

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: Strojírenství

Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce vstřikovací formy s teplou
vtokovou soustavou

Autor: **Tomáš Strolený**
Vedoucí práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: **2013/2014**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	Tomáš STROLENÝ
Osobní číslo:	S13B0003K
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	Konstrukce průmyslové techniky
Název tématu:	Návrh vstříkovací formy s teplou vtokovou soustavou
Zadávající katedra:	Katedra konstruování strojů

Zásady pro vypracování:

Základní požadavky:

Vypracování řešerše na téma vstříkovací formy s teplým vtokem. Zpracování 3D návrhu vstříkovací formy a výkresové dokumentace.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování řešerše na zadané téma.
2. Vypracování 3D modelu vstříkovací formy.
3. Zhodnocení návrhu a výkresová dokumentace.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním.* **Praha: SNTL, 1986**

KOLOUCH, J. *Strojní součásti z plastů.* **Praha: SNTL, 1981**

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**


Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**


Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září. 2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Evě Krónerové, Ph.D., za metodické vedení a věcné připomínky.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Strolený	Jméno Tomáš	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 - Konstrukce průmyslové techniky		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Krónerová, Ph.D.	Jméno Eva	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukce vstřikovací formy s teplou vtokovou soustavou		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	41	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje teorii vstřikování plastů, rešerši konstrukce vstřikovací formy pro plasty, popis samotného výstřiku a popis částí vstřikovací formy.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>vstřikování plastů, vstřikovací stroj, plasty, florbalová čepel, konstrukce, vlastnosti plastů, Inventor</p>

SUMMARY BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Strolený		Name Tomáš	
FIELD OF STUDY	B2301 – Construction of industrial technology			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Krónerová, Ph.D.		Name Eva	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Proposal of injection mold with hot runner			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	47	TEXT PART	41	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis covers the theory of injection molding, search about design of injection molds for plastics, description of the ejection and injection mold parts description.
KEY WORDS	plastic injection molding , injection molding machine, plastic, floorball blade, construction, properties of plastics, Inventor

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ	9
1 ÚVOD DO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	10
1.1 HISTORICKÝ ÚVOD.....	10
1.2 POPIS VSTŘIKOVACÍHO CYKLU.....	11
1.3 PLASTY VHODNÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.4 ÚPRAVA PLASTŮ.....	12
1.4.1 Míchání plastů.....	13
1.4.2 Granulace	13
1.4.3 Sušení granulátu.....	13
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	14
2.1 PLASTIFIKACE.....	14
2.2 PLNĚNÍ FORMY	15
2.2.1 Stlačení hmoty ve formě	16
2.2.2 Dotlak.....	16
2.2.3 Chladnutí výstřiku.....	17
3 VSTŘIKOVACÍ STROJE	19
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	19
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA	20
3.3 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....	20
4 VSTŘIKOVACÍ FORMY	21
4.1 ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	22
5 PRAKTICKÁ ČÁST	24
5.1 ZADÁNÍ.....	24
5.2 POPIS VÝSTŘIKU.....	24
5.3 FLORBAL A JEHO HISTORIE	25
5.4 MATERIÁL POUŽITÝ PRO VÝSTŘIK ČEPELE	26
5.5 KONSTRUKCE FORMY	27
5.6 DĚLICÍ ROVINA FORMY	28
5.7 POPIS ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	29
5.7.1 Upínací deska.....	29
5.7.2 Opěrné desky	30
5.7.3 Tvárník a tvárnice s vyměnitelnou vložkou	31
5.7.4 Vtokový systém a návrh velikosti vtokových kanálů.....	34
5.7.5 Vyhazovací systém	40
5.7.6 Temperační systém	42
5.8 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	42
5.9 VSTŘIKOVACÍ LIS.....	43
6 ZÁVĚR	45
POUŽITÁ LITERATURA	46
SEZNAM OBRÁZKŮ	47

Seznam symbolů

Uzavírací síla	F_u [N]
Přidržovací síla	F_p [N]
Rozteč vodících sloupků	[mm]
Průměr šneku	D [mm]
Délka šneku	L [mm]
Vstřikovací kapacita	Q_v [cm ³]
Plastifikační kapacita	Q_p [kg/h]
Vstřikovací tlak	P [MPa]
Objemová vstřikovací rychlost	v [cm ³ /s]
Průřez vedlejšího vtokového kanálu	S_{VV} [mm ²]
Průměr vedlejšího vtokového kanálu	D_{VV} [mm]
Průřez hlavního vtokového kanálu	S_{HV} [mm ²]
Průměr hlavního vtokového kanálu	D_{HV} [mm]
Průřez vtokového kužele	S_K [mm ²]
Průměr vtokového kužele	D_K [mm]
Délka vedlejšího vtokového kanálu	L_{VV} [mm]
Délka hlavního vtokového kanálu	L_{HV} [mm]

1 Úvod do vstřikování plastů

1.1 Historický úvod

“ Lidská společnost se setkává s makromolekulárními látkami prakticky od nepaměti. I když rozvoj syntetických polymerů v moderním smyslu nastal až ve dvacátém století, některé polymerní materiály byly známy a používány už mnohem dříve. Zpočátku šlo ovšem o přírodní polymery.

Také principy plastikářské technologie jsou mnohem starší, než se domníváme. Už ve dvanáctém století byl v Anglii založen cech zpracovatelů rohoviny. Její zpracování bylo založeno na poznatku, že rohovina při teplotě nad 125°C měkne a dá se následně tvarovat. Pojem plasty byl odvozen od řeckého „plastein“ což v překladu znamená „tvarovat“.

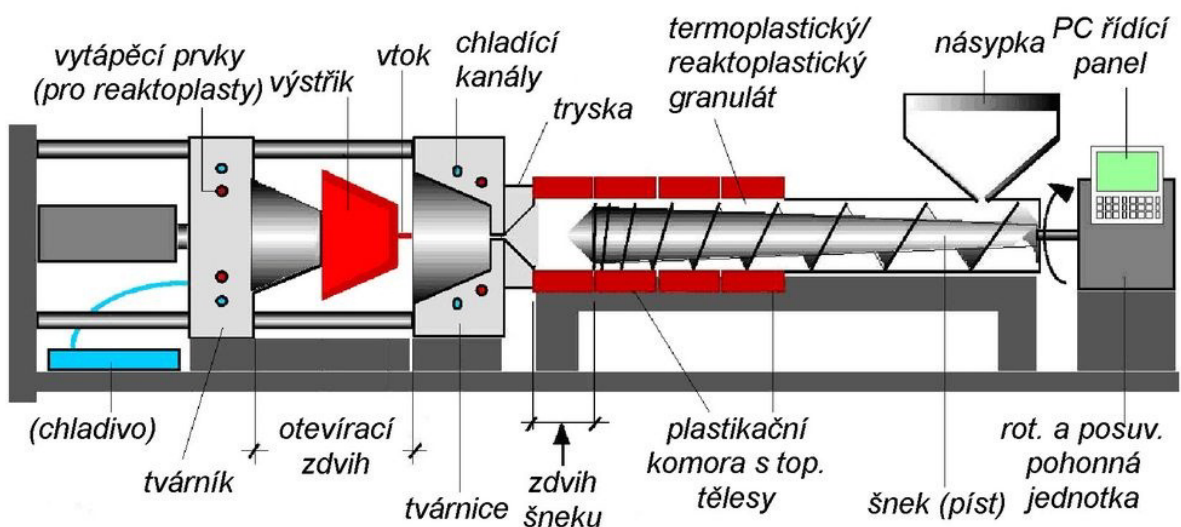
Počátek historie technologie vstřikování plastu je spojován se jménem John Wesley Hyatt, který spolu s bratrem v roce 1870 v USA patentoval materiál, z něhož později vznikl celulooid, včetně zařízení pro jeho vstřikování. Vstřikování plastů se jako výrobní obor začal rozvíjet až po 1. Světové válce. V roce 1921 pánové A. Eichengrün a H. Bucholtz vyvíjejí v Německu jako první na světě komerční pístový ruční vertikální vstřikovací stroj. V témže roce je v USA založena firma B+B Metals Works, později ModernToll and Die Co., vyrábějící formy a zabývající se obchodem s nimi. V roce 1926 německá firma Eckert und Ziegler nabízí první horizontální ruční vstřikovací stroj s formou na pohyblivých upínacích deskách. V roce 1929 zahajuje výrobu pístových vstřikovacích strojů firma Ing. Vltavský v Rakovníku (Československo). V roce 1930 firma Ford Motor Co. začíná montovat komponenty z plastů do svých automobilů. V roce 1932 je patentován elektricky vyhřívaný plastifikační válec, v roce 1933 je vyvinut hydraulicky poháněný uzavírací systém, v roce 1936 se v USA zavádějí do vstřikovacích strojů časové ovladače. Firma D-M-E v roce 1942 představuje formu složenou z typizovaných dílů, tzv. normálií, v roce 1943 firma BASF patentuje plastikační šnek s vratným pohybem, v roce 1950 je vyvinut a v USA patentován první vyhřívaný horký rozvod. První vstřikovací stroj se šnekovou plastikací, místo pístové, postavila firma Windsdor Ltd. v roce 1951. V roce 1956 je patentována šneková vstřikovací jednotka v dnešní podobě. První pneumatický nasávač byl vyroben v roce 1953, v roce 1954 byl poprvé představen vyjiskřovací stroj; ultrazvukové svařování bylo zavedeno do plastikářské výroby v roce 1959, sušení granulátu suchým vzduchem začalo v roce 1968, v témže roce se objevují vstřikovací stroje s plně elektronickým řízením.

Vícekomponentní technologie se objevuje v roce 1969, v roce 1973 se do řízení vstřikovacích

strojů zavádí regulace se zpětnou vazbou, v roce 1977 se začínají zavádět mikroprocesorové zpětnovazebné řídicí systémy. V roce 1979 je pevně nasazen na nepohyblivou upínací desku vstřikovacího stroje robot. V roce 1983 firmy Battenfeld a Netstal představují automatizované vstřikovny. V roce 1985 je předveden první systém využívající 3D matematické modelování a první plně elektrický vstřikovací stroj. V roce 1987 firma Engel začíná vyrábět bezsloupové horizontální vstřikovací stroje. V roce 1988 je zaváděn SPC (StatisticProcessControl), kontrolní systém procesu vstřikování. Dvoudeskové vstřikovací stroje se objevují v roce 1992.“ [1]

1.2 Popis vstřikovacího cyklu

Vstřikování plastů je tvářecí proces, při kterém dochází ke vstřiku plastické hmoty do dutiny formy. Plastická hmota je dodávána v podobě granulátu, který je připraven v násypce. Z násypky je odebírán šnekem vstřikovacího zařízení a následně je plastifikován na požadovanou vstřikovací teplotu. Po plastifikaci se vstříkne pod vysokým tlakem do vstřikovací formy. Vstřikovací forma se ohřívá a z toho důvodu je nutné ji chladit (temperovat). V průběhu vstřikování je nutné, aby se z formy odvedly všechny přebytečné plyny a umožnily zaplnění dutiny taveninou. Pro odvodušnění většinou postačují vůle mezi jednotlivými částmi nástroje, ale v některých případech jsme nuceni vyrobit pro odvodušnění speciální nástroje. Doba vstřiku je řádově ve vteřinách. Po vstřiku následuje ochlazování, které trvá až desítky vteřin. Následně se forma otevře a pomocí vyhazovačů je výstřik vyhozen z formy.



Obr. 1.1: Schéma vstřikovacího stroje

Vstřikovací cyklus se skládá z těchto částí:

- nabrání potřebného množství granulátu ze zásobníku
- zahřívání granulátu a následná plastifikace
- vstřik plastu a následné dotlačení
- otevření formy a vyjmutí výstřiku

1.3 Plasty vhodné pro vstřikování

Při výběru materiálu nerozhoduje jen cena a vlastnosti daného plastu, ale také jeho vhodnost pro zpracování technologií vstřikováním. Materiál, který je dobře zpracovatelný, umožní maximální využití mechanických vlastností udávaných výrobcem. Naopak pokud je materiál náchylný například k tepelné degradaci nebo má nízkou viskozitu, výsledný výrobek bude mít podstatně horší vlastnosti, než jsou udávané v materiálových listech. Metodou vstřikováním se častěji zpracovávají termoplasty než reaktoplasty. Využívání reaktoplastů je omezeno jejich mechanickými vlastnostmi.

POLYMERY			
REAKTOPLASTY	TERMOPLASTY	TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	ELASTOMERY
Fenolické	Částečně krystalické	S vysokou tvrdostí	NR
Melaminové	Amorfní	S nízkou tvrdostí	SBR
Epoxidové			NBS
Polyesterové			EPDM
Další			Další

Obrázek 1.2 Rozdělení polymerních materiálů [1]

1.4 Úprava plastů

Plasty dodané výrobcem nemůžeme ihned zpracovávat pomocí vstřikování. Musí dojít k úpravám plastu pro zlepšení jejich fyzikálních a chemických vlastností. Tyto vlastnosti můžeme upravit tak, aby byly vhodné pro vstřikování do dutiny formy pomocí aditiv, jako jsou: změkčovadla, stabilizátory, síťovací prostředky a podobně. Z plastů musí být odstraněny různé nečistoty, těkavé podíly, jako jsou například zbytky rozpouštědel. Následně musí být plastům dodána podoba, která je vhodná pro zpracování metodou vstřikováním.

1.4.1 Míchání plastů

Míchání plastů se provádí na míchacím stroji. Do míchacího stroje se umístí látky, které je potřeba smísit, čím větší homogenity směsi chceme dosáhnout, tím je následný proces obtížnější.

