikovaných dílů musí být určena orientace dílů ve formě. Zkušební tělesa byla zaformována způsobem zobrazeným na obrázku 3.4. V úvahu bylo bráno vstřikování na dělicí rovinu. Důvodem volby této orientace byl záměr, aby jádra tvořící vnitřní válcovou plochu zkušebních těles byla umístěna na pohyblivé polovině formy. Tím pádem jsou při otevírání formy vstřikované díly fixovány na jádrech v pohyblivé polovině, což je potřebné pro následné vyhazování.



Obr. 3.4 Zaformování dílů, dělení formy

3.3.5 Volba materiálů pro komponenty formy

Volbou materiálů komponent formy je ovlivněna životnost a náklady na výrobu formy. Zpravidla je při předběžném návrhu formy stanoven materiál pro desky formy a pro vložky dutin. Některé standardizované komponenty vstřikovacích forem jsou obvykle dostupné pouze v jednom materiálovém provedení. Příkladem mohou být vtokové vložky z materiálu 1.2826 [14], středící kroužky z materiálu 1.0503 [14] nebo vodící sloupky z materiálu 1.7131 [14]. Při volbě materiálu

bylo bráno v potaz nejen hledisko ceny, ale i životnosti formy. Vzhledem k předpokladu, že by mohly být do formy vstřikovány plněné polymery, například se skleněnými vlákny, je potřeba navrhnout výrobu vložek dutin z odolného materiálu. Z toho důvodu byla pro výrobu tvárnice a tvárníku zvolena předtvrzená zušlechťená ocel 1.2714 HH (42 HRC) s dobrou tepelnou odolností, kvalitností a houževnatostí [14]. Pro ostatní desky, které nejsou extrémně namáhané a nepřichází do styku s taveninou plastu, byla zvolena nástrojová ocel 1.1730, která je pro tyto desky běžně používána.

3.3.6 Předpokládané smrštění vstřikovaných dílů

Velikost výrobního smrštění plastového dílu vyprodukovaného technologií vstřikování je závislé na mnoha faktorech. Z materiálového hlediska je výrobní smrštění nejvíce ovlivněno morfologickou strukturou polymeru (amorfní, semikrystalické) a obsahem plniv či výztuží. Z hlediska konstrukce dílu je výrobní smrštění ovlivněno především velikostí tloušťky stěny dílu. Dále má na velikost smrštění vliv konstrukce formy, konkrétně umístění vtokového ústí, jeho typ a velikost, provedení vtokového systému (horký nebo studený vtokový systém) a chlazení formy. V neposlední řadě je smrštění dílu ovlivněno technologickými parametry vstřikování, jako jsou teplota taveniny, teplota formy, plnicí tlak, doba a velikost dotlaku, doba chlazení nebo teplota vstřikovaného dílu při vyhození z formy.

Na základě požadavku, kterým je vyžadováno použití vstřikovací formy pro zpracování vícero druhů polymerních materiálů, bylo potřeba stanovit takovou hodnotu smrštění, která by byla vhodným kompromisem pro většinu zpracovávaných druhů materiálu. V technické praxi jsou pro technologii ultrazvukového svařování nejčastěji používány polymerní materiály, jako jsou například ABS, PMMA, PA6, PA66 GF30, PC nebo PP. V současnosti je také kladen větší důraz na rozvoj biopolymerů jako je například PLA nebo PHB, u kterých lze předpokládat, že v budoucnu bude testována kvalita svaru technologií ultrazvukového svařování. Na základě porovnání hodnot smrštění výše zmíněných materiálů (viz tab. 3.1), byla stanovena hodnota předpokládaného smrštění 1 %.

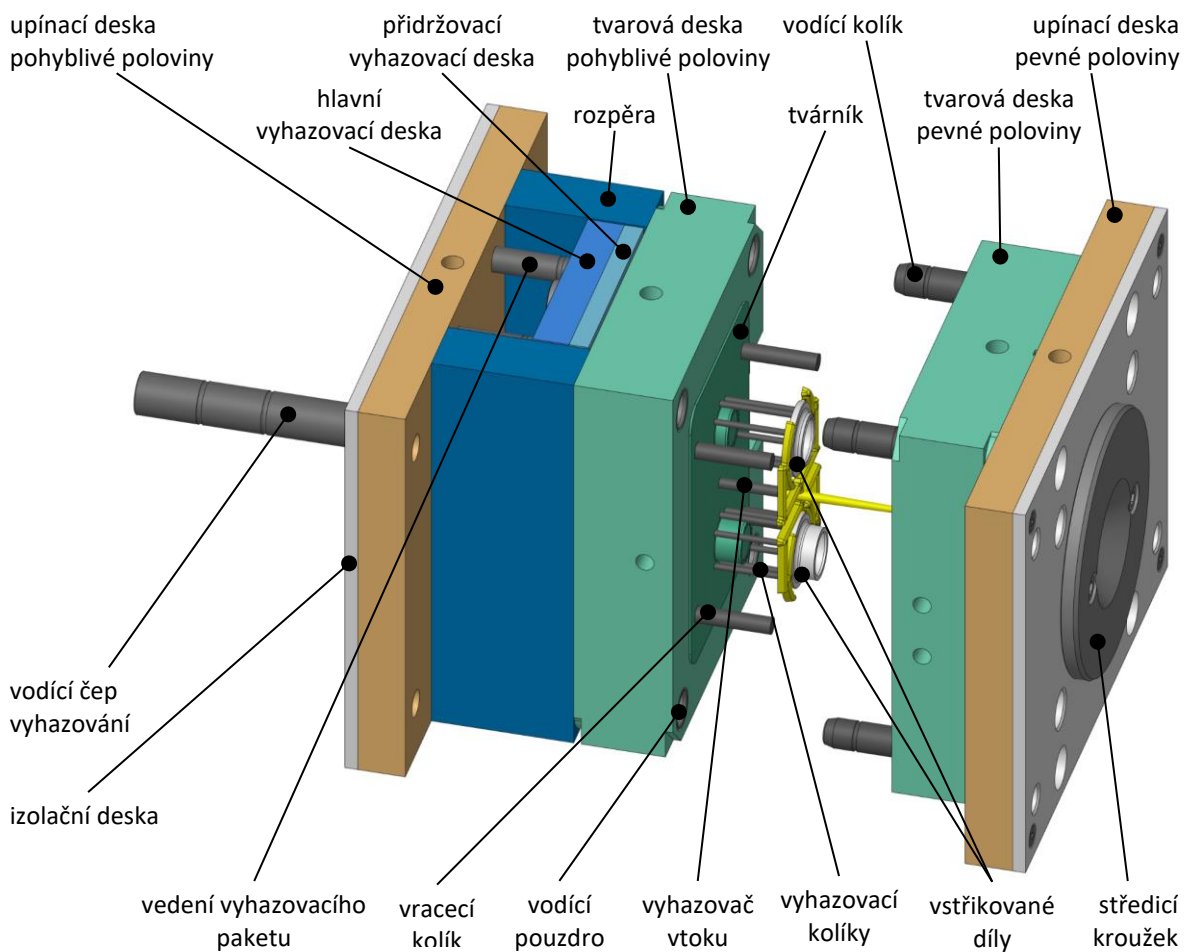
Tab. 3.1 Standardní hodnoty smrštění pro vybrané polymerní materiály [15, 16]

MATERIÁL	SMRŠTĚNÍ [%]	MATERIÁL	SMRŠTĚNÍ [%]
ABS	0,4 – 0,7	PMMA	0,3 – 0,8
PA6	1 – 2,5	PA66 GF30	0,35 – 1,25
PC	0,6 – 0,8	PP	1,5 – 2
PLA	0,3 – 0,5	PHB	1,2 – 1,6

4 DETAILNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

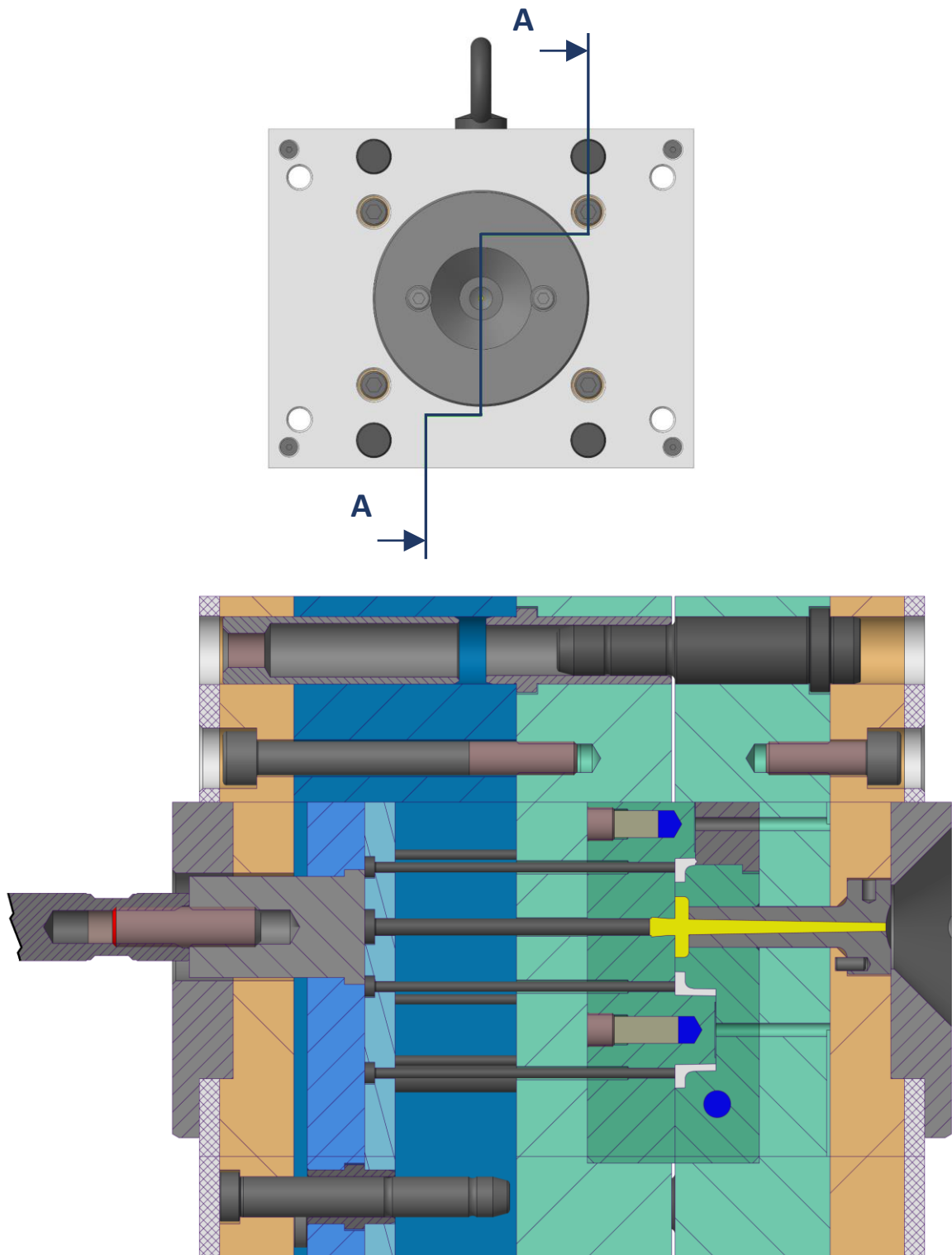
V této kapitole jsou podrobně popsány hlavní konstrukční aspekty vstřikovací formy, jako je její velikost, vtokový systém, systém chlazení, způsob vyhazování a další konstrukční řešení pro zajištění předem stanovených požadavků. Pro návrh vtokového systému, systému chlazení a vyhazování je uvedeno více variant. Tyto varianty jsou analyzovány a následně je vybrána ta nejlepší. V závěrečné podkapitole jsou shrnuty poznatky z ověření funkčnosti konstrukce formy a produkce prvních vstřikovaných dílů z formy.

Na obrázku 4.1 je zobrazen kompletní návrh vstřikovací formy (kusovník a výkres sestavy jsou přiloženy jako příloha č. 3 a č. 4). Návrh sestavy vstřikovací formy byl vytvořen se snahou využít co nejvíce standardizovaných komponent. Pro tvorbu sestavy vstřikovací formy byly z katalogu normálií od firmy Meusburger Georg GmbH & Co KG použity upínací desky, tvarové desky, bloky dutinových vložek, vodící kolíky a pouzdra, rozpěry, desky vyhazovacího paketu, vyhazovací kolíky, vtoková vložka, středící kroužky, izolační desky a příslušenství pro systémy chlazení. Některé standardizované komponenty byly přizpůsobeny s ohledem na konstrukci formy. Ostatní nestandardizované části formy byly vytvořeny pomocí CAD softwaru.



Obr. 4.1 Sestava navržené vstřikovací formy v otevřené pozici

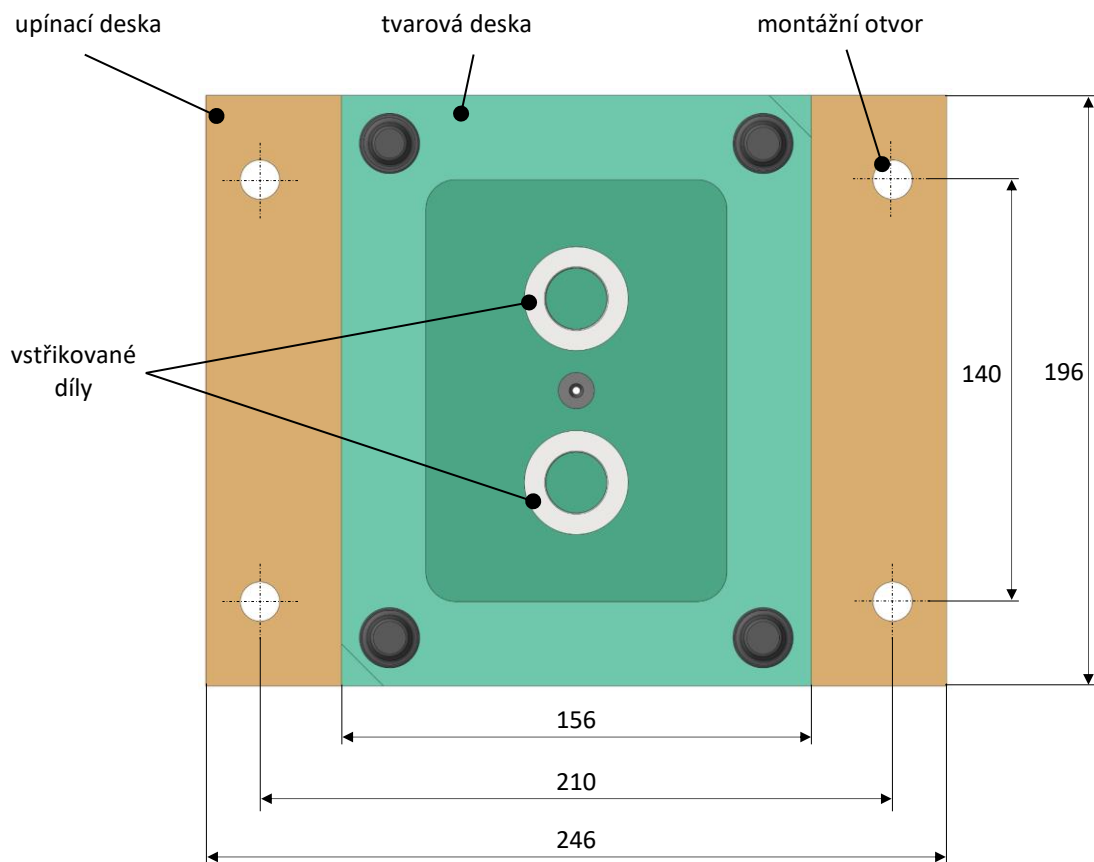
Na obrázku 4.2 je zobrazen lomený řez navržené dvoudeskové vstřikovací formy, na kterém je znázorněno sestavení a vazba jednotlivých komponent formy, jejich funkce a umístění ve formě.



Obr. 4.2 Řez A-A navržené sestavy vstřikovací formy

4.1 Návrh rozměrů vstřikovací formy

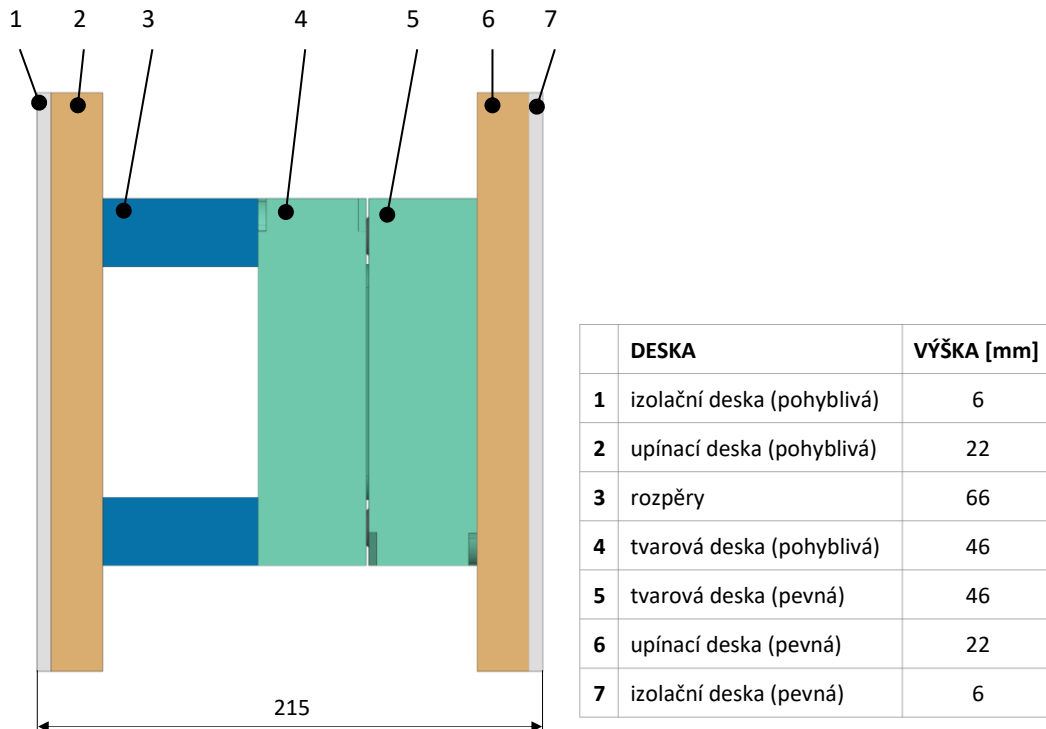
Rozměry tvarových a upínacích desek vstřikovací formy byly navrženy podle rozvržení jednotlivých dutin formy a zároveň také podle otvorů na upínacích deskách vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 320 C. Geometrie upínacích desek vstřikovacího stroje je uvedena v technickém listě v příloze č. 5. Pro volbu velikosti formy je dalším důležitým parametrem prostor mezi vodicími sloupky stroje. Pro ARBURG ALLROUNDER 320 C je dle technického listu mezera mezi vodicími sloupky široká 320 mm. Zvolené rozměry desek, které byly vybrány v souladu s rozměry normálí jsou znázorněny na obrázku 4.3. Použití standardizovaných desek bylo zvoleno především z důvodu co nejjednodušší výroby formy.



