

Zde patří úvodní strana.

Tato strana se ze šablony netiskne.

Úvodní strana je uvedena ve speciálních souborech přístupných na webových stránkách univerzity.

KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY VÍČKA

Bc. Libor Matyášník

Zde patří oficiální zadání diplomové práce.

Tato strana se ze šablony netiskne. Je to výstup z IS STAG.

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo vypracovat literární studii na dané téma a navrhnout vstřikovací formu víčka.

Byla vytvořena parametrická sestava formy pro rychloběžné vstřikování v programu Autodesk Inventor 6 s použitím normalizovaných součástí renomovaných firem HASCO, DME, STRACK, GÜNTHER a FESTO.

Dále byly provedeny analýzy vstřikovacího procesu s akcentem na chlazení, které vedly k výsledné koncepci formy. Pro analýzy vstřikovacího procesu bylo použito programu Moldflow Plastics Insight 4.1.

Vybrané části formy byly podrobeny mechanické analýze, pomocí programu COSMOS DesignSTAR 3.0.

The main purpose of this work is create literary study of the theme, that was given, and design injection mould of cover.

In this work was created parametric configuration of the mould, for high-speed injection, with using software called Autodesk Inventor 6 and normalizing components of renowned companies HASCO, DME, STRACK, GÜNTHER and FESTO.

After next was realized analysis of injection process, with accent of refrigeration. It was important for final conception of the form. For analysis injection process was used software called Moldflow Plastics Insight 4.1.

Finally was selected some parts of the form and implemented mechanical analysis with using software called COSMOS DesignSTAR 3.0.

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Petrovi Halaškovi, za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Františkovi Pavlíkovi, vedoucímu obchodního střediska firmy Greiner packaging ve Slušovicích a panu Vladimíru Novákovi. Za pomoc při řešení problémů konstrukce formy děkuji pracovním konstrukce z firmy Mould @ Matic Solutions s.r.o.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 20.05.2005

.....

podpis

OBSAH

OBSAH	5
ÚVOD.....	7
I. TEORETICKÁ ČÁST	8
1 PROBLEMATIKA FOREM PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	9
1.1 KONSTRUKCE FOREM	10
1.1.1 Postup při konstrukci formy.....	10
1.1.2 Zaformování výstřiku.....	11
1.1.3 Dimenzování tvarové dutiny	12
1.1.4 Násobnost formy	13
1.1.5 Pevnostní výpočet desek rámu formy	15
1.2 SMRŠTĚNÍ VÝSTŘIKU	19
1.3 VTOKOVÉ SOUSTAVY	21
1.3.1 Studené vtokové systémy	21
1.3.2 Koncepce vtokových ústí	21
1.3.3 Plný kuželový vtok.....	23
1.3.4 Bodový vtok	23
1.3.5 Tunelový vtok	23
1.3.6 Boční vtok	24
1.3.7 Filmový vtok	24
1.3.8 Plnění dutiny více vtoky.....	24
1.4 VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SOUSTAVY (VVS)	25
1.4.1 Isolované vtokové soustavy	25
1.4.2 Vyhřívané trysky	26
1.4.3 Vytápěné rozvodové bloky	29
1.4.4 Formy s vyhřívanými vtokovými soustavami	29
1.4.5 Provozní podmínky vyhřívaných vtokových systémů	31
1.5 VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ	31
1.5.1 Velikost vyhazovací síly	32
1.5.2 Mechanické vyhazování.....	33
1.5.3 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků	33
1.5.4 Vyhazování stírací deskou	34
1.5.5 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů.....	36
1.5.6 Dvoustupňové vyhazování	36
1.5.7 Vzduchové vyhazování	36
1.5.8 Hydraulické vyhazování.....	37
1.5.9 Vyhazování vtokového zbytku.....	37
1.6 TEMPEROVÁNÍ FOREM	38
1.7 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	39
1.8 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM.....	40
II. PRAKTICKÁ ČÁST	42
2 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY VÍČKA PRO RYCHLOBĚŽNÉ VSTŘIKOVÁNÍ	43

2.1	CHARAKTERISTIKA VÝROBKU	43
2.2	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	44
2.3	KONSTRUKCE FORMY	44
2.3.1	Volba násobnosti formy	45
2.3.2	Zaformování výstřiku.....	45
2.3.3	Vyhození výstřiku	45
2.3.4	Tvarové díly dutiny	46
2.3.5	Vtokový systém.....	48
2.3.6	Temperace formy	48
2.3.7	Materiálové vlastnosti jednotlivých částí formy	50
3	ANALÝZY VSTŘIKOVACÍHO PROCESU S AKCENTEM NA CHLAZENÍ.....	51
3.1	DEFINOVÁNÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ	52
3.2	ZPŮSOB CHLAZENÍ LEVÉ STRANY FORMY	54
3.3	ZPŮSOBY CHLAZENÍ PRAVÉ STRANY FORMY	55
3.3.1	Varianta s použitím přepážek.....	55
3.3.2	Varianta s použitím chladicí drážky.....	56
3.3.3	Varianta s použitím spirál	57
3.3.4	Varianta s použitím teplosměnných trubíc.....	58
3.4	VYHODNOCENÍ NAMODELOVANÝCH SOUSTAV	59
3.4.1	Grafické vyhodnocení nejlepšího návrhu chladicí soustavy.....	62
4	PARAMETRICKÁ SESTAVA FORMY VÍČKA.....	71
4.1	VYTVOŘENÍ PARAMETRICKÉHO MODELU VÍČKA.....	72
4.2	VYTVOŘENÍ PARAMETRICKÉ SESTAVY PRAVÉ STRANY FORMY	72
4.3	VYTVOŘENÍ PARAMETRICKÉ SESTAVY VYHAZOVÁNÍ	73
4.4	VYTVOŘENÍ PARAMETRICKÉ SESTAVY LEVÉ STRANY FORMY	74
4.5	VYTVOŘENÍ PARAMETRICKÉ SESTAVY CELÉ FORMY	74
5	PEVNOSTNÍ ANALÝZA FORMY.....	76
5.1	MECHANICKÁ ANALÝZA TVÁRNÍKU	77
5.2	MECHANICKÁ ANALÝZA TVÁRNICE	78
6	EKONOMICKÉ ASPEKTY	80
	DISKUSE VÝSLEDKŮ.....	81
	ZÁVĚR.....	84
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM TABULEK.....	90
	SEZNAM PŘÍLOH.....	91

ÚVOD

Za posledních dvacet let se polymerní materiály staly nepostradatelnými ve všech oblastech průmyslu a to hlavně díky svým charakteristickým vlastnostem, dostupnosti a poměrně dobrému zpracování. Při zpracování polymerních materiálů na finální výrobek se používá řada technologií, jako např. lisování, vytlačování, vyfukování, válcování, vstřikování atd.

Právě vstřikování v poslední době zaznamenává obrovský nárůst výroby. Největší podíl na tomto nárůstu má automobilový průmysl, ale i v jiných odvětvích jako např. v obalové technice nezůstávají pozadu. Právě enormní nárůst plastových obalů se snaží řešit proces rychloběžného vstřikování. Dalším problémem dnešní doby je recyklace plastových obalů. Z důvodů velkých objemů zpracovávaného polymerního materiálu se snaží obalový průmysl přecházet k tzv. tenkostěnným výrobkům.

Rychloběžné vstřikování se vyznačuje velkou kapacitou výroby. To se však děje na úkor velkých vstřikovacích rychlostí a tlaků uvnitř formy. Také proces chlazení má velký podíl na objemu výroby. Z těchto a mnoha dalších důvodů je kladen velký důraz na konstrukci formy.

Proto se dnes využívá mnoha konstrukčních programů, které mají ve svých knihovnách normalizované díly, které jsou nainstalovány v CAD - aplikacích a urychlují tím samotné vyhotovení sestavy formy. Tyto programy doplňují výrobci normálí, jejichž znakem je využití stavebnicového principu. Mezi nejznámější patří HASCO, STRACK, GÜNTHER, DME, FESTO atd.

Velký přínos při konstruování forem mají také programy, které se zabývají procesy uvnitř formy při samotném vstřikování. Řeší problematiku toku taveniny, chlazení, deformaci výrobku, ale také záležitosti týkající se samotné formy.

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy pro výrobu plastového víčka, které vyrábí firma Greiner packaging s.r.o. K vytvoření parametrické sestavy vstřikovací formy je použito 3D programu Autodesk Inventor 6. Pro tokové analýzy je použit program Moldflow Plastics Insight 4.1 a pro analýzy pevnostní program COSMOS DesignSTAR 3.0.

I. TEORETICKÁ ČÁST

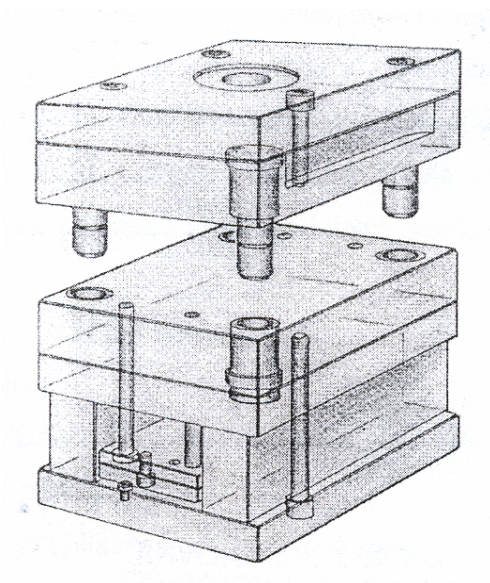
1 PROBLEMATIKA FOREM PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikovacích forem se používá při zpracování termoplastů, reaktoplastů i kaučukových směsí. Řešení vstřikovací formy vychází z technologického projektu příslušného výstřiku. Musí se respektovat jak vlastnosti zpracovávaných materiálů, tak také možnosti výrobních zařízení i požadavky na kvalitu výrobku a produktivitu práce.

Pro návrh vstřikovací formy jsou výchozími podklady výkresy nebo model výstřiku a technické podmínky. Výkres výstřiku obsahuje zejména poměrové i směrové tolerance, speciální vzhledové požadavky (barva, místo povolené stopy po vtokovém ústí, stopy po vyhazovačích apod.).

Hlavní části vstřikovacích forem:

- tvarové díly vymezující dutinu formy
- vtokové systémy
- temperační nebo topné systém
- vyhazovací zařízení pro výstřik i vtokový zbytek
- upínací a vodící elementy (4)



Obr. 1 Vstřikovací forma.

1.1 Konstrukce forem

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve formě v krátkém čase, za působení dostatečného tlaku, teploty a dalších nutných parametrů. Z toho vyplývají základní požadavky na stroj a formu, které spolu úzce souvisí.

U formy se vyžaduje:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celků, pro zachycení potřebných tlaků,
- správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování apod.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou.

Vyšší nároky na přesnost a jakost se projeví ve zvýšené pracnosti při jejich konstrukci i výrobě. Větší robustnost forem, kterou vyžadují použité tlaky při vstřikování, často svádí k méně citlivému zacházení. To bývá někdy příčinou jejich nedokonalé funkce, snížené přesnosti i životnosti. Proto je nutné respektovat zásady a směrnice při jejich konstrukci, výrobě i obsluze (1).

1.1.1 Postup při konstrukci formy

Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem. Vlastní konstrukce pak má následující postup:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, jejich tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny a lunkry. Nezanedbat ani úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny.
- určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoků a vyhazování z dutiny formy.

- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálu i ústí vtoku.
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutin formy.
- návržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet i rozmístění dutin, systém vyhazování i temperace formy.
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků. To všechno v rámci bezpečnosti práce.
- zkontrolování funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj.

Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků. Je vhodné s objednavatelem návrh formy konzultovat. U externích zákazníků předložit objednateli případné návrhy a doplňky výkresu součásti i návrhu konstrukčního řešení formy ke schválení(1).

1.1.2 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí plochy náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu.

Dělicí plocha (rovina) bývá zpravidla jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí plochy. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí ploše může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělicí plocha:

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře slícovatelná,
- probíhala v hranách výrobku,

- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a souosost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad,
- u více dělicích ploch volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet.

Pozitivní úlohu hraje dělicí plocha při odvzdušnění dutin formy. I k tomu je třeba přihlédnout. Podrobnější zásady volby dělicí plochy obsahují normy ČSN 640008 a ČSN 640031 (1).

1.1.3 Dimenzování tvarové dutiny

Tvar a rozměry funkčních dílů, které jsou převážně umístěny v různých částech formy, tvoří po jejím uzavření tvarovou dutinu. Jejich dimenzování je důležitou etapou konstrukčního řešení.

Chybně dimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměrů výstřiku. V případě, že se nejedná o rozměr s předepsanou tolerancí, lze tuto chybu někdy napravit úpravou technologických parametrů, někdy však jen nákladnou korekcí rozměrů formy.