Většina plastů musí být pro další zpracování smíšena s přísadami nezbytnými pro kvalitu budoucího výrobku (změkčovadly, stabilizátory, antioxidanty, plnivy apod.) nebo pro usnadnění zpracování (např. mazivy).[2]

1.4.2 Granulace

Granulace je jednou z posledních operací při přípravě plastové směsi. Provádí se na granulovacím stroji a touto operací dostává plast svůj finální tvar. Plast se zpracovává do tvaru granulí, protože granule se dají dobře dávkovat. “Výhodou granulí je jejich relativně velká sypká hmotnost, dobré tokové vlastnosti a možnost dalšího směsování s dalšími materiály (např. s pigmenty). Do tvaru granulí se musí znovu převést i vratný odpad, který odpadá během zpracování.“ [2]

1.4.3 Sušení granulátu

Jedním z hlavních požadavků na jakost termoplastů – granulátů určených ke vstřikováním – je stanovení obsahu vlhkosti v nich – vstupní kontrola před vstřikováním a kontrola účinnosti sušení. Pro určení maximálního povoleného obsahu vlhkosti v granulátu před jeho zpracováním vstřikováním se obvykle vychází z údajů výrobce granulátu – materiálové listy, různé databáze, zkušenosti atd. Skutečný obsah vody v polymeru potom závisí na relativní vlhkosti teplotě prostředí, v němž je materiál uskladněn. Zde je nutné dát pozor na teplotní změny (změna rosného bodu) při přemístění granulátu z „chladného“ skladu do „teplé“ vstřikovny. Při tomto přemístění obvykle dochází k vysrážení vlhkosti na povrch granulátů – vznik povrchové vlhkosti, kterou je nutné před zpracováním odstranit. [1]

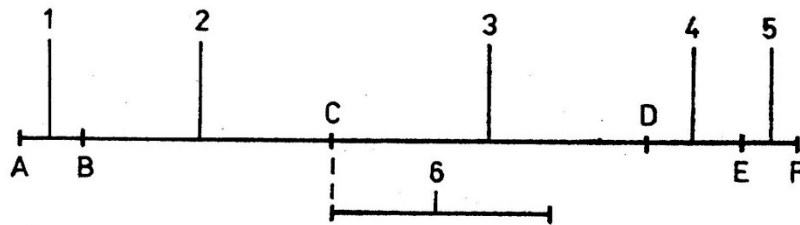
Sušení granulátu se provádí v sušárnách, ve kterých je možné efektivně sušit různé druhy granulátů.

Sušení granulátu závisí na:

- teplotě sušení
- rosném bodě
- době sušení
- průtoku vzduchu

2 Technologie vstřikování

Vstřikovací zařízení se skládá z řídicích přístrojů, vstřikovacího stroje a vstřikovací formy. Vstřikovací stroj a forma udávají následné vlastnosti a kvalitu konečného výstřiku. Vstřikování plastů můžeme rozdělit na tyto části: plastifikace granulátu, plnění formy (stlačení hmoty ve formě, dotlak), chlazení výstřiku ve formě a vyhození výstřiku.



Obr. 2.1: Časový průběh vstřikovacího cyklu [2]

1 – vstřikování, 2 – dotlačování, 3 – chlazení, 4 – vyjímání výstřiku, 5 – dosednutí trysky na formu,
6 – plastifikace šnekem, A – B = vstřikovací čas, B – C = čas dotlačení, C – D = čas chlazení,
D – E = čas otevření formy, E – F = plastifikační jednotka znovu dosedá na formu a může být zahájen další cyklus.

2.1 Plastifikace

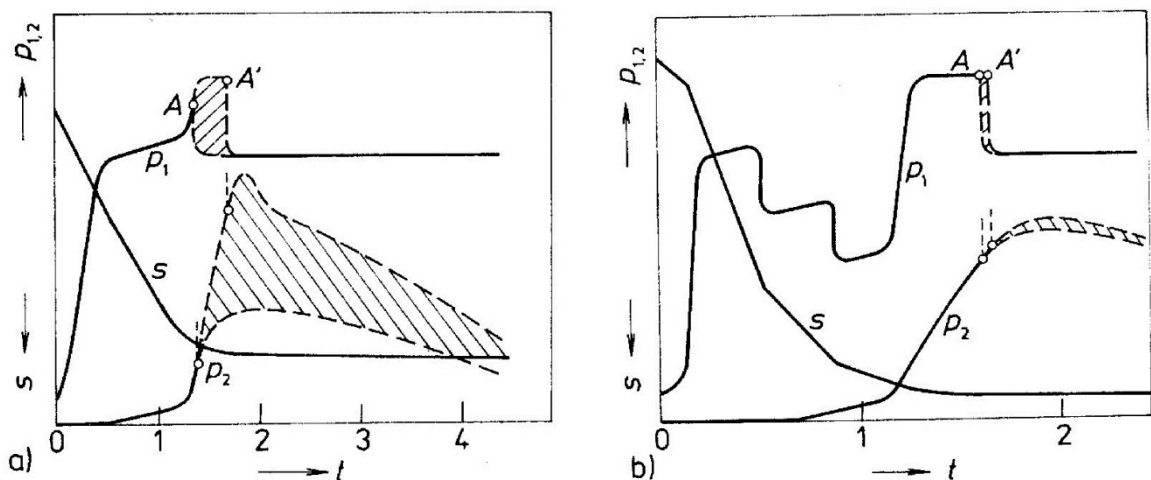
Cílem plastifikace je roztavení a následné homogenizování materiálu v podobě prášku nebo granulátu. K plastifikaci dochází v tavicí komoře, ve které je uložen plastifikační šnek. Plastifikační šnek se otáčí a zároveň posouvá, plastifikuje materiál a přepravuje ho směrem k trysce. Přívod tepla, který je potřebný k roztavení granulátu (prášku) je dodáván z jedné třetiny elektricky, pomocí ohřivačů tavicí komory a ze dvou třetin pomocí třením granulátu (prášku) o stěny šneku. V průběhu plastifikace je důležité udržovat konstantní teplotu taveniny, protože přímo ovlivňuje vlastnosti taveniny jako je viskozita a doba chlazení. Plastifikovaný a homogenizovaný granulát (prášek) se hromadí před čelem šneku.

2.2 Plnění formy

“Účelem této fáze je dokonale naplnit tvarovou dutinu formy taveninou pod tlakem 50 až 200 MPa, podle viskozity taveniny, členitosti a tloušťky stěn výstřiku. Při vstřikování se šnek neotáčí, ale posune se hydraulicky vpřed a jako píst vytlačí taveninu z válce skrz trysku do formy. Fáze vstřikování se dělí na plnění formy a stlačení hmoty ve formě. “[3]

Pokud nebude plnění formy dostatečně rychlé, může dojít k předčasnému tuhnutí plastické hmoty. Naopak vysoká rychlost plnění povede k nekontrolovatelnému růstu teploty a způsobí tepelnou degradaci a následné znehodnocení výstřiku. Rychlost plnění formy bývá kolem 100 až 200 m/s. Z počátku vstřiku by měla rychlost taveniny narůstat pozvolně, protože díky skoku toku taveniny na maximální hodnotu by došlo ke vzniku velké povrchové orientace, vnitřního pnutí a viditelné tokové čáry. Ke konci vstřikování je výhodné rychlost vstřikování snížit aby mohl z formy utíkat přebytečný vzduch.

“Plnění formy je provázeno rychlými změnami tlaku, teploty a viskozity taveniny. Tyto změny jsou větší u složitějších tvarů a při vyšším poměru délky toku taveniny k tloušťce stěny. Mají za následek homogenitu a nerovnoměrnost struktury, orientaci, vnitřní pnutí apod. Tomu se dá do značné míry zabránit vhodným tvarem, případně úpravou vstřiku z hlediska optimálního proudění taveniny.“[3]



Obr. 2.2 Průběh tlaku při vstřikování termoplastů [3]

- a) Konvenčních strojů, b) u moderních vstřikovacích strojů s optimalizací procesu
 p_1 - tlak hydraulické kapaliny posouvající šnek při vstřiku, p_2 - tlak taveniny ve formě, s – dráha posuvu šneku vpřed při vstřiku, t – čas, $A - A'$ - rozptyl okamžiků přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak v jednotlivých cyklech (odpovídající rozptyl průběhu tlaků p_1, p_2 je značen šrafováním) ; dotlak je zachycen jen ve své počáteční fázi

Doba plnění závisí na:

- použité technologii
- geometrii vstřikovaného tělesa
- teplotě formy
- objemu dutiny formy
- provedení vtokové soustavy
- druhu použitého plastu

Plnění dutiny formy taveninou se pohybuje v řádu sekund v závislosti na velikosti výstřiku.

2.2.1 Stlačení hmoty ve formě

“Po naplnění všech tvarových dutin formy nastává stlačování hmoty. Tlak taveniny prudce stoupne a vstřikovací rychlost náhle klesne. Jestliže by tlak oleje v hydraulickém válci, ovládající posuv šneku, zůstal na původní vysoké hodnotě (tzv. vstřikovací tlak), vznikla by ve formě tlaková špička, která by způsobila zvýšenou hmotnost a zvětšené rozměry výstřiku a navíc vysoké namáhání formy, které by mohlo vest až k jejímu pružnému prohnutí (tzv. dýchnutí formy) a z toho plynoucí přeplnění formy. Výstřik v přeplněné formě by byl po krátkodobém „dýchnutí“ pružně stlačen, po vyjmutí by nepatrně expandoval a v jeho povrchových vrstvách by vzniklo tahové vnitřní pnutí. Někdy může vzniknout i otřep v dělicí rovině formy. Kromě toho při náhlém poklesu tlakové špičky nastane jistý zpětný tok chladnoucí taveniny z formy ven k trysce, což zvyšuje orientaci makromolekul, zejména v okolí vtoku.“[3]

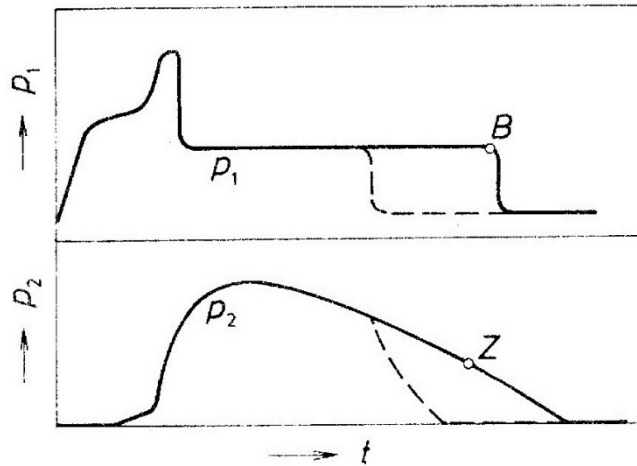
Aby jsme byli schopni zabránit těmto nežádoucím jevům, je nutné, aby došlo ke snížení vstřikovacího tlaku na tzv. dotlak. Snížení tlaku docílíme posunutím vstřikovacího šneku.

2.2.2 Dotlak

Účelem dotlaku je po ukončení vstřiku dotlačovat další taveninu do formy a nahrazovat tak úbytek objemu způsobený smršťováním materiálu během chladnutí, aby ve výstřiku nevznikly staženiny nebo povrchové propadliny. Dotlak má velký vliv na strukturu výrobku a časově se překrývá s fází chladnutím výstřiku ve formě. Velikost dotlaku a jeho trvání, mají odpovídat postupu smršťování hmoty ve formě. [3]

Při použití vyšších hodnot dotlaku, dojde ke zvětšení výstřiku ve formě a ke zvětšení

stupně orientace makromolekul. Předčasné ukončení dotlaku má za následek vznik propadlin a dutin u tlustostěnných výstřiků a naopak prodloužení doby působení dotlaku pro nás nemá žádný výsledný efekt, dochází ke zbytečnému prodloužení výrobního cyklu. Hodnota dotlaku není po celou dobu jeho působení konstantní. Z počátku bývá hodnota dotlaku vyšší z důvodu rychlého zaplnění dutiny formy tekutou taveninou, následně dojde ke snížení hodnoty dotlaku a zaplňování dutiny formy v okolí toku již značně viskózní taveninou.