Obr. 4.3 Rozměry desek vstřikovací formy a rozteč montážních otvorů

Dalším parametrem je výška vstřikovací formy, která musí být v daném rozmezí podle vstřikovacího stroje. Pro ARBURG ALLROUNDER 320 C je dle technického listu minimální výška formy 200 mm a maximální 550 mm. Na obrázku 4.4 je zobrazena skladba desek, volba výšky jednotlivých standardizovaných desek a celková výška formy. Výška tvarových desek byla zvolena s ohledem na použití dutinových vložek tak, aby byla zachována dostatečná tuhost formy. Výška rozpěr byla zvolena na základě potřebného zdvihu vyhazovacích kolíků. Ze stejného důvodu byly zvoleny i silnější upínací desky, protože vzhledem k malé velikosti vstřikovaných dílů bylo nutné

dosáhnout minimální výšky formy pro upnutí na stroj. Z tohoto důvodu byla vstříkací forma z hlediska tuhosti předimenzována.



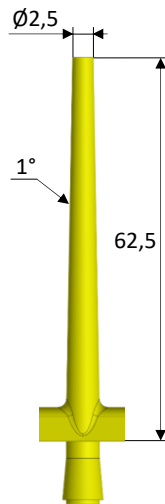
Obr. 4.4 Skladba jednotlivých desek a celková výška formy

4.2 Návrh vtokového systému

Volba konceptu vtokového systému a jeho zdůvodnění bylo již popsáno v kapitole 3.3.1. Pro návrh vtokového systému bylo analyzováno několik variant, které byly vytvořeny na základě teoretických poznatků o vtokových soustavách (viz teoretická část práce kapitola 2.6). Vypracované varianty byly podrobeny simulační analýze toku taveniny v programu CADMOULD. Ze simulační analýzy bylo vyhodnoceno plnění dutin taveninou, tlakové ztráty a smykové napětí, tedy výsledky, které mají přímý vliv na kvalitu dílů.

U všech variant analýzy toku taveniny byly nastaveny stejné podmínky simulace. Rychlost plnění byla nastavena na hodnotu $8 \text{ cm}^3/\text{s}$. Teplota taveniny byla nastavena na $225 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota stěny formy na $45 \text{ }^\circ\text{C}$ (rovnoměrný odvod tepla z povrchu dutiny formy). Přepnutí na dotlak o velikosti 400 barů po dobu 7 vteřin bylo nastaveno při zaplnění dutiny na 99 %. Doba chlazení byla nastavena na 45 vteřin. Výpočtová síť byla vytvořena elementy o absolutní délce hrany 1 mm. Simulace byla provedena pro následující polymerní materiály: PP (ADSTIF EA648P), PC (LEXAN 121R) a PA6 GB30 (ALTECH PA6 A 3030/109 GB30). Závěry z jednotlivých simulací byly obdobného charakteru, proto jsou zde vzhledem k rozsahu práce uvedeny výsledky pouze pro materiál PP.

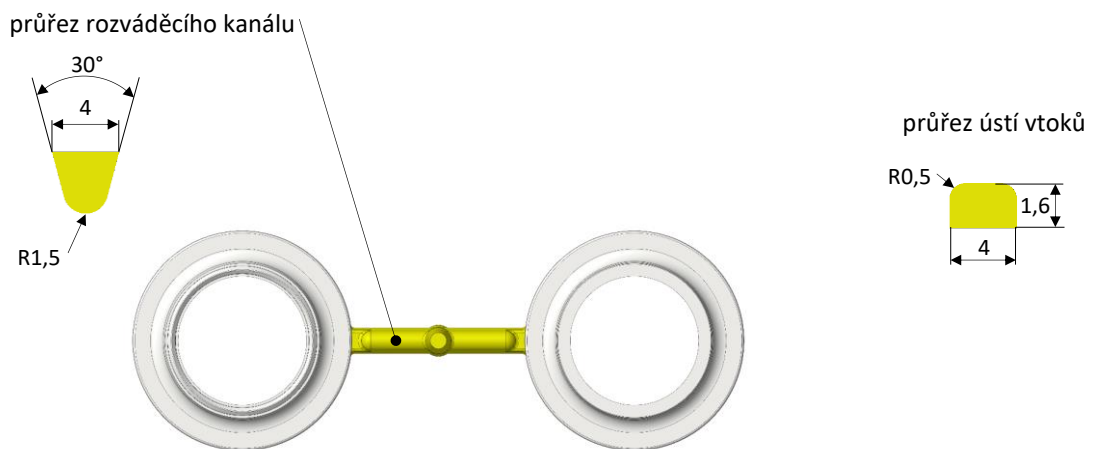
Rozměry vtokového kužele a přidržovače vtoku (viz obr. 4.5) jsou pro všechny varianty totožné. Pro tvorbu vtokového kužele byla použita standardizovaná vtoková vložka s úkosem 1° . Důvodem této volby byla snaha o snadné uvolnění vtokového kužele při použití různých druhů materiálů. Vstupní průměr 2,5 mm byl zvolen podle průměru vstřikovací trysky tak, aby byl větší o 0,5 mm. Výška vtokového kužele je odvozena od výšky tvarové a upínací desky.



Obr. 4.5 Rozměry vtokového kužele a přidržovače vtoku

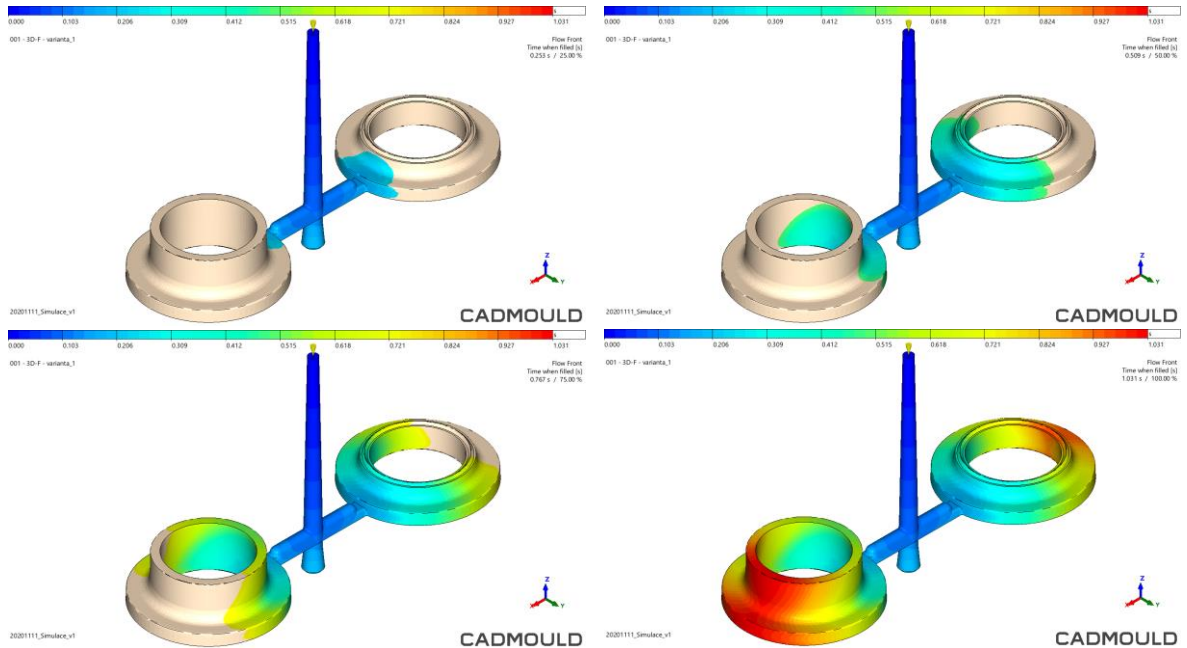
Varianta vtokového systému a)

Jako první byl navržen vtokový systém s jednonásobným bočním vtokem (viz obr. 4.6). Jedná se o jednoduchý způsob vtokového systému, který by mohl být výhodný z hlediska jednoduchosti výroby, krátké délky rozváděcích kanálů a minimálního objemu technologického odpadu. Rozváděcí kanály byly navrženy co nejkratší s ohledem na dostatečnou tuhost formy. Navržená délka jednotlivých rozváděcích kanálů od středu vtokového kužele do ústí vtoku byla 13,4 mm.



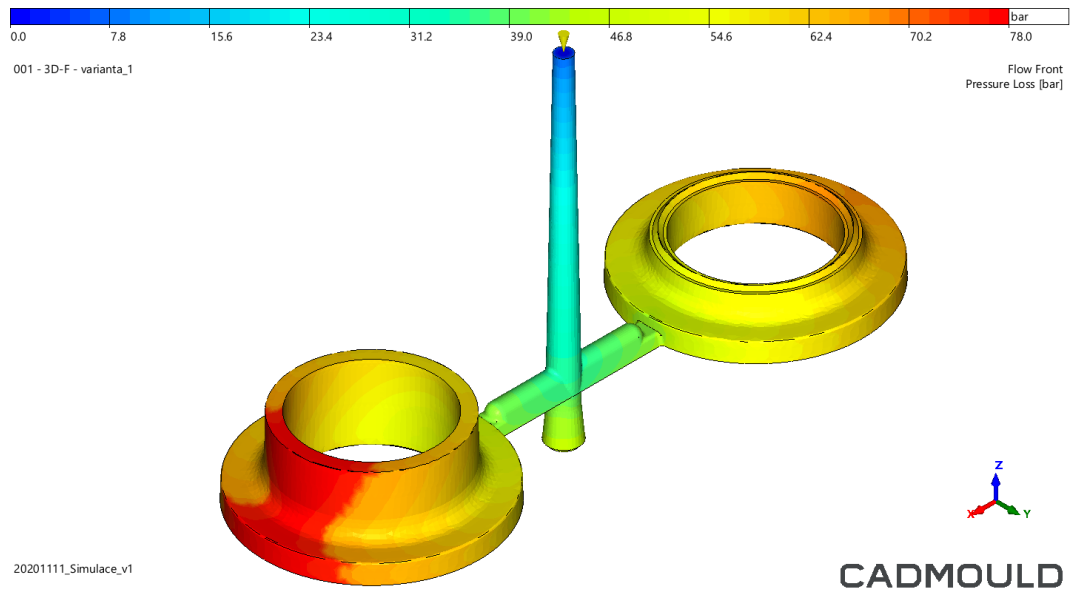
Obr. 4.6 Rozměry vtokového systému – varianty a)

Na obrázku 4.7 jsou zobrazeny výsledky simulace průběhu plnění dutiny formy. Z hlediska kvality vstřikovaných dílů by mohly být problematické oblasti studených spojů, které vznikají na protější straně od ústí vtoku. Další nevýhodou by mohla být nerovnoměrnost plnění dílu, která by mohla zapříčinit značné deformace vstřikovaných dílů a riziko nedodržení požadované kruhovitosti, což je z hlediska funkčnosti dílu důležitý prvek.



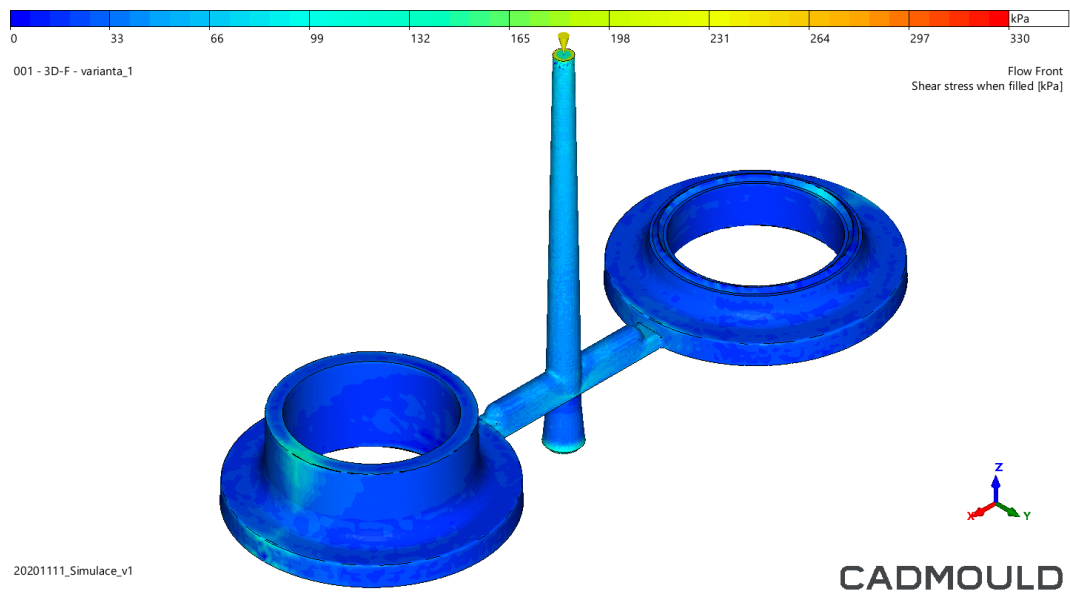
Obr. 4.7 Průběh plnění – varianta a)

Dle provedené simulace (viz obr. 4.8) je maximální tlaková ztráta na úrovni 78 barů. Jedná se o hodnotu, která je v obecném měřítku nízká. To je způsobeno především záměrně předdimenzovaným vtokovým systémem, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3.1 a malým objemem vstřikovaných dílů. Díky předdimenzovanému vtokovému systému lze také předpokládat nízké hodnoty smykového napětí.



Obr. 4.8 Tlakové ztráty – varianta a)

Výsledky simulační analýzy toku taveniny představené na obrázku 4.9, dokazují výše zmíněný předpoklad, kdy byla očekávána nízká úroveň smykového napětí díky předdimenzovanému vtokovému systému. Smykové napětí dosahuje nepatrně zvýšených hodnot (okolo 100 kPa) pouze v místech studených spojů, ústí vtoků a v oblasti koncentrátoru ultrazvukových kmitů.



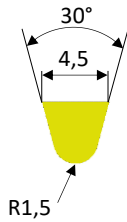
Obr. 4.9 Smykové napětí během plnění – varianta a)

Varianta vtokového systému b)

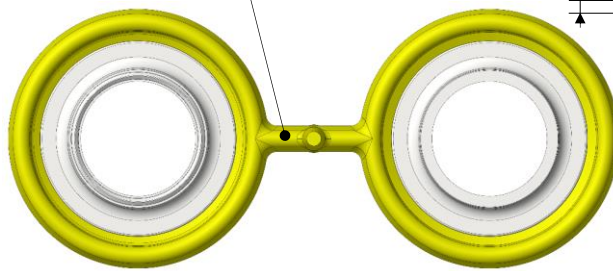
Pro zlepšení rovnoměrnosti průběhu plnění a snížení rizika tvorby nekvalitního studeného spoje byla vytvořena další varianta. Jedná se o vtokový systém s prstencovým vtokem ústícím do dutiny formy kolem celého obvodu vstřikovaných dílů (viz obr. 4.10). Délka rozváděcího kanálu od středu vtokového kužele do nejbližšího bodu ústí vtoku je totožná s předchozí variantou. Výhodou

by mohlo být plynulejší plnění dutin formy, naopak nevýhodou problematické odstranění vtokové soustavy od vstřikovaných dílů a větší objem technologického odpadu v porovnání s předchozí variantou.

průřez rozváděcího kanálu

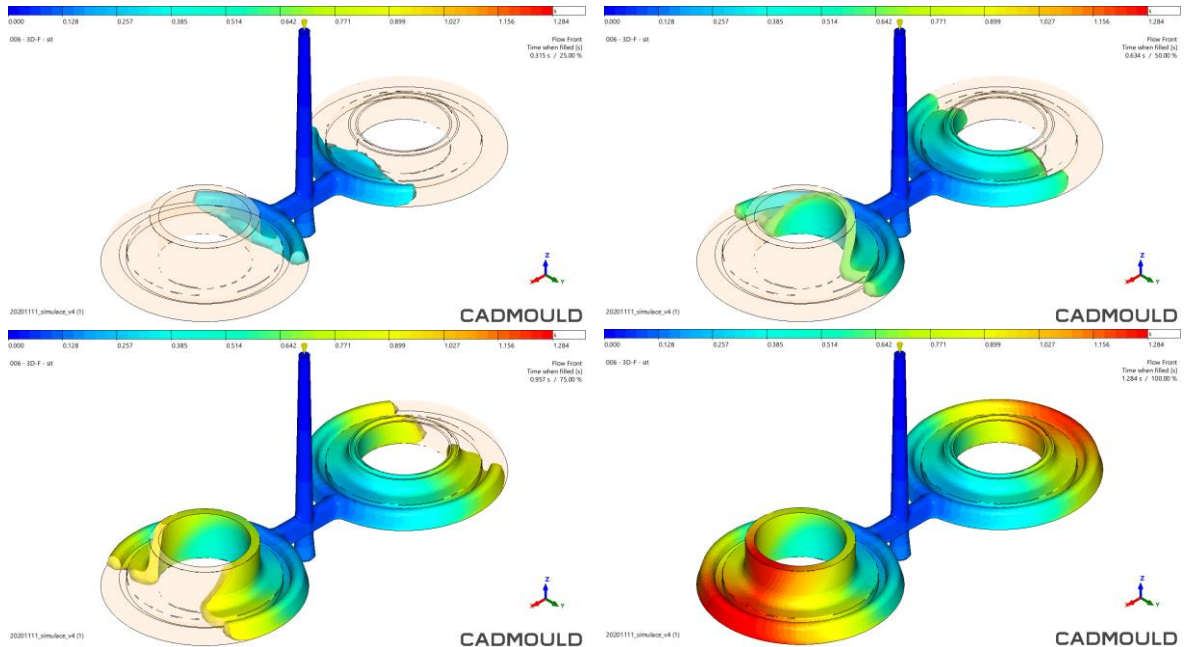


průřez prstencového ústí vtoku



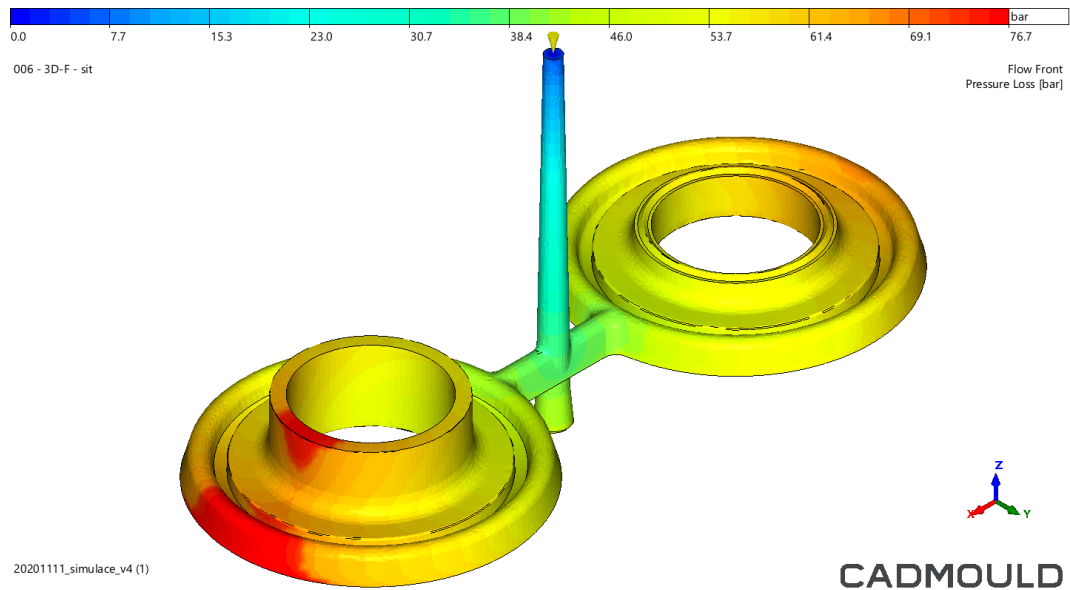
Obr. 4.10 Rozměry vtokového systému – varianty b)

Ze simulace plnění (viz obr. 4.11) je patrné, že průběh plnění navrženým vtokovým systémem s prstencovým vtokem probíhá obdobným způsobem jako v předchozí variantě a nedošlo zde ke zlepšení. Z toho vyplývají stejné závěry jako byly popsány u varianty a).