Povrch i rozměry výstřiku jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy, která je obvykle složena z tvárnice, tvárníku, jádra a tvarových vložek. Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a ovlivňují ji tři činitelé:

- smrštění plastu (provozní)
- výrobní tolerance
- opotřebení dutiny formy

Nejčastější příčinou chybného dimenzování rozměru je především nepřesný odhad smrštění daného rozměru v průběhu tváření plastu. Správný odhad velikosti (tzv. provozního) smrštění pro konkrétní rozměry dílů, je někdy obtížně určit, neboť výpočetní smrštění se u složitějších výstřiků jen zřídka kryje s hodnotou uváděnou v tabulkách výrobců plastů. Konstruktor je většinou odkázán na vlastní zkušenosti. Exaktní podklady umožňující přepočet smrštění udávaného výrobcem plastu (ze zkušebních tělísek) na smrštění reálných těles dosud neexistuje.

Velikost smrštění ovlivňuje:

- tvar výstřiku (rozměry a tloušťka stěn,...)
- konstrukce formy (vtokový systém, poloha ústí vtoku, velikost jeho průřezu, temperance formy,...)
- technologie vstřikování (tlak, teplota taveniny,...)

Způsob výroby formy, především dutiny určuje její přesnost i výrobní toleranci. Při jejím stanovení se vychází z ČSN 014265. Opotřebení dutiny formy se odhaduje na 10 až 40% z celkové tolerance výrobku (1).

1.1.4 Násobnost formy

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují. Posuzují se z hlediska:

- charakteru a přesnosti výstřiku
- požadovaného množství výrobků
- velikostí a kapacitě vstřikovacího stroje
- požadovaného termínu dodávky
- ekonomiky výroby

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, jako i velkorozměrové výstřiky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. Výroba rozměrově přesných součástí vedle nepřesností jednotlivých tvarových dutin, zavádí také do produkce další, nikoliv zanedbatelný faktor chyb. Nerovnoměrná teplota formy i plastu při plnění jednotlivých dutin, nestejně vstřikovací tlaky, rozdílné dráhy vtoků apod. způsobují další rozměrové nepřesnosti.

Velikost vstřikovacího stroje se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem i uzavírací silou musí dostatečně a s rezervou naplnit bezpečně uzavřenou formu (dutiny i kanály). Požadovaná rezerva objemu taveniny i uzavírací síly je cca 20 %.

Násobnost formy se určuje z několika hledisek:

- podle vstřikovací kapacity stroje je dána vztahem:

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot M_s}{A \cdot G} \quad (1)$$

M_s ... vstřikovací objem stroje (gramáž) [g]

G ... hmotnost výstřiku [g]

A ... koeficient vtokového zbytku (bez vtoku se rovná jedné, jinak se pohybuje v rozmezí $1,05 \div 2$, větší hodnota platí pro malé výstřiky)

Hodnota 0,8 ve vztahu zdůrazňuje, že hmotnost výstřiku může dosáhnout je 80 % vstřikovací kapacity stroje, aby provoz byl spolehlivý.

- podle plastikačního výkonu je násobnost dána:

$$n_2 = \frac{0,8 \cdot Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{A \cdot G \cdot 3600} \quad (2)$$

Q_p ... plastikační výkon stroje [kg/h]

t_c ... celková doba cyklu [s]

A, G ... dle předchozího vztahu

- podle velikosti uzavírací síly:

$$n_3 = \frac{0,8 \cdot F_s}{S \cdot p_v} \quad (3)$$

F_s ... uzavírací síla stroje [N]

S ... plocha dutin a kanálů v dělicí rovině kolmá na směr uzavírací síly [mm²]

p_v ... vstřikovací tlak [MPa]

Spolehlivost uzavření formy je dána 20 % rezervou.

- velikostí roční produkce je násobnost ovlivněna dle vztahu:

$$n_4 = \frac{Q_R \cdot t_c}{t_s \cdot n_s \cdot n_p} \quad (4)$$

Q_R ... celková požadovaná produkce [ks]

t_c ... celková doba cyklu [s]

t_s ... doba směny [hod.]

n_p ... počet pracovních dnů v roce

n_s ... počet směn za den

Požadavek ekonomiky jak výroby formy tak i výroby výtřiků je jednoznačný pro větší počet tvarových dutin. Zajistí se tím snadněji požadovaný počet kusů při nižších výrobních nákladech. Optimální násobnost formy lze vypočítat z rovnice:

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N}{3600 \cdot K_f}} \quad (5)$$

K_p ... provozní náklady formy [Kč]

N ... celková produkce životnosti formy [ks]

t_c ... doba cyklu [s]

K_f ... míra amortizace formy

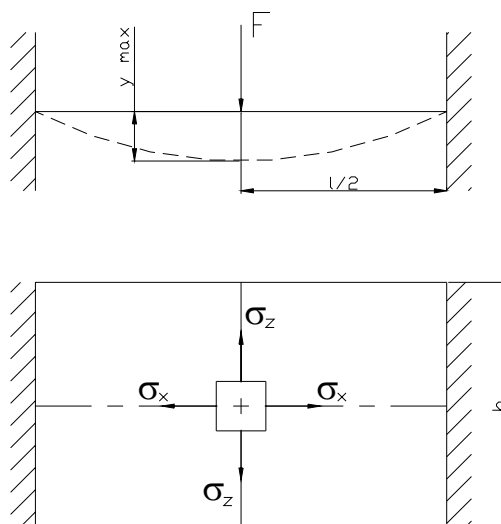
Při dlouhodobém vystavení taveniny vysoké teplotě (dlouhé cykly, malý odběr taveniny) může dojít k barevným změnám nebo k degradaci plastu. Proto je dán poměr vstřikovací kapacity a plastifikačního výkonu dle empirického vzorce:

$$n_2 \leq 4 n_1 \quad (6)$$

Vhodná násobnost formy je nejnižší hodnota ze vztahů $n_1 \div n_3$. Pokud je stanovena násobnost větší než hodnota z n_4 , je nutné volit jiný vstřikovací stroj (1).

1.1.5 Pevnostní výpočet desek rámu formy

Při návrhu rámu formy je třeba zejména kontrolovat průhyb desky a její maximální hodnoty napětí σ_{max} .



Obr. 2. Příklad zatížení desky.

Průhyb kontrolujeme především proto, aby nedošlo k vytvoření nežádoucích přetoků. Podle (1) se doporučuje průhyb, který nepřesáhne 0,02 mm na 100 mm délky desky. Odtud je dovolený průhyb y_D určen vztahem:

$$y_D = \frac{0,02}{100} l \quad (7)$$

y_D ... maximální dovolený průhyb [mm]

l délka prohýbané části desky [mm]

Pro pevnostní kontrolu je možno použít zjednodušené vztahy podle (1), které jsou odvozeny pro příklad zatížení dle obr. 1. Maximální velikost průhybu $y_{\max}$ je v místě působení síly F a má velikost:

$$y_{\max} = \frac{F l^3}{192 E I} \quad (8)$$

Maximální velikost ohybového momentu $M_{O,\max}$ je dána vztahem:

$$M_{O,\max} = \frac{F l}{8} \quad (9)$$

Maximální ohybové napětí je pak určeno vztahem:

$$\sigma_{O,\max} = \frac{M_{O,\max}}{W_O} = \frac{\frac{F.l}{8}}{\frac{b.h^2}{6}} = \frac{3.F.l}{4.b.h^2} = \frac{3.p_{vs}.S.l}{4.b.h^2} \quad (10)$$

$y_{\max}$... maximální průhyb desky [mm]

F síla deformující desku [N]

l délka prohýbané části desky [mm]

I kvadratický moment plochy desky [mm⁴]

E tahový modul pružnosti materiálu desky [MPa]

b šířka desky [mm]

h tloušťka desky [mm]

W_O ... ohybový modul průřezu [mm³]

$M_{O,\max}$ maximální ohybový moment [N.mm]

S plocha průmětu dutiny do dělicí roviny [mm²]

p_{vs} ... tlak taveniny ve formě [MPa]

Toto maximální ohybové napětí však musí být menší než dovolené ohybové napětí pro míjivé zatížení.

Při vlastním dimenzování rámu formy se musí zaručit taková tuhost formy, aby nebyla překročena dovolená velikost průhybu. Je proto možný následující postup:

1. Výpočet velikosti dovoleného průhybu formovacích desek podle již dříve zmíněného vztahu.
2. Výpočet velikosti sil potřebných k dosažení dovolené deformace (průhybu) na všech součástech. Jedná se především o tvarovou desku, opěrnou desku a rozpěrné sloupky.

Deformační síla rozpěrného sloupku F_R se vypočte vztahem odvozeným z Hookova zákona.

$$F_R = E.S. \frac{y_D}{l_s} \quad (11)$$

Vztah pro deformační sílu tvarové a opěrné desky se získá pro výpočet maximálního průhybu desky.

$$F_T = 192.E_T.I_T \cdot \frac{y_D}{l^3} = 192.E_T \cdot \frac{b.h_T^3}{12} \cdot \frac{y_D}{l^3} \quad (12)$$

$$F_{Op} = 192.E_{Op}.I_{Op} \cdot \frac{y_D}{l^3} = 192.E_{Op} \cdot \frac{b.h_{Op}^3}{12} \cdot \frac{y_D}{l^3} \quad (13)$$

y_D maximální průhyb desky [mm]

F_R síla deformující rozpěrný sloupek [N]

F_T síla deformující tvarovou desku [N]

F_{Op} síla deformující opěrnou desku [N]

l_s délka rozpěrného sloupku [mm]

l délka prohýbané části desky [mm]

I_T kvadratický moment plochy tvarové desky [mm⁴]

I_{Op} kvadratický moment plochy opěrné desky [mm⁴]

E_R tahový modul pružnosti rozpěrného sloupku [MPa]

E_T tahový modul pružnosti tvarové desky [Mpa]

E_{Op} tahový modul pružnosti opěrné desky [MPa]

b šířka desky [mm]

h_T tloušťka tvarové desky [mm]

h_{Op} ... tloušťka opěrné desky [mm]

3. Kontrola tuhosti formy. Součet ztužujících silových účinků desek a sloupků musí vyvolat takovou reakci, aby nedošlo k překročení hodnoty průhybu. To lze zkontrolovat vztahem:

$$F \leq \sum F_T + F_{Op} + i.F_R \quad (14)$$

F síla vyvozená vstřikovacím tlakem v dutině [N]

F_T síla deformující tvarovou desku [N]

F_{Op} ... síla deformující opěrnou desku [N]

F_R síla deformující rozpěrný sloupek [N]

i počet rozpěrných sloupků

Není-li tato podmínka splněna, lze zvětšit tloušťku desek, nebo průměr a počet rozpěrných sloupků.

4. Kontrola napětí v deskách a rozpěrných sloupcích. V případě zatížení desek se jedná o dvouosou napjatost se složkami napětí σ_X a σ_Z . Proto s dovoleným ohybovým napětím $\sigma_{D,0}$ se bude srovnávat redukované napětí σ_{Red} stanovené z hypotézy o přetvárné práci potřebné ke změně tvaru.

$$\sigma_{Red}^2 = \sigma_X^2 + \sigma_Z^2 - \sigma_X \cdot \sigma_Z \quad (15)$$

Kde za σ_X se dosadí $\sigma_{O,max}$ ze vztahu (1.2.3.4) a σ_Z se určí ze vztahu:

$$\sigma_Z = \nu \cdot \sigma_X \quad (16)$$

Tlakové napětí v rozpěrných sloupcích se vypočítá podle vztahu:

$$\sigma_P = \frac{F_R}{S} \quad (17)$$

ν Poissonovo číslo materiálu desky (pro oceli $\nu = 0,3$)

σ_X normálové napětí ve směru osy x (dle obr. 1) [MPa]

σ_Z normálové napětí ve směru osy z (dle obr. 1) [MPa]

S plocha průřezu rozpěrného sloupku [mm²]

F_R síla deformující rozpěrný sloupek [N]

1.2 Smrštění výstřiku

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Udává se v %. Jeho velikost závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činitelích.

Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. Velikost provozního smrštění se stanoví 24 hod. po výrobě součásti a představuje až 90 % z jeho hodnoty. Zbytek je dodatečné smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. Smrštění lze urychlit temperací (stabilizace výrobku).

Velikost smrštění nemusí být ve všech směrech stejná. Asymetrické plnivo (skleněná vlákna), směr proudění taveniny, orientace makromolekul u semikrystalického plastu apod. způsobuje anizotropii definovanou jako rozdíl smrštění ve směru $\parallel$ a $\perp$ na tok taveniny.

Je vyjádřen také v %.

Velikost smrštění je ovlivněna jak vlastnostmi plastu, tvarem výstřiku, technologií vstřikování, ale i vstřikovací formou (vtokovou soustavou a teplotou chlazení). Správný odhad hodnoty smrštění případně jejich korekce pro přesné výstřiky je obtížný úkol. Stanovená velikost je jen orientační. Proto je vhodné u přesných výstřiků dimenzovat rozměry dutin tak, aby bylo možné je případně snadno opravit. Pro běžné rozměry výstřiku jsou udávány hodnoty smrštění dle tabulek dostačující.