Obr. 2.3: Průběh dotlaku při vstřikování termoplastů [3]

p_1 - tlak hydraulické kapaliny posouvající šnek při vstřiku, p_2 - tlak taveniny ve formě, B – okamžik ukončení dotlaku, pokles na zpětný tlak, Z – okamžik ztuhnutí vtoku (konec možnosti dotlačovat taveninu do formy), ---- průběh tlaků při předčasném ukončení dotlaku

Parametry ovlivňující dotlakovou fázi jsou:

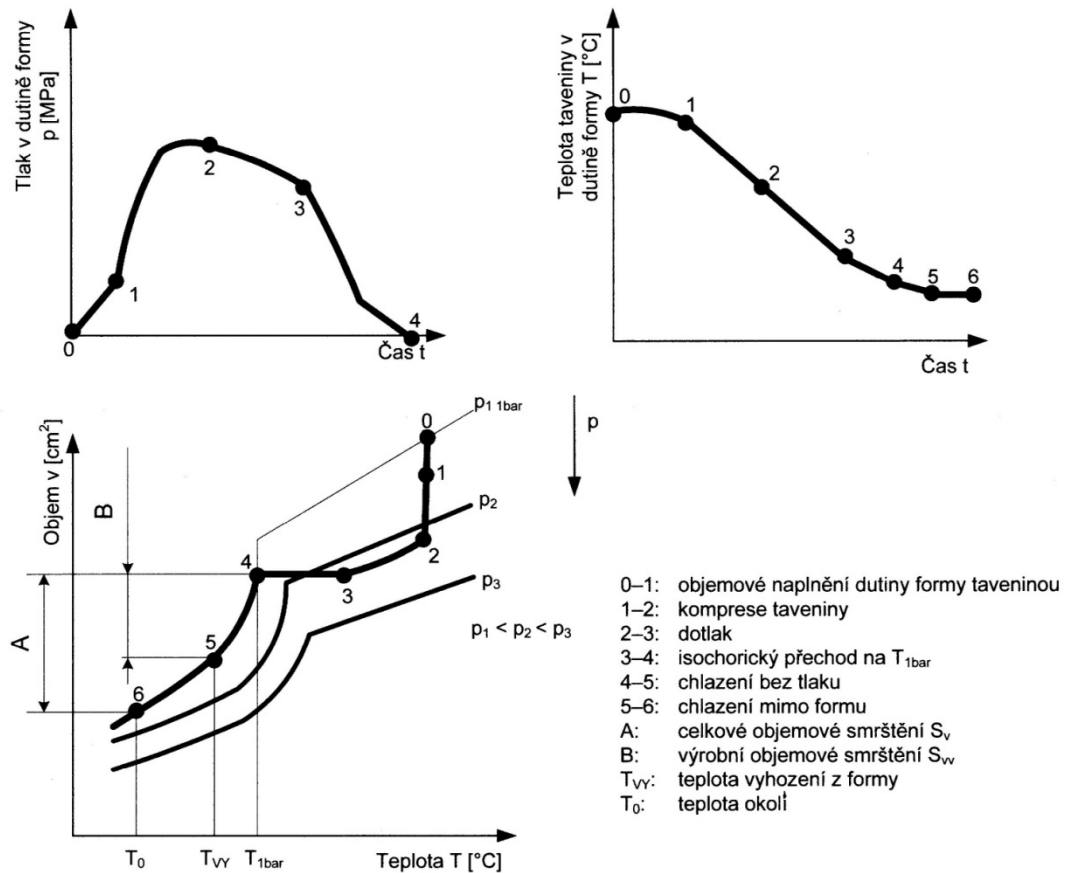
- tlakový průběh
- doba dotlaku
- teplota formy
- teplota taveniny
- rychlost dotlaku

2.2.3 Chladnutí výstřiku

Proces chladnutí začíná již během vstřikovací fáze a pokračuje během dotlaku. V celém procesu chladnutí dochází ke značným časovým i místním změnám stavových veličin polymeru, tlaku (p), měrného objemu (v), a teploty (T). Průběh stavových veličin je v různých místech výstřiku odlišný a je ovlivněn tvarem výrobku, tloušťkou stěn, vstřikovacím tlakem a dotlakem, vstřikovací rychlostí, teplotou taveniny, teplotním polem formy. Vzhledem k rychlým časovým změnám p , v , T zůstává většina oblastí struktury ve výstřiku ve stavu

nerovnovážném. Nerovnovážnost struktury a nehomogenita výstřiku jsou tedy dány podstatou vstřikovacího procesu a nelze se jim vyhnout. Můžeme se však snažit, aby tyto jevy byly v prakticky přijatelných mezích a v tomto stavu byly co možná přesně reprodukovány v každém cyklu, [3]

Chlazení výstřiku je časově nejnáročnější částí vstřikování, pohybuje se v řádech minut.



Obr. 2.4: Schématické znázornění změny tlaku p , objemu v a teploty T při vstřikování termoplastů [1]

Chlazení výstřiku závisí na:

- druhu polymeru
- tloušťce stěny
- teplotě taveniny
- teplotě formy
- teplotě finálního výstřiku

Chladnutí výstřiku je ukončeno otevřením formy, která se otevře krátce po skončení působení dotlaku a vyhozením výstřiku z formy pomocí vyhazovačů.

3 Vstřikovací stroje

Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a řídicí jednotky [4]

Vstřikovací stroje dělíme dle pohonu na:

- hydraulické
- elektrické
- hybridní

dle možnosti upnutí forem na:

- horizontální
- vertikální

3.1 Vstřikovací jednotka

Jejím úkolem je převést do plastického stavu v co nejkratší době co největší množství hmoty a zajistit maximální teplotní homogenitu taveniny. Pohyb plastu v komoře je u pístových strojů zajišťován pístem, u šnekových strojů šnekem. [4]

Před vstřikováním dojde k zastavení otáček šneku, následně se šnek začne posouvat v před a jako píst tlačí taveninu k trysce. Po naplnění formy následuje příprava nové směsi pro vstříknutí.

Vstřikovací jednotka je charakterizována parametry:

- průměrem šneku D [mm]
- délkou šneku L [mm]
- vstřikovací kapacitou Q_v [cm³]
- plastifikační kapacitou Q_p [kg/h]
- vstřikovacím tlakem P [MPa]
- objemovou vstřikovací rychlostí v [cm³/s]

3.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je co možno nejrychleji uzavírat a otevírat formu a dále přidržovat uzavřenou formu silou větší, než je síla vyvolaná tlakem taveniny na stěny dutiny formy. Uzavírací síla bývá pravidelně menší než přidržovací síla. [2]

Parametry uzavírací jednotky jsou:

- uzavírací síla F_u [N]
- přidržovací síla F_p [N]
- rozteč vodících sloupků [mm]

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí:

- opěrné desky pevně spojené s ložem stroje
- pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy
- upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy
- vedení pro pohyblivou desku. Z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. [4]

Vstřikovací a uzavírací desky mají vůči sobě určité umístění, polohu. Nejčastější uspořádání u vstřikovacích strojů je horizontální poloha vstřikovací i uzavírací jednotky, tedy vstřikování kolmo na dělící rovinu formy. V některých případech však může dojít k jiné vzájemné poloze. [4]

3.3 Řídící jednotka

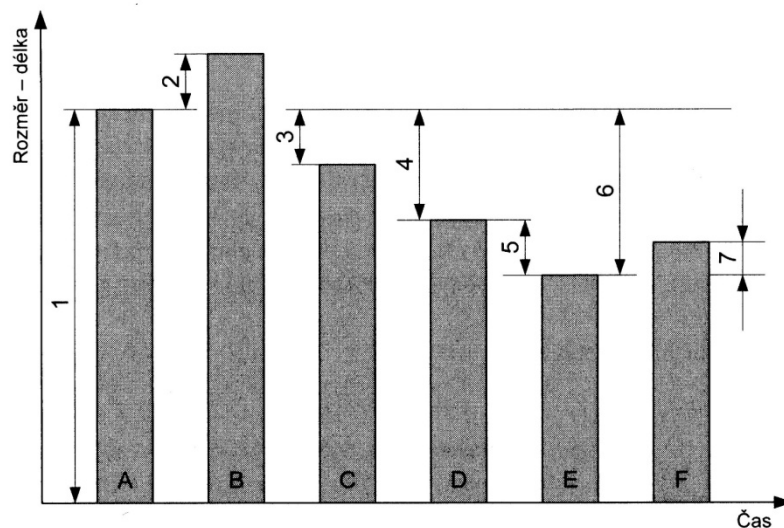
Řízení a regulace je nutno považovat za neoddělitelnou součást funkce vstřikovacího stroje. Rozumí se tím nastavení, snímání a sledování strojních a technologických parametrů spolu s jejich následnou regulací tehdy, když odchylky překročí přípustnou toleranci. [2]

Pomocí počítačových programů dochází k nastavení vstupních parametrů a k jejich následné kontrole. Díky počítačové kontrole jsme byli schopni zkrátit strojní časy na minimum, ale zároveň nám dovolují kdykoliv zasáhnout do cyklu, přerušit ho při případné závadě a tím předejít poškození vstřikovacího zařízení.

4 Vstřikovací formy

Formy pro zpracování musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výrobky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady. [4]

Dalším důležitým faktorem pro konstrukci formy je velikost smrštění. V průběhu chlazení výstřiku dochází ke změnám jeho rozměrů a tím k následnému opotřebování formy. Forma by proto měla projít tepelným zpracováním, pro prodloužení životnosti jednotlivých částí. Při konstrukci musíme také k finálním rozměrům dutiny formy připočítat hodnotu smrštění, aby měl náš výstřik požadované rozměry.



Obr. 4.1: Změna rozměru výstřiku v závislosti na čase v důsledku smrštění formy [1]

1 – rozměr formy, 2- tepelná expanze ve formě, 3 – smrštění po vyhození z formy S_c , 4 – výrobní smrštění S_D , 5 – dosmrštění S_E , 6 – celkové smrštění S_F , 7 – rozměr po kondicionaci, A – studená forma – teplota okolí, B – forma na pracovní teplotě, C – výstřik vyhozený z formy, D – výstřik po 24 hodinách od vyhození z formy uložený za normálních podmínek, E – výstřik po delším skladování nebo tepelné kondicionaci, F – díl po kondicionaci ve vodě

Volba materiálu formy závisí na:

- druhu zpracovaného plastu
- použité technologii
- velikosti a složitosti výrobku
- velikosti série
- tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebování a korozi
- ceně

Vstřikovací formy můžeme dělit do těchto skupin:

dle násobnosti na:

- jednonásobné
- vícenásobné

dle konstrukčního řešení na:

- dvoudeskové
- třídeskové
- etážové
- čelist'ové
- vytáčecí

dle umístění vstřikovacího stroje na:

- se vstřikem na kolmo dělicí rovinu
- se vstřikem do dělicí roviny

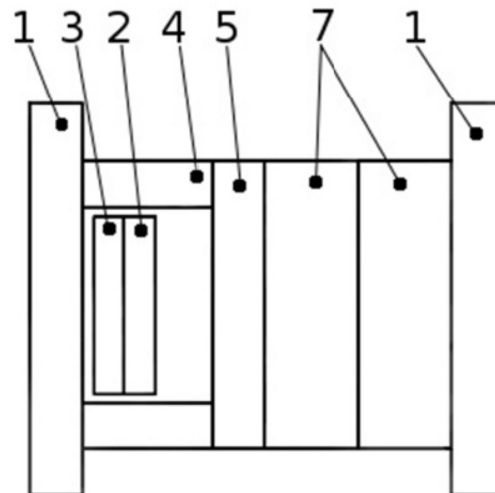
dle druhu vtoku na:

- se studeným vtokem
- s horkým vtokem

4.1 Části vstřikovací formy

Rám vstřikovací formy je rozdělen do dvou základních částí, z pevné části a pohyblivé části formy.

Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje, funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. [4]



Obr. 4.2: Části vstříkovací formy [5]

Konstrukční části formy jsou:

- upínací desky (1)
- kotevní desky(2)
- vyhazovací desky (3)
- tvarové desky (7)
- opěrné desky (5)
- vodící desky (4)
- vodící elementy (-)

Funkční části formy jsou:

- tvárník
- tvárnice
- jádra

Jednotlivé části vstříkovací formy budou popsány v praktické části.

5 Praktická část

5.1 Zadání

Vypracování rešerše na téma vstřikovací formy florbalové čepele s horkým vtokem. Vypracovat 3D návrh vstřikovací formy a výkresové dokumentace o obsahu: sestava formy a výrobní výkres tvarové desky.



Obr. 5.1: florbalová čepel

Návrh konstrukce vstřikovací formy byl zhotoven pomocí programu Autodesk Inventor 2011. Násobnost formy byla zvolena 2 kusy na jeden vstřikovací cyklus.

5.2 Popis Výstříku

Výstřík čepele se používá při hře zvané florbal. Je součástí florbalové hole, v případě poškození je vyměnitelná. Florbalové čepele se rozdělují do dvou skupin.

1. Dle tvaru čepele:

- rovná
- zahnutá

2. Dle tvrdosti čepele:

- měkká
- středně tvrdá
- tvrdá

Forma byla konstruována pro středně tvrdou, rovnou čepel. Tato čepel je vhodná pro děti a začínající florbalisty a to díky její univerzálnosti. Čepel je možné dodatečně tvarovat pomocí horkovzdušné pistole, avšak největší možné zahnutí dle pravidel IFF (International Florball Federation) je maximálně 30mm.

5.3 Florbal a jeho historie

Florbalový míček v dnešní podobě paradoxně nevyvinuli florbalisté, ale baseballisté. Plastový děrovaný míček podobných rozměrů totiž sloužil k tréninku baseballových nadhazovačů. Přestože první krůčky zaznamenala hra podobná dnešnímu florbalu v zámoří, počátky organizovaného florbalu jsou spojeny zejména se zeměmi skandinávského poloostrova. Ve Švédsku se počátky hry zvané Innebandy datují na začátek sedmdesátých let, finské Saalibandy vzniklo o několik let později. Již od počátku také tyto dvě země, ale především Švédsko, udávaly florbalu směr vývoje. Stejně jako je ve fotbalu považována za kolébku sportu Anglie, ve florbalu přísluší stejná pocta Švédsku. Vlastní cestou se florbal ubíral ve Švýcarsku. Švýcarský název florbalu je Unihockey a dlouho dobu bylo pro Švýcary charakteristické, že brankář hrál po vzoru hokeje s hokejkou. Díky velké členské základně a nedostatku velkých hal se ve Švýcarsku začal prosazovat na dvou různých velikostech. [6]

V roce 1986 byla založena Mezinárodní florbalová federace (IFF), která sjednotila pravidla a dala florbalu aktuální podobu. Na počátcích tohoto sportu byl florbal považován za bezkontaktní sport, ale v poslední době prošel florbal rychlým vývojem a hra tělem začala být tolerována.