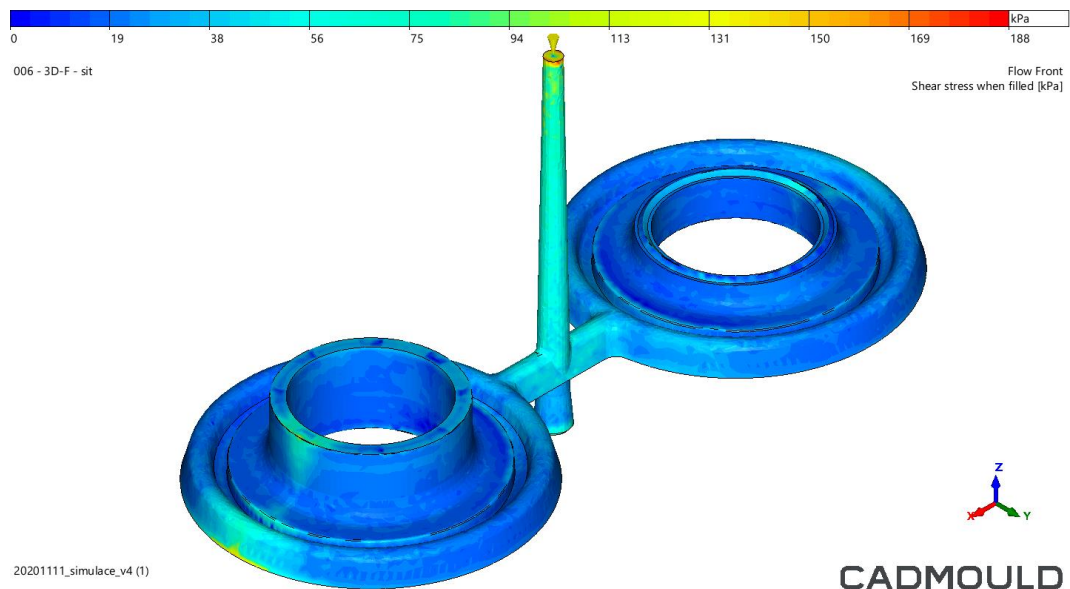
Obr. 4.11 Průběh plnění – varianta b)

Podle výsledků simulace (viz obr. 4.12) jsou tlakové ztráty prakticky na stejné úrovni jako v předchozí variantě.



Obr. 4.12 Tlakové ztráty – varianta b)

Dle výsledku simulace (viz obr. 4.13) jsou hodnoty smykového napětí na stejné nízké úrovni jako v předchozí variantě.

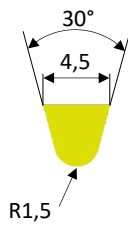


Obr. 4.13 Smykové napětí během plnění – varianta b)

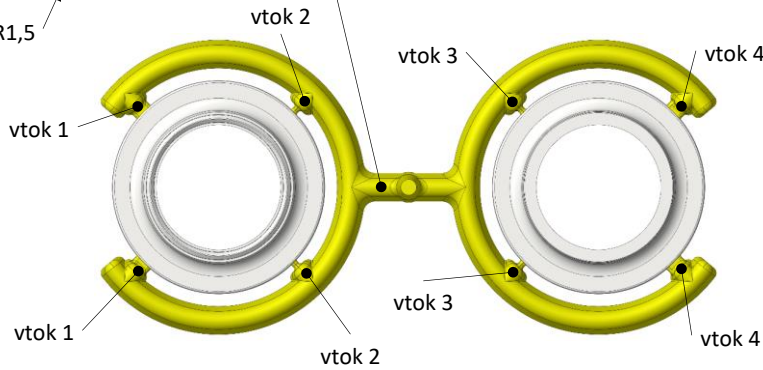
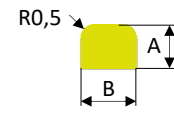
Varianta vtokového systému c)

Pro zlepšení kvality studených spojů a zajištění rovnoměrného plnění dutiny formy byl navržen vtokový systém se čtyřnásobným bočním vtokem umístěným symetricky po obvodu vstřikovaných dílů (viz obr. 4.14). Dále bylo u vtokového systému provedeno vybalancování rozdílným průřezem ústí vtoků. Výhodou oproti předchozí variantě je předpokládané rovnoměrnější plnění dutin. Nevýhodou by mohla být větší délka rozváděcích kanálů, větší objem technologického odpadu a zmenšení průřezů vtoků blíže ke vtokovému kuželu, které by mohlo způsobit vyšší smykové namáhání taveniny.

průřez rozváděcího kanálu



průřezy ústí vtoků

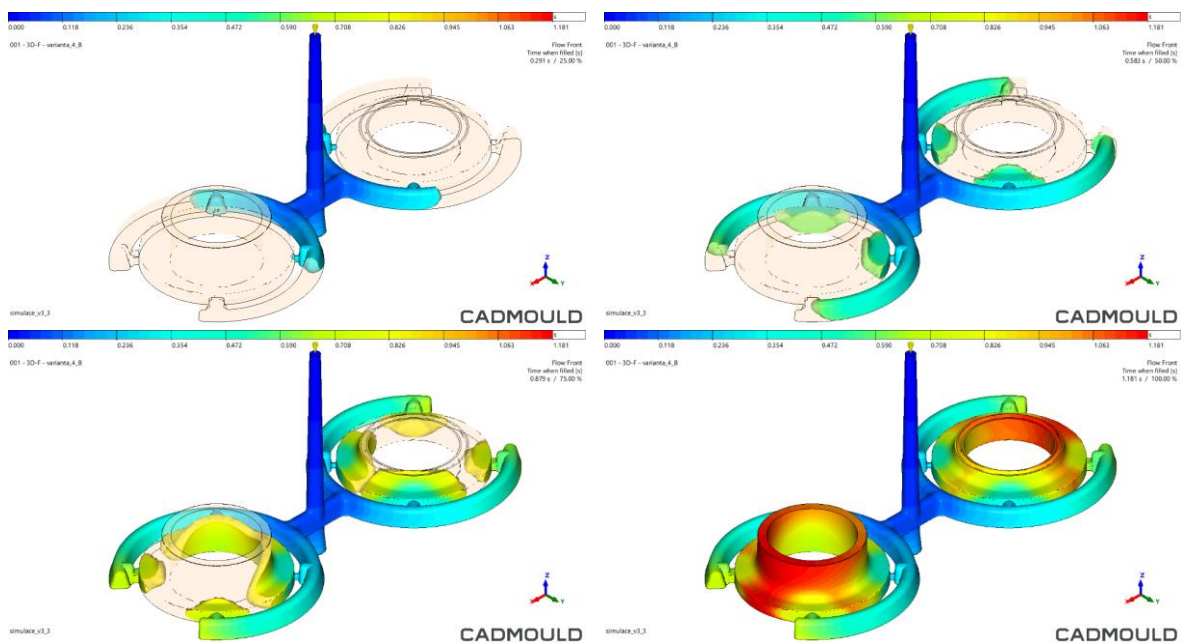


vtok	A	B	*L
1	1,6	3	64
2	1	1	30
3	1,4	1	30
4	2	3	64

*L – délka rozváděcího kanálu od středu vtokového kužele do ústí vtoku

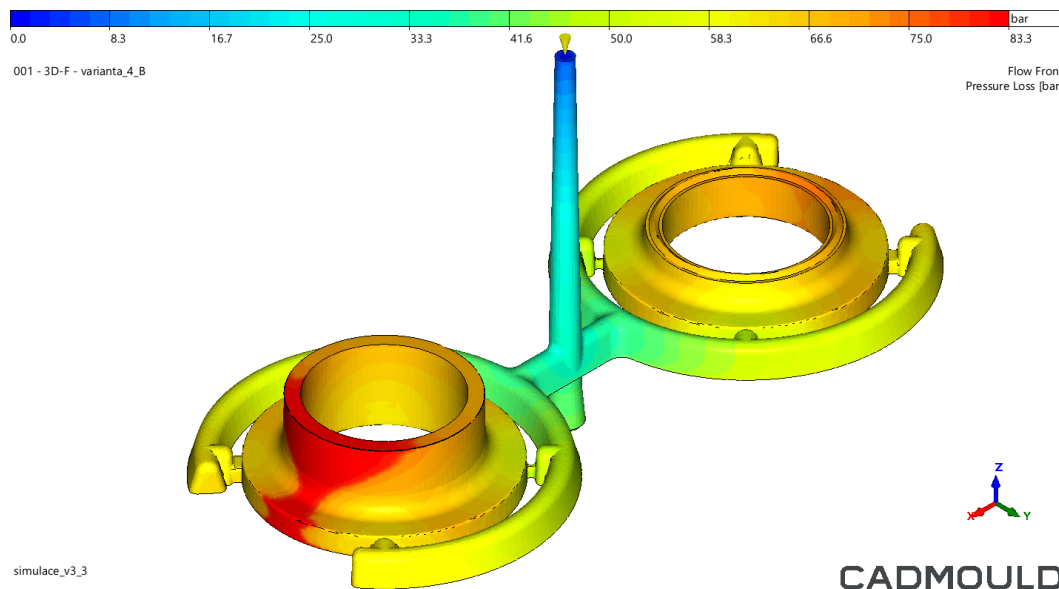
Obr. 4.14 Rozměry vtokového systému – varianty c)

Na obrázku 4.15 je zobrazen výsledek ze simulace průběhu plnění formy. V porovnání s předchozími variantami je plnění dutin rovnoměrnější. Tavenina ale natéká ve větším objemu skrze vtokové ústí blíže ke vtokovému kuželu (vtok 2 a 3). Plnění tedy ani u této varianty není zcela rovnoměrné. Z důvodu rizika zvýšení smykového napětí, a potenciálnímu použití plněných materiálů nebo vyšších vstřikovacích rychlostí, nebyl dále zmenšován průřez těchto ústí vtoků. Díky použití čtyř vtokových ústí se sice zvýšil počet studených spojů, ale zároveň tím byla snížena délka dráhy toku taveniny do místa vzniku studeného spoje, což by mělo mít pozitivní vliv na kvalitu studeného spoje.



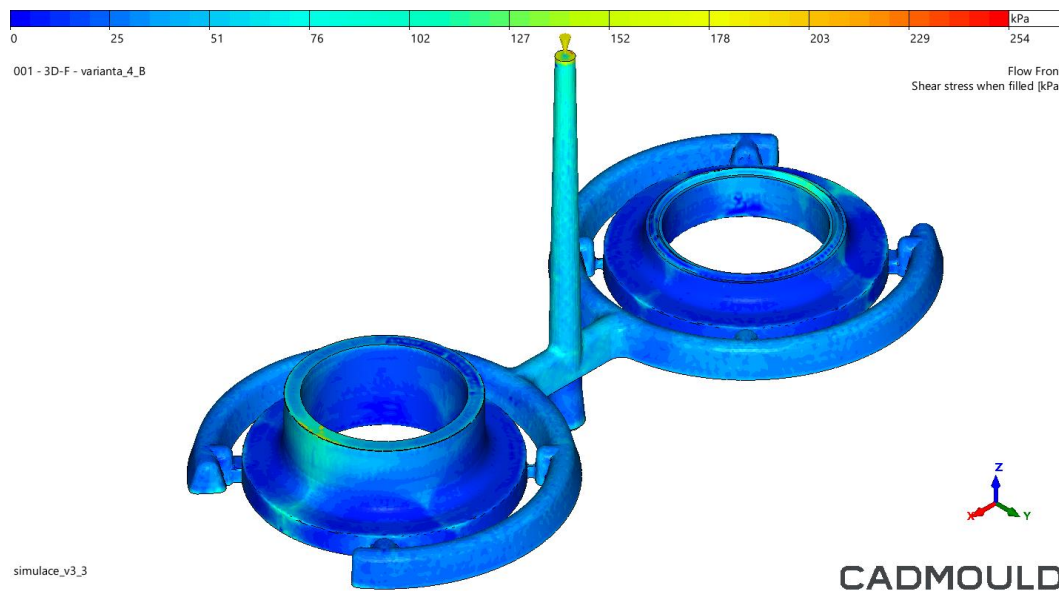
Obr. 4.15 Průběh plnění – varianta c)

Z důvodu, že délka rozváděcích kanálů této varianty byla výrazně větší, než tomu bylo u varianty a) bylo předpokládáno, že tlakové ztráty budou také značně vyšší. Podle výsledků provedené simulace (viz obr. 4.16) je hodnota tlakových ztrát pouze nepatrně vyšší, než jaká byla hodnota u varianty a).



Obr. 4.16 Tlakové ztráty – varianta c)

Z výsledků simulace (viz obr. 4.17) je velikost smykového napětí přibližně na stejné úrovni jako tomu bylo u předchozích variant. Z hlediska menších průřezů vtoků 2 a 3 zde nebylo prokázáno zvýšené smykového napětí, jak bylo předpokládáno.

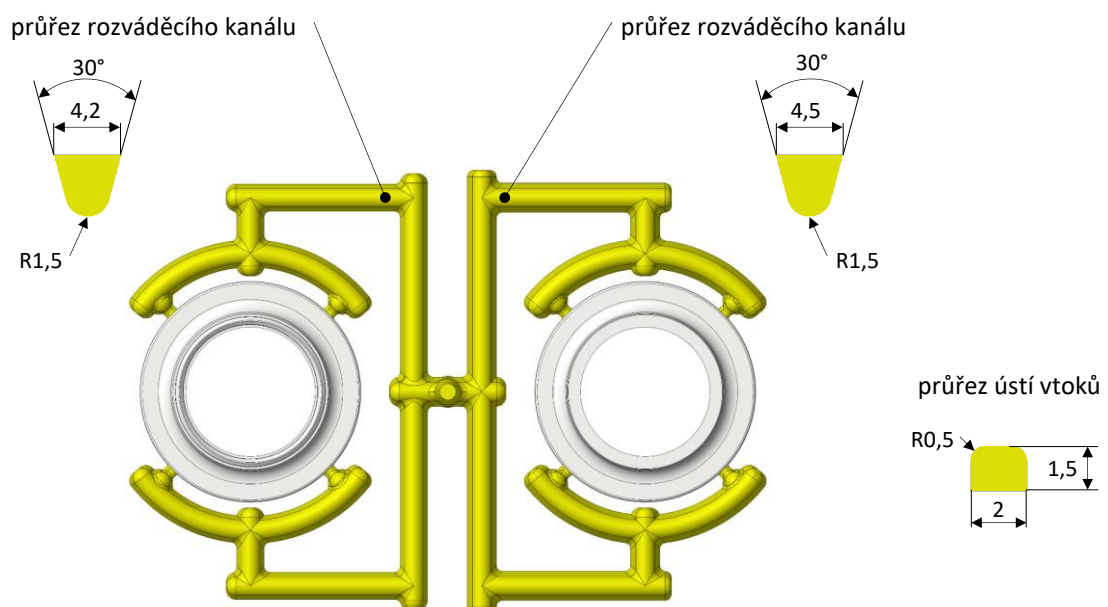


Obr. 4.17 Smykové napětí během plnění – varianta c)

Varianta vtokového systému d)