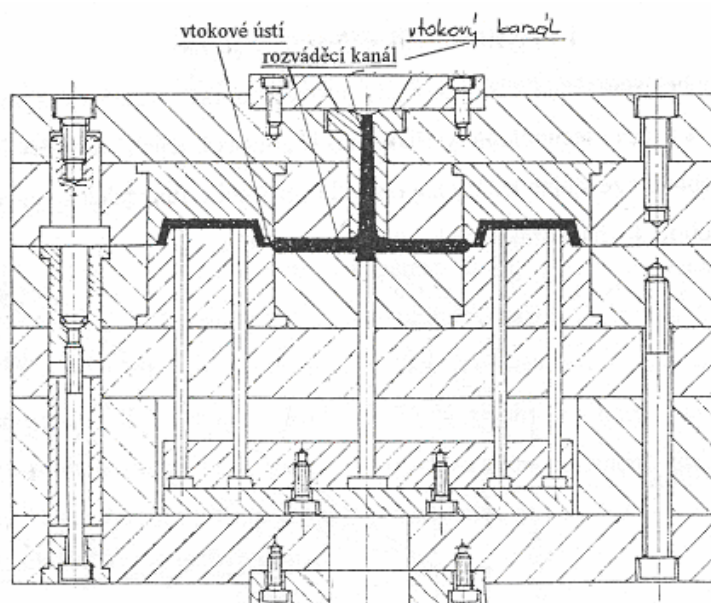
Legalizaci smrštění u výstřiků, jejichž rozměry je možno na výkrese dodatečně změnit dle skutečného smrštění, je doporučeno provést opravu rozměrů a dle skutečně naměřených hodnot a určené technologie vstřikování. U součástí, jejichž rozměry jsou vázány na protisoučást vyrobenou ze stejné hmoty lze obvykle smrštění u funkčních styčných rozměrů pominout tím, že u obou dochází prakticky ke stejnému smrštění.

Definice jednotlivých pojmů a jejich matematické vyjádření je v ČSN 640808 a toleranční pole plastů v ČSN 014265 (1).

1.3 Vtokové soustavy

1.3.1 Studené vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Popis jednotlivých částí vtokového systému je na obr.3.



Obr. 3. Vtokový systém formy.

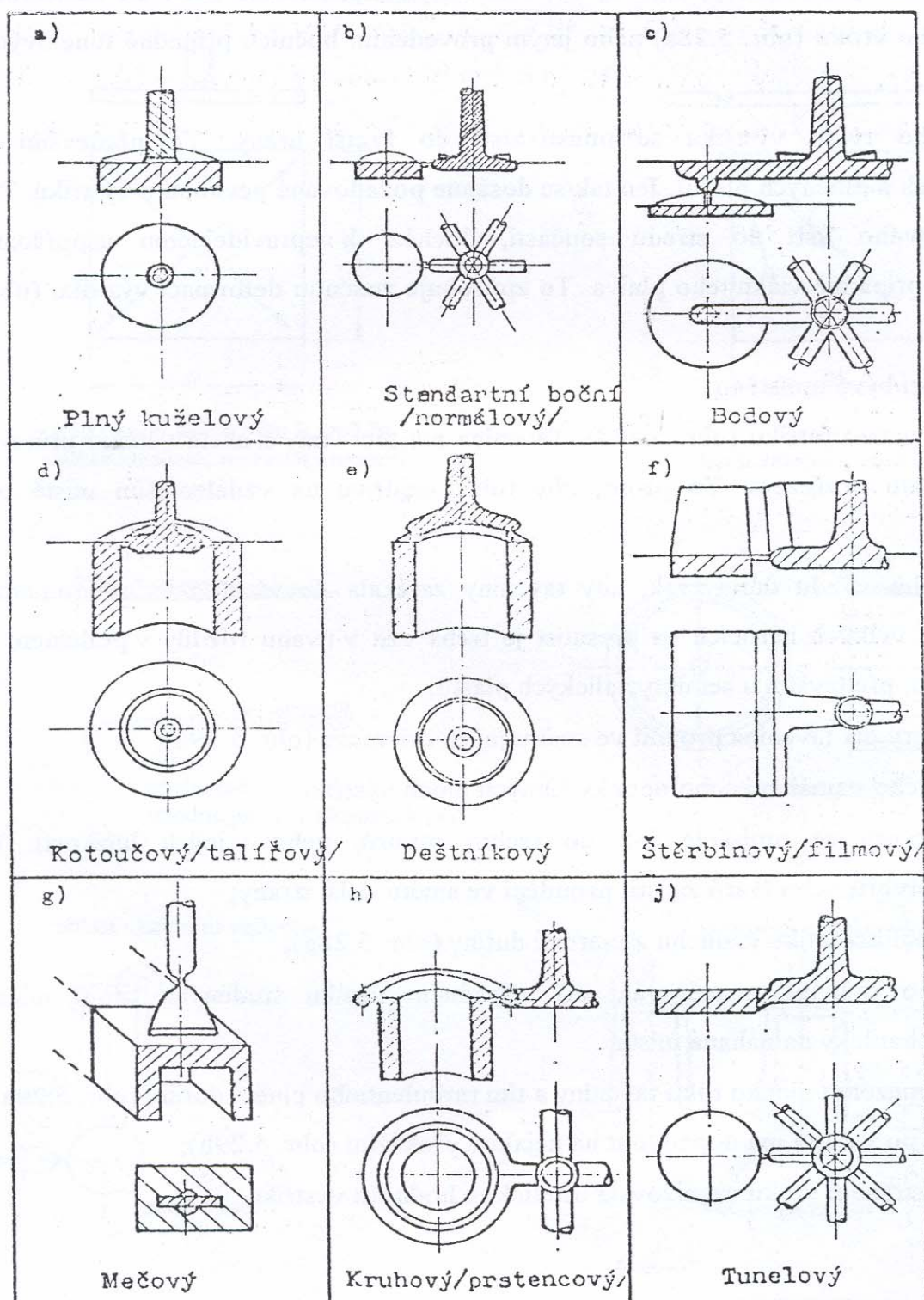
Průtok taveniny vtokovým systémem je provázen složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku
- spotřebu materiálu plastu
- náročnost opracování na začistění výstřiku
- energetickou náročnost výroby (1).

1.3.2 Koncepce vtokových ústí

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jen ve vyjimečných případech může být použit plný nezúžený vtok (pro potlačení propadlin, lunek a

velkoobjemových dílů. Jeho zúžením se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku a tím i vytváření povrchových defektů.



Obr. 4. Základní typy vtokových ústí.

1.3.3 Plný kuželový vtok

Privádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Je vhodný především pro tlustostěnné výrobky. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě poslední.

Jeho odstranění je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku. Pro určení jeho průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny výstřiku.

Pro menší tloušťky stěn výstřiku je vhodné vytvořit proti ústí čočkovité zahloubení (1).

1.3.4 Bodový vtok

Je nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem. U tohoto typu musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou (1).

1.3.5 Tunelový vtok

Je zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výstřik. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části formy. Není proto nutné konstruovat formy s více dělicími rovinami. Jeho funkce je zřejmá z (Obr. 4j).

Předpokladem dobré funkce tunelových vtoků je existence ostré hrany, která odděluje při odformování vtokový zbytek od výstřiku. To je třeba zvážit u vzhledově náročných výstřiků. Není-li zaústění do boku výstřiku možné, využívá se zaústění do vnitřního nálitku, žebra apod. Může se případně vytvořit i náletek, pokud to funkci výstřiku nevadí.

Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve kterém nepůsobí rušivě. Takový vtok je vhodný jen pro plasty s vysokou elasticitou (1).

1.3.6 Boční vtok

Je také typem se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Tvarové řešení bočního vtoku je znázorněno na (Obr. 4b). Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Při automatickém cyklu se řeší jeho oddělování zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy (1).

1.3.7 Filmový vtok

Je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se ještě řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další, jak ukazuje (Obr. 4).

Od filmového vtoku se vyžaduje:

- dodržení rovinnosti, přímosti, přesnosti tvaru výstřiku;
- malé vnitřní pnutí;
- odstranění studených spojů;
- vyvážení tlaku, kterým proudící tavenina působí na jádra nebo zálisky;
- zmenšení rychlosti taveniny vstupující do dutiny formy;
- zmenšení odporu vtokového systému.

Rozvedení taveniny do jednotlivých míst vtokového ústí není rovnoměrné. Tlak klesá s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu. To se řeší proměnnou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu (i jinými úpravami) (1).

1.3.8 Plnění dutiny více vtoky

Pro výstřik je účelné naplnit dutinu formy taveninou jedním vtokem. Neumožňuje-li to tvarová dutina (nebo i jiný důvod – rychlost naplnění) použije se více vtoků. Před použitím je třeba zvážit jejich vliv na uzavírání vzduchu a vzniku studených spojů při setkání proudů taveniny z jednotlivých vtoků (1).

1.4 Vyhřívané vtokové soustavy (VVS)

Technologie vstřikování s použitím VVS spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. To umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. U všech způsobů bez vtokového vstřikování je vhodné v místě jeho vyústění provést na výstřiku zahloubení, aby případný nepatrný vtokový zbytek nevystupoval přes jeho úroveň.

Součástí

systému

je regulace teploty VVS i formy. Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu.

Používání VVS stále narůstá, protože:

- umožňuje automatizaci výroby,
- zkracuje výrobní cyklus,
- snižuje spotřebu plastu – vstřikuje se bez vtokových zbytků,
- snižuje náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků,
- odpadá manipulace a regenerace zbytků vtoků a problémy při jejich zpracování.

Soustava VVS však vyžaduje podstatně složitější a výrobně nákladnější formy, obslužný personál i strojní zařízení (konstruktér, technolog, pracovník ve vstřikovně) musí být na příslušné technické úrovni. Dále je třeba zajistit VVS včetně regulátoru a snímačů. To všechno zvyšuje energetickou náročnost výroby.

Ekonomickou výhodnost forem pro bezodpadové vstřikování je třeba posuzovat z hlediska celého výrobního procesu. Nepřetržitý provoz, dokonalé zpracovatelské vybavení i vhodné zpracovatelské vlastnosti plastů jsou určujícími faktory (1).

1.4.1 Isolované vtokové soustavy

Pracují na principu vlastní termoplastické izolace v okrajových vrstvách vtokových kanálů, nebo předkomůrky. U tohoto systému tryska nemá vlastní vytápění. Její teplotu

udržuje buď větší vrstva taveniny svou tepelně izolační vlastností, nebo je ohřívána nepřímo. Lze je rozdělit na dva systémy.

Nejjednodušší a dnes již málo používané jsou takové, kde vtoková vložka s rozváděcími kanály mají až k ústí takový průřez, aby v celém systému nedošlo během zpracovatelského cyklu k úplnému zatuhnutí taveniny. Při prvním vstřiku se naplní zesílené kanály, nebo předkomůrka taveninou, která při dostatečně rychlém sledu pracovních cyklů zůstává uprostřed plastickou. Tím, že jen vnější vrstva zatuhne, tvoří tepelnou izolaci proudící tavenině. Vnitřním pásmem pak lze vstřikovat taveninu do dutiny formy. Použití je vhodné u plastů s nízkou teplotou tavení a širokým intervalem zpracování.

U výstřiků s tlustší stěnou, kde vlivem delšího chlazení by mohlo nastat zatuhnutí proudu taveniny v celém průřezu, lze použít předkomůrkového vtoku. Vyznačuje se tím, že komůrka je zvětšena nebo do její dutiny zasahuje nástavec nebo prodloužená tryska z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí (Cu, CuBe, ...). Tento materiál je nepřímo ohříván vedením od vytápěné trysky (válce) vstřikovacího lisu. Z vnější strany je pak předkomůrka vtoku ochlazována a vrstva ztuhlé taveniny na ní vytváří izolaci. Tavenina pak proudí kolem ohřívaného nástavce bez poklesu teploty až do dutiny formy.

Nežádoucí sdílení tepla ze stěny předkomůrky do chlazené tvárnice, je možné odisolováním styčných ploch. Vysoká teplota předkomůrky, která tvoří dutinu formy, by mohla vyvolat různé defekty na výstřiku a prodloužení jeho chladicího účinku. Popisované soustavy jsou použitelné jen při krátkém vstřikovacím cyklu (5 až 6 cyklů/min). U většiny těchto systémů nelze vyloučit občasné strhávání ztuhlé taveniny z okrajových vrstev do výstřiku. Proto se nepoužívají pro vzhledově i pevnostně náročné výstřiky (1).

1.4.2 Vyhřívání trysky

Jejich konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Výrazně umožňuje zlepšit technologické podmínky vstřikování. Takové vyhřívání vtokové soustavy (VVS) si obvykle uživatel sám nevyrábí, ale nakupuje u specializovaných firem. Ti je vyrábí v širokém konstrukčním

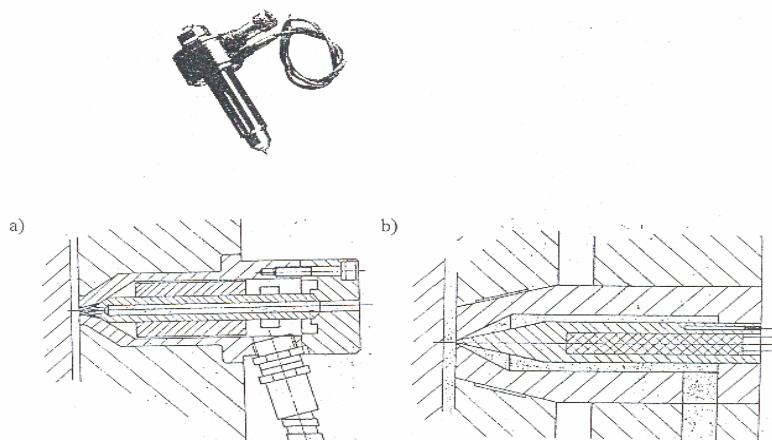
sortimentu. I v tuzemsku jsou činěny pokusy o jejich realizaci. Výsledky však nedosahují úrovně a šíře sortimentu zahraničních firem.