Do České republiky se dostal florbal díky skupině finských studentů, kteří po návratu do svého domova zanechali florbalové vybavení v ČR. Florbal se začal u nás rozvíjet, až Česká Florbalová Unie (ČfbU) v roce 1992 vstoupila do IFF. Popularita florbalu rychle stoupá, v ČR má florbal 5. nejpočetnější členskou základnu a díky finanční nenáročnosti

a dostupnosti je jedním z nejvyhledávanějších sportů mezi mladými lidmi.

Rozdělení florbalu dle počtu hráčů:

- velký florbal
- malý florbal

Velký florbal se hraje ve světovém měřítku. Počet hráčů jednoho týmu na hřišti je 5 hráčů s hokejkami a jeden brankář. Malý florbal se hraje jen v amatérských soutěžích a na hřišti jsou z jednoho týmu jen 3 hráči s hokejkou a jeden brankář. Jedna z největších lig malého florbalu se hraje v Plzni. Její název je Bohemia liga malého florbalu (BLMF).



Obr. 5.2: Milan Tomašík, jeden z mála českých zástupců ve švédské lize [9]

Česká mužská a ženská florbalová reprezentace patří mezi 4 nejlepší týmy světového florbalu.

5.4 Materiál použitý pro výstřik čepele

Volba materiálu závisí na druhu tvrdosti čepele. Pro středně tvrdou florbalovou čepel byl zvolen Vysokohustotní polyetylen (HDPE), který vyhovuje pro tvorbu středně tvrdé čepele ve všech směrech. Má vysokou pevnost, ale přesto dostatečnou pružnost pro absorbování rázů, které budou na čepel působit. HDPE má vysokou odolnost vůči otěru, houževnatost, chemickou odolnost, teplotní stálost do 100 stupňů Celsia a minimální opotřebení. Hustota HDPE se pohybuje od 0,93 do 0,97 g/cm^3 .

Mechanické vlastnosti			
	norma	hodnota	jednotky
Napětí na mezi kluzu	ISO 527	30	MPa
Tažnost	ISO 527	>400	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	1350	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	15	MPa
Norma tvrdosti podle Brinella		H132/30	
Mez únavy při střídavém namáhání v ohybu (1E7 zatěžovací cyklus)	ISO 527	10	%
Modul tečení v tahu (0,5% 1000hod)	ISO 899-1	400	MPa
Mez únavy při střídavém namáhání v ohybu (1E7 zatěžovací cyklus)	ASTM D671	5	MPa
Součinitel kluzného tečení v porovnání s ocelí v suchém prostředí		0,20-0,40	[-]
Teplotní vlastnosti			
Tepelná vodivost	DIN 52612	0,42	W/K m
Koeficient délkové roztažnosti	ISO 11359	120-150	10 ⁻⁶ /K
Teplota popř. zesklivatění	ISO 11357	135	°C
Tvarová stálost za tepla A	ISO 75 HDT/A (1,8 MPa)	49	°C
Tvarová stálost za tepla B	ISO 75 HDT/B (0,45 Mpa)	86	°C
max. teplota krátkodobá		100	°C
max. teplota dlouhodobá		90	°C
min. teplota použití		-80	°C

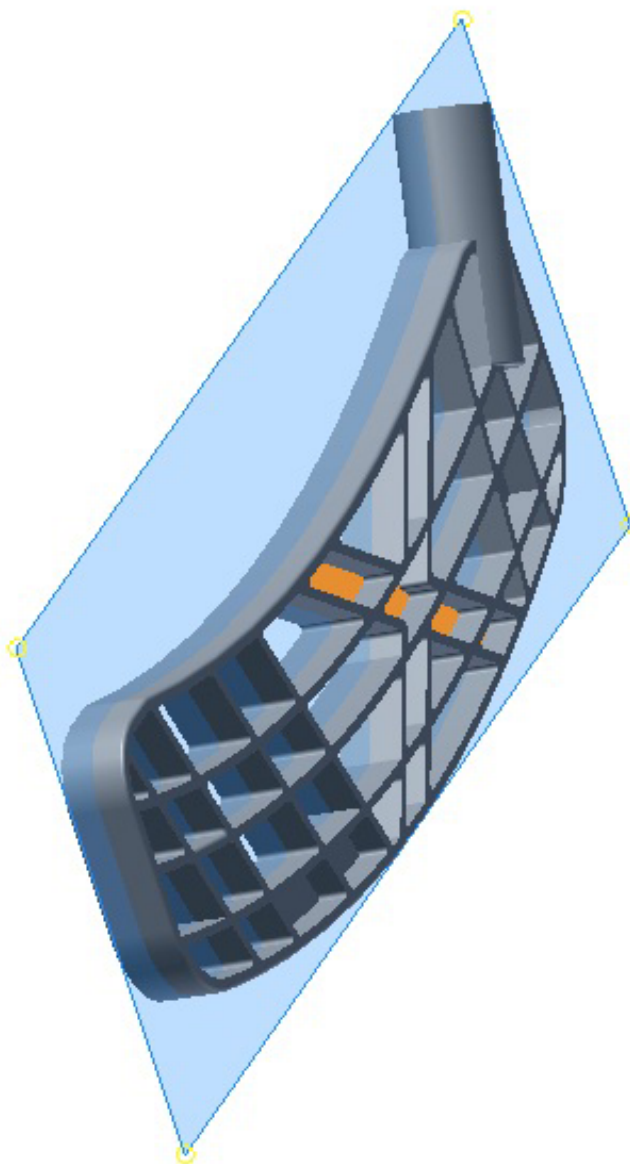
Obr. 5.3: vlastnosti HDPE [8]

5.5 Konstrukce formy

Při návrhu konstrukce formy byl použit stavebnicový rám. Rám je složen z lehce dostupných a normalizovaných dílů. Stavebnicový rám pochází od firmy Meusburger. Sestava dílů pro horký vtok byla použita od firmy Hasco. Všechny díly horkého vtoku byly vybrány od jednoho výrobce, aby byla zaručená plná kompatibilita dílů. Díky použití normalizovaných dílů bude výsledná cena formy podstatně nižší, než kdyby byla postavená z nenormalizovaných dílů.

5.6 Dělicí rovina formy

Dělicí rovina formy odděluje od sebe pohyblivou a nepohyblivou část formy. Po dokončení vstřikování musí zůstat výstřik v pohyblivé části formy. Při konstrukci vstřikovací formy se dělicí rovina volí jako první, protože určuje tvar formy, umístění výstřiku. Dělicí rovina se volí vždy tak aby odformování výstřiku bylo co nejjednodušší. V případě rovné florbalové čepele je umístění dělicí roviny v ose symetrie florbalové čepele.



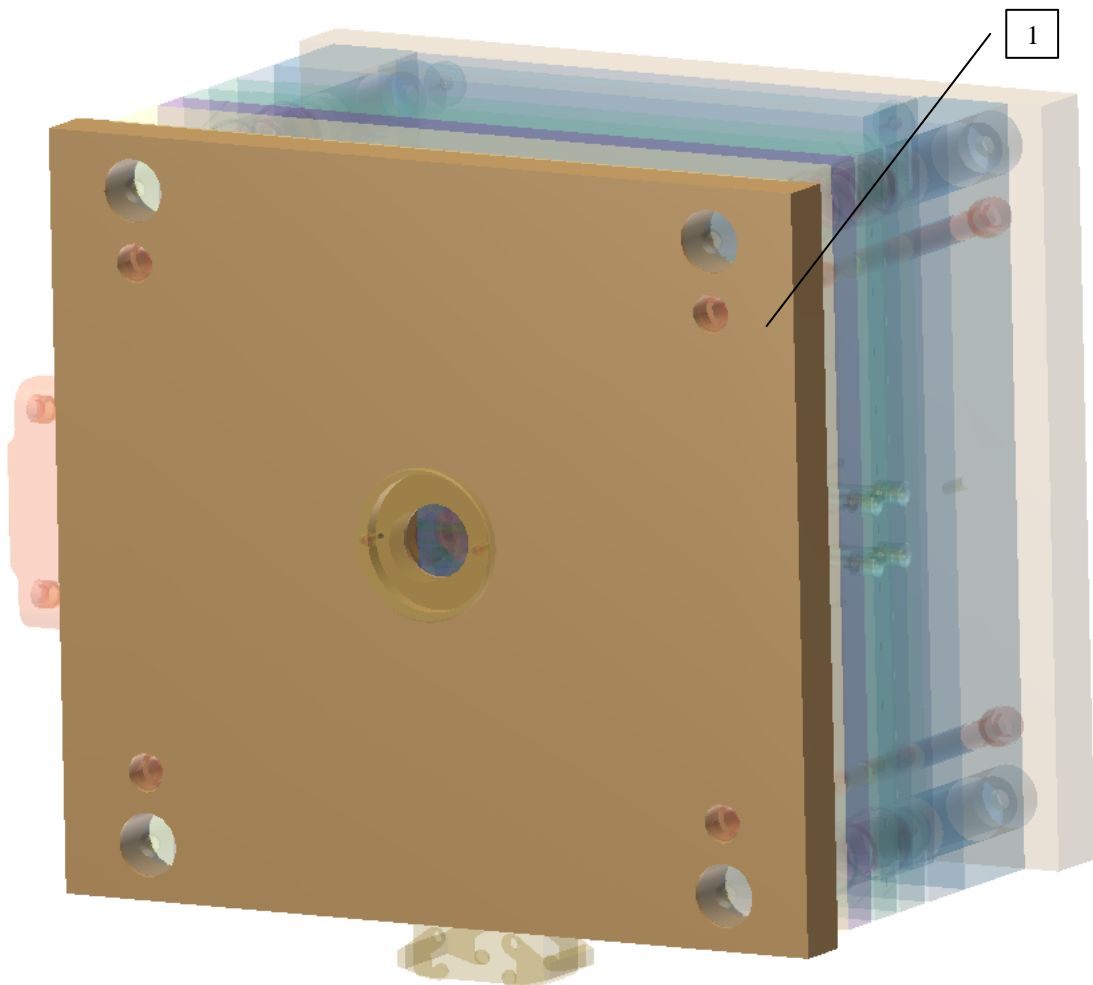
Obr. 5.4: Zobrazení dělicí roviny

5.7 Popis části vstřikovací formy

Vstřikovací forma se skládá z těchto částí: vodicí elementy, upínací prvky (závěsné oko, šrouby), základní deska, opěrná deska, tvárník, tvárnice, vyměnitelné vložky, vyhazovací systém, vtokový systém a temperanční okruhy.

5.7.1 Upínací deska

Upínací deska slouží k upnutí a přesnému ustavení ke vstřikovacímu stroji. Připevnění uzavřené formy ke vstřikovacímu stroji se provádí na nepohyblivé části vstřikovacího stroje.

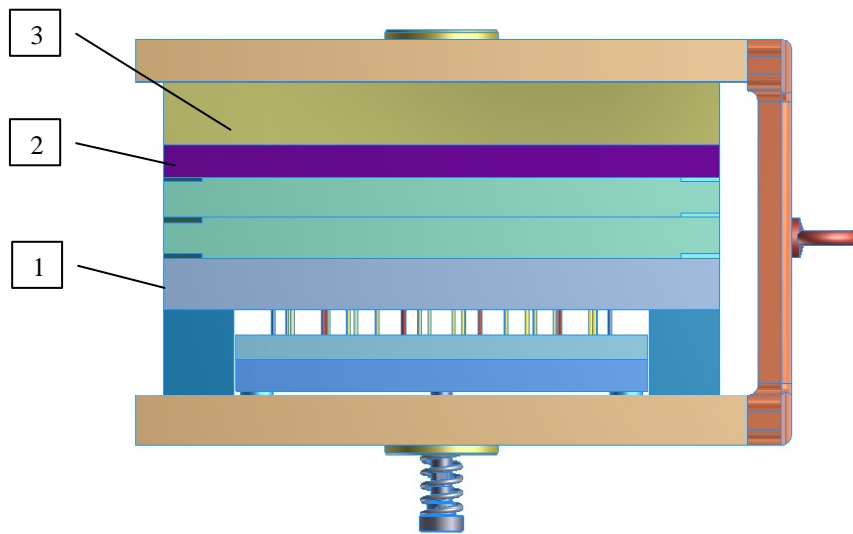


Obr. 5.5: Upínací deska pevné části formy
1 – upínací deska

Vstřikovací forma obsahuje 2 upínací desky. Jedna deska je v pevné části formy a druhá deska je umístěna v pohyblivé části formy. Deska v pevné části formy obsahuje úpravy pro vtokový systém a druhá deska v pohyblivé části obsahuje úpravy pro vyhazovací systém.

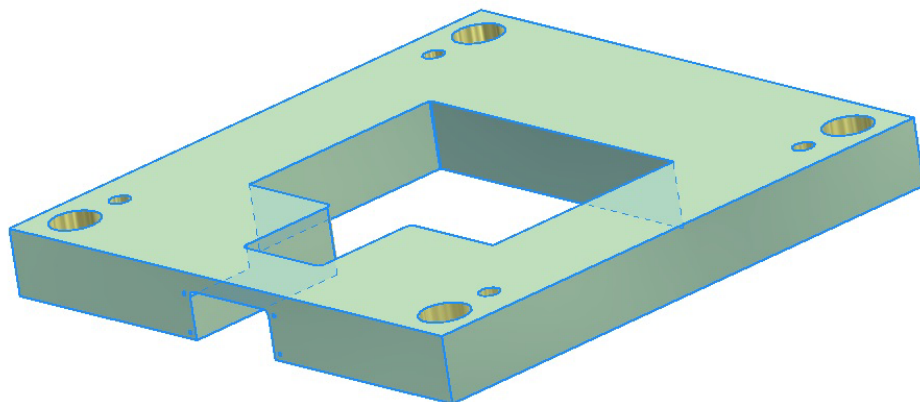
5.7.2 Opěrné desky

Opěrná deska může, ale i nemusí být použita při konstrukci formy. V našem případě plní tato deska opěrnou funkci pro vyměnitelnou vložku a pro umístění rozváděcího bloku. Pro konstrukci vstřikovací formy s horkým vtokem, byly použity 3 opěrné desky. Deska pro horký vtok slouží k ustavení rozváděcího bloku horkého vtoku. Opěrná deska pohyblivé části formy je opatřena otvory pro vstřikovací trysky a pro pevnou část formy byla deska upravena přidáním otvorů pro vyhazovače.