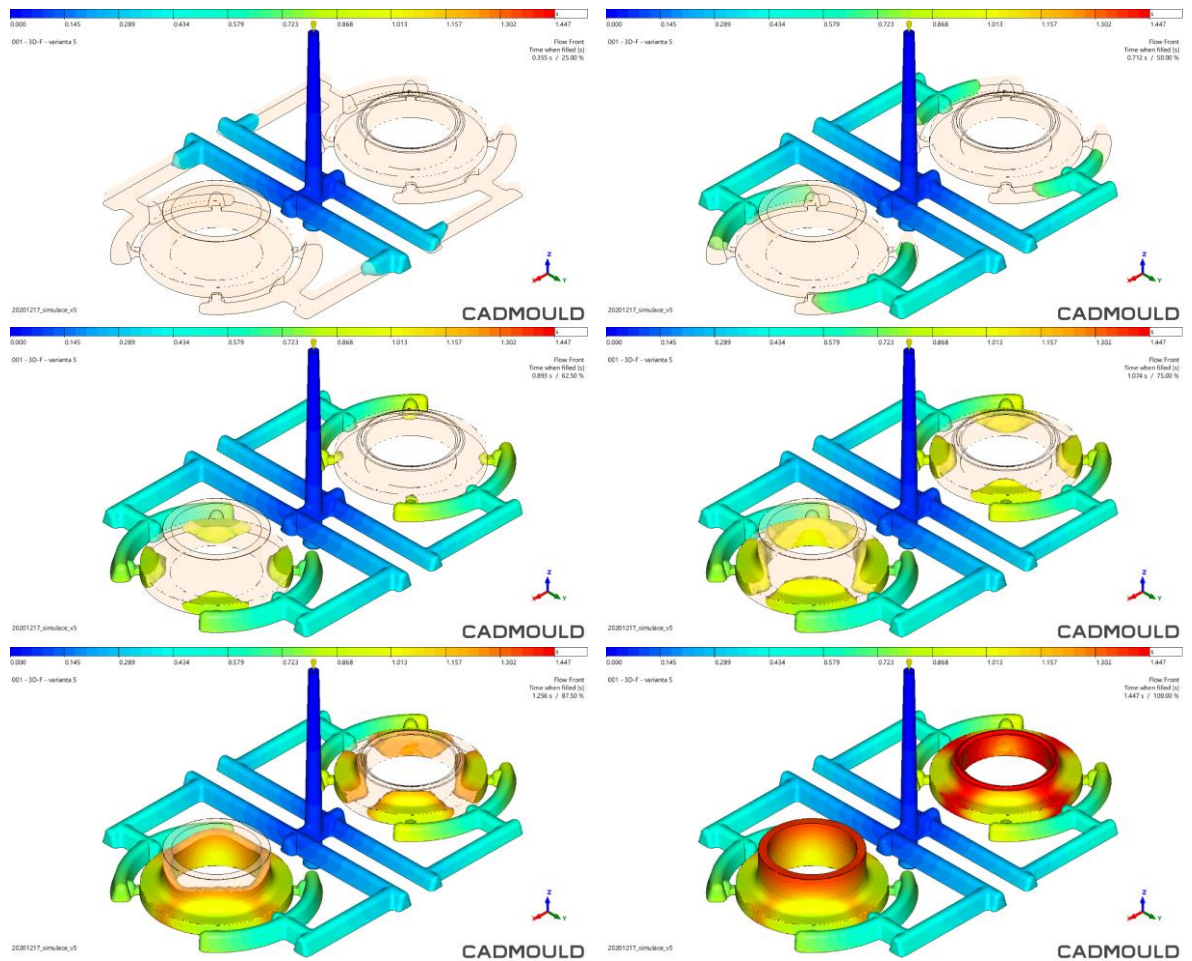
Dalším navrženým vtokovým systémem byla varianta se čtyřnásobným bočním vtokem umístěným rovnoměrně po obvodu vstřikovaných dílů (viz obr. 4.18). Vybalancování vtokového

systému z hlediska odlišných objemů jednotlivých dílů bylo provedeno rozdílným průřezem rozváděcích kanálů, tak aby bylo dosaženo zaplnění dutin obou dílů současně. Průběh plnění jednotlivých dutin je řešeno přirozeným balancováním. Jelikož ke každému ústí vtoku vede rozváděcí kanál o stejné délce od středu vtokového kužele, která je 90 mm, není balancování průřezů jednotlivých ústí vtoků potřeba. Lze tedy u této varianty předpokládat symetrické plnění dutin formy, čímž by mohl být vyřešen problém s nerovnoměrným působením technologických parametrů v různých částech dílů, které by mohly zapříčinit nerovnoměrné smrštění a deformace dílů. Jako nevýhodu lze považovat délku rozváděcích kanálů, které jsou ze všech variant nejdelší a lze tedy i předpokládat největší tlakové ztráty u této varianty. Další nevýhodou související s větší délkou rozváděcích kanálů může být považován velký objem technologického odpadu.



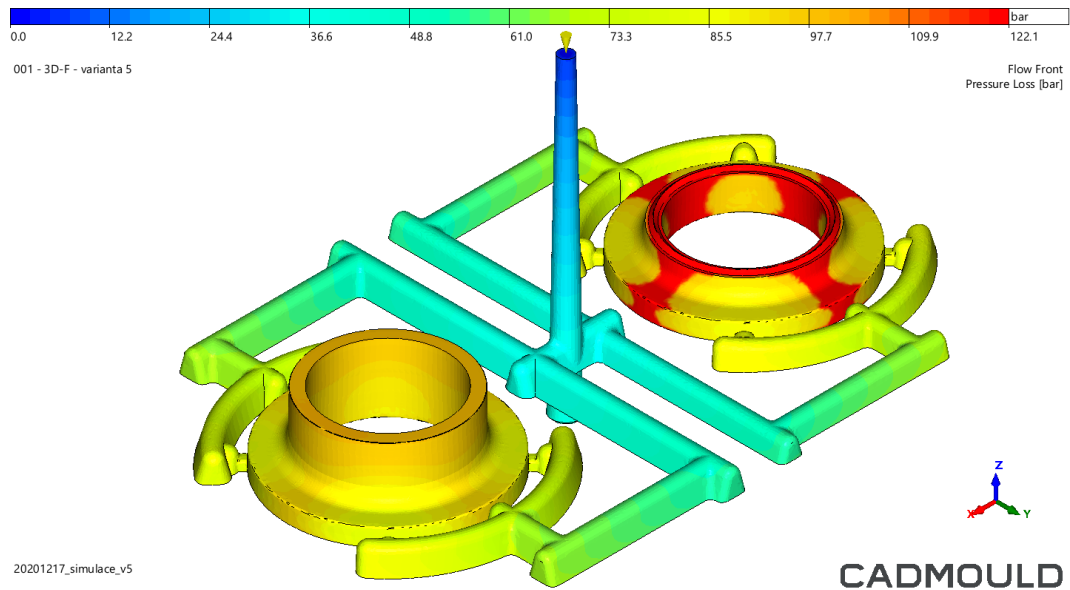
Obr. 4.18 Rozměry vtokového systému – varianty d)

Z důvodu použití přirozeného balancování vtokového systému bylo předpokládáno, že průběh plnění dutin formy (viz obr. 4.19) bude naprosto rovnoměrný. Díky rovnoměrnému plnění lze tedy předpokládat, že vstřikovací parametry, jako je například dotlak, budou také působit rovnoměrněji, čímž bude pozitivně ovlivněna kvalita dílů. Celkově lze tedy očekávat lepší geometrickou přesnost, nižší míry smrštění a nižší úroveň deformací, než je tomu u předchozích variant. Vzhledem k použití čtyř vtokových ústí stejně jako u předchozí varianty c), jsou při plnění vytvořeny čtyři studené spoje. Jelikož je ale dráha toku taveniny symetrická a v tomto případě krátká, lze předpokládat, že kvalita studených spojů díky menšímu poklesu teploty čela taveniny bude lepší než u předchozích variant. Dále je patrné, že vybalancováním vtokového systému rozdílnými průřezy rozváděcích kanálů bylo dosaženo zaplnění obou dutin formy současně, což by také mohlo mít pozitivní vliv na kvalitu obou dílů (stejně vlastnosti) a životnost formy.



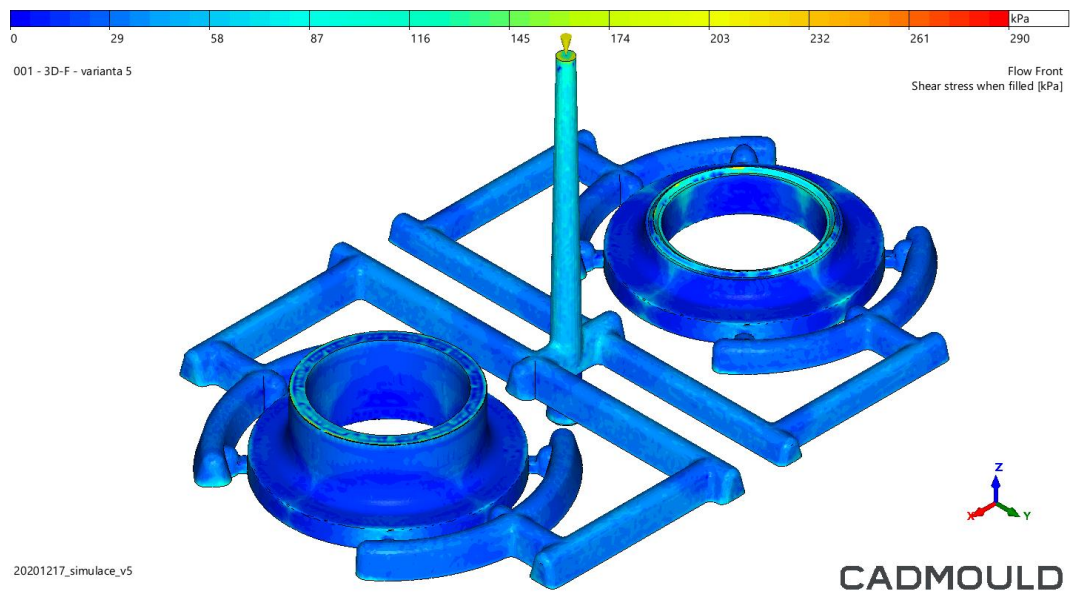
Obr. 4.19 Průběh plnění – varianta d)

Z důvodu největší délky rozváděcích kanálů a největší tvarové složitosti ze všech zmíněných variant vtokových systémů jsou zde také evidovány větší tlakové ztráty, které jsou patrné z výsledku simulace (viz obr. 4.20). Maximální tlaková ztráta 122 barů je ale ve všeobecném měřítku pořád relativně nízká hodnota.



Obr. 4.20 Tlakové ztráty – varianta d)

Z výsledku simulace (viz obr. 4.21) je úroveň smykového napětí taveniny plastu během vstřikování opět díky předdimenzovaným průřezům vtoků a rozváděcích kanálů přibližně stejná, jako tomu bylo v předchozích variantách. Jisté rozdíly mohou být však pozorovány v oblastech studených spojů. V těchto místech je u většího z dílů (vlevo) smykové namáhání menší, než tomu bylo u přechozích variant.



Obr. 4.21 Smykové napětí během plnění – varianta d)

Z porovnání výsledků jednotlivých variant a srovnání jejich výhod a nevýhod byla pro návrh vtokového systému vstřikovací formy zvolena varianta d). Hlavním důvodem volby bylo zajištění rovnoměrného plnění dutin formy, které je z hlediska kvality dílů velmi důležité. I přes větší délku rozváděcích kanálů byly výsledky tlakových ztrát na nízké úrovni, takže z tohoto hlediska nebylo vyhodnoceno žádné omezení. Za nevýhodu lze považovat větší míru objemu

technologického odpadu, které je v tomto případě opravdu značné, ale v zájmu dodržení požadované kvality zkušebních těles, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3.1 ji lze akceptovat.

4.3 Návrh chlazení a temperace

Pro chlazení a temperaci byl zvolen konvenční způsob systému chlazení, viz kapitola 3.3.2, ve které byla volba systému chlazení představena a zdůvodněna. Chladicí okruhy byly vytvořeny vrtanými kanály o průměru 8 mm, z důvodu dostatečně velkého průměru chladicího kanálu, u kterého nehrozí velké riziko zanášení vodním kamenem. Větší průměr chladicího kanálu nebyl použit z důvodu snadnějšího dosažení turbulentního proudění a efektivnějšímu odvodu tepla. Vzhledem k velikosti dílů a jejich geometrii byl do každé poloviny formy vytvořen jeden samostatný chladicí okruh. Jelikož objemy vstřikovaných dílů jsou malé, lze považovat navržené okruhy za bezproblémově dostačující. K propojení chladicích okruhů byly použity standardizované přípojky, záslepky a ucpávky, kterými byly zaslepeny části vrtaných kanálů tak, aby byl vytvořen funkční chladicí okruh.

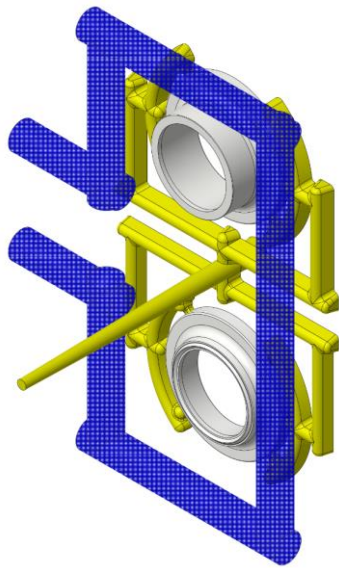
Chladicí okruhy byly navrženy ve dvou variantách, které jsou popsány níže. Účinnost chlazení jednotlivých variant byla porovnána pomocí provedené simulace v softwaru CADMOULD. Z výsledků simulace byla vyhodnocována teplota povrchu dílu a tepelný tok chladicích kanálů.

Pro simulaci byla nastavena jako chladicí médium voda o teplotě 45 °C, která proudí chladicími okruhy o rychlosti průtoku 5 l/min. Dále byla definována velikost formy a materiál tvárníku a tvárnice. Délka elementů chladicích kanálů byla nastavena na 4 mm. V simulaci jsou uvažovány výsledky již v ustáleném stavu po provedených 20 cyklech (doba jednoho cyklu je 51,5 s). Jako materiál byl zvolen PP (ADSTIF EA648P). Vstřikovací parametry byly ponechány na stejných hodnotách, jako byly nastaveny pro simulaci plnění v předchozí kapitole návrhu vtokového systému.

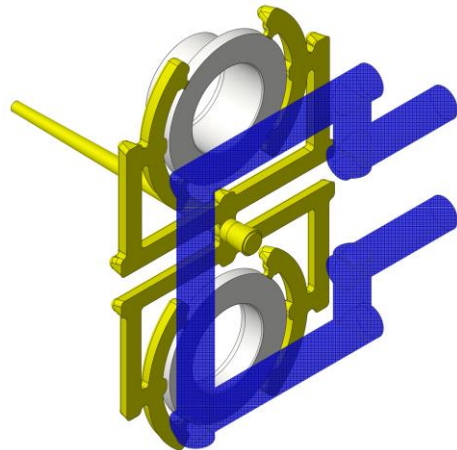
Varianta chlazení a temperace a)

První varianta chladicích okruhů (viz obr. 4.22) byla navržena s důrazem na co nejjednodušší a nejméně nákladnou výrobu. Z tohoto důvodu byly chladicí kanály umístěny pouze do tvárnice a tvárníku, kde jsou vzhledem k malé velikosti vstřikovaných dílů chladicí okruhy postačující. Při vytváření návrhu byla také brána v potaz hlediska týkající se životnosti formy, možnosti umístění vyhazovacích kolíků, a proveditelnosti výroby chladicích okruhů. Se snahou o navržení co nejrovnoměrnějšího odvodu tepla z dutiny formy byly chladicí kanály umístěny symetricky kolem dutin formy v rámci dostupného prostoru. Navržená délka chladicího okruhu v pevné polovině je 332 mm a v pohyblivé je 240 mm. Vzdálenost os chladicích kanálů od dělicí roviny byla zvolena v pevné polovině na 12,5 mm a v pohyblivé na 13,5 mm. Nejmenší vzdálenost chladicího okruhu v pevné polovině od dutiny většího dílu je 6 mm a menšího dílu je 8 mm.

chladicí okruh pevné poloviny

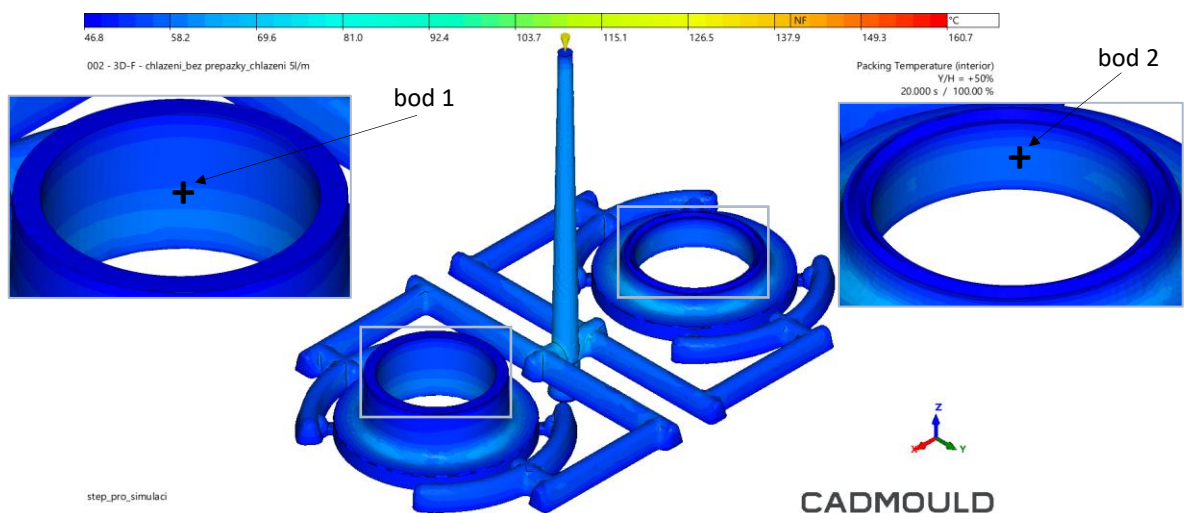


chladicí okruh pohyblivé poloviny



Obr. 4.22 Návrh chladicích okruhů – varianta a)

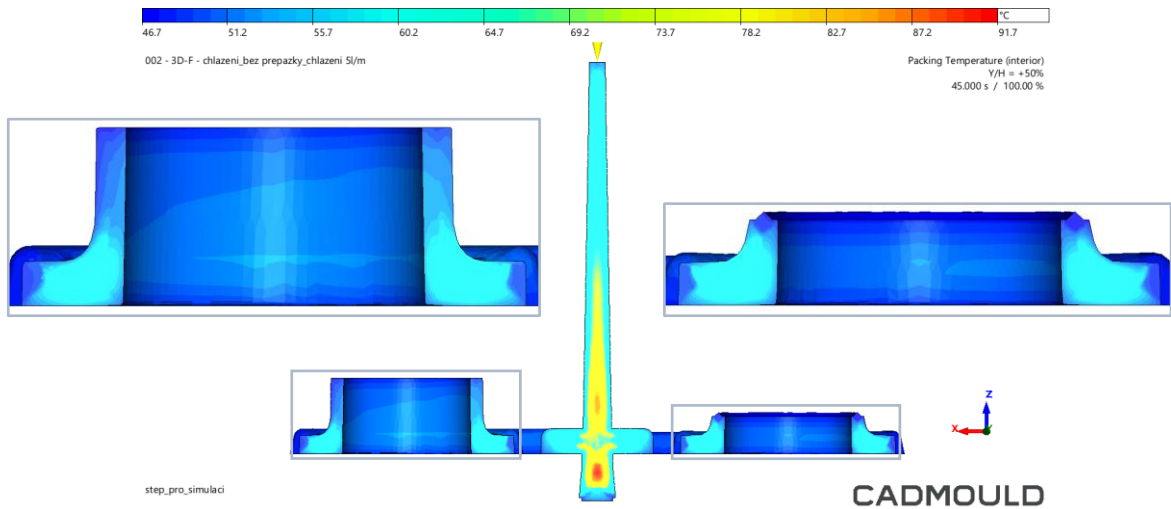
Na obrázku 4.23 je zobrazena teplota povrchu taveniny v čase chlazení 20 s. Z obrázku je patrné, že největší teplota povrchu je v oblastech, kde je nahromaděno nejvíce materiálu. U většího dílu (vlevo) byla odečtena maximální teplota povrchu 61,9 °C a minimální teplota povrchu 47,5 °C. Ve vyznačeném bodě 1 bylo odečteno 56,2 °C. U menšího dílu (vpravo) byly odečteny následující hodnoty: maximální teplota povrchu 64,9 °C, minimální teplota povrchu 46,9 °C a teplota v bodě 2 byla 58 °C. Při porovnání teplot povrchu jednotlivých dílů je zřejmé, že jsou oba díly chlazený přibližně stejnou rychlostí a rozdíly v povrchových teplotách jsou minimální. To je dáno především stejnou tloušťkou dílů. Rozdíly mezi maximálními a minimálními teplotami jsou 14,5 °C (u většího dílu) a 18 °C (u menšího dílu).