Nepřímo ohřívané trysky, jejichž jednodušší provedení si zpracovatel může sám vyrobit, se vyznačují dvěma provedeními:

- dotápěné vyústění izolovaného rozvodu vtoku. Je charakterizováno miniaturním topným tělesem, které je zabudováno do ocelového pouzdra, jehož špička zasahuje do vyústění vtoku. U tohoto způsobu je nutné dodržovat poměrně rychlý pracovní cyklus.
- druhý způsob se vyznačuje přenosem tepla z vyhřívaného rozvodu vtoků na trysku. Je dokonalejší oproti dříve popisovaným systémům. Používá se pro vícenásobné formy.

Konstrukční provedení přímo ohřívaných trysek je charakterizováno dvěma základními principy:

- trysky s vnějším topením (viz. obr. 5a), kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je z tepelně vodivého materiálu. Při vstřikování abrazivních plastů je ocelový materiál legován molybdenem. Z vnějšku je kolem tělesa trysky umístěno topení.
- trysky s vnitřním topením (viz. obr. 5b). U tohoto systému tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpédo), zhotovenou také z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí.



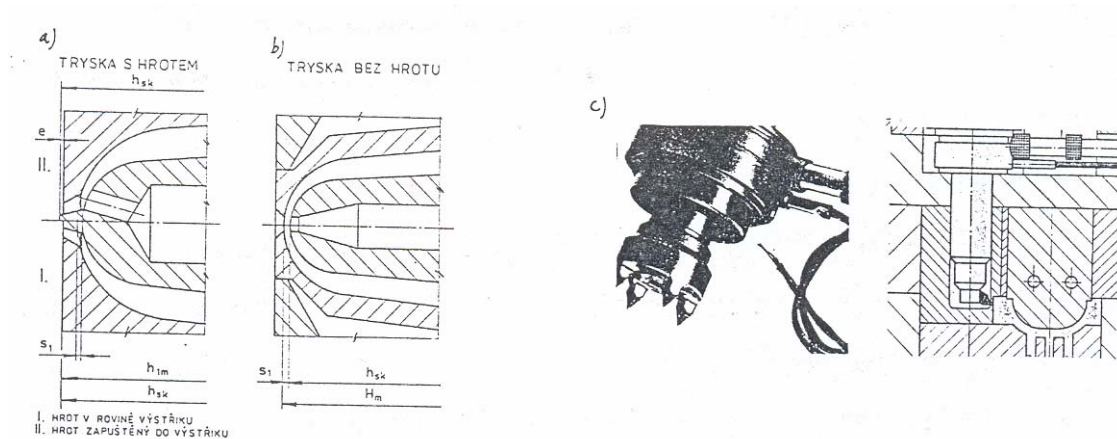
Obr. 5. Vyhřívaná tryska.

Oba typy trysek jsou konstrukčně upraveny tak, že ústí je:

- otevřené pro plast, který netáhne vlas (PE)
- se špičkou (s hrotem) pro plast náchylný k tažení vlasu (PS, ABS, PP)
- s uzavírací jehlou
- speciálně tvarované.

Vlastní vyústění vtoku do dutiny formy může být provedeno:

- jedním otvorem (viz. obr. 6) přímo proti vtokovému kanálu. U tohoto uspořádání však při rychlejších pracovních cyklu někdy tavenina nestačí zatuhnout a na výstřiku zůstane stopa ve tvaru výstupku, nebo se i „tahá vlas“.



Obr. 6. Ústí trysky.

- více otvory, kde je odstraněna nevýhoda popisovaná u předešlé trysky. Obvykle se vyrábí dva otvory po 180° , nebo tři po 120° o průřezu 1 až 3 mm podle hmotnosti výstřiku. Otvory bývají skloněny k ose vtokové vložky pod úhlem 15° až 30° .

Vyhřívané trysky s uzavírací jehlou mohou být ovládány pružinou nebo pákou s hydraulickým případně pneumatickým ovládáním jehly. Funkce trysky ovládané pružinou je následující:

Tavenina se při vstřikování dostává do prostoru před jehlou. Vlivem vstřikovacího tlaku se posune jehla do zadní polohy a tím se otevře ústí vtoku. Potom nastává plnění dutiny formy. Při poklesu vstřikovacího tlaku se jehla posune působením tlaku pružiny do přední polohy a ústí vtoku uzavře. Ovládání jehly musí být seřiditelné v závislosti

na použitém tlaku. Jehlu však lze ovládat i pneumaticky nebo hydraulicky, jak bylo již dříve uvedeno. Jehla bývá vyrobena z oceli 19 452, kalena na 54 HRC. Ve vedení je uložena s maximální vůlí 0,015 mm.

Výhodou tohoto typu vtoku je odstranění stopy po vtoku na výstřiku, zvětšené ústí vtoku a tím rychlejší plnění dutiny formy a menší možnost zatuhnutí hmoty v ústí vtoku. Proto lze tento způsob aplikovat i na složité a náročné výstřiky. Nevýhodou jsou velké nároky na přesnost vtokového systému včetně volby materiálu a větší nároky na údržbu a seřízení.

K dispozici jsou také rozdílné napěťové systémy ohřívání trysek s provozním napětím 5 V, 24 V a 230 V. V nízkonapěťové oblasti se mohou realizovat minimální velikost stavebních rozměrů trysek a tím i minimální rozměr umístění jednotlivých hnízd formy (cca 20 mm). Jejich nevýhodou je velký průřez proudového kabelu (až 16 mm²).

1.4.3 Vytápěné rozvodové bloky

Vstřikovací formy s rozvodným blokem se používají v kombinaci s vyhřívanými nebo i izolovanými tryskami s předkomůrkami. Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Jeho dobrá funkce je podmíněna rovnoměrným vytápěním. V opačném případě ovlivní tokové chování taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách.

Rozváděcí blok je ocelový, uložen mezi upínací a tvarovou desku v pevné části formy. Jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i k uložení trysek. Vyrábí se ve tvaru I, H, X, Y, hvězdice apod. Musí být tepelně izolován od ostatních částí formy, obvykle vzduchovou mezerou.

Je vytápěn nejčastěji zvenku elektrickým odporovým topením pomocí topných hadů zalitých mědí nebo topnými patronami s vytápěním zevnitř U systému fy Günther proudí tavenina uvnitř trubky, která je odporově vyhřívána. Vně je izolace, kterou tvoří ztuhlý plast (1).

1.4.4 Formy s vyhřívanými vtokovými soustavami

Koncepce formy vybavené VVS je proti běžné rozdílná v tom, že její pevná část nese všechny potřebné elementy tohoto systému, včetně elektrické instalace. Její pohyblivá část se od formy se studenými vtoky neliší. Pevná vtoková část formy je složena z upínací

desky, vložené desky s vybráním pro instalaci VVS a vtokové desky se zabudovanými tvárniciemi.

U jednonásobné formy je vstřikovací tryska stroje napojena na vyhřívanou trysku, která pak ústí do dutiny formy. Vše je na jedné ose. U vícenásobné formy je součástí VVS vyhřívaný rozvodný blok s tryskami, které ústí do dutiny formy nebo pomocných kanálů. Od tělesa tvárnice je obvykle tryska oddělena vzduchovou isolační spárkou a horkou trysku zase odděluje od chladnější stěny předkomůrky vrstva plastu.

Rozvodný blok je uložen ve vybrání vložené desky s dostatečnou tepelnou izolací (vzduchová mezera 3 až 5 mm). Je-li blok uložen v uzavřeném prostoru, je nutné jeho částečné propojení s venkovním okolím. Jinak by mohlo dojít k přehřátí systému. Na rozvodném bloku v ose trysek jsou z opačné strany upevněny distanční kroužky, které zachycují vstřikovací tlaky lisu působící na formu. Vyhřívané trysky se upevňují ve formě většinou s přepětím. Jeho velikost doporučuje výrobce VVS.

Zvolenou teplotu rozvodu taveniny řídí regulátor teploty. Jeho ovládání se zajišťuje pomocí tepelných snímačů zabudovaných v tryskách a v rozvodném bloku. Většinou se používají termočlánky Fe – Ko (aktivní), u kterých při změně teploty vzniká v místě jejich styku termoelektrické napětí. Jsou vhodné do 300 °C. Mohou se používat i pasivní snímače, které pracují na principu změny odporu vlivem teploty (platinové měřicí odpory). Snímače jsou spojeny s regulátorem kompenzačním vedením.

Elektrické vodiče, propojovací zásuvky a konektory se ukládají do drážek, zhotovených v deskách formy. Nejsou-li zakryty jinou deskou, musí se drážky s elektrickým propojením opatřit krytem. Kolem vývodu topných těles je nutné zajistit dostatek místa pro jejich montáž. Potřebná velikost drážek vybrání i jejich poloha v deskách pro elektrickou instalaci se zhotoví podle dokumentace od výrobce pro doporučený systém VVS.

Výkres sestavy formy je třeba doplnit jednoduchým schématem elektrického zapojení, které má obsahovat údaje o:

- napětí a výkonu jednotlivých topných těles,
- způsobu propojení elektrických obvodů,
- druh a průřez použitých vodičů,

- celkovém příkonu topení.

1.4.5 Provozní podmínky vyhřívání vtokových systémů

Formy vybavené vyhříváními vtokovými soustavami jsou určeny především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Soustava rozvodu taveniny je značně tepelně i mechanicky namáhána. Proto vyžaduje větší tuhost forem i přesnost jejich výroby. Tím se zvýší jejich cena a proto nejsou ekonomicky vhodné pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz a malosériovou výrobu.

Má-li být produkce s vyhříváním vtokovou soustavou efektivní, musí se práce řídit následujícími zásadami:

- provozovat formu na bezvadném stroji s řízeným technologickým procesem a dobře nastavenými parametry;
- pečlivě seřadit regulaci teploty tak, aby rozváděcí blok i trysky byly ohřívány na optimální teplotu sníženým výkonem topných těles;
- zajistit stejnoměrnou teplotu forem;
- volit nepřetržitý provoz vstřikování;
- dbát na dostatečné vyškolení obslužného personálu (1).

1.5 Vyhazování výstřiků

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřik. K tomu slouží vyhazovací zařízení které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus.

Má dvě fáze:

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování;
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy.

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než 30°. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může

být velmi rozmanité. Může se jich využít k vytváření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. U hlubokých tvarů je třeba počítat s jejich zavzdušněním.

Po vyhazovacích kolících zůstanou obvykle na výstřiku stopy. Jsou-li na závadu, výstřik se podle možnosti opraví, nebo se vyhazovače umístí na tu stranu, kde vzhledu nevadí. Může se změnit i způsob vyhazování. Tím se ale často změní i zaformování výstřiku a také celá koncepce formy. Mimo výstřiků se vyhazuje i vtokový zbytek. Při vhodném uspořádání se může vtokový zbytek od výstřiku záměrně oddělit. Pohyb vyhazovacího systému se vyvine:

- narážecím kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otevírání formy. Nárazecí kolík je axiálně seřiditelný;
- hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením, které bývá obvykle příslušenstvím vstřikovacího stroje. Umožňuje měkké vyhazování;
- ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanismy. Je vhodné pro jednoduché a zkušební formy. Obvykle bývá umístěno na formě.

Zpětný pohyb je zajišťován:

- vratnými kolíky;
- pružinami vždy v kombinaci s jiným systémem;
- speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením (2).

1.5.1 Velikost vyhazovací síly

Vhodný vyhazovací systém, který je třeba použít, musí vyvodit potřebnou vyhazovací sílu pro vyhození výstřiku z formy. Po otevření formy zůstává výstřik vlivem smrštění plastu obvykle na tvárníku. Může ale zůstat i v tvárnici. Proto je snahou (někdy i vynucenou), aby výstřik zůstal v té části formy, kde jsou vyhazovače.

Potřebná velikost vyhazovací síly závisí na:

- velikosti smrštění výstřiku ve formě;
- členitosti výstřiku a jakosti povrchu funkčních ploch tvárníku (dutiny) formy;
- technologických podmínkách vstřikování (tlaku, teplotě plastu a formy, době chlazení);
- pružných deformací formy.

Zjistit velikost jednotlivých faktorů, které ovlivňují vyhazovací síly (E modul při teplotě vyhazování, velikost smrštění při teplotě vyhazování, opracování tvarových ploch,...) je v praxi obtížné a obvykle se nezjišťuje. Síla vyhazovacího systému a především při mechanickém vyhazování je natolik předimenzovaná, že výpočet (nepřesný) by byl zbytečný. Tlaky při hydraulickém a pneumatickém vyhazování vyvozené se pro řádnou funkci odzkouší (2).

1.5.2 Mechanické vyhazování

Je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Používá se všude tam, kde je to jen možné. Jeho konstrukce má různá provedení, která představuje:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků;
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů;
- šikmé vyhazování;
- postupné vyhazování;
- speciální vyhazování.