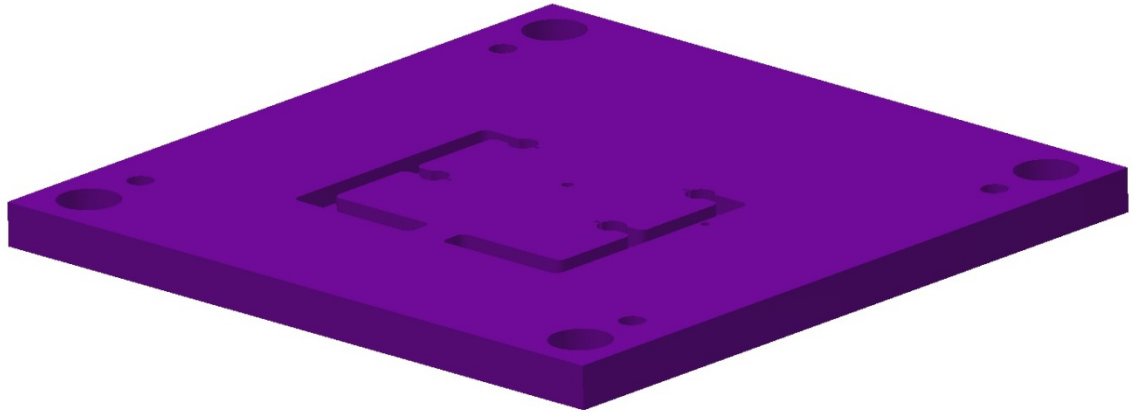


Obr. 5.6: boční pohled na vstřikovací formu

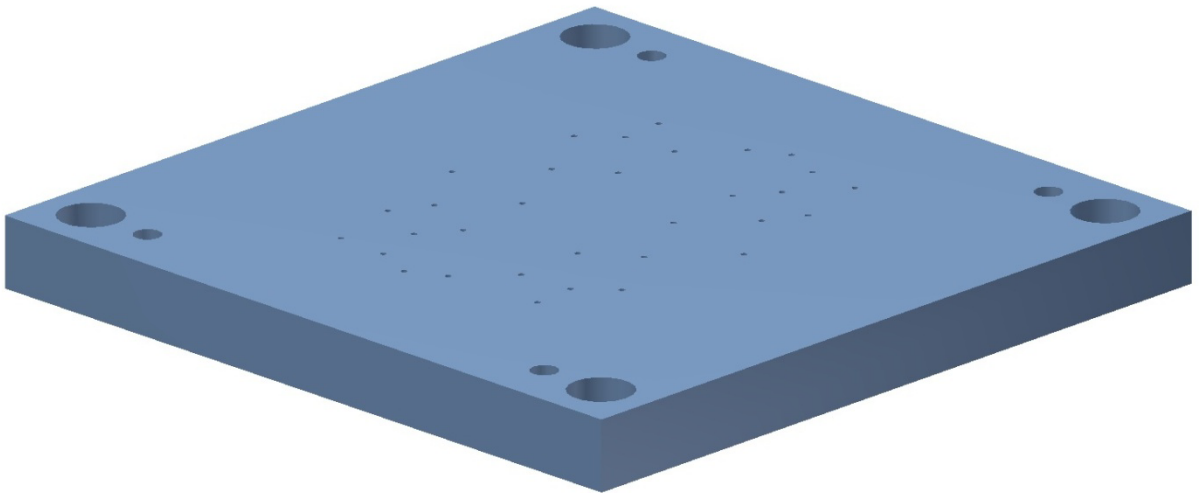
1 – opěrná deska pohyblivé části, 2 – opěrná deska pevné části, 3 – opěrná deska pro horký vtok



Obr. 5.7: opěrná deska pro horký vtok



Obr. 5.8: opěrná deska pro pevnou část formy

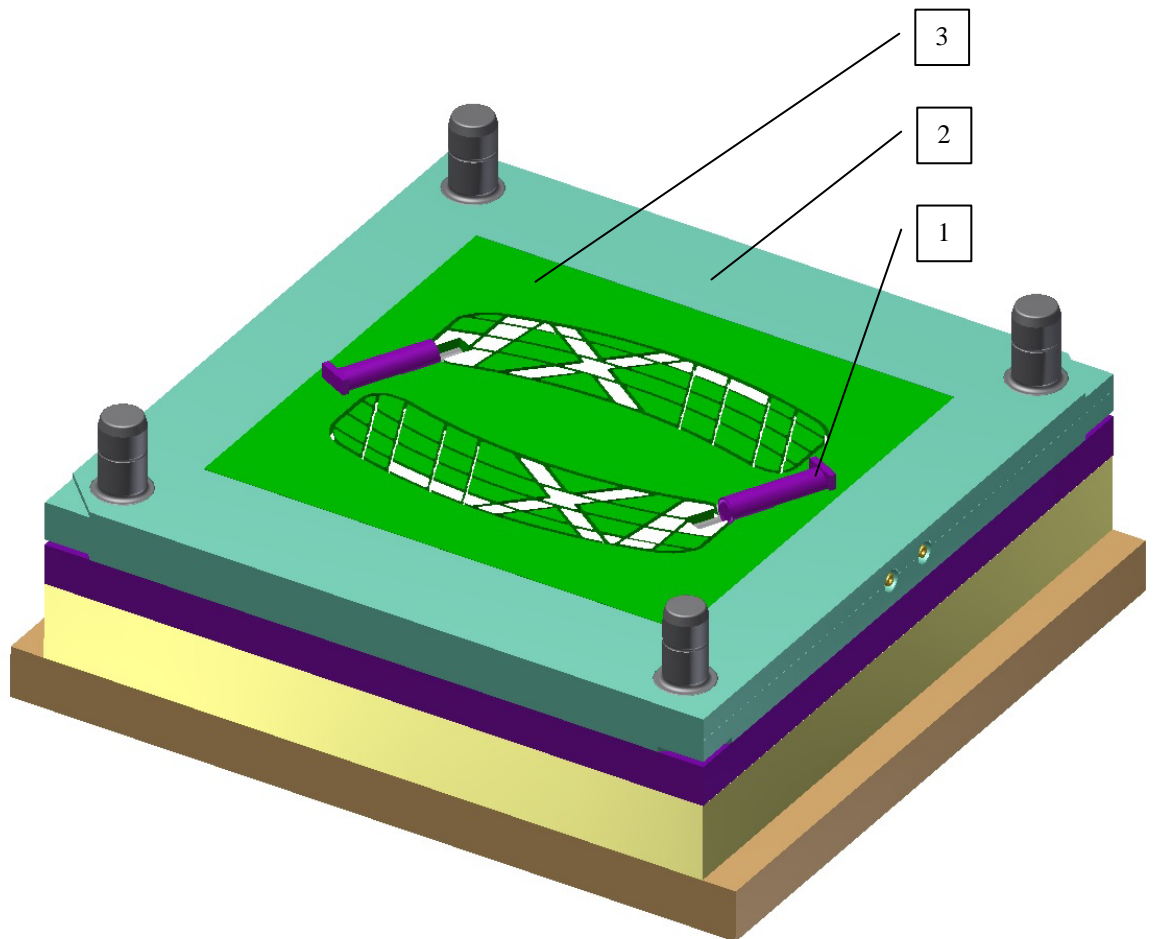


Obr. 5.9: opěrná deska pro pohyblivou část formy

5.7.3 Tvárník a tvárnice s vyměnitelnou vložkou

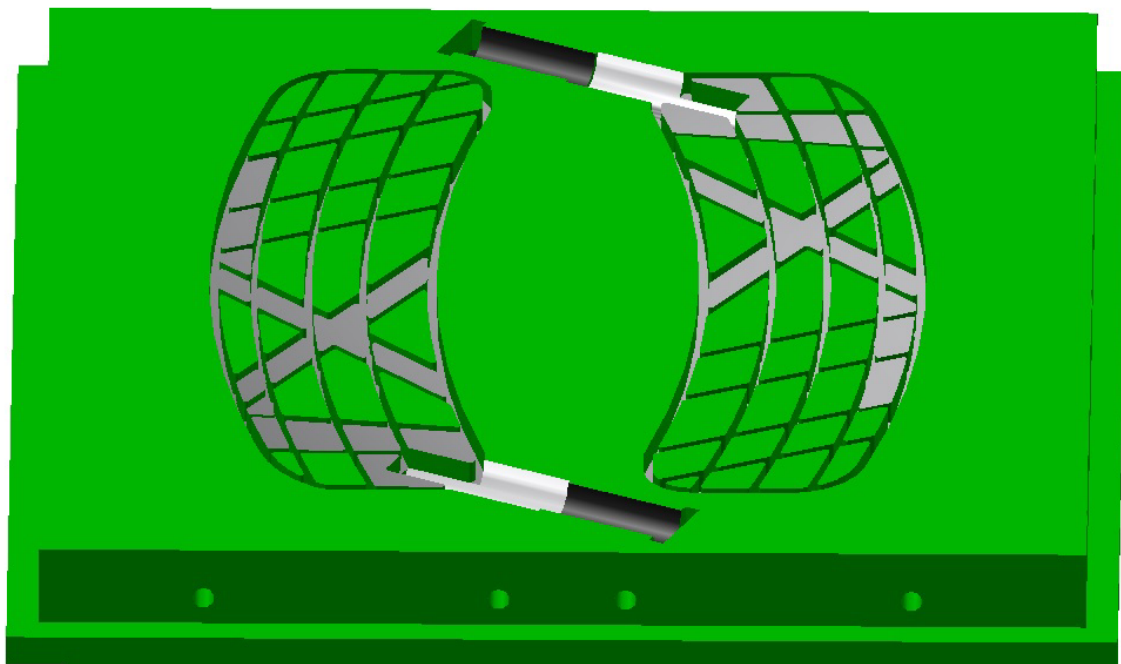
Tvárník a tvárnice patří mezi funkční části formy. Tvárnice je uložena v pevné části formy a tvárník je uložen v části pohyblivé. Pro konstrukci formy bylo zvoleno řešení kdy se tvárník a tvárnice skládají ze dvou částí. Tvárník a tvárnice slouží jako rám, do kterého je zasazena vyměnitelná vložka. Řešení s vyměnitelnou vložkou bylo zvoleno z ekonomických důvodů. Tyto části vstřikovací formy se během výrobního cyklu pomalu opotřebovávají a časem už nejsou schopné produkovat dostatečně přesné výrobky. Vyměnit vložku, která je podstatně menší, než celá deska je ekonomicky výhodnější, než výměna celé desky. Tvárník a tvárnice jsou pro obě části shodné, ale vyměnitelné vložky se od sebe liší.

Vložka, která je umístěna v nepohyblivé části formy obsahuje negativní tvar poloviny florbalové čepele a otvory pro vtokové trysky. Vložka, která je umístěna v pohyblivé části formy obsahuje negativní tvar poloviny florbalové čepele, otvory pro vyhazovače. Zavřením formy se vytvoří dutina, která má negativní tvar florbalové čepele. Do dutiny je vloženo jádro pro vytvoření otvoru pro florbalovou hůl. Při návrhu dutiny formy musíme uvažovat smrštění plastu při chladnutí a dutinu zvětšit o 1,5%.