Obr. 4.23 Povrchová teplota dílů v čase chlazení 20 s – varianta a)

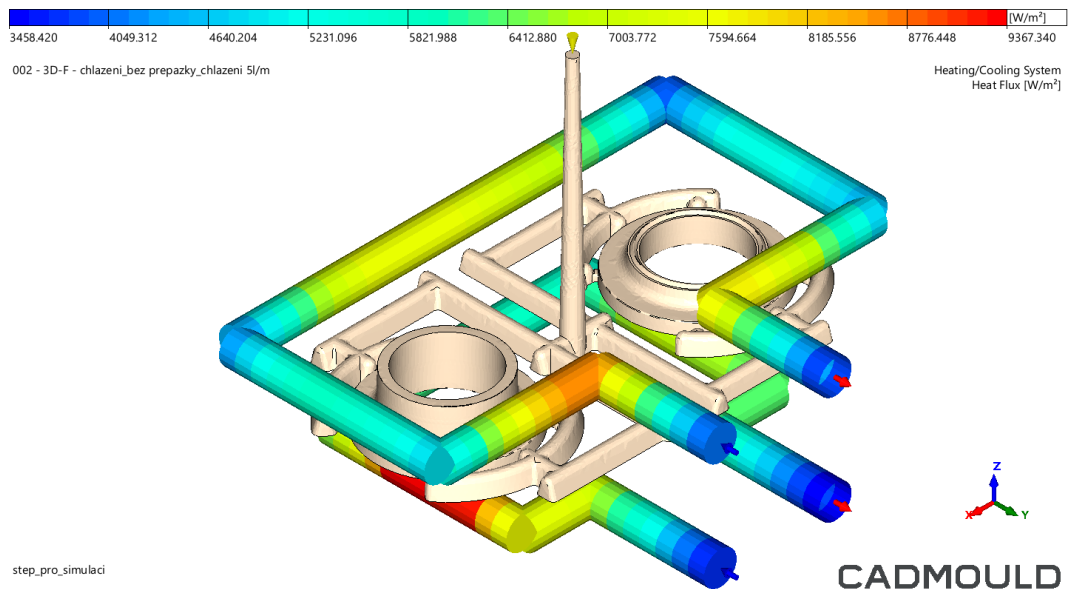
Na obrázku 4.24 je zobrazen řez zaplněnou dutinou formy, kde je znázorněna teplota v čase chlazení 45 s. Z tohoto obrázku je viditelné, že průběh chlazení obou dílů uvnitř je také

velmi podobný. Důvodem je opět již zmíněná stejná tloušťka dílů a symetricky navržené chladicí okruhy.



Obr. 4.24 Vnitřní teploty v čase chlazení 45 s – varianta a)

Pro určení účinnosti chladicích kanálů byla provedena simulace pro zobrazení tepelného toku (viz obr. 4.25), kterým je znázorněno množství odebraného tepla chladicím kanálem v daném místě. Nejvyšší hodnoty tepelného toku je dosaženo v části chladicího okruhu pohyblivé poloviny přímo pod jádrem většího dílu, kde je odebíráno teplo z jádra. V tomto místě by tedy bylo potřeba zintenzivnit odebírané množství tepla.

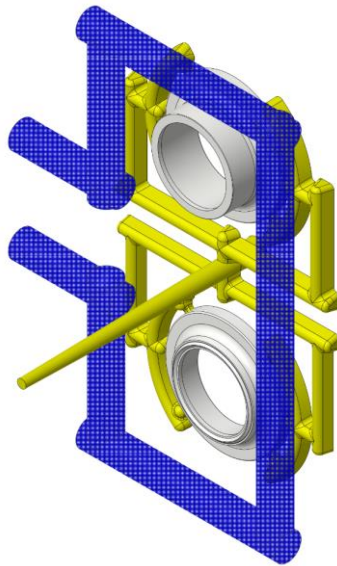


Obr. 4.25 Tepelný tok – varianta a)

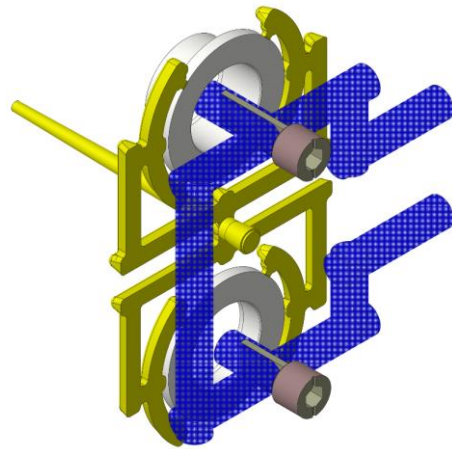
Varianta chlazení a temperace b)

Na základě výsledků simulace tepelného toku byla předchozí varianta chladicích okruhů vylepšena s cílem zvýšit množství odebíraného tepla v oblastech s vyššími hodnotami tepelného toku. Do chladicího okruhu pohyblivé poloviny byly přidány přepážky (viz obr. 4.26) o šířce 8 mm v délkách 19 mm a 13 mm, kterými by mělo být zajištěno intenzivnější odvádění tepla z vnitřních ploch vstřikovaných dílů skrze jádro. Vzhledem k nízké výšce dílů lze předpokládat, že účinnost plochých a spirálových přepážek bude v tomto případě velmi podobná.

chladicí okruh pevné poloviny

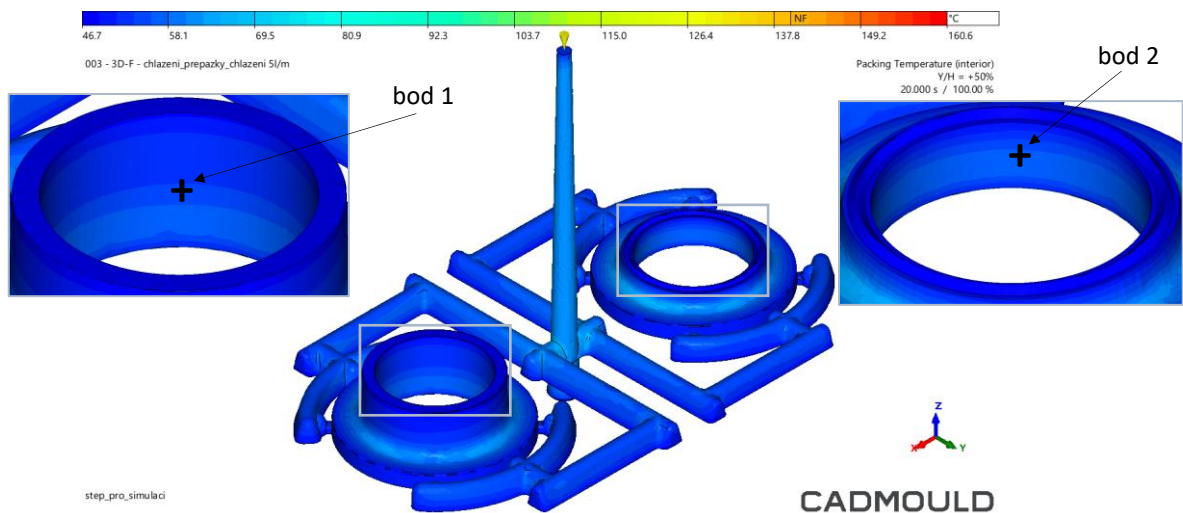


chladicí okruh pohyblivé poloviny



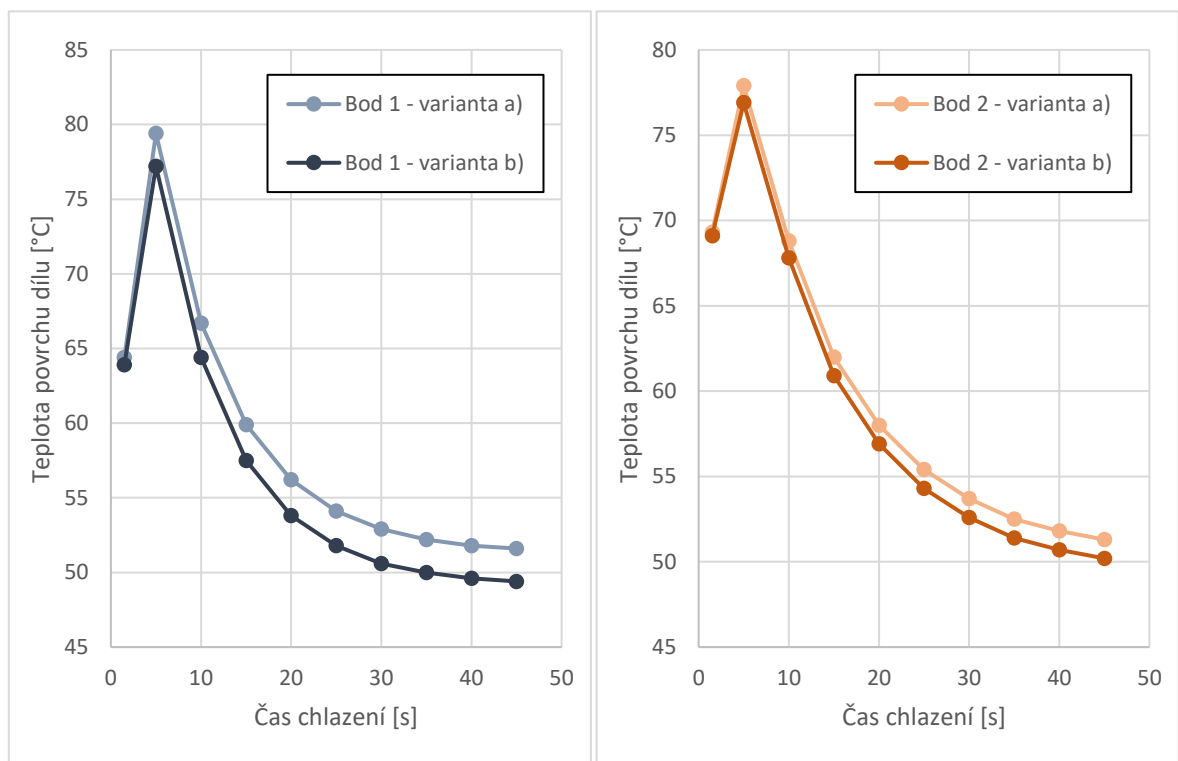
Obr. 4.26 Návrh chladicích okruhů – varianta b)

Výsledky simulace znázorňující teplotu povrchu vstřikovaných dílů po čase chlazení 20 s jsou zobrazeny na obrázku 4.27. Pro porovnání s předchozí variantou byly odečteny hodnoty ve stejných místech. U většího dílu (vlevo) byla odečtena maximální teplota povrchu 61,8 °C, minimální teplota povrchu 47,5 °C a teplota v bodě 1 byla 53,8 °C. U menšího dílu byly teploty následující: maximální teplota povrchu 64,9 °C, minimální teplota povrchu 46,8 °C a teplota v bodě 2 byla 56,9 °C. Při srovnání výše odečtených hodnot s předchozí variantou lze pozorovat rozdíl v teplotách pouze na povrchu vnitřních stěn dílů (v bodě 1 a 2), kde větších rozdílů je dosaženo u většího dílu z důvodu možnosti umístění delší přepážky. Maximální a minimální povrchové teploty zůstaly i přes umístění přepážek nezměněny a jejich rozdíl je 14,5 °C (u většího dílu) a 18 °C (u menšího dílu). Rychlost chlazení obou dílů je přibližně stejná, jako tomu bylo v předchozí variantě.



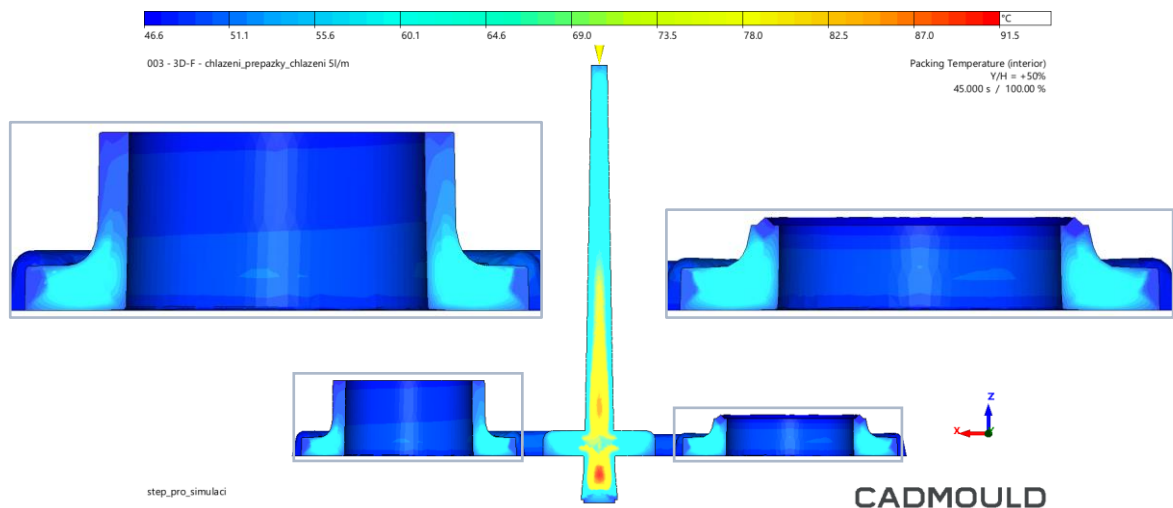
Obr. 4.27 Povrchová teplota dílů v čase chlazení 20 s – varianta b)

Pro porovnání rozdílu průběhu chlazení byly ve zvolených bodech 1 a 2 vyhodnoceny teplotní průběhy povrchu dílů. Zaznamenané hodnoty byly znázorněny v grafu 4.1. Z křivek je patrný rozdíl v rychlosti chlazení, kdy lze pozorovat vyšší rychlost u varianty b).



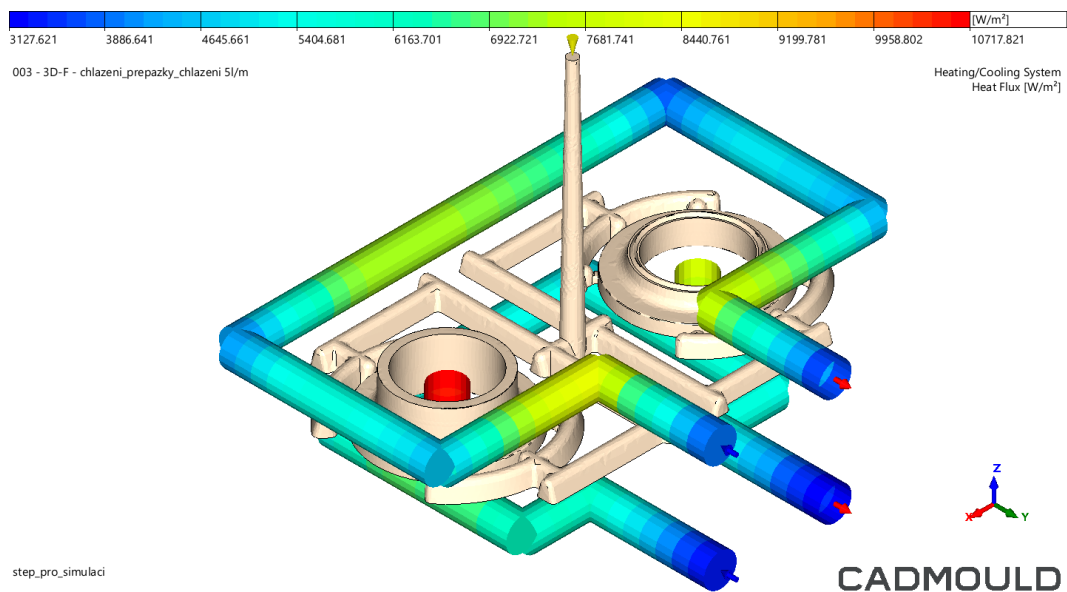
Graf 4.1 Porovnání závislosti povrchové teploty dílu na čase chlazení ve vybraných bodech

Znázornění vnitřních teplot v řezu v čase chlazení 45 s na obrázku 4.28 ukazuje, že průběh chlazení obou dílů uvnitř je velmi podobný, a nejsou zde patrné významné rozdíly. Při porovnání s předchozí variantou lze pozorovat relativně zřetelný rozdíl v chlazení taveniny od povrchu jader, kde byly umístěny přepážky a byl tak zvýšen odvod tepla z této oblasti.



Obr. 4.28 Vnitřní teploty v čase chlazení 45 s – varianta b)

Při porovnání výsledků simulace tepelného toku (viz obr. 4.29) s předchozí variantou, lze pozorovat, že chladicím kanálem s přepážkou u většího dílu je dosaženo většího odebrání tepla přímo v jádře, jak bylo předpokládáno. U jádra menšího dílu přepážka již nedisponuje tak velkou účinností z důvodu malé výšky kanálu i jádra, ale také přítomnosti menšího množství tepla odebíraného z menšího objemu chladnoucí taveniny.