Ve zvláštních případech, kdy je výstřik mělký, se vyhazovačů nemusí použít. Postačí jen vyhození vtokového zbytku, se kterým je výstřik spojen (2).

1.5.3 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Je nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhazování výstřiků. Uvedený systém lze použít všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Je výrobně jednoduchý a funkčně zaručený.

Správná volba tvaru vyhazovacího kolíku i jeho vhodného umístění, umožní snadné vyhození výstřiku bez poškození.

Kolík se má opírat o stěnu nebo žebro výstřiku a nesmí ho při vyhazování bortit. Jinak by mohla nastat jeho trvalá deformace. Po styčných plochách vyhazovacích kolíků zůstávají na výstřiku stopy. Proto není vhodné je umístit na vzhledových plochách. Pokud je vyhazování vybaveno větším množstvím vyhazovacích kolíků, obtížněji se u formy zhotovují temperační kanály.

Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jsou obvykle válcové. Mohou však mít jakýkoliv jiný tvar. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/k6 podle požadované funkce a tekutosti plastu. Vůle v uložení působí i jako odvzdušnění. Tvar i způsob ukotvení má nejruznější podobu, jak ukazuje.

Vyhazovací desky slouží k ukotvení a ovládání vyhazovacích kolíků. Desky s většími průměry vyhazovacích kolíků nemusí být vedeny. u větších rozměrů vyhazovacích desek je vhodnější, aby ve formě nedosedaly na celou plochu, ale jen na zvláštní dorazy (2).

1.5.4 Vyhazování stírací deskou

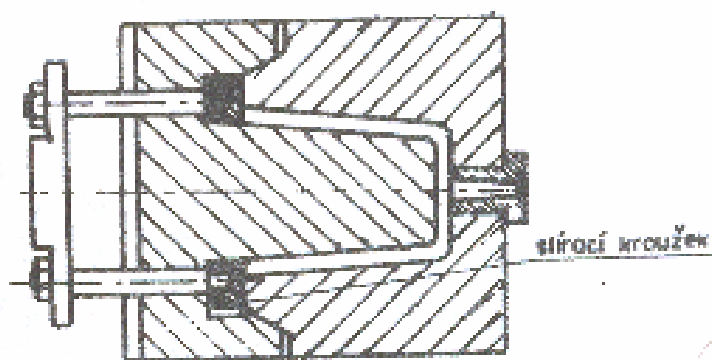
Představuje stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k velké styčné ploše, nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Jeho deformace pak jsou minimální a stírací síla velká. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li výstřík na stírací desku v rovině, nebo plocha výstřiku je mírně zakřivena.

Tento způsob se používá i pro vícenásobné formy, někdy se doplňuje systémem oddělování výstřiku od stírací desky (např. odpruženým vyhazovačem). To proto, že zde často dochází k „lepení“ výstřiku svým povrchovým napětím a elektrostatickou silou k povrchu stírací desky. Lze použít i ofukování stlačeným vzduchem.

Pohyb stírací desky může být podle účelu a koncepce formy vyvozen:

- tlakem vyhazovacího systému;
- tahem ve speciálních případech (obvykle při rozevírání formy jeho pevnou deskou).

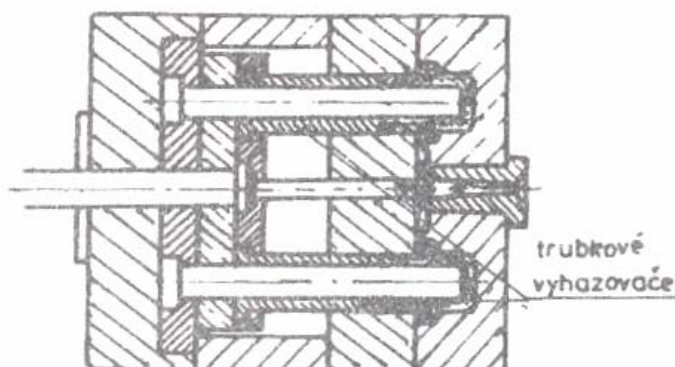
Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu. Působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou (viz. obr. 7). Síla může být také vyvozena pružinami, hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením.



Obr. 7. Stírací deska (kroužek).

Pro zvýšení životnosti je stírací deska obvykle vyložena tepelně zpracovanou tvarovou vložkou, upevněnou v desce.

Funkce trubkového vyhazovače je speciálním případem stírání tlakem. Vyhazovač s otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Zatím co vlastní vyhazovací kolík je upevněn v pevné desce, nepohybuje se a tvoří jádro.



Obr. 8. Trubkové vyhazovače.

Stírací deska může být i ovládána tahem pomocných mechanismů. Tyto jsou upevněny v různých částech formy a vzájemně na sebe působí. Způsob je složitější než ovládání desky tlakem. Používá se hlavně u třideskových forem, kdy výstřik a vtoky jsou v rozdílných dělicích rovinách a zaformování nedovoluje použít jinou koncepci stírání, či vyhazování (2).

1.5.5 Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

Je speciální formou mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy k ní pod různými úhly. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním, nebo vnějším zápichem. Tím se odstraní náročné posuvné čelisti s klínovým mechanismem. Způsob představuje.

Při vyhazování výstřiku se zápichem, vyhazovače svým šikmým pohybem uvolňují zvětšenou, případně zmenšenou část výstřiku při jeho současném vyhození. Zápich může být vytvořen přímo na vyhazovači, nebo s šikmo uloženými kolíky jsou pevně spojeny čelisti, se kterými plní obdobou funkci.

Uspořádání takového systému má nejružnější podobu a je možné ho kombinovat i s přímým vyhazováním. Je snahou, aby způsob byl funkčně dokonalý a výrobně jednoduchý (2).

1.5.6 Dvoustupňové vyhazování

Patří do skupiny mechanického vyhazování. Vyžaduje dva vyhazovací systémy, které se vzájemně ovlivňují. Způsob umožňuje vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Proto se s výhodou používá například k vyhazování slabostěnných výstřiků v kombinaci – stírání s vyhazovacími kolíky, při šikmém vyhazování výstřiků se zápichem apod.

Využívá se také při oddělování (ostříhování) vtokových zbytků od výstřiků spolu s jejich vyhazováním. Pracuje takovým způsobem, že jednou skupinou zdvojených vyhazovačů se odstříhnou vtoky a druhou se zpožděným zdvihem se výstřiky vyhodí (2).

1.5.7 Vzduchové vyhazování

Je vhodným systémem pro vyhazování slabostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Způsob není tak častý, ale pro výstřiky uvedeného tvaru (např. kbelík) velmi výhodný. Běžné mechanické vyhazování větších výstřiků vyžaduje značné zvětšení délky formy (velký zdvih vyhazovače), bez záruky dobré funkce.

Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím umožní rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se místní přetížení a

nevzniknou na výstřiku stopy po vyhazovačích. Použití pneumatického vyhazování je omezeno jen na některé tvary výstřiků.

Vzduch se do dutiny formy přivádí přes ventil talířový, jehlový nebo různé kolíky. Ventil se otvírá tlakem vzduchu a zavírá pružinou. Jehlové ventily se používají, když plocha výstřiku ze strany od ventilu je profilovaná. Řízené ventily jsou umístěny vně formy. Pro automatické formy je třeba volit vyhazovací systémy tak, aby dva nezávislé systémy zabezpečovaly vyhození výstřiku z dutiny formy. Přitom lze kombinovat různé systémy mechanické, nebo mechanické s pneumatickými.

Vlastní vzduchové vyhazování je ovládáno mechanismem formy, nebo vstřikovacím stroje. Tlak vzduchu má být jen tak velký, aby vyhodil výstřik a neznečišťoval svým působením prostředí lisovny. Použitý způsob vyžaduje přesnou výrobu formy v oblasti vedení vzduchu (2).

1.5.8 Hydraulické vyhazování

Bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládání mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. S přímo zabudovanými hydraulickými jednotkami ve formě, které pracují jako vyhazovače, se setkáváme již méně. Více se používají k ovládání bočních posuvných čelistí.

Používané hydraulické vyhazovače se vyrábějí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. S její pomocí se přímo ovládají vyhazovací kolíky stírací desky apod.

Mohou však být i součástí formy a ovládat stírací desky apod. Hydraulické vyhazování se vyznačuje velkou vyhazovací silou, kratším a pomalejším zdvihem (2).

1.5.9 Vyhazování vtokového zbytku

Při rozevírání formy po nástřiku je třeba vtokový zbytek přidržet na požadované straně, dokud není bezpečně vytažen vtokový kužel z vtokové vložky.

V pohyblivé části formy, s vyhazovacím zařízením, je různými způsoby proveden podkos, který přidrží vtokový zbytek tak dlouho, až je vyhazovacím kolíkem vyhozen

současně s výstřiky. Volba daného způsobu záleží na koncepci formy a na funkci vtokového zbytku (2).

1.6 Temperování forem

Temperance slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, nebo její části.

Během formy se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperance tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstřiku se formy ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperanční soustavou formy.

Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy (PC až 100÷120°C). V takovém případě jsou tepelné ztráty formy větší, než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřát. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu. Jinak by nebyla zaručená kvalita výstřiku.

Proto je úkolem temperance:

- Zjistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny (podle druhu zpracovávaného plastu) ;
- Odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku.

Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperanční systém, zvýší se její tepelná a tím i rozměrová stabilita a sníží nebezpečí deformace, při vysokých vstřikovacích tlacích.

Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy se však záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění plastu(2).

1.7 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku, nebo jeho nízkých mechanických vlastností. Odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné. Nezbytná znalost některých zákonitostí při plnění formy ušetří pracovníkům mnoho starostí (2).

Dutina formy je před vstřikováním zaplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny.

Vstřikovací rychlost – doba plnění, má značný vliv na optimální vlastnosti výstřiku. Rychlé plnění zajišťuje termickou homogenitu dávky a tím vede i k částečnému vyrovnání odbourání vnesených orientací (anizotropie) taveniny. Toho se používá zvláště u výstřiků s malou tloušťkou stěn.

Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (spálené místo na výstřiku). To obvykle není ze vzhledových nebo pevnostních důvodů přípustné. Proto odvzdušnění musí být účinné.

Při pomalém plnění dochází k tvoření a uvolnění ztuhlého polymeru ze stěn formy a jeho strhávání do proudící taveniny. Tyto částice pak působí jako heterogenní vměstky a nepříznivě ovlivňují vlastnosti výstřiků (rozměrovou stabilitu, ...). Zvýrazňují vznik studených spojů v místech styku dvou, nebo více proudů taveniny. Jejich vliv pak negativně působí na mechanické vlastnosti výstřiku, neboť nepředstavuje zdroj lomových poruch, zvláště u amorfních plastů.

V průběhu plnění tvářecí dutiny je tavenina dopravována do dutiny formy vstřikovacím tlakem, který na konci zdvihu dosahuje maxima. Přitom je tavenina podrobena protitlaku stlačeného vzduchu. Jeho velikost je závislá na odvzdušnění. Je-li nutné zvyšovat vstřikovací tlak vlivem nedokonalého odvzdušnění, Vnáší se tím zbytečně do výstřiku pnutí. I jeho hmotnost roste.

Při nižších teplotách taveniny (vyšší viskozitě) a nedostatečném tlaku a rychlosti plnění u výstřiku s tenčími stěnami, se soustřeďuje vzduch na protilehlou stranu od vtoku.

Může-li vzduch uniknout vlivem protitlaku, vznikne nedostatečný výstřik. Podobný jev může vyvolat odděleně každý technologický faktor při vstřikování, včetně nízké teploty formy i malého dávkování.

Při určitém stavu technologických parametrů a větších tloušťkách stěn výstřiku, může vzduch, který nemá možnost být z formy vytlačen, vniknout do taveniny a po zchlazení v ní zůstává jako bubliny. Obvykle jsou ve výstřiku rozloženy na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé z jiného důvodu, např. vlhkostí polymeru nebo jeho přehřátím (rozkladem), jsou různě rozloženy po celém výstřiku. Tím se od sebe odlišují.

Bubliny bez vzduchu (ze smrštění – lunkry) se tvoří následkem zmenšení objemu materiálu po ochlazení vnější vrstvy výstřiku (nedostatečná objemová kompenzace dotlaku). Nalézají se uprostřed zesílených míst výstřiku, především u vtokových ústí (2).

1.8 Materiály pro výrobu forem

Materiál forem je dle (4) ovlivněn především:

- druhem vstřikovaného plastu
- přesností a jakostí výstřiku
- podmínkami vstřikování
- vstřikovacím strojem

Pro výrobu forem se používají převážně oceli, neželezné slitiny kovů (Cu, Al), izolační a tepelně nevodivé materiály. Nejpožívanějšími jsou však oceli a to především pro svou vysokou mechanickou pevnost a dobrou obrobitelnost.