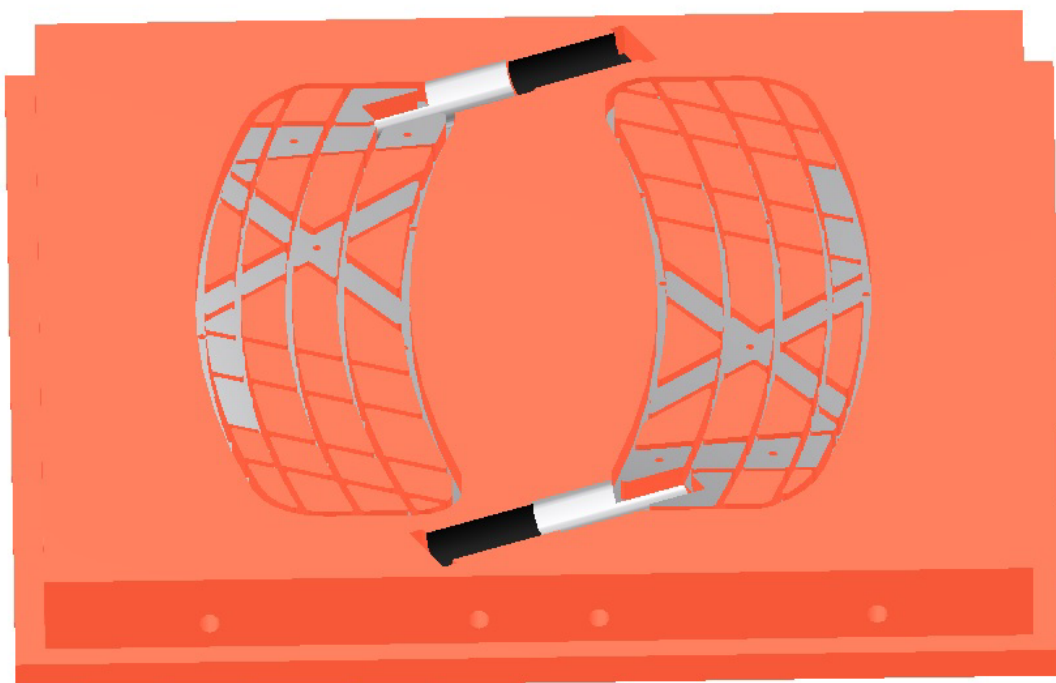


Obr. 5.10: jádro uložené v dutině

1 – jádro, 2 – tvarová deska, 3- vyměnitelná vložka (tvárník)



Obr. 5.11: Vyměnitelná vložka

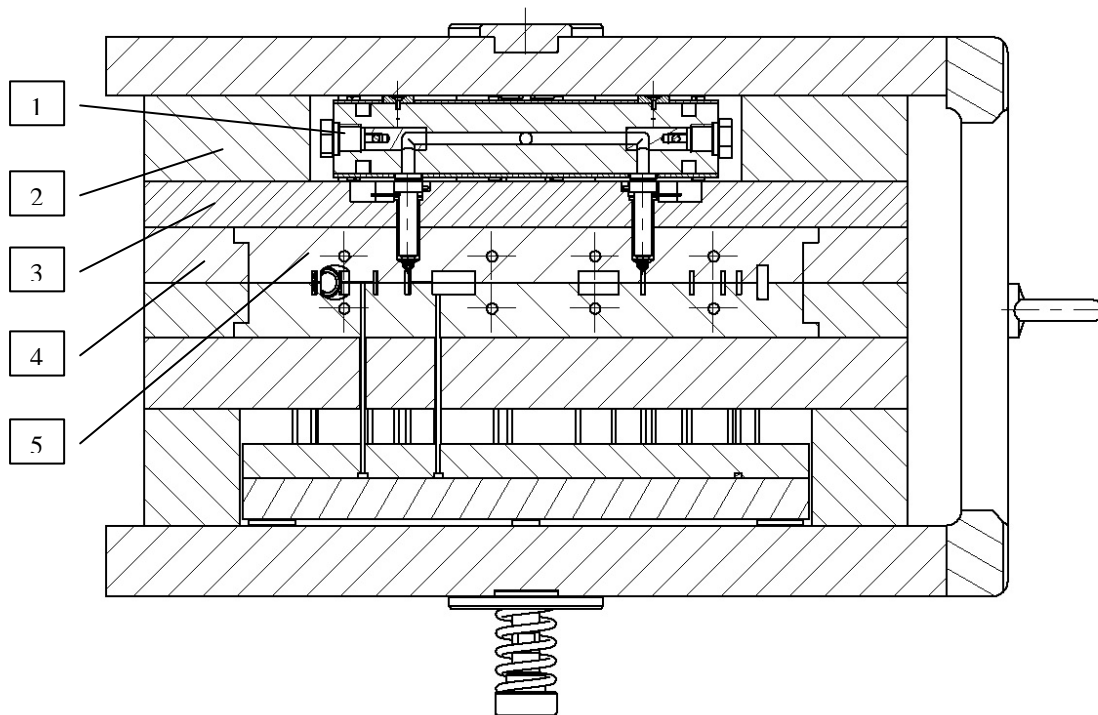


Obr. 5.12: Vyměnitelná vložka s otvory pro vyhazovače

5.7.4 Vtokový systém s horkým vtokem a návrh velikosti vtokových kanálů pro studený vtok

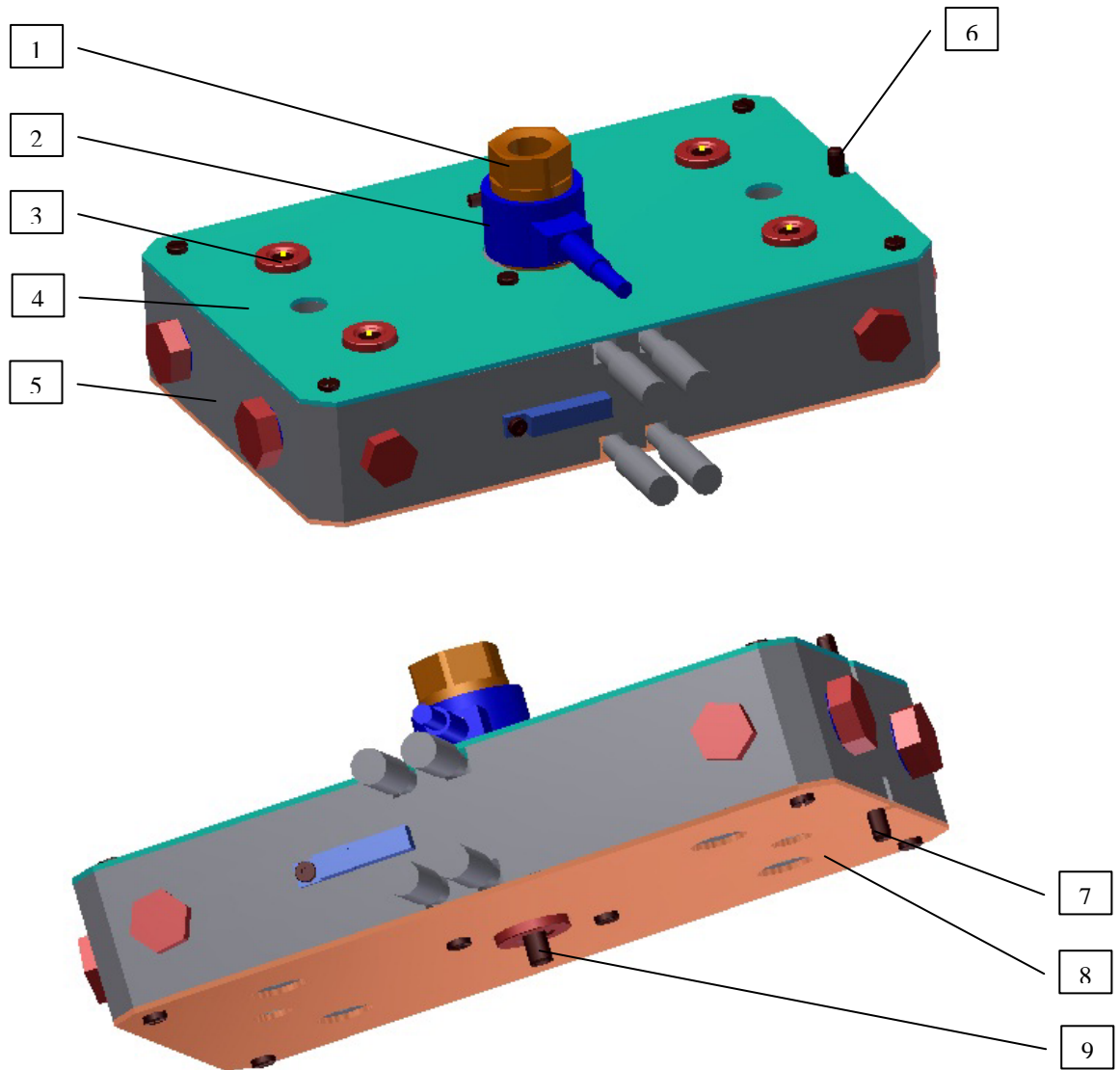
U vstřikovacích forem můžeme použít vtokový systém dvojího druhu. Vtokový systém se studeným vtokem, a nebo vtokový systém s horkým vtokem. Při použití vtokového systému s horkým vtokem se snižuje vstřikovací tlak a také nevzniká odpad ve tvaru stromečku. Další výhodou vstřikování pomocí horkých vtoků je snazší regulace teploty a v případě poškození, snadná vyměnitelnost vtokového systému. Tento systém je ale náročnější na zkušenosti a také má vyšší pořizovací cenu. Vstřikovaný polymer je do formy dopravován pomocí rozváděcího bloku a vstřikovacích trysek. Tyto součásti jsou vyhřívány odporově, tudíž dochází i k ohřevu polymeru uvnitř těchto částí a odpadá tvorba odpadu.

Při vstřikování termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. Studených spojů, orientaci makromolekul, rovnoměrnost krystalizace, povrchový vzhled (lesk, tokové čáry), vznik vnitřních dutin a povrchových propadlin apod. Tyto strukturní vlastnosti jsou ovšem ovlivněny také technologickými podmínkami při vstřikování. Vtok má být zásadně řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší možnou cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát, co nejrychleji a pokud možno všude ve stejném čase. Tento cíl je snáze dosažitelný u menších a tvarově jednoduchých výstřiků než u rozměrných a členitých. [2]



Obr. 5.13: řez vstřikovacími tryskami

1 – horký vtokový systém, 2 – opěrná deska pro horký vtok, 3 – opěrná deska pro pevnou část formy, 4 – tvárná deska, 5 – vyměnitelná vložka



Obr. 5.14: sestava vtokového systému

1 – centrální vtoková vložka, 2- topné těleso, 3- distanční podložka, 4 – izolační deska horní, 5 – rozváděcí blok, 6, 7 – kolík zajišťující polohu, 8 - izolační deska dolní, 9 kolík zajišťující polohu

Vyhřívaný rozváděcí blok byl vybrán od firmy Hasco, uvnitř rozváděcího bloku jsou obsaženy kanály o průměru 8 mm, které rozvádí taveninu do čtyř výstupů o rozteči mezi kanály 80 mm. Rozměry rozváděcího bloku jsou 160 x 250 x 46. Poloha rozváděcí bloku je zajištěna pomocí kolíků viz obrázek 5.14. Obě strany rozváděcího bloku jsou opatřeny izolačními deskami, které slouží k tepelné izolaci od ostatních desek.

Vstřikovací forma se studeným vtokem:

Odstranění odpadu ve tvaru stromečku se provádí odříznutím po vyhození výstřiku z formy, a nebo použitím tunelového vtoku, který nám stromeček odstraní při vyhazování.

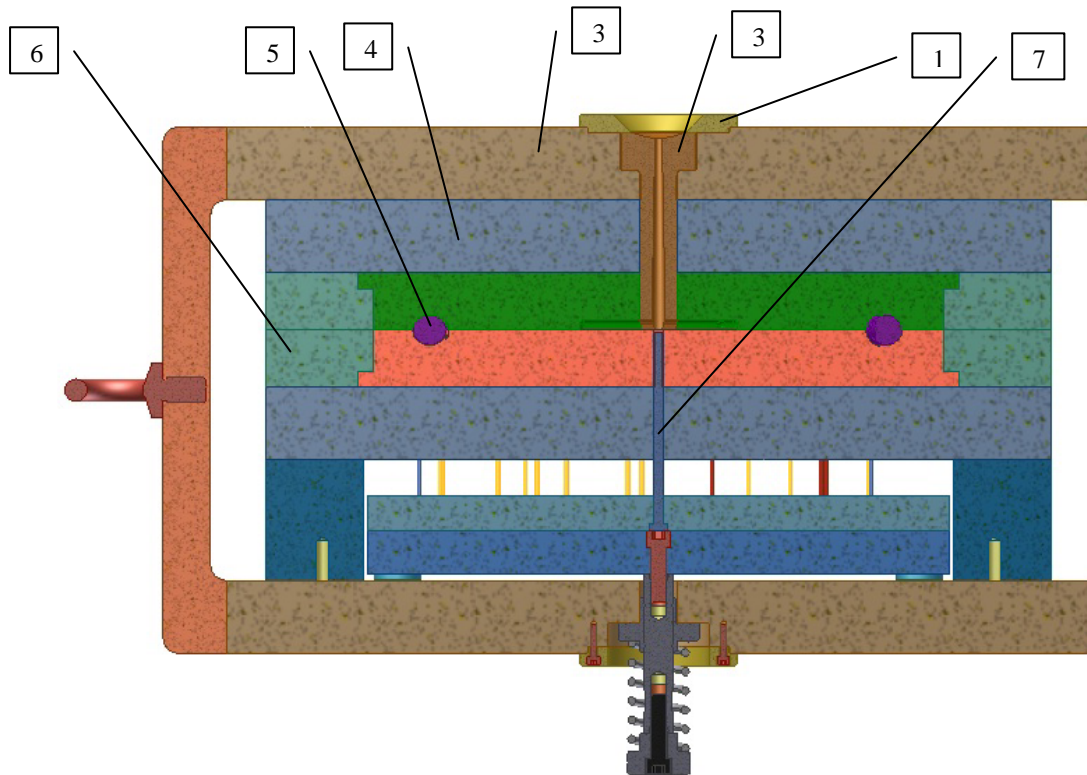
Složení vtokového systému:

- Tryska vstřikovacího stroje
- Vtoková tryska (vtokový kužel)
- Hlavní vtokový kanál
- Vedlejší vtokový kanál
- Ústí vtoku
- Vytrhávač vtoku

Základní druhy vtoků:

- plný vtok
- obdélníkový vtok
- bodový vtok
- tunelový vtok
- membránový vtok
- štěrbinový vtok

Doba chladnutí vtoku nesmí přesáhnout dobu chladnutí výstřiku. Po otevření formy musí zůstat odpad ve tvaru stromečku v pohyblivé části formy. Pro přidržení stromečku v pohyblivé části formy se používá vytrhávač vtoku, který obsahuje vyměnitelné vložka (tvárnice).