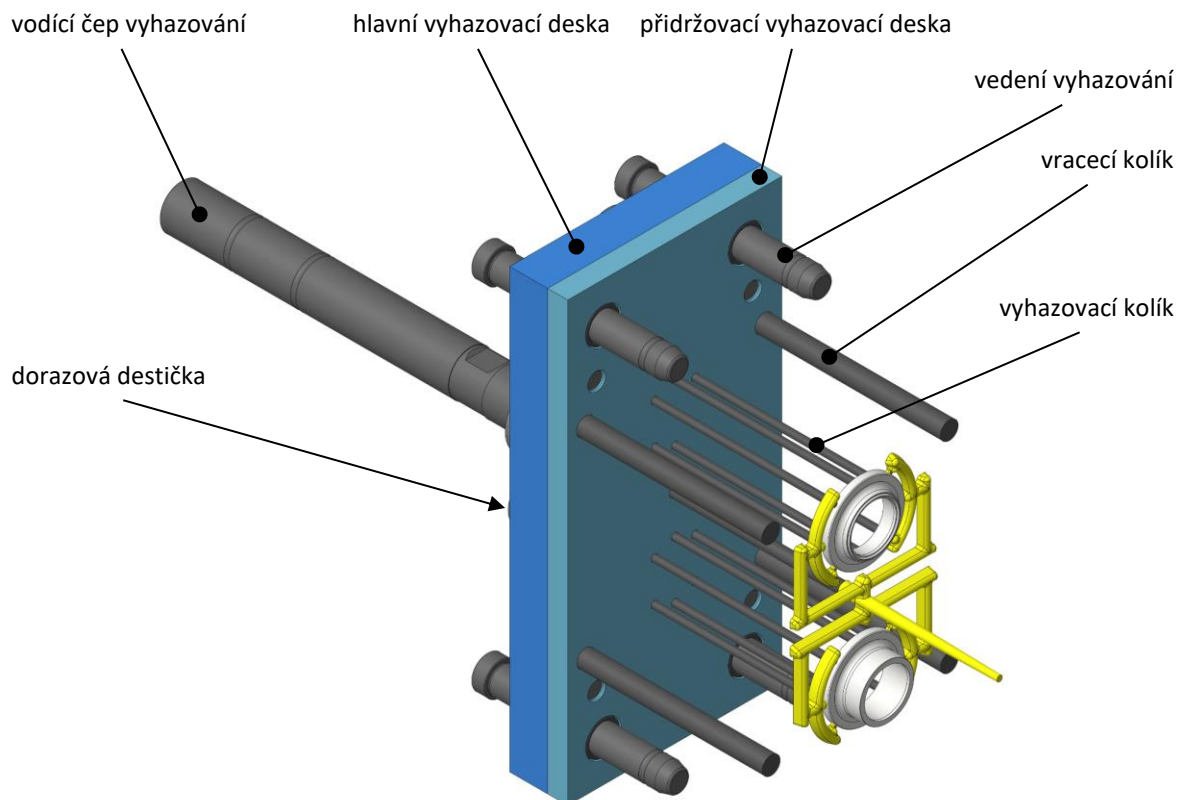
Obr. 4.29 Tepelný tok – varianta b)

Ze zmíněných závěrů a z porovnání variant chlazení byla pro návrh zvolena varianta b).

4.4 Návrh vyhazování

Volba konceptu systému vyhazování byla blíže představena v kapitole 3.3.3. Pro návrh vyhazovacího systému (viz 4.30) byly použity standardizované kalené vyhazovací kolíky kruhového průřezu (ISO 6751) z důvodu snadné dostupnosti a jednoduchosti výroby otvorů pro jejich vedení a uložení. Jako vraccí kolíky byly použity čtyři standardizované vyhazovací kolíky o průměru

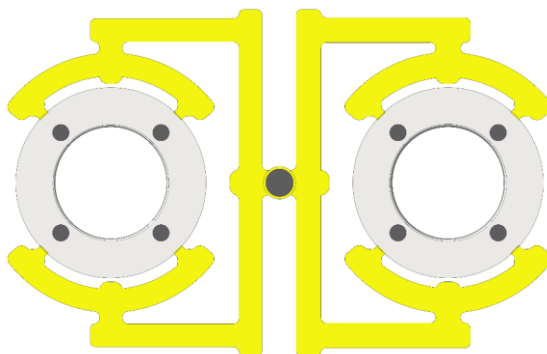
8 mm. Vedení vyhazování umístěné v rozích vyhazovacích desek bylo provedeno pomocí vodících pouzder ukotvených mezi hlavní a přidržovací vyhazovací deskou a vodícími kolíky o průměru 12 mm, které byly uloženy v upínací desce pohyblivé poloviny. Mezi hlavní vyhazovací deskou a upínací deskou pohyblivé poloviny byly připevněny na hlavní vyhazovací desku dorazové destičky o výšce 4 mm. Vodící čep vyhazování byl navržen tak, aby vyhovoval pro použití vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 320 C. Rozmístění a počet vyhazovacích kolíků byl vytvořen ve dvou níže popsaných variantách.



Obr. 4.30 Navržený systém vyhazování

Varianta systému vyhazování a)

Symetrické rozmístění čtyř vyhazovacích kolíků kruhového průřezu o průměru 3 mm pro oba vstřikované díly (viz obr. 4.31). Ve středu vtokového kužele je umístěn vyhazovač vtoku o průměru 5 mm, který slouží k uvolnění zadržené vtokové soustavy z přidržovače vtoku. Rozvržením vyhazovacích kolíků je dosaženo rovnoměrně působící vyhazovací síly na vyhazované díly a zároveň je ponechán dostatek prostoru pro umístění chladicích kanálů. Nevýhodou této varianty může být malá plocha, na kterou působí vyhazovací síla. Jelikož je předpokládáno, že forma bude používána pro více druhů termoplastů s rozdílným smrštěním, může být v některých případech plocha pro vyhazování nedostatečná.

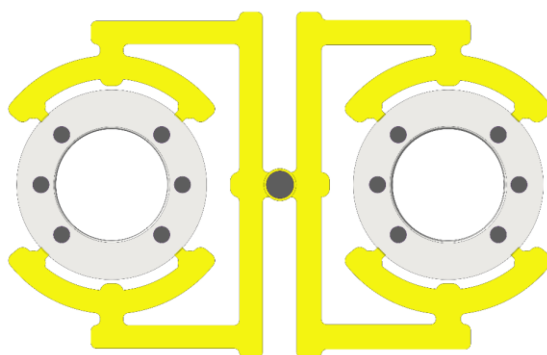


umístění vyhazovacího kolíku ●

Obr. 4.31 Rozmístění vyhazovacích kolíků – varianta a)

Varianta systému vyhazování b)

Pro zvětšení vyhazovací plochy byly přidány další vyhazovací kolíky, takže celkově bylo symetricky rozmístěno šest vyhazovacích kolíků kruhového průřezu o průměru 3 mm pro oba vstříkované díly tak, jak je zobrazeno na obrázku 4.32. Nevýhodou oproti předchozí variantě je rozmístění vyhazovacích kolíků symetricky pouze podél jedné osy z důvodu ponechání prostoru pro umístění chladicích kanálů. Díky většímu množství použitých vyhazovacích kolíků je výsledná vyhazovací plocha, na kterou působí vyhazovací síla zvětšena. Větší vyhazovací plochou by mělo být vyřešeno potenciační riziko předchozí varianty, a proto byla pro návrh vyhazování zvolena varianta b).



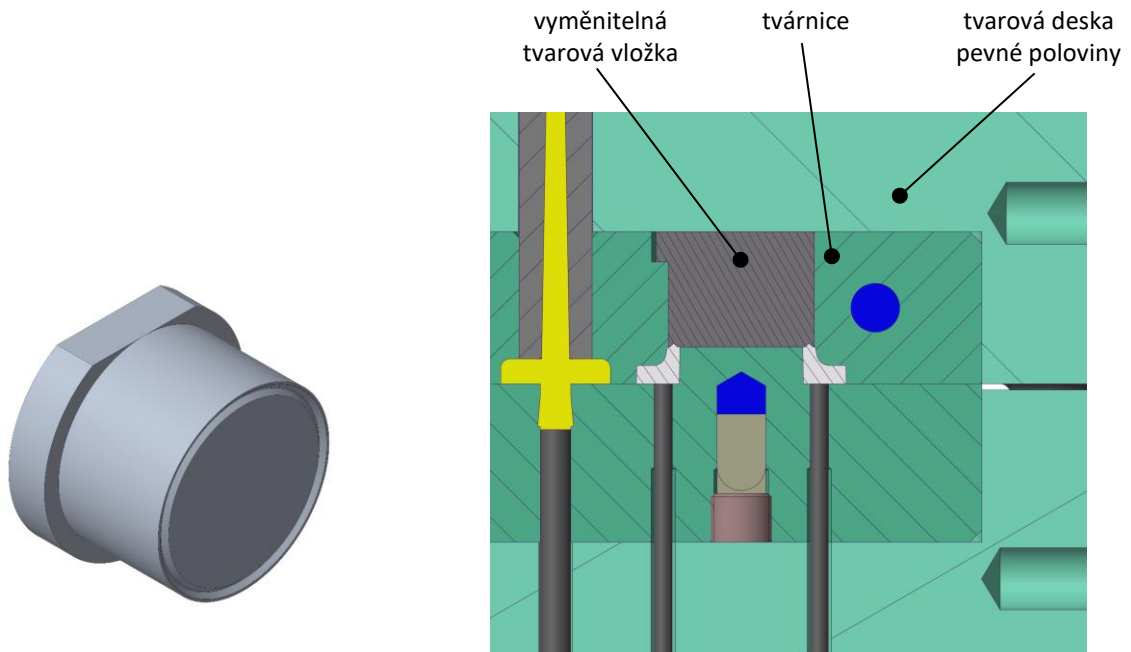
umístění vyhazovacího kolíku ●

Obr. 4.32 Rozmístění vyhazovacích kolíků – varianta b)

4.5 Konstrukční řešení vyměnitelné tvarové vložky

Dalším stanoveným požadavkem byla snadná změna tvaru koncentrátoru ultrazvukových kmitů. Tento požadavek byl vyřešen umístěním vyměnitelné tvarové vložky ve tvárnici. Vyměnitelná tvarová vložka byla navržena jako válcová vložka s osazením (viz obr. 3.33 vlevo). Tímto osazením je vložka ukotvena mezi tvárnici a tvarovou deskou (viz obr. 3.33 vpravo). Z jedné strany je na osazení vytvořena ploška, aby byla zajištěna jednoznačná poloha vyměnitelné vložky ve formě. Část vložky tvořící dutinu formy odpovídá tvaru vstříkovaného dílu a je tak součástí

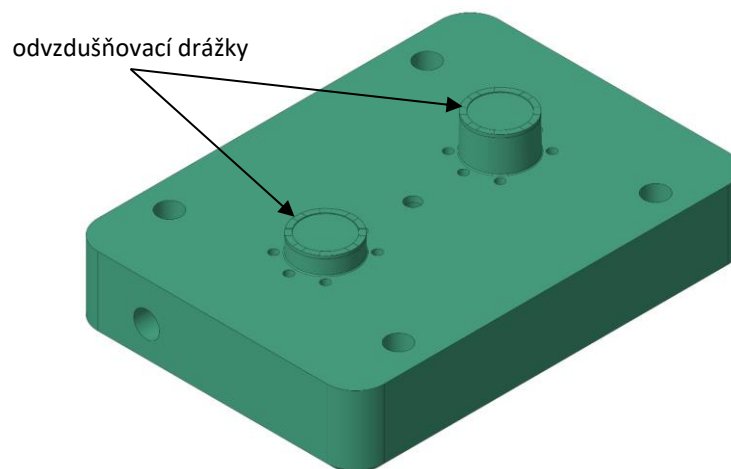
dutiny formy. Pro vyměnitelnou vložku byl zvolen materiál 1.2343, který byl tepelně zpracován kalením na předepsanou tvrdost 52 HRC.



Obr. 4.33 Vyměnitelná tvarová vložka (vlevo), umístění tvarové vložky v pevné polovině formy (vpravo)

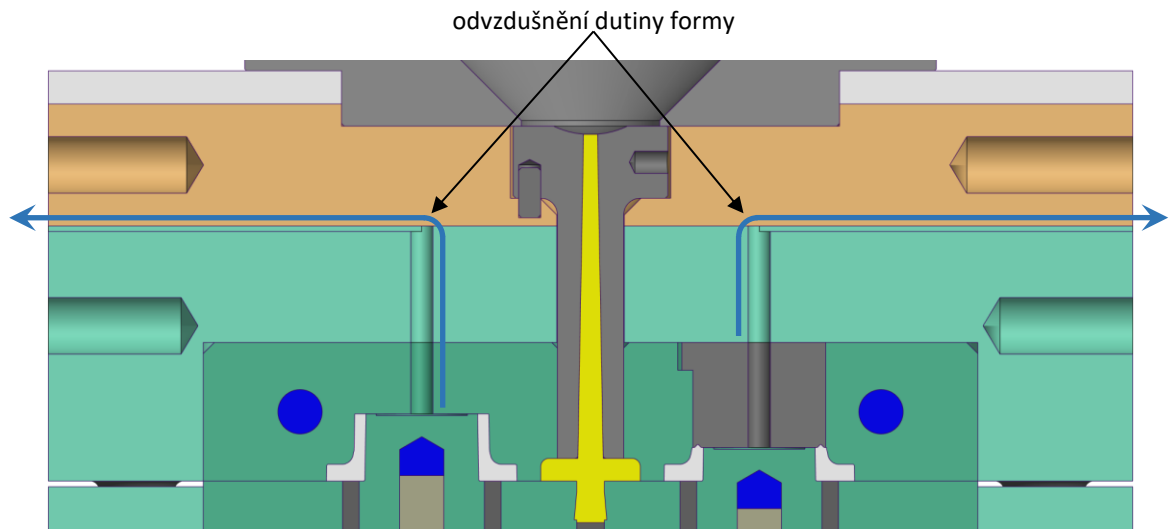
4.6 Odvzdušnění dutin formy

Dělicí rovina byla určena již s ohledem na snadné odvzdušnění dutiny formy, kde bylo předpokládáno, že k odvzdušnění dutiny bude docházet převážně skrze dělicí rovnu. K úniku vzduchu z dutiny by v menší míře mohla přispívat také vůle v uložení vyhadzovacích kolíků. V horních částech dutin formy bylo očekáváno větší riziko uzavření vzduchu, jelikož se jedná o místo, do kterého tavenina zatéká jako poslední. Z tohoto důvodu byly vrchní plochy jader upraveny tak, aby uzavřený vzduch mohl z dutiny uniknout. Po obvodu byly vytvořeny odvzdušňovací drážky (viz obr. 4.34) o šířce 3 mm a výšce 0,01 mm.



Obr. 4.34 Odvzdušňovací drážky na tvárníku

Dále je vzduch odváděn vyvrtanými otvory ve tvarové desce pevné poloviny až na rozhraní tvarové a upínací desky, zde je vzduch odveden mimo formu drážkou ve tvarové desce (viz obr. 4.35). K odvzdušnění jedné z dutin formy také přispívá vůle mezi tvárnicí a vyměnitelnou tvarovou vložkou. Největší riziko uvíznutí uzavřeného vzduchu je v oblasti koncentrátoru ultrazvukových kmitů. Z hlediska funkčnosti a jednoduchosti vyměnitelné vložky, zde nemůže být proveden jednoduchý způsob odvzdušnění.



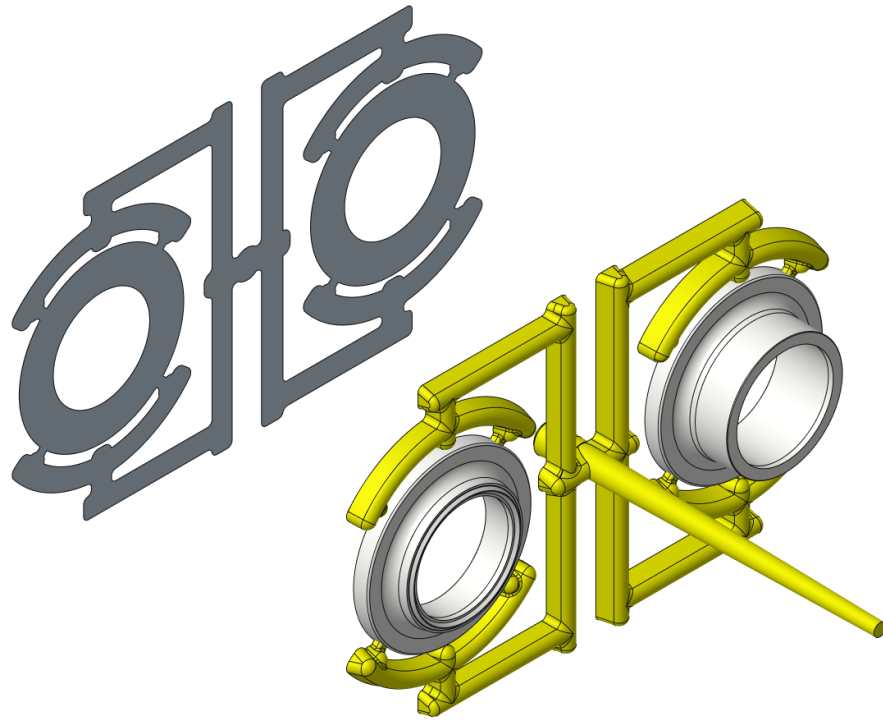
Obr. 4.35 Odvzdušnění vrchních částí dutin formy

4.7 Ověření uzavírací síly vstřikovacího stroje

Před výrobou samotné formy musela být vypočtena potřebná uzavírací síla, respektive maximální možný vstřikovací tlak. Z důvodu, že průmětná plocha do směru působící uzavírací síly rozváděcích kanálů je v porovnání s průmětnou plochou vstřikovaných dílů velmi významná, byl kontrolní výpočet proveden až po dokončení návrhu vtokového systému. Z průmětné plochy vtokového systému a vstřikovaných dílů (viz obr. 4.36) o velikosti 3086,8 mm² a maximální uzavírací síly stroje ARBURG ALLROUNDER 320 C o velikosti 500 kN (viz příloha 5) byl podle rovnice (4.1) vypočten maximální vstřikovací tlak 1600 barů, který může být nastaven při produkci zkušebních těles.

$$F_u = S \cdot p_i \rightarrow p_i = \frac{F_u}{S} \quad (4.1)$$

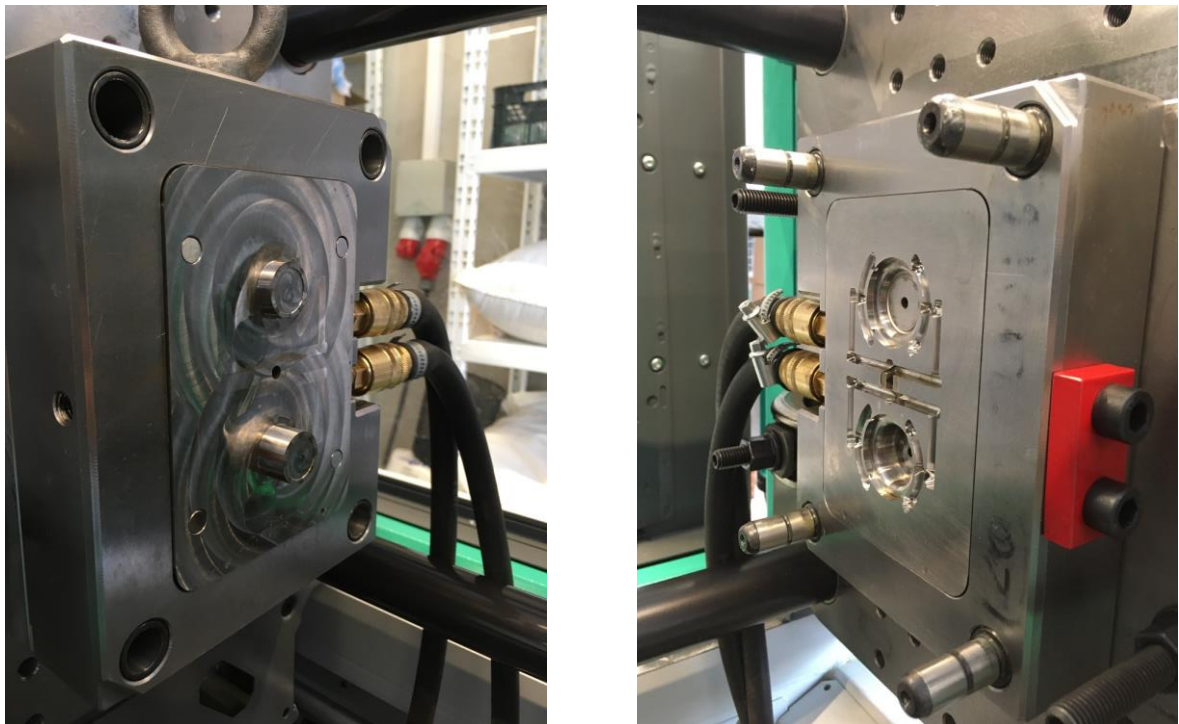
Kde značí: F_u – uzavírací síla [N],
 S – průmětná plocha do směru působící uzavírací síly [mm²],
 p_i – vnitřní tlak v dutině formy [MPa].