Dle (4) jsou stanoveny také požadavky na specifické vlastnosti ocelí:

- dobrá obrobitelnost
- dobrou leštitelností a ohrusitelností
- zvýšenou odolností proti zadírání
- odolností proti korozi a chemickým vlivům plastu
- vyhovující kalitelností a prokalitelností
- minimálními deformacemi při tepelném zpracování

- dobrou tepelnou vodivostí
- houževnatostí
- pevností v tlaku

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY VÍČKA PRO RYCHLOBĚŽNÉ VSTŘIKOVÁNÍ

2.1 Charakteristika výrobku

Výrobek je polypropylénové víčko, které slouží k uzavírání plastového kelímku. Výrobce tohoto víčka je firma Greiner packaging Slušovice s.r.o.

Tento výrobek je používán v potravinářském průmyslu a tudíž je kladen velký důraz na dodávaný materiál. Tím je polypropylén od firmy Borealis s označením BH345MO, který je právě vhodný pro obalové materiály v potravinářském průmyslu, ale používá se také na různé přepravky, kontejnery, technické díly aj. Model víčka je vidět na obrázku 9.

Tab. 1. Materiálové vlastnosti PP BH345MO.

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Hustota	904	kg/m ³
Index toku taveniny (230 °C / 2,16 Kg)	45	g/10 min
Napětí na mezi kluzu (50 mm/min)	26	MPa
Poměrné prodloužení na mezi kluzu (50 mm/min)	5	%
Modul pružnosti v tahu (1 mm/min)	1400	MPa
Tvrdost podle Rockwela	89	HRc
Rázová houževnatost s vrubem Charpy (+23°C)	6,5	kJ/m ²
Rázová houževnatost s vrubem Charpy (-20°C)	4,0	kJ/m ²



Obr. 9. Výrobek.

2.2 Volba vstřikovacího stroje

Při volbě vstřikovacího stroje se vycházelo z požadavků zadavatele a jedním z požadavků bylo, že výrobek bude vyráběn na vstřikovacím stroji ENGEL ES 60 SO, kterým firma disponuje. Charakteristika vstřikovacího stroje je uvedena v příloze.

2.3 Konstrukce formy

Při návrhu jednotlivých částí formy je výhodné používat co nejvíce normalizovaných součástí od renomovaných firem jako jsou např. HASCO, STRACK, GUNTHER, DME, FESTO atd. z důvodu snížení ceny formy. Takto tomu bylo i v tomto případě.

2.3.1 Volba násobnosti formy

Při volbě násobnosti formy se zohledňuje několik aspektů, jako je množství výrobků, jejich složitost a přesnost. Dále pak také kapacita stroje a celková ekonomika výroby. Pro kvalitnější a přesnější výstřik se volí násobnost formy co nejmenší.

Násobnost formy pro výrobu víčka byla omezena tím, že byl přesně určen vstřikovací stroj, pro který má být forma vyrobena. V tomto případě se jedná o formu jednonásobnou.

2.3.2 Zaformování výstřiku

Hlavní dělicí rovina je zvolena rovnoběžně s upínáním formy a kopíruje hlavní profil výstřiku. Dutina formy je navržena tak, aby výstřik po otevření formy zůstal na tvárníku.

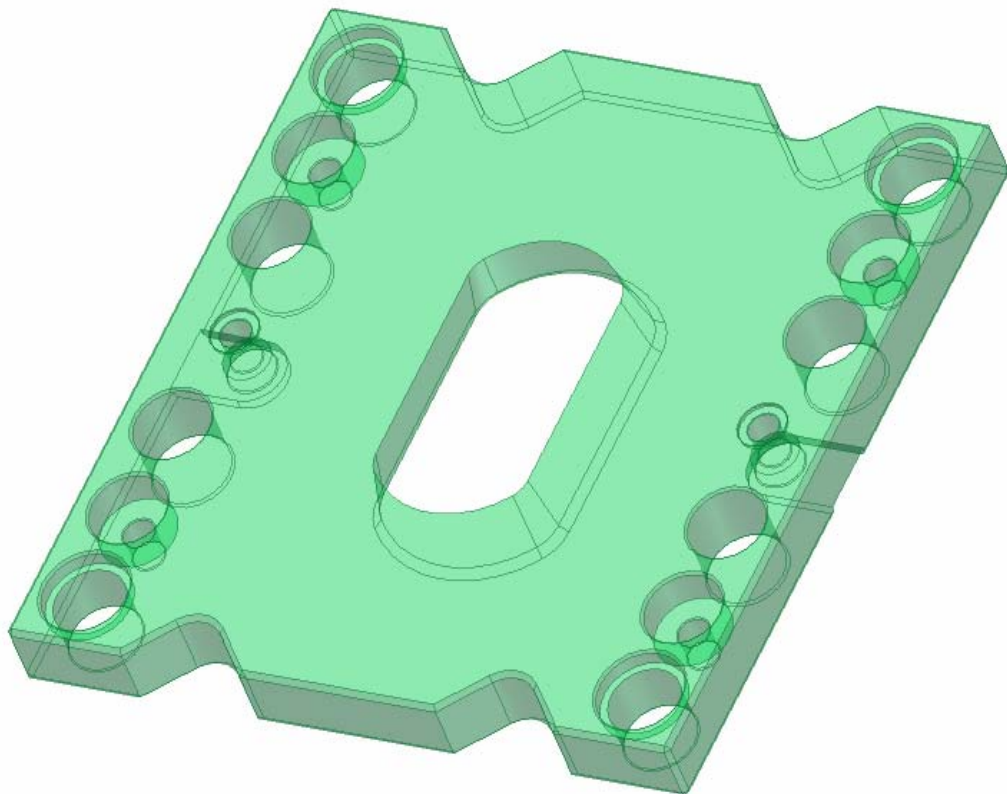
V našem případě tomu ani jinak nemohlo být, protože byl požadavek, aby vtokový zbytek byl na vnitřní straně víčka. Důvodem byly estetické vady. Vyhození výstřiku zajišťuje vyhazovací systém.

Při uzavírání formy dochází k uzavření určitého množství vzduchu v dutině formy. Tento vzduch je při plnění dutiny formy nežádoucí a jeho důsledkem je mnoho vad na výrobku. Z tohoto důvodu se nesmí zapomínat na odvzdušnění dutiny formy. V tomto případě bylo použito odvzdušňovacího kanálu přímo v dělicí rovině.

Veškeré plochy rovnoběžné s osou formy musí být zkoseny, z důvodu snadného odformování. Tento problém již řeší částečně konstrukce výrobku, pouze žebra jsou zkosená o 1° .

2.3.3 Vyhození výstřiku

Jak již bylo zmíněno, výstřik po otevření zůstává na straně tvárníku. Odsud je vyhozen pomocí stírací desky, která je ovládána dvěma hydraulickými válci a v krajní poloze je zajištěna dorazy. Z důvodu snadnějšího odformování je na straně trnu použito dvou odvzdušňovacích ventilů z důvodu vytvářejícího se podtlaku. Stírací deska je navržena tak, aby byla styčná plocha výstřiku a stírací desky 70% z důvodu otěru tvárníku. Dutina stírací desky je pod úhlem 12° a tomu odpovídá také tvárník.

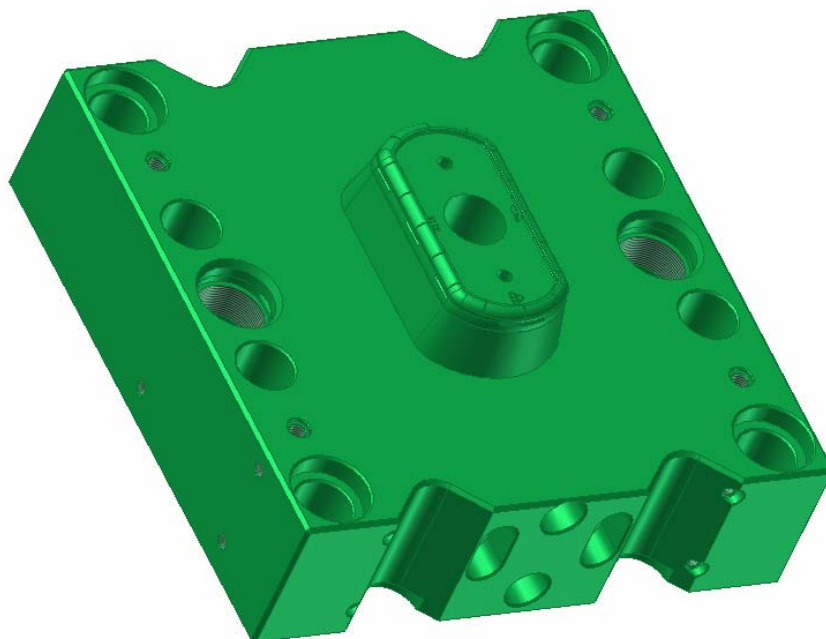


Obr. 10. Stírací deska.

2.3.4 Tvarové díly dutiny

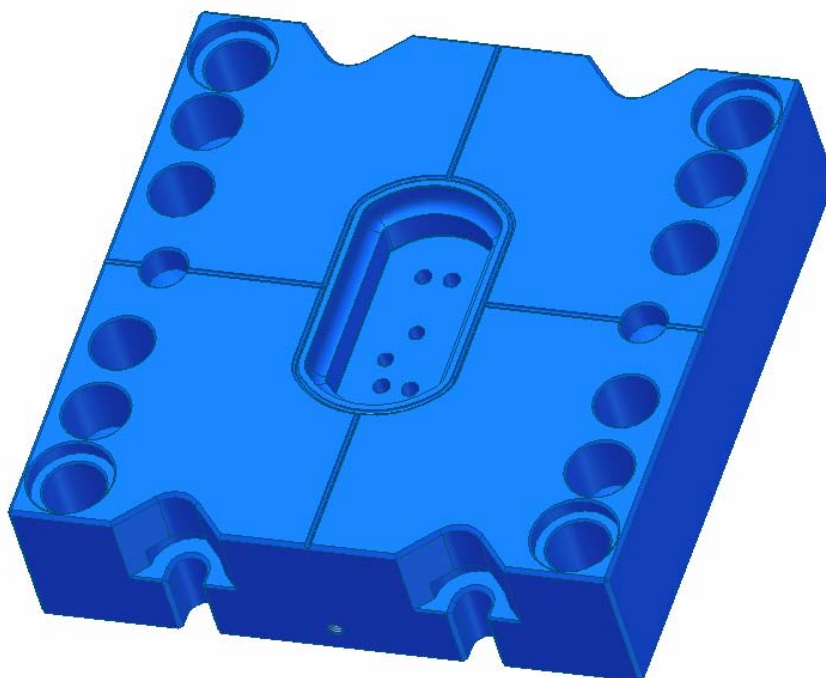
Tvarová dutina se skládá celkem ze tří základních tvarových dílů. Tvárníku obrázek 11, tvárnice obrázek 12 a vložky tvárnice obrázek 13.

Na pravé nepohyblivé straně formy je umístěn tvárník, ve kterém je zakomponována vložka horkého vtoku a samotný horký vtok, a také dva od vzdušňovací ventily.

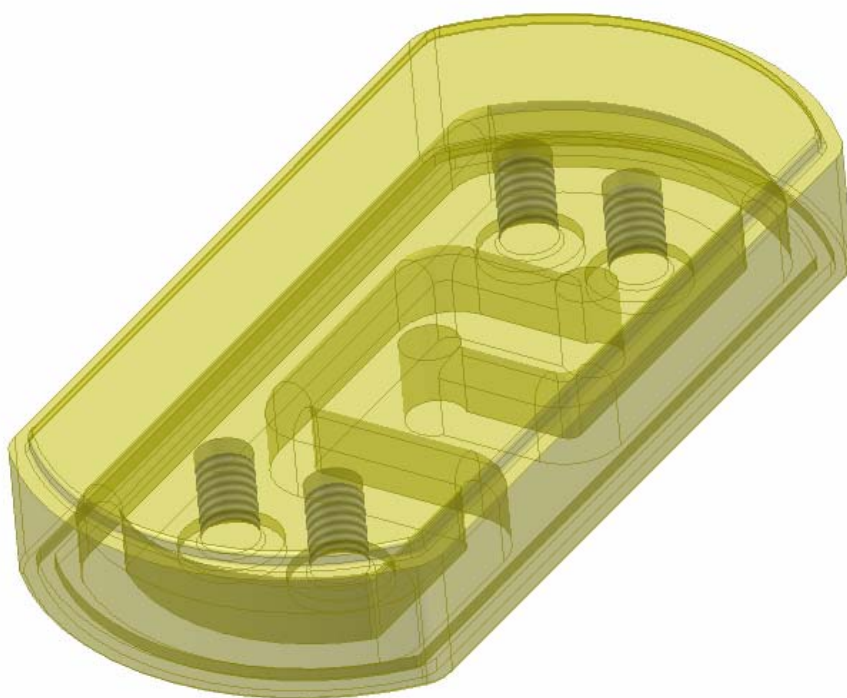


Obr. 11. Tvárník.

Na levé straně formy je umístěna tvárnice, která tvoří současně kotevní desku levé strany formy a vložka tvárnice.



Obr. 12. Tvárnice (kotevní deska levá).



Obr. 13. Vložka tvárnice.