Obr. 5.15: řez vstříkací formou

1 – středící kroužek, 2 – vtoková tryska, 3 – upínací deska, 4 – opěrná deska, 5 – vyměnitelná vložka (tvárník),
6 – tvarová deska, 7- vyhadzovač vtokového kužele

Výpočet rozměrů vtokových kanálů:

Hmotnost výstřiku m [g]		Základní průměr vtokového kanálu [mm]	Průřez vtokového kanálu (kruh) [mm]	Průřez vtokového kanálu (lichoběžník) [mm]
přes	do			
	10	2,5	4,9	5,7
10	16	3,0	7,1	8,2
16	25	3,5	9,6	11,2
25	40	4,0	12,6	14,6
40	63	4,5	15,9	18,5
63	100	5,0	19,6	22,8
100	160	5,5	23,8	27,7
160	250	6,0	28,3	32,9
250	400	6,5	33,2	38,6
400	630	7,0	38,5	44,8
630	1000	7,5	44,2	51,4
1000	2000	8,0	50,3	58,5
2000	3000	8,5	56,7	66,1
3000	4000	9,0	63,6	74,1

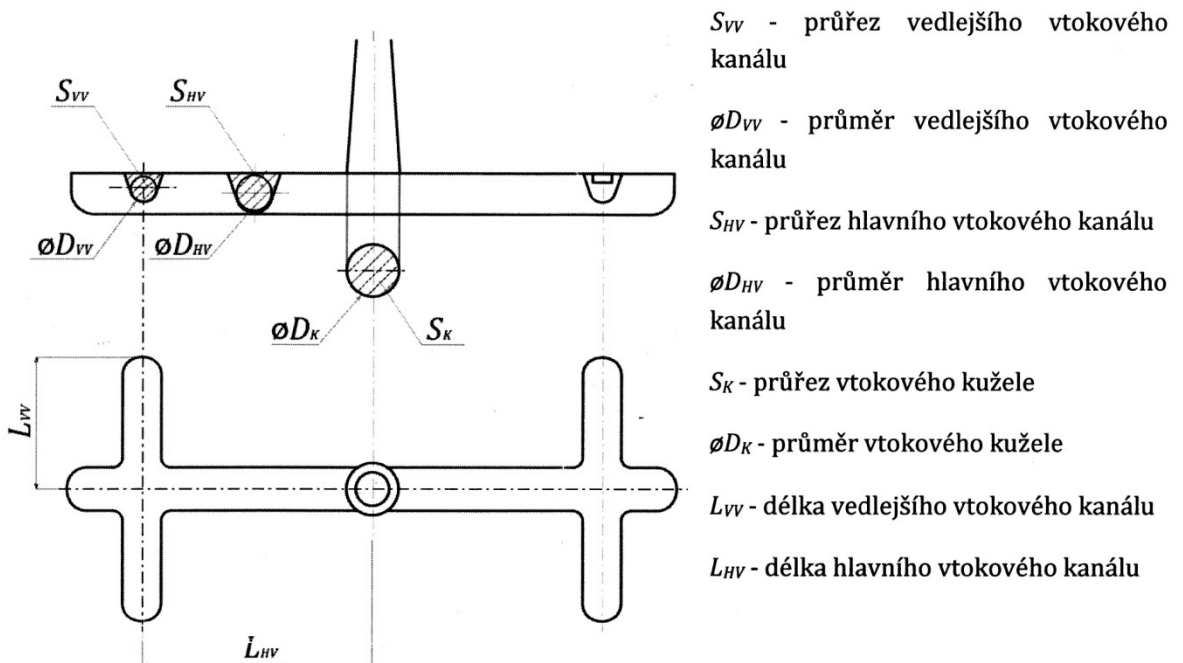
Obr. 5.16: Závislost průměru a průřezu vtokových kanálů na hmotnosti výstřiku

Délka vtokového kanálu [mm]		Základní průměr z Tabulky 1 [mm]												
		2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
přes	do	Průměr vtokového kanálu [mm]												
16	40	4			5		6		7		8		9	10
40	100	5			6		7		8		9		10	11
100	250	6			7		8		9		10		11	12

Obr. 5.17: Závislost vtokového kanálu na jeho délce

počet vtokových kanálů	koeficient vlivu násobnosti formy
2	0,9
4	0,7
6	0,5
8	0,4
a více	0,2

Obr. 5.18: Koeficient vlivu násobnosti formy dle počtu rozváděcích kanálů



Obr. 5.19: Příklad vtokové soustavy bez ústí vtoků

Výpočet vedlejšího vtokového kanálu

- 1) Podle hmotnosti výstřiku se určí základní průměr vedlejšího vtokového kanálu D_{VV} z Obr. 6.10.

$$m = 90\text{g z Obr. 6.10} \rightarrow D_{VV} = 5\text{ mm}$$

- 2) Průměr D_{VV} se upraví podle délky vedlejšího vtokového kanálu L_{VV} v závislosti na průměru z Obr. 6.10 dle Obr. 6.11.

$$L_{VV} = 38\text{ mm z Obr. 6.11} \rightarrow D_{VV} = 6\text{ mm}$$

- 3) Z Obr. 6.10 se odečte průřez vedlejšího vtokového kanálu S_{VV} pro daný průřez vtokového kanálů.

$$D_{VV} = 6\text{ mm z Obr. 6.10} \rightarrow S_{VV} = 32,9\text{ mm}^2$$

Výpočet hlavního vtokového kanálu

- 1) Z průřezu vedlejší vtokového kanálu S_{VV} , počtu vedlejších vtokových kanálů n_{VV} a koeficientu násobnosti formy k , se určí průřez hlavního vtokového kanálu S_{HV} .

$$S_{HV} = n \cdot k \cdot S_{VV} = 1 \cdot 1 \cdot 32,9 \rightarrow S_{HV} = 32,9\text{ mm}^2$$

- 2) Podle Obr. 6.10 se určí základní průměr D_{HV} dle průřezu hlavního vtokového kanálu S_{HV} .

$$S_{HV} = 32,9\text{ mm}^2 \text{ z obr 6.10} \rightarrow D_{HV} = 6\text{ mm}$$

- 3) Průměr se upraví také podle délky hlavního vtokového kanálu L_{HV} v závislosti na průměru z Obr. 6.10 dle Obr. 6.11.

$$L_{HV} = 39,5\text{ mm z Obr. 6.11} \rightarrow D_{HV} = 7\text{ mm} \rightarrow S_{HV} = 44,8\text{ mm}^2$$

Výpočet vtokového kužele

- 1) Z průřezu hlavního vtokového kanálu S_{HV} , počtu hlavních vtokových kanálů n_{HV} a koeficientu násobnosti formy k , se určí průřez vtokového kužele S_K a z něj následně průměr vtokového kužele ústícího do vtokového kanálu.

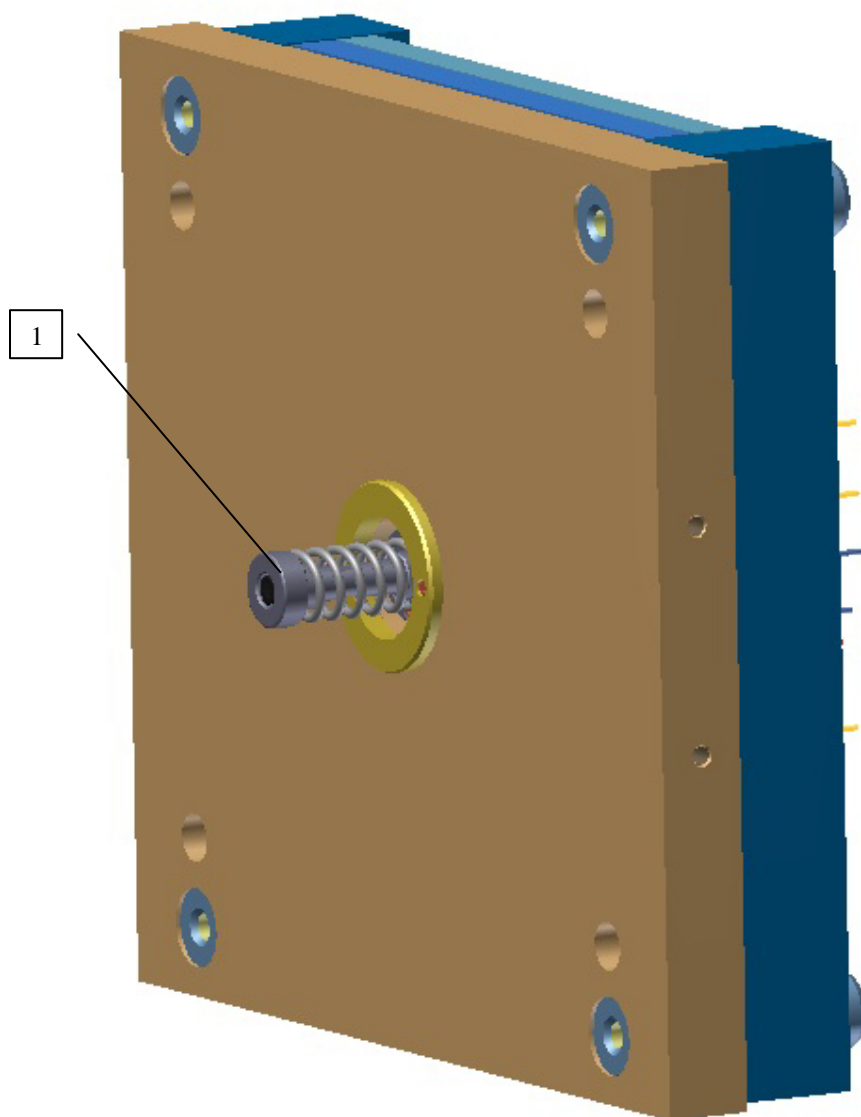
$$S_K = n \cdot k \cdot S_{HV} = 2 \cdot 0,9 \cdot 44,8 \rightarrow S_K = 80,64\text{ mm}^2$$

$$S_K = 80,64\text{ mm}^2 = \frac{\pi \cdot D_K^2}{4} \rightarrow D_K = \frac{4 \cdot S_K}{\pi} \rightarrow D_K = \frac{4 \cdot 80,64}{\pi}$$

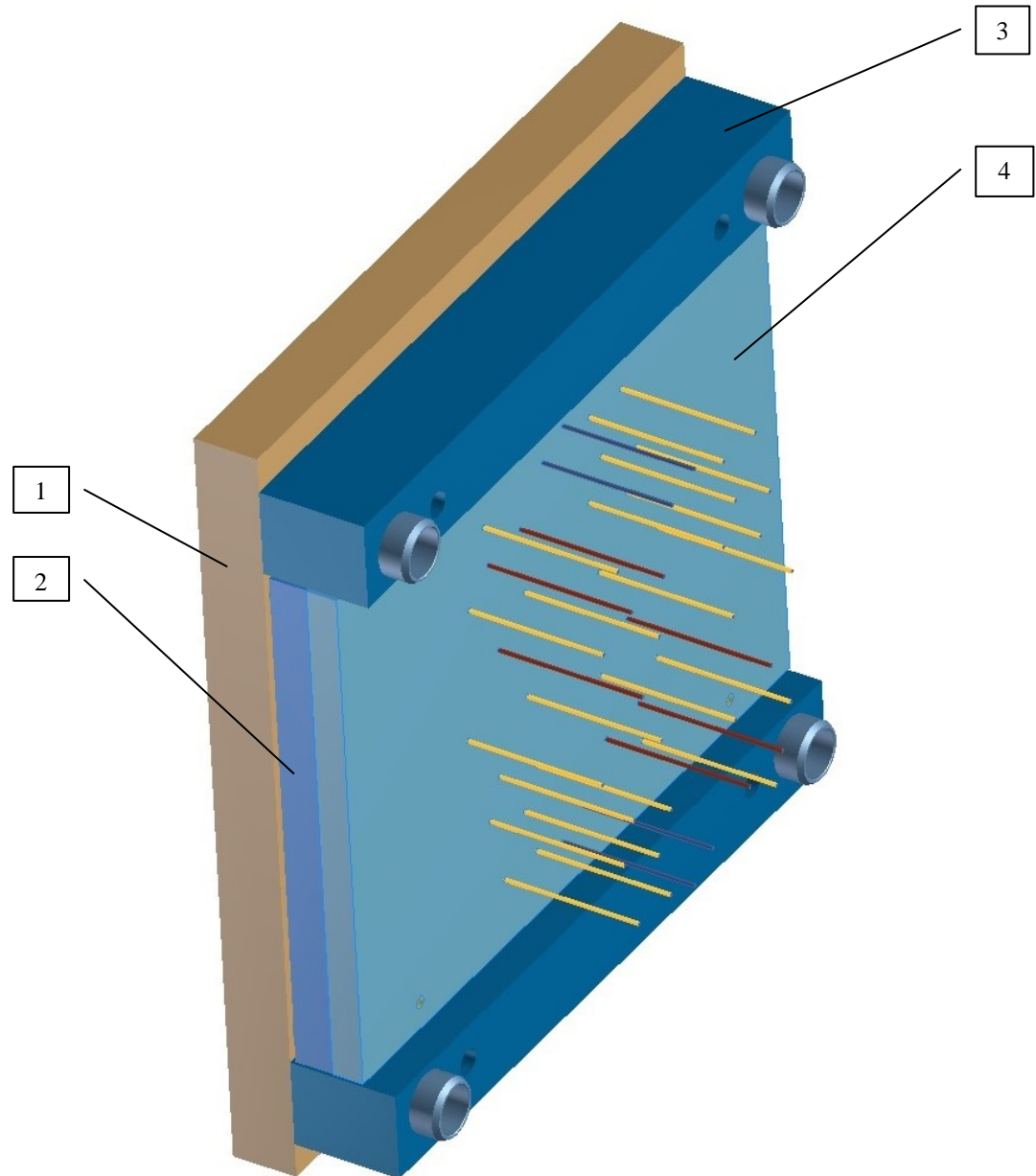
$$D_K = 10,13\text{ mm}$$

5.7.5 Vyhazovací systém

Pro správně navrhnoutou formu je typické, že výstřik a vtoková soustava zůstávají v pohyblivé části formy. V případě že výstřik zůstane v pevné části, dojde k ručnímu odebrání výstřiku a následně k úpravě formy. Vyhození výrobku je zajištěno vyhazovači. Vyhazovače jsou umístěny mezi kotevní a vyhazovací deskou.