Obr. 4.36 Průmětná plocha do směru působení uzavírací síly

4.8 Ověření funkčnosti konstrukčního návrhu vstřikovací formy

Funkčnost vyrobené vstřikovací formy byla ověřena na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 320 C. Na obrázku 4.37 je zobrazena upnutá forma na vstřikovacím stroji v otevřeném stavu. Pevná polovina formy je zobrazena vpravo a pohyblivá polovina vlevo.



Obr. 4.37 Upnutá vstřikovací forma na vstřikovacím stroji

Ověření funkčnosti vstřikovací formy bylo provedeno výrobou zkušebních těles z materiálu PLA Luminy L130 při nastavených parametrech, které jsou shrnuty v následující tabulce 4.1. Celkem bylo vyrobeno 50 kusů a během této produkce nebyl pozorován žádný náznak problému, kterým by byla výroba zkušebních těles omezena.

Tab. 4.1 Parametry vstřikování při ověřování funkčnosti formy

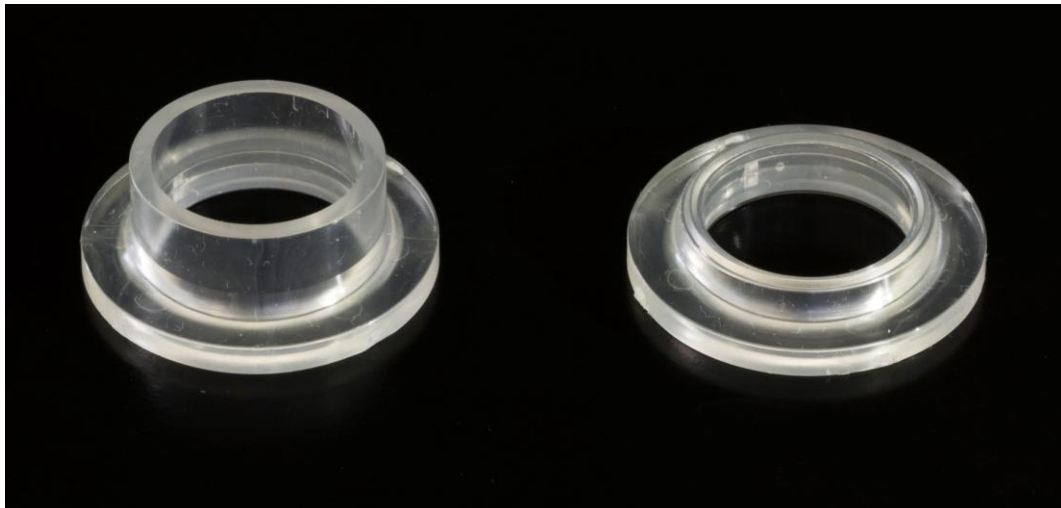
PARAMETR	HODNOTA				
vstřikovaný materiál	PLA Luminy L130				
teplotní profil vstřikovací jednotky (od násypky) [°C]	180	190	195	200	200
uzavírací síla [kN]	250				
teplota formy [°C]	20				
objem dávky [cm ³]	16				
vstřikovací rychlost [cm ³ /s]	20				
čas vstřikování [s]	0,76				
přepnutí na dotlak (přes objem) [cm ³]	7				
čas dotlaku [s]	8				
velikost dotlaku [bar]	550				
zbývající čas chlazení [s]	20				
obvodová rychlost šneku [m/min]	15				
zpětný tlak [bar]	10				
rychlost dekomprese [cm ³ /s]	15				
objem dekomprese [cm ³]	5				
celková doba cyklu [s]	33				

Na obrázku 4.38 je zobrazen vyhozený vylisek z formy, který v sobě obsahuje vstřikované díly zkušebního tělesa a zatuhlou vtokovou soustavu. V kapitole 4.6 bylo zmíněno možné potenciaální riziko uzavření vzduchu v oblasti koncentrátoru ultrazvukových kmitů. Z vizuální kontroly vylisovaných dílů v této oblasti stopy po uzavřeném vzduchu, popřípadě spáleného materiálu, nebyly pozorovány.



Obr. 4.38 Kompletní výlisek po vyhození z formy

Na obrázku 4.39 jsou zobrazeny finální vstříkované díly, u kterých byla již odstraněna vtoková soustava. Z těchto dílů již lze svařit zkušební těleso a může být testována pevnost a další ukazatele kvality ultrazvukového svaru.



Obr. 4.39 Vstříkované díly po odstranění vtokové soustavy

5 ZÁVĚR

V teoretické části práce jsou nejdříve představena a posouzena současně používaná zkušební tělesa technologie ultrazvukového svařování. Následně byl vytvořen obecný rozbor problematiky konstruování vstřikovacích forem od rozdělení konstrukčních typů forem přes popis jednotlivých funkčních částí až po shrnutí standardizovaných komponent. Speciální pozornost byla věnována studeným vtokovým systémům, systémům chlazení a vyhazování.

V experimentální části práce bylo nejprve zvoleno zkušební těleso, které je definováno pokynem DVS-2216-3. Důvodem volby bylo již dřívější osvědčení v praxi pro hodnocení obecných zkoušek svařitelnosti termoplastických materiálů a skutečnost, že jejich tvar odpovídá běžně spojovaným výrobkům technologií ultrazvukového svařování. Dále byly definovány požadavky a specifikace na konstrukci vstřikovací formy pro výrobu vybraných zkušebních těles. Mezi tyto požadavky bylo především zahrnuto zaručení homogenních vlastností materiálu v celém objemu dílů, rovnoměrné rozložení teploty povrchu dutiny formy, minimalizace tvorby nekvalitních studených spojů, vhodnost formy pro použití více druhů polymerních materiálů, zaručení stejných zpracovatelských podmínek obou protikusů a umožnění snadné změny tvaru koncentrátoru ultrazvukových kmitů. Na základě uvedených požadavků a specifik byl vypracován předběžný návrh vstřikovací formy, koncipované jako standardní dvoudesková vstřikovací forma se dvěma dutinami, se studenou vtokovou soustavou, s jednoduchými chladicími okruhy a vyhazováním pomocí vyhazovacích kolíků. Součástí předběžného návrhu byla také volba dělicí roviny a orientace vstřikovaných dílů ve formě, která byla zvolena s ohledem na možnost odvodu skrze dělicí rovinu a snadného odformování dílů. Dále byla popsána volba materiálů formy. Pro výrobu desek byla zvolena ocel 1.1730 a pro dutinové vložky byla použita předtvrzená zušlechťená ocel 1.2714 HH kalená na 42 HRC z důvodu zajištění vyšší životnosti dutiny formy i při vstřikování plněných materiálů. Poté byly stanoveny průměrné hodnoty předpokládaného smrštění budoucích výrobků.

Na předběžný návrh navazuje detailní konstrukční návrh vstřikovací formy, ve kterém je nejprve popsán návrh rozměrů formy v souvislosti se vstřikovacím strojem ARBURG ALLROUNDER 320 C. Dále jsou představeny varianty návrhů vtokových systémů, počínaje jednoduchou variantou s jedním bočním vtokem, až po variantu využívající přirozené balancování vtokového systému se čtyřnásobným bočním vtokem. Tyto návrhy byly podrobeny analýze v softwaru CADMOULD, kde byly hodnoceny hlavně výsledky průběhů plnění, tlakových ztrát a smykových napětí. Dle porovnání výsledků, výhod a nevýhod jednotlivých variant byla pro návrh vybrána varianta se čtyřmi přirozeně vybalancovanými vtoky, jejíž hlavní výhodou je rovnoměrné plnění, rovnoměrné působení dotlaku, lepší kvalita studených spojů a předpokládaná nižší úroveň

deformací. Dále byly představeny návrhy chlazení a temperace, které byly, stejně jako vtokové systémy, analyzovány pomocí softwaru CADMOULD. Nejprve byla vytvořena jednoduchá varianta chladicích okruhů s ohledem na jednoduchost a nízké výrobní náklady. Tato varianta byla podrobena simulaci a na základě výsledků byla vytvořena varianta s přepážkami pro chlazení jader. Dále byly představeny způsoby rozmístění vyhazovacích kolíků, ze kterých byla vybrána varianta s větší plochou vyhazování. Poté bylo představeno konstrukční řešení vyměnitelné vložky a popsán způsob provedení odzdušnění dutiny vstřikovací formy.

Vypracováním detailního konstrukčního návrhu vstřikovací formy byl splněn hlavní cíl diplomové práce. Dále byl konstrukční návrh použit pro výrobu vstřikovací formy a následně vyrobená vstřikovací forma byla funkčně odzkoušena na stroji ARBURG ALLROUNDER 320 C, čímž byly splněny další cíle diplomové práce. Pro ověření funkčnosti byl použit materiál PLA Luminy L130. Produkce vstřikovaných dílů během ověřování funkčnosti formy probíhala standardním způsobem a nebyly shledány žádné náznaky potíží, kterými by byla ovlivňována produkce zkušebních těles.

Literatura

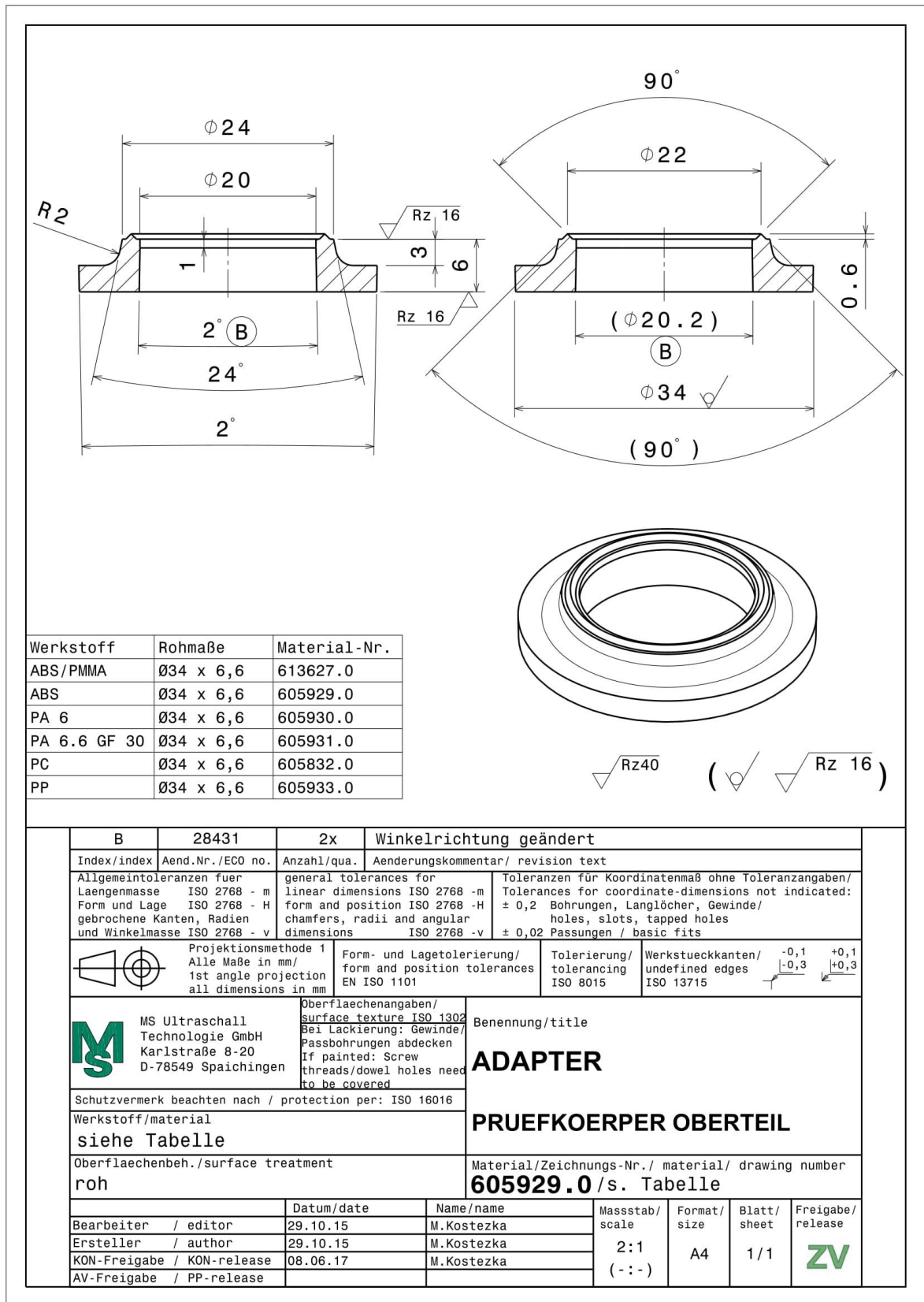
- [1] Richtlinie DVS 2216-1 Beiblatt 1: DVS-Prüfkörper mit ERG für das Ultraschallschweißen thermoplastischer Kunststoffe und Prüfbedingungen. Düsseldorf, Německo: DVS Media, 2005.
- [2] AWS G1.2M/G1.2:1999 An American National Standard: Specification for Standardized Ultrasonic Welding Test Specimen for Thermoplastics. Miami, USA: American Welding Society, Inc. (AWS), 1999.
- [3] HOLT, Ken, Leo KLINSTEIN a Miranda MARCUS. New Test Part for Ultrasonic Welding Characterization. 2013. Dukane IAS, s.r.ro. Dostupné také z:
http://www.ultrasonics.org/aws/UIA/asset_manager/get_file/124945?ver=4
- [4] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. Verze knihy: 12. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-63-2.
- [5] E. Alfredo Campo. The Complete Part Design Handbook: for Injection Molding of Thermoplastics. Munich: Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-3-446-40309-3.
- [6] GASTROW, Hans. Injection molds: 130 proven designs. [1st ed.]. München: Hanser, 2002. ISBN 1-56990-316-6.
- [7] STOECKHERT, Klaus. Formenbau für die Kunststoff-Verarbeitung. München: Carl Hanser, 1965.
- [8] Part and Mold Design [online]. LANXESS, 2016 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z:
https://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015
- [9] TECHNIK, Jiří. Úprava geometrie vtokového systému pro PC/ABS. Liberec, 2015. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [10] STANDARDS Z. [online]. HASCO Hasenclever GmbH + Co KG 2021, 2020 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: https://media.hasco.com/marketing/Produkt/KAT/Z_Kat.pdf
- [11] HYNEK, Martin. Plastové díly: Studené a živé vtokové systémy. Verze - 1.0. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013.
- [12] Ampcoloy 940: Technický list. AMPCO METAL S.A. Dostupné také z:
https://www.ampcometal.com/documents/A940_EX_E.pdf
- [13] MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers, 2001. ISBN 1-56990-282-8.
- [14] NORMÁLIE PRO VÝROBU FOREM [online]. Meusburger Georg GmbH & Co KG, 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/>

- [15] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování. Verze knihy: 18. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-72-4.
- [16] Shrinkage. Omnexus [online]. SpecialChem, 2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/shrinkage>

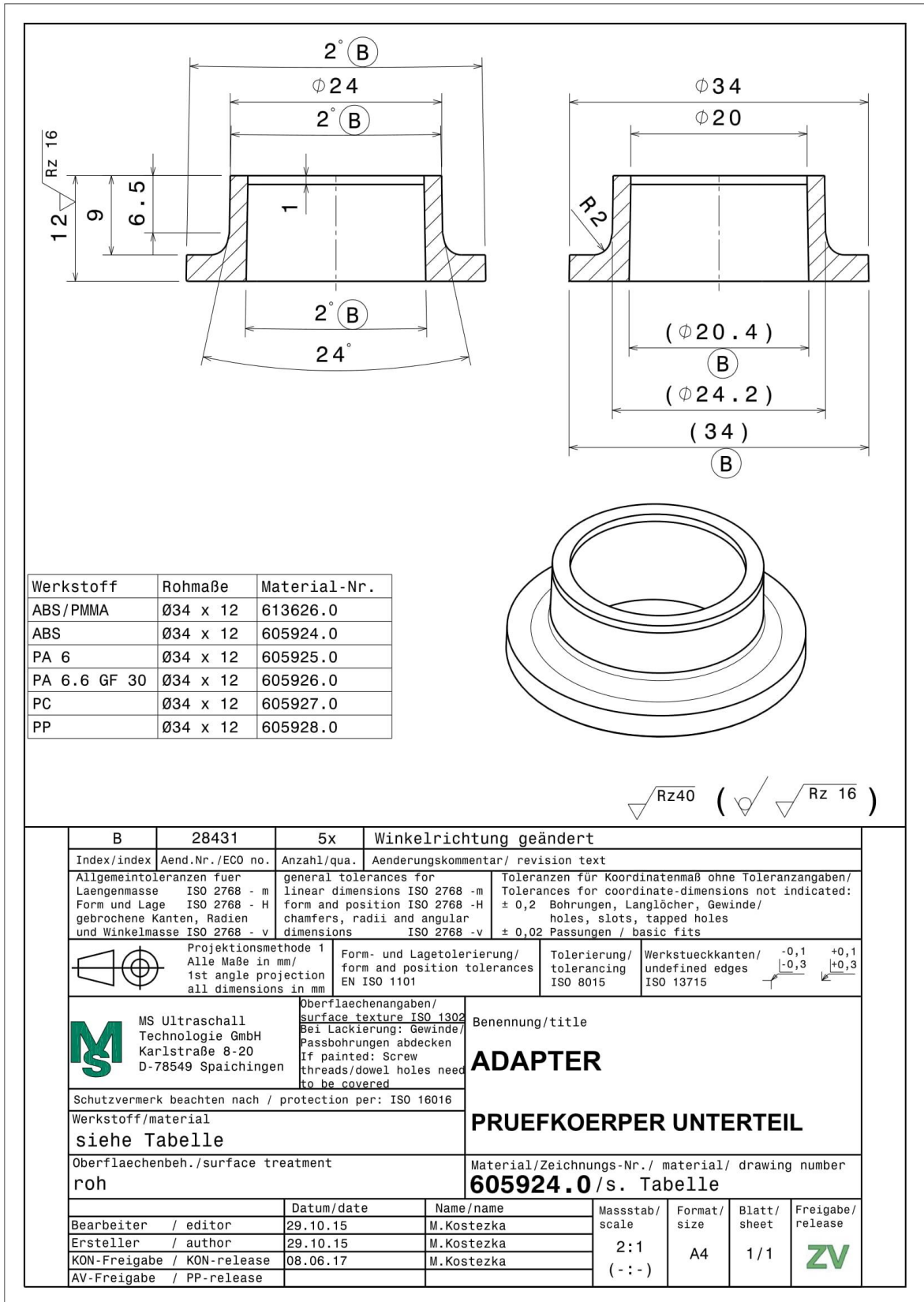
Seznam příloh a přílohy

- Příloha č. 1 Výrobní výkres zkušebního tělesa DVS, 1. díl
- Příloha č. 2 Výrobní výkres zkušebního tělesa DVS, 2. díl
- Příloha č. 3 Kusovník sestavy vstřikovací formy
- Příloha č. 4 Výkres sestavy vstřikovací formy
- Příloha č. 5 Výtah z technického listu vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 320 C