2.3.5 Vtokový systém

V našem případě byl zvolen systém s horkým vtokem, protože u rychloběžného vstřikování nelze jiný systém vtoku použít. Vyhřívaná tryska je zakomponována do vložky vtoku a ten dále do tvárníku na pravé straně formy. Z důvodu velké šířky tvárníku muselo být použito vyhřívané trysky a vložky vtoku z normálií od firmy GÜNTHER. Kabel vyhřívání je vyveden na vrchní stranu formy a zde je spojen s konektorem od firmy HASCO.

2.3.6 Temperace formy

Temperací se rozumí ochlazování nebo ohřev forem na požadovanou provozní teplotu a udržování této teploty na stejné hodnotě. Z tohoto důvodu se ve formě zhotovují temperovací okruhy, tj. soustavy kanálků a dutin pro vedení temperovací kapaliny. Ty se umísťují co nejbližší k tvářecí dutině formy, aby bylo dosaženo co nejúčinnějšího odvodu tepla. Správným zvolením temperačních okruhů lze ovlivnit jakost výstřiku, výkon a hospodárnost formy.

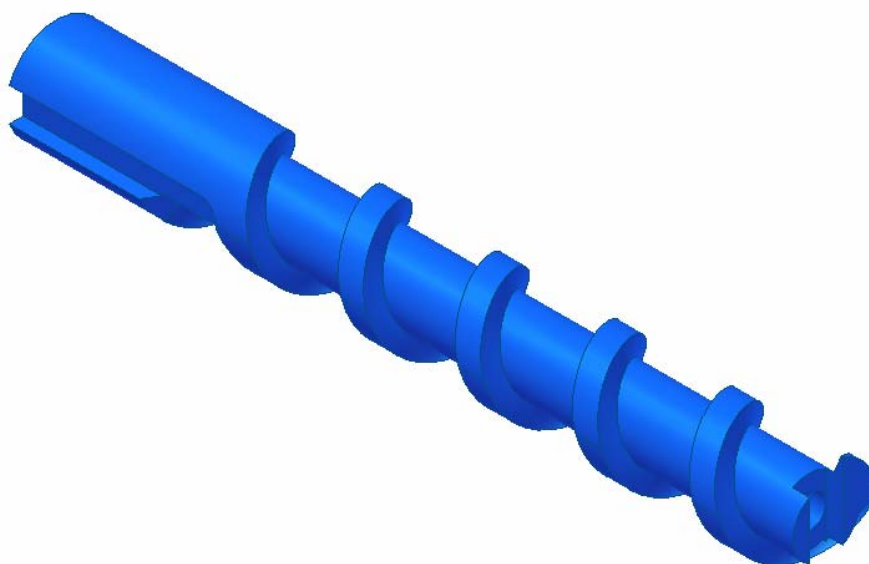
Důležitým prvkem je také správné zvolení temperačního média. Nejčastěji to bývá olej nebo voda. V našem případě nám poslouží k temperaci voda z důvodu malých vstřikovacích teplot. Byly zde použity celkem tři samostatné okruhy.

V případě temperace levé strany formy je z důvodu nutnosti použití tvarové vložky jednoznačně dán způsob temperance. Ten je vyřešen pomocí kanálu. Tvar kanálu je přímo vidět na obrázku 13. Důležitou připomínkou je to, že přívod temperační kapaliny je přímo naproti vstřikovací trysce, z důvodu výskytu nejvyššího tepla.

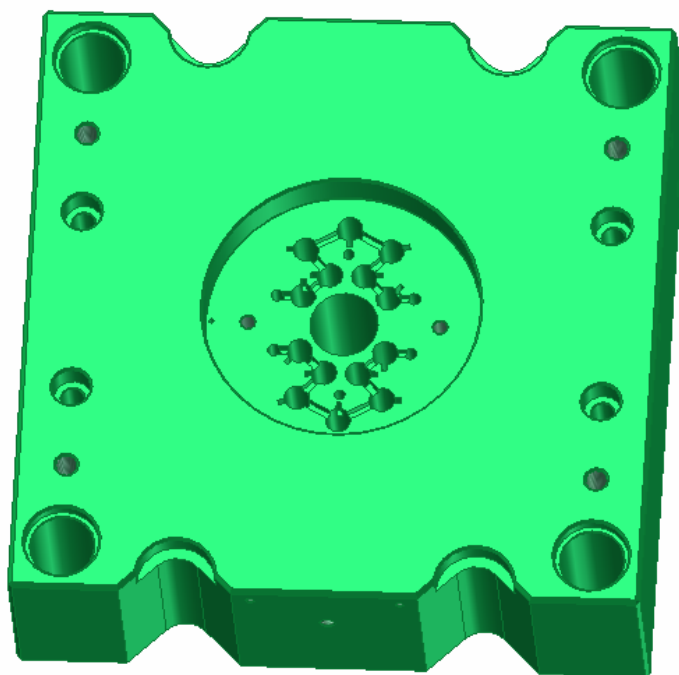
V případě temperance pravé strany formy byly uvažovány čtyři varianty. První variantou byla temperance s použitím přepážek. Dalším způsobem bylo použití oválného kanálu. Dále pak použití spirál a nakonec teplosměnných trubic. Každá z variant byla rozdělena na dva samostatné okruhy. Pro všechny způsoby byly provedeny analýzy a nejlepší variantou se ukázalo použití spirál.

Byly použity spirály z PA od firmy HASCO, které se musely tvarově upravit. Chladicí soustava se skládá ze čtyř různě upravených spirál. Celkový počet spirál je 14 kusů. Jsou zajištěny proti pootočení pojistnými kolíky.

Přívod chladicího média je realizován na obvodovou stranu spirály a vývod je tvořen dírou, která je vedena středem spirály.



Obr. 14. Upravená spirála.



Obr. 15. Rozmístění spirál v tvárníku.

2.3.7 Materiálové vlastnosti jednotlivých částí formy

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiku se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů.

Pro výrobu forem se používají převážně oceli, neželezné slitiny kovů (Cu, Al), izolační a tepelně nevodivé materiály. Nejpoužívanějšími jsou však oceli a to především pro svou vysokou mechanickou pevnost a dobrou obrobitelnost.

Ne jinak tomu bylo i v našem případě. V maximální míře bylo použito normalizovaných dílů, které mají dány materiálové i pevnostní vlastnosti od výrobce a jsou dány také platnou normou.

Nenormalizované součásti, jednalo se hlavně o tvarové části formy, byly zpravidla všechny tepelně upravovány, převážně kalením. Materiálové vlastnosti všech dílů jsou uvedeny v kusovníku, který je součástí výkresu sestavy.

3 ANALÝZY VSTŘIKOVACÍHO PROCESU S AKCENTEM NA CHLAZENÍ

Model plastového víčka byl podroben analýzám vstřikovacího procesu v programu **Moldflow Plastics Insight 4.1**. V našem případě se nám jednalo hlavně o změnu chování daného výrobku při různých způsobech temperance. Byly navrženy celkem čtyři varianty chlazení pro pravou stranu formy a jedna varianta pro stranu levou. Na pravé straně byly uvažovány způsoby chlazení pomocí mosazných přepážek, spirál, teplosměnných trubic a drážky.

Nejprve byl vytvořen parametrický model víčka v programu Autodesk Inventor 6 ve formátu IPT. Následně byl exportován do formátu STL ve stejném programu. Parametrický model víčka musí být vytvořen s ohledem na kapacitu výpočtů programu Moldflow Plastics Insight 4.1. To znamená, že model musí být zbaven drobných sražen, zaoblení a popisků. Tyto prvky musí být nahrazeny jednoznačně definovatelnými plochami.

Takto upravený model již můžeme importovat do programu Moldflow Plastics Insight 4.1 ve formátu STL. Následně na daném modelu vygenerujeme trojúhelníkovou síť. Tato síť nesmí vykazovat žádné nedokonalosti, které by se pak mohly projevit na výsledných hodnotách analýzy.

Dále musí být systému zadán typ prováděné analýzy. Může se jednat o plnění formy, plnění a dotlak, chlazení a deformaci výstřiku. Lze také nadefinovat různou kombinaci těchto jednotlivých způsobů provedení analýz.

Jedním z procesních parametrů, které se zadávají, je materiál výstřiku. Definuje se pomocí knihovny materiálů nebo je možno nadefinovat materiál dle vlastních parametrů.

Dalším nezbytným krokem je nadefinování vtokové soustavy, což lze provést mnoha způsoby. To stejné platí o vytvoření chladicí soustavy.

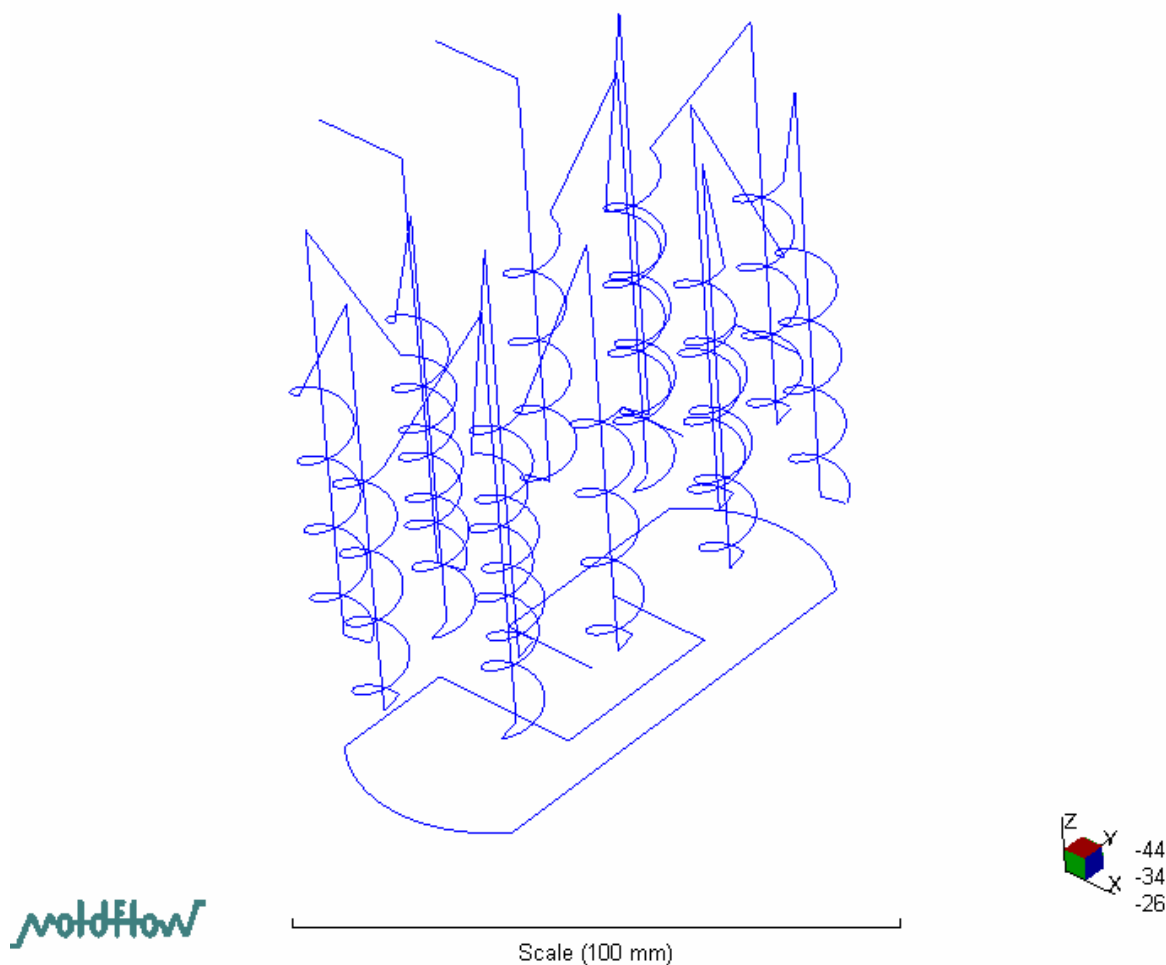
Posledním krokem je nadefinování procesních podmínek. Může se jednat např. o dobu vstřikovacího cyklu, dobu vstřikování, dotlaku, chlazení, teplotu taveniny, formy atd. Poté může být zpuštěn výpočet analýzy.

3.1 Definování vstupních parametrů

Po na importování našeho modelu byla vygenerována trojúhelníková síť, která musela být následně ručně poopravena, z důvodu výskytu nepřesností v síti. Dále byl nadefinován materiál Borealis Daplen BH345MO, který je přímo uveden v katalogu knihovny.

Vtoková soustava byla nadefinována přímo v programu Moldflow Plastics Insight 4.1. Nejednalo se o složitou soustavu, byla vytvořena pouze ze dvou částí. První část tvořilo ústí horkého vtoku a druhou částí byl kanál horké trysky.

Z důvodů značné složitosti byly chladicí soustavy vytvořeny ve dvou fázích. První fází bylo vytvoření křivek modelu chladicí soustavy v programu CATIE 5. Křivky modelu tvoří zpravidla střednice chladících kanálů. Tento model je následně exportován do formátu IGES.



Obr. 16. Ukázka křivek chladícího kanálu.

V programu Moldflow Plastics Insight 4.1 se tento model naimportuje ve stejném formátu. Jednotlivým prvkům drátového modelu se posléze nadefinuje určitý profil chladicího kanálu. Posledním krokem je určení vtokového ústí.