Obr. 5.20: Ovládaní vyhazovacího mechanismu
1 – vedení vyhazování



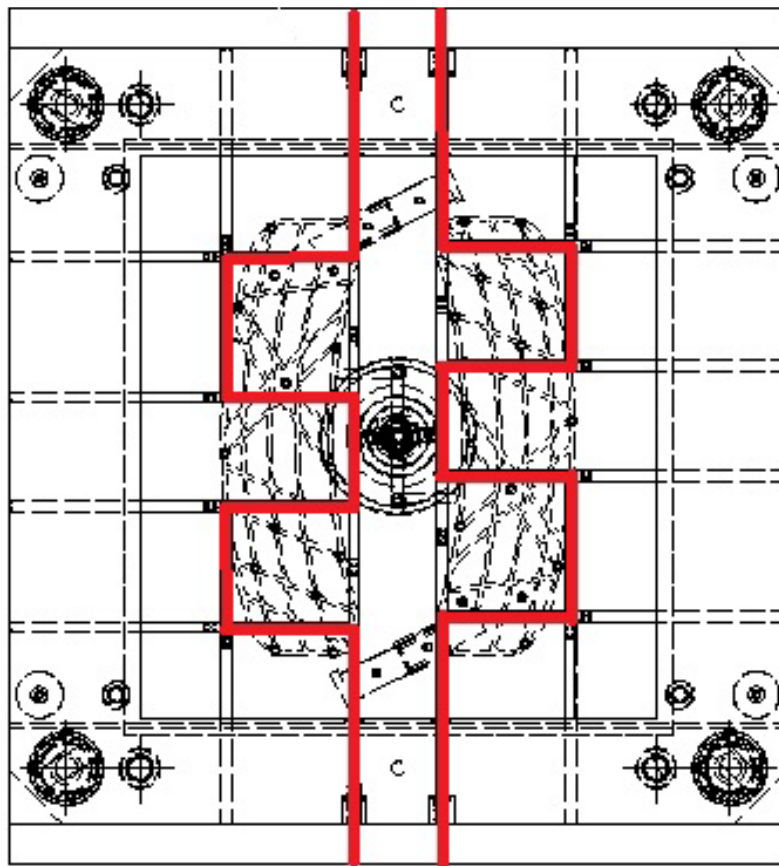
Obr. 5.21: Umístění vyhazovačů

1 – upínací deska, 2 – kotevní deska, 3 – vodící deska, 4 – vyhazovací deska

Při konstrukci vyhazovacího mechanismu je důležité brát zřetel na umístění a počet vyhazovačů. Při jejich nedostatečném počtu, může dojít při vyhazování ke zvlnění a následnému zničení finálního výstřiku. Pro vyhození florbalové čepele bylo použito 33 vyhazovačů. Pro vyhození jednoho výrobku je použito 16 vyhazovačů a jeden vyhazovač slouží pro vyhození vtokového kužele. Vyhazovače sloužící pro vyhození samotné florbalové čepele jsou dvojí délky a jsou označeny žlutě a červeně. Vyhazovače pro vyhození jádra jsou označeny modře, zeleně je označen vyhazovač vtokového kužele.

5.7.6 Temperační systém

Temperační systém formy musí být navrhnut tak, aby chlazení formy probíhalo rovnoměrně a co možná nejrychleji. Temperační systém formy pro florbalovou čepel byl navrhnut jako jednookruhový. Temperační okruh (červeně) je obsažen ve vyměnitelné vložce a tvárnici. Kanály vedou přímo pod negativním tvarem ve vyměnitelné vložce a tím odebírají teplo z dutiny formy. Chlazení formy bylo navrženo tak aby v žádném místě nevznikala slepá místa, kde by nedocházelo k proudění chladicí kapaliny. V těchto místech by se pak mohli usazovat nečistoty, a zvyšovalo by se také případné riziko koroze. Jako chladivo je použita voda.



Obr. 5.22: Temperační okruhy

5.8 Odvzdušnění forem

Neodvedený vzduch uzavřený v tvarových dutinách vstřikovacích forem může mimo jiné vyvolat následující vady:

- nedostřiky – zamrznutí postupu čela taveniny
- spálená místa na výstřicích
- uzavření výstřiku (tvorba bublin) ve stěnách výstřiku s větší tloušťkou stěn

- zvýšení nebezpečí výskytu studených spojů a s nimi spojených vad na povrchu a lokální snížení pevnosti
- vnesení pnutí do výstřiku
- zvýšení anizotropie vlastností výstřiku
- nutnost enormního zvýšení vstřikovacího tlaku
- velké tlakové sádky v dutině formy

Při neúčinném odvzdušnění tvarové dutiny a použití vysoké rychlosti plnění je nejčastější vadou vznik tzv. Dieselova efektu, což je spálené místo na výstřiku. K Dieselovu efektu dochází v důsledku rychlého plnění, kdy neodvedený vzduch je stlačován taveninou, vlivem vysokého tlaku se silně ohřívá, až dojde ke spálení plněného materiálu. [1]

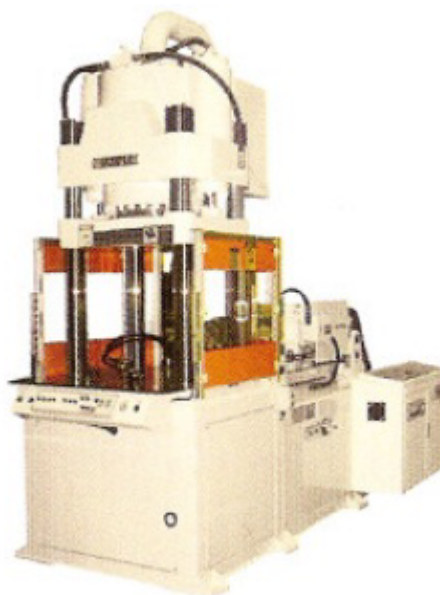
Při návrhu tohoto řešení bylo uvažováno, že pro odvzdušnění formy postačí mezer mezi deskami a dělicí rovinou. Účinnost odvzdušnění bude odzkoušena při zkušebním plnění, v případě nedostatečného odvzdušnění formy budou do formy vytvořeny otvory pro únik vzduchu.

5.9 Vstřikovací lis

Pro vstřikování florbalové čepele byl zvolen vertikální vstřikovací lis. Vertikální vstřikovací lis byl vybrán z důvodu jednoduchého uložení a ustavení jádra. V případě horizontálního lisu by docházelo k vypadnutí jádra z dutiny formy. Pro volbu vstřikovacího lisu jsou nejdůležitější parametry:

- rozteč sloupků
- vstřikovací parametry stroje
- uzavírací a vyhazovací parametry stroje

Pro výstřik florbalové čepele byl zvolen vstřikovací stroj od firmy INVERA VH – 250T



Obr. 5.23: Vstřikovací lis INVERA VH – 250T [7]

Vstřikovací stroj INVERA VH - 250T		
	jednotky	typ stroje: VH - 250T
Teoretický vstřikovací objem	mm	286
Vstřikovací kapacita	g	269
Vstřikovací tlak	kg/cm ²	2739
Vstřikovací rychlost	cm ³ /s	119
Rychlost otáčení šroubu	ot/min	232
Topný výkon	kW	17,5
Uzavírací síla	t	250
Minimální výška formy	mm	300
Otevírací zdvih	mm	450
Maximum daylight	mm	750
Rozměry formy	mm	735x560
Velikost desky	mm	1065x890
Vyhazovací zdvih	mm	150
Vyhazovací síla	t	6
Váha stroje	t	11,5

Obr. 5.24: Parametry vstřikovacího lisu INVERA VH – 250T [7]

6 Závěr

Zadání této bakalářské práce bylo vypracovat vstřikovací formu s horkým vtokem pro odformování plastové součásti. V teoretické části bakalářské práce jsou popsány vlastnosti plastů a jejich úpravy, děje probíhající při vstřikování a úvod do vstřikování. Praktická část bakalářské práce obsahuje popis jednotlivých částí vstřikovací formy, výpočet vtokového systému, temperační systém a výběr vstřikovacího lisu. Další částí této bakalářské práce bylo vypracovat výkresovou dokumentaci ke vstřikovací formě (výkresy sestavy, výrobní výkres vyměnitelné vložky a kusovník).

Vstřikovací forma byla konstruována pomocí stavebnicového rámu od firmy MEUSBURGER. Horký vtok byl vybrán od firmy HASCO. Pro návrh formy a vypracování výkresové dokumentace byl použit program Autodesk Inventor Professional 2011. Násobnost formy byla zvolena dva. V průběhu konstrukce se ukázalo, že bude lepší rozdělit funkční části formy do dvou částí. Místo konstrukce tvárníku a tvárnice z jednolitých desek, byl zvolen postup rozdělení na tvárné desky a vyměnitelné vložky. Vyměnitelné desky ušetří velkou část nákladů v případě nutnosti výměny z důvodu opotřebování tvárníku a tvárnice. Další obtížnou částí při konstrukci formy byl návrh umístění temperačního systému. V pohyblivé části formy jsou umístěny také vyhazovače pro vyhození výstřiku z formy a jejich správné umístění zaručovalo nepoškození výstřiku během vyhazování. Z tohoto důvodu musel být temperační systém navrhnout s ohledem na umístění vyhazovačů ale také na účinnost chlazení.

Poslední částí bakalářské práce bylo vypracování výkresové dokumentace. Výkresy sestavy obsahují viditelně všechny části vstřikovací formy a jejich pozice. Výrobní výkres obsahuje úpravy normalizované desky od firmy MEUSBURGER včetně geometrických tolerancí a drsností povrchu.

Použitá literatura

- [1] Lubomír, Z. *Vstřikování plastů. Praha: BEN, 2009*
- [2] Štěpek, J.; Zelinger, J.; Kuta, A.: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Praha: SNTL, 2005*
- [3] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastu vyráběné vstřikováním. Praha: STNL, 1986*
- [4] LENFELD, P. *Interaktivní skripta Technologie II, TU Liberec, http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm*
- [5] KRÁLOVEC, J. *Bakalářská práce: Návrh vstřikovací formy pro 3 typy výrobku s výměnnými vložkami. Plzeň: ZČU, 2011*
- [6] Redakční systém. ČFBU [online]. © 2014 [cit. 2014-17-06] dostupné z: http://www.cfbu.cz/redakcni_system/index.php?static=cfbu/historie/svet
- [7] Výrobní program. Invera [online]. © 2014 [cit. 2014-17-06] dostupné z: http://invera.rtrk.cz/?scid=47667&kw=8740412&pub_cr_id=23878243984
- [8] Vlastnosti polyetylen vyšší hustoty. Lpm [online]. © 2014 [cit. 2014-17-06] dostupné z: <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1411&lng=1>
- [9] florbal. i.idnes.cz [online]. © 2014 [cit. 2014-17-06] dostupné z: http://i.idnes.cz/12/121/cl6/ROU47a4aa_floris.jpg

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Schéma vstřikovacího stroje	11
Obr. 1.2: Rozdělení polymerních materiálů [1]	12
Obr. 2.1: Časový průběh vstřikovacího cyklu [2]	14
Obr. 2.2: Průběh tlaku při vstřikování termoplastů [3]	15
Obr. 2.3: Průběh dotlaku při vstřikování termoplastů [3]	17
Obr. 2.4: Schéma znázornění změny tlaku p , objemu v a teploty T , při vstřikování termoplastů [1]	18
Obr. 4.1: Změna rozměrů výstřiku v závislosti na čase v důsledku smrštění formy [1]	21
Obr. 4.2: Části vstřikovací formy [5]	22
Obr. 5.1: Florbalová čepel	24
Obr. 5.2: Milan Tomašík [9]	26
Obr. 5.3: Vlastnosti HDPE [8]	27
Obr. 5.4: Zobrazení dělicí roviny	28
Obr. 5.5: Upínací deska pevné části formy	29
Obr. 5.6: Boční pohled na vstřikovací formu	30
Obr. 5.7: Opěrná deska pro horký vtok	30
Obr. 5.8: Opěrná deska pro pevnou část formy	31
Obr. 5.9: Opěrná deska pro pohyblivou část formy	31
Obr. 5.10: Jádru uložené v dutině	32
Obr. 5.11: Vyměnitelná vložka	33
Obr. 5.12: Vyměnitelná vložka s otvory pro vyhazovače	33
Obr. 5.13: Řez vstřikovacími tryskami	34
Obr. 5.14: Sestava vtokového systému	35
Obr. 5.15: Řez vstřikovací formou	37
Obr. 5.16: Závislost průměru a průřezu vtokových kanálů na hmotnosti výstřiku	37
Obr. 5.17: Závislost vtokového kanálu na jeho délce	38
Obr. 5.18: Koeficient vlivu násobnosti formy dle počtu rozváděcích kanálů	38
Obr. 5.19: Příklad vtokové soustavy bez ústí vtoku	38
Obr. 5.20: Ovládání vyhazovacího mechanismu	40

Obr. 5.21: Umístění vyhazovačů	41
Obr. 5.22: Temperační okruhy	42
Obr. 5.23: Vstříkovací lis INVERA VH – 250T [7]	44
Obr. 5.24: Parametry vstříkovacího lisu INVERA VH – 250T [7]	44