Příloha č. 1 Výrobní výkres zkušební tělesa DVS, 1. díl

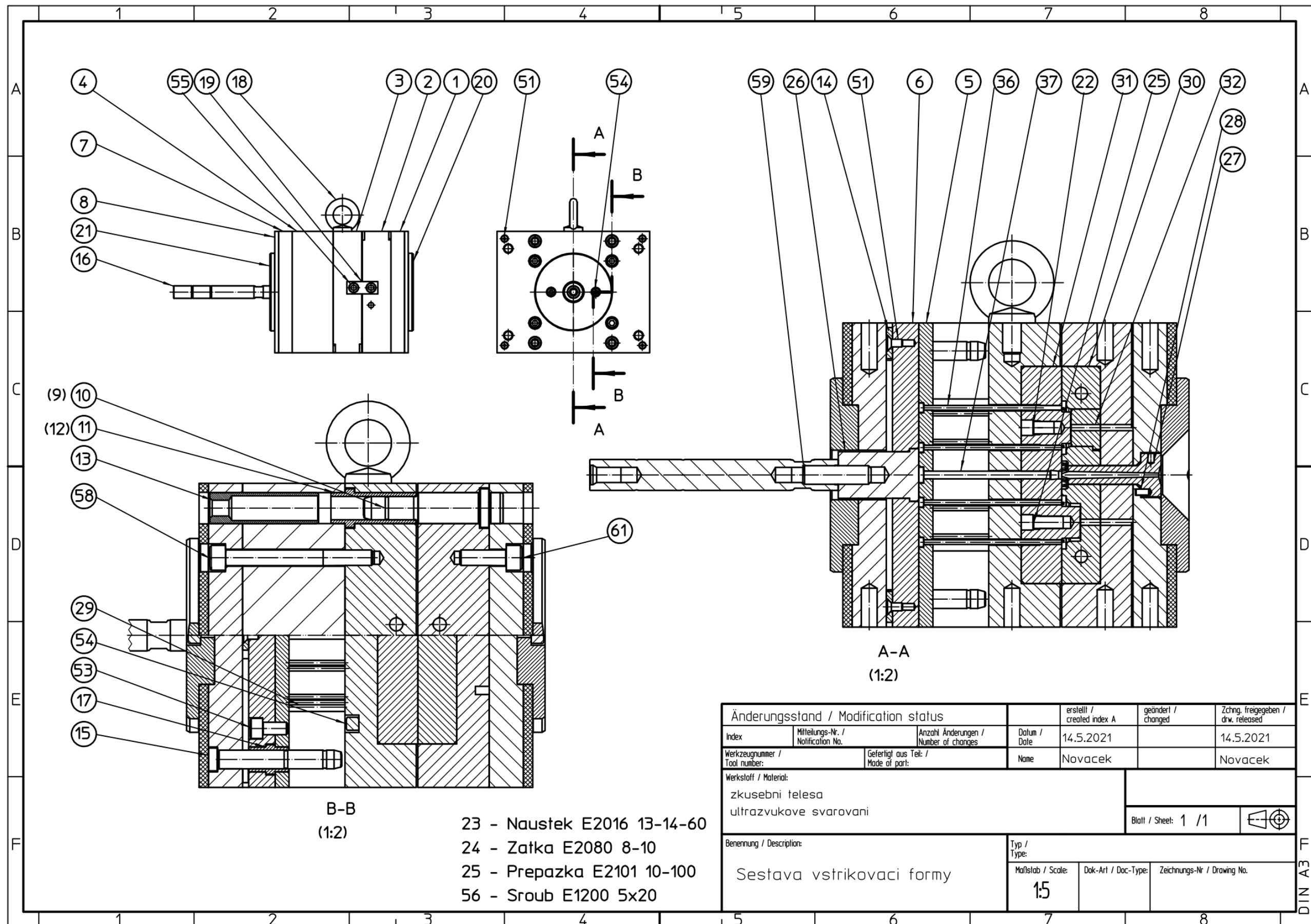


Příloha č. 2 Výrobní výkres zkušební tělesa DVS, 2. díl



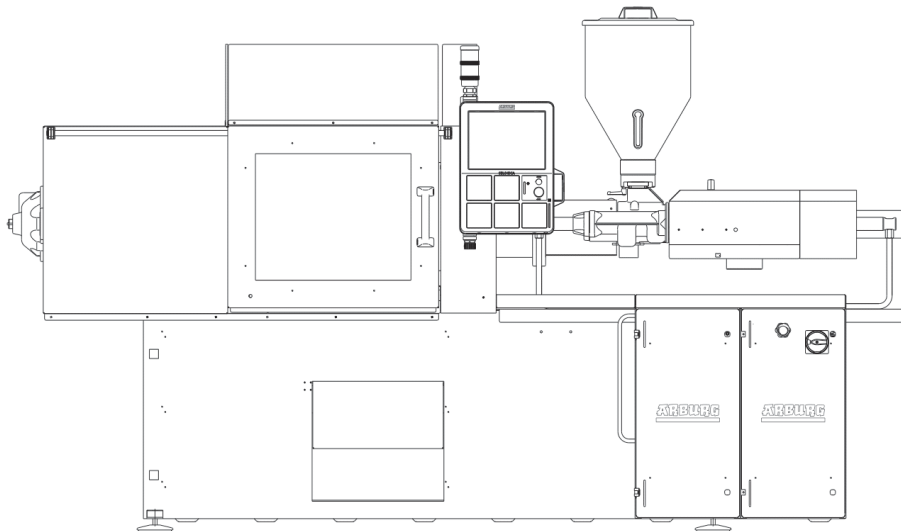
Příloha č. 3 Kusovník sestavy vstříkovací formy

POZICE	POČET KS	NÁZEV	TYP / ROZMĚR	MATERIÁL	POZNÁMKY
1	1	Upínací deska pevná	P 246x196x22	1.1730	Meusburger
2	1	Tvarová deska pevná	F53 246196_46 (25)	1.1730	Meusburger
3	1	Tvarová deska pohyblivá	F53 246196_46 (25)	1.1730	Meusburger
4	2	Rozpěra	F 70_156196_26_66	1.1730	Meusburger
5	1	Přidržovací deska vyhazování	F 80_156196_96_9	1.1730	Meusburger
6	1	Hlavní deska vyhazování	F 85_156196_96_17	1.1730	Meusburger
7	1	Upínací deska pohyblivá	P 246x196x22	1.1730	Meusburger
8	2	Izolační deska	E 1400_196 296_6_90		Meusburger
9	1	Vodící kolík	E 1000_14-46_35		Meusburger
10	3	Vodící kolík	E 1000_15-46_35		Meusburger
11	3	Pouzdro vedení	E 1100_15-46		Meusburger
12	1	Pouzdro vedení	E 1100_14-46		Meusburger
13	4	Centrovací pouzdro	E 1160_20x70		Meusburger
14	4	Dorazová destička	E 1500_20		Meusburger
15	4	Vodící kolík vyhazování	E 1020_12x100		Meusburger
16	1	Vyhazovací tyč	E_1050_12_20x160		Meusburger
17	4	Pouzdro vyhazování	E 11202_12-9_17		Meusburger
18	1	Oko	E 1270_12		Meusburger
19	1	Transportní pojistka	50x20x10	11600	
20	1	Středicí kroužek pevná	E 1375_125_90x18		Meusburger
21	1	Středicí kroužek pohyb	E 1375_125_90x18		Meusburger
22	1	Přepážka	E 2101_10_100		Meusburger
23	4	Náustek	E_2016_13_14_60		Meusburger
24	12	Zátka	E 2080_8_10		Meusburger
25	1	Přepážka	E 2101_10_100		Meusburger
26	1	Vyhazovací Vložka	E_1515_12_52		Meusburger
27	1	Vtoková vložka	E_1605_12x56_2_5		Meusburger
28	1	Kolík	4x8		
29	4	Vracecí kolík	E 1710_8x100		Meusburger
30	1	Tvárnice	NF2660/100 140 25/1.2343	1.2714HH	
31	1	Tvárník	NF2660/100 140 40/1.2343	1.2714HH	
32	1	Vložka	PR30x20	1.2343	Kalit na 52HRC
36	12	Vyhazovač	E_1710_3x100		Meusburger
37	1	Vyhazovač vtoku	E1710_5x100		Meusburger
51	12	Šroub se zápustnou hlavou	E 1220_5x10		Meusburger
53	4	Šroub	E 1200_8x16		Meusburger
54	12	Šroub	E 1200_8x20		Meusburger
55	2	Šroub	E 1200_10x25		
56	4	Šroub	E 1200_5x20		Meusburger
58	4	Šroub	E 1200_10x95		Meusburger
59	1	Stavěcí šroub	E 1230_12x30		Meusburger
61	4	Šroub	E 1200_10x30		Meusburger



- 23 - Naustek E2016 13-14-60
- 24 - Zátka E2080 8-10
- 25 - Prepazka E2101 10-100
- 56 - Sroub E1200 5x20

Änderungsstand / Modification status			erstellt / created index A	geändert / changed	Zchg. freigegeben / drw. released
Index	Mitteilungs-Nr. / Notification No.	Anzahl Änderungen / Number of changes	Datum / Date	14.5.2021	14.5.2021
Werkzeugnummer / Tool number:	Gefertigt aus Teil: / Made of part:	Name	Novacek		Novacek
Werkstoff / Material:				Blatt / Sheet: 1 / 1	
zkusebni telesa ultrazvukove svarovani					
Benennung / Description:			Typ / Type:		
Sestava vstrikovaci formy			Maßstab / Scale:	Dok-Art / Doc-Type:	Zeichnungs-Nr / Drawing No.
			1:5		



ALLROUNDER 320 C

GOLDEN EDITION

Distance between tie bars: 320 x 320 mm
Clamping force: 500 kN
Injection unit (acc. to EUROMAP): 100, 170

ARBURG

TECHNICAL DATA | 320 C GOLDEN EDITION

Clamping unit		320 C GOLDEN EDITION	
with clamping force	max. kN	500	
Opening force stroke	max. kN mm	130 350	
Mould height, fixed variable	min. mm	200 ---	
Platen daylight fixed variable	max. mm	550 ---	
Distance between tie bars (w x h)	mm	320 x 320	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	446 x 446	
Weight of movable mould half	max. kg	180	
Ejector force stroke	max. kN mm	30 125	
Dry cycle time EUROMAP ²	min. s - mm	1,3 - 224	

Injection unit		100			170		
with screw diameter	mm	20	25	30	25	30	35
Effective screw length	L/D	25	20	16,7	24	20	17
Screw stroke	max. mm	100			120		
Calculated stroke volume	max. cm ³	31	49	71	59	85	115
Shot weight	max. g PS	29	45	65	54	77	105
Material throughput	max. kg/h PS	5,5	8	9,5	10	13,5	16
	max. kg/h PA6.6	2,8	4	4,9	5	7	8
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1390	2500	2000	1470
Injection flow ²	max. cm ³ /s	64	100	146	66	96	132
Screw circumferential speed ²	max. m/min	28	35	42	35	42	49
Screw torque	max. Nm	120	150	180	210	250	290
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	50 180			50 210		
Heating capacity zones	kW	4,9 5			9,4 5		
Feed hopper	l	50			50		

Drive and connection		2 pumps	
with injection unit		100	170
Net weight of machine	kg	2250	2300
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	68 3	
Oil filling	l	165	
Drive power ²	max. kW	11	11
Electrical connection ³	kW	19	22
	Total	A	63
	Machine	A	---
Heating	A	---	
Cooling water connection	max. °C	30	
	min. Δp bar	1,5 DN 25	

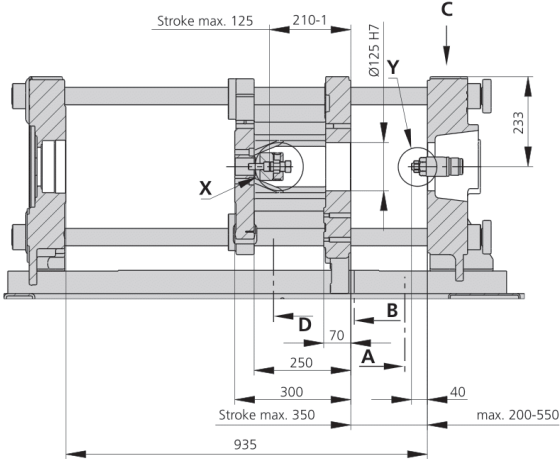
Machine type

with EUROMAP size designation ¹
320 C GOLDEN EDITION 500-100 | 170

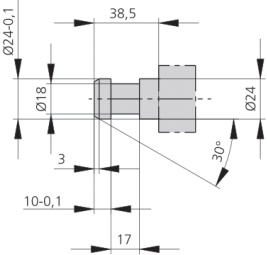
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

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

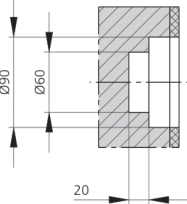
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 320 C GOLDEN EDITION



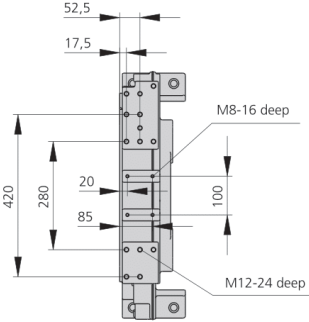
Ejector bolt | X



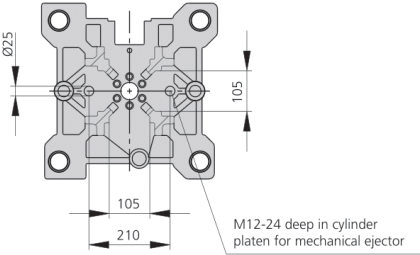
Bore in mould (if required) | Y



Robotic system mounting | C

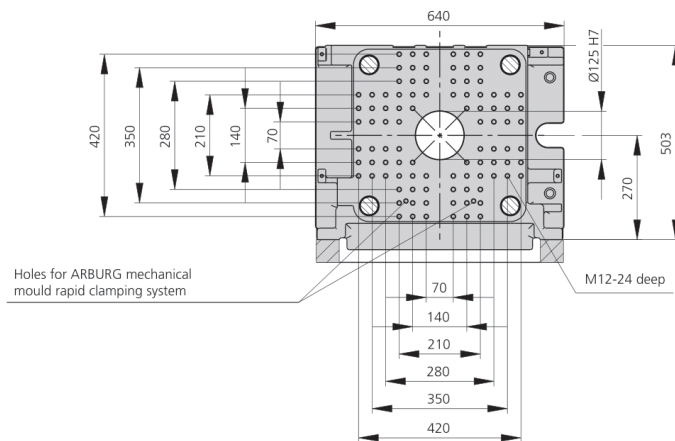


View | D

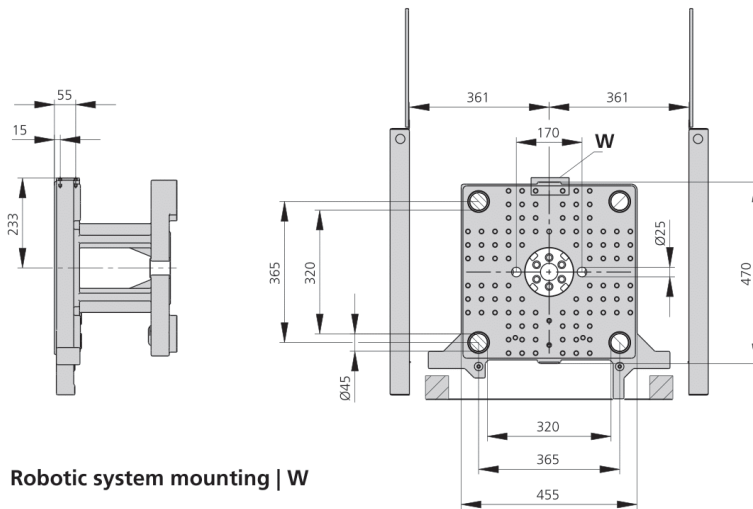


MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 320 C GOLDEN EDITION

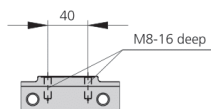
Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



Robotic system mounting | W



SHOT WEIGHTS | 320 C GOLDEN EDITION

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		100			170		
Screw diameter	mm	20	25	30	25	30	35
Polystyrene	max. g PS	29	45	65	54	77	105
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	28	44	63	53	76	103
	max. g SAN, ABS ¹⁾	27	43	62	52	74	101
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	32	50	73	61	87	119
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	30	47	68	56	81	110
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	30	46	67	56	80	109
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	27	42	60	50	72	98
Polycarbonate	max. g PC	30	47	68	57	81	111
Polysulphone	max. g PSU	31	49	70	58	84	115
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	28	44	64	53	77	104
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	26	41	60	50	72	98
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	35	55	80	66	96	130
Polyethylene terephthalate	max. g PET	34	53	77	64	92	126
Polyethylene	max. g PE-LD	22	34	49	41	59	80
	max. g PE-HD	22	35	50	42	60	82
Polypropylene	max. g PP	23	36	51	43	62	84
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	46	72	103	86	124	169
	max. g ETFE	40	63	91	76	109	148
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	35	54	78	65	94	127
	max. g PVC-P ¹⁾	32	50	72	60	87	118

1) average value

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

523871_EN_GB_092019 - Subject to alterations

© 2019 ARBURG GmbH + Co KG | All data and technical information have been compiled with great care. However we accept no responsibility for correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.