Procesní parametry se nastavovali dle technologického předpisu, jenž je součástí přílohy. Vycházelo se z základních parametrů, které jsou nastaveny přímo v reálné výrobě. U všech analýz byla shodně nastavena teplota taveniny 270°C a teplota formy 60°C. Analýzy byly verifikovány se změnou doby vstřikovacího cyklu. Ten se skládal z času vstřikovacího, doby dotlaku a doby chlazení.

Tab. 2. Tabulka nastavených hodnot pro provedené analýzy v Moldflow Plastics Insight 4.1.

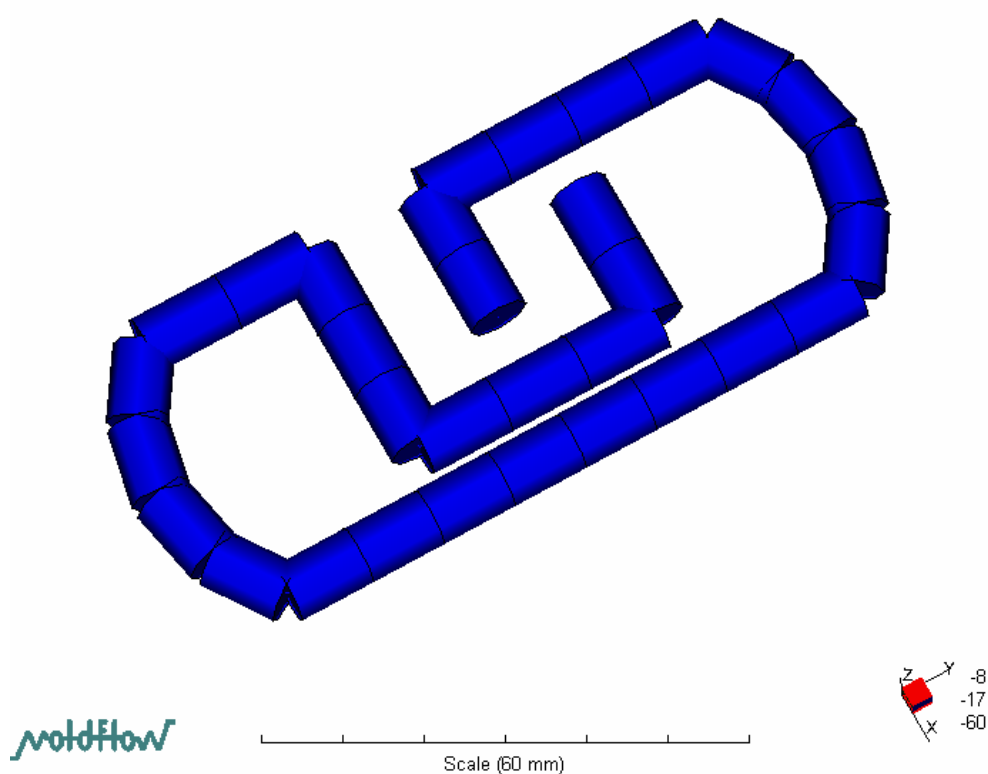
Cyklus	Doba cyklu [s]	Doba vstřiku [s]	Doba dotlaku [s]	Doba chlazení [s]	Typ analýzy
Základní	5,5	1,2	1,0	3,3	celková
1.	5,3	1,0	1,0	3,3	pouze chlazení
2.	5,1	0,8	1,0	3,3	pouze chlazení
3.	5,5	1,2	2,4	1,9	pouze chlazení
4.	3,6	1,2	2,4	0	pouze chlazení
5.	3,2	0,8	2,4	0	pouze chlazení
6.	3,2	0,8	2,4	0	celková

Analýzy s hodnotami uvedenými v tabulce 2 byly provedeny u všech čtyř navržených způsobů chlazení. Celkové analýzy obsahují procesy plnění, dotlaku, chlazení a deformaci výstřiku. Všechny analýzy jsou uloženy na přiloženém CD.

3.2 Způsob chlazení levé strany formy

V případě temperace levé strany formy je z důvodu nutnosti použití tvarové vložky dosti omezen způsob temperance. V našem případě bylo rozhodnuto o použití kanálu. Tvar kanálu je přímo vidět na obrázku 13. Důležitou připomínkou je umístění přívodu temperační kapaliny přímo naproti vstřikovací trysce, z důvodu výskytu nejvyššího tepla v dutině formy.

Profil chladicího kanálu je obdélníkový. Rozměry kanálu jsou 10 x 5 mm. Na spodní straně je kanál zaoblen rádiusem o velikosti 2,5 mm. Přívod chladicího média zajišťuje jeden kanál kruhového průřezu o rozměru 7mm. Kanál o stejných rozměrech zajišťuje i odvod ohřáté kapaliny. Systém chlazení levé strany formy je patrný z obrázku 17.

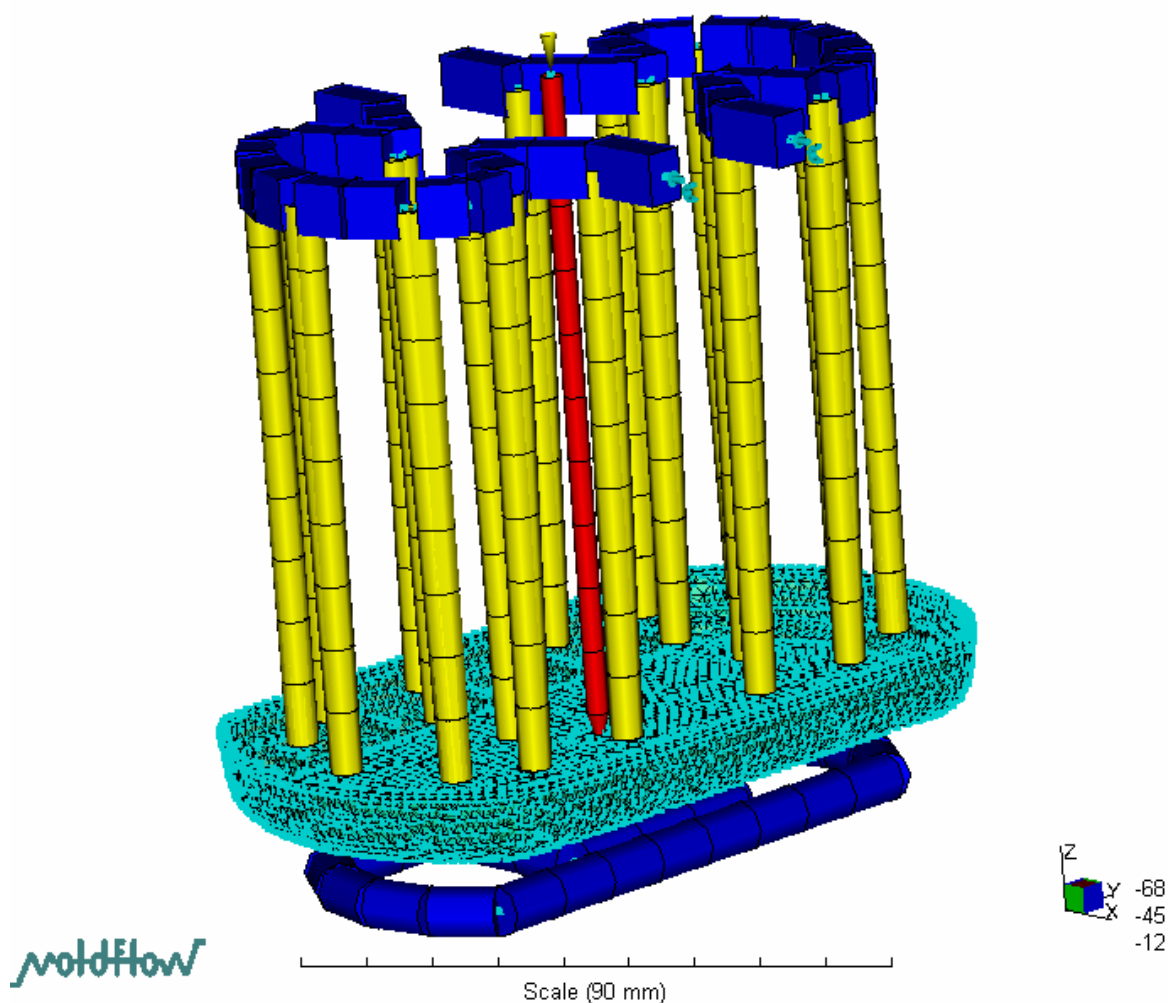


Obr. 17. Soustava chlazení levé strany formy.

3.3 Způsoby chlazení pravé strany formy

3.3.1 Varianta s použitím přepážek

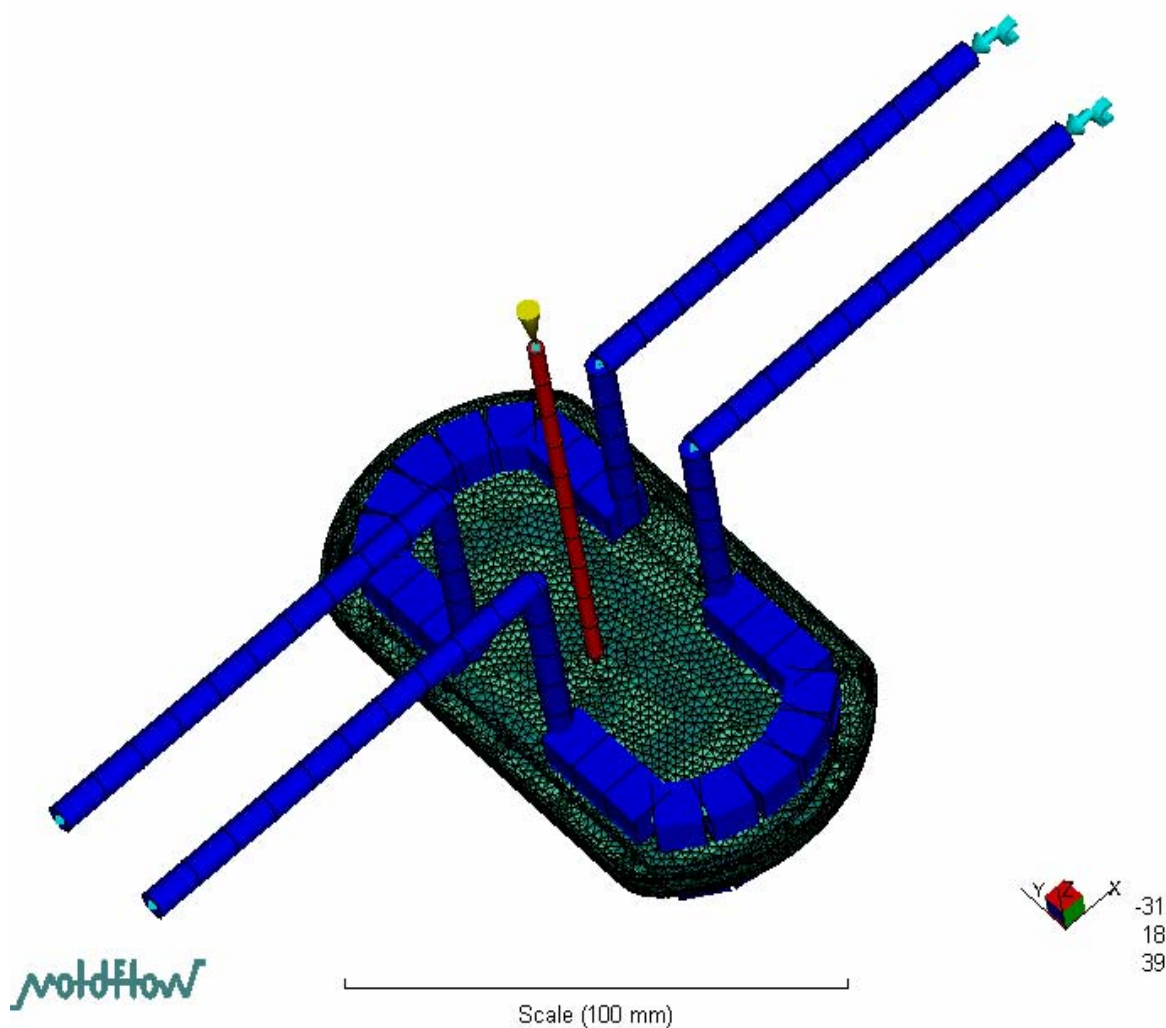
Tato varianta vychází ze stávající konstrukce formy. Jedná se o kruhový kanál, který je uprostřed rozdělen mosaznou plechovou přepážkou. Počet otvorů je v tomto případě 18, tyto jsou rovnoměrně rozloženy v tvárníku. Průměr otvorů je 10 mm. Propojení mezi jednotlivými přepážkami zajišťují spojovací kanály o rozměrech 6 x 8 mm. Konkrétní rozmístění děr je patrné z modelu na obrázku 18. Chladicí soustava je rozdělena do dvou nezávislých chladících okruhů. Každý okruh je napájen vlastním přívodem chladicí kapaliny. Průměr přívodního kanálu činí 8 mm, stejně je konstruován i odvod ohřáté kapaliny.



Obr. 18. Chladicí soustava s použitím mosazných přepážek.

3.3.2 Varianta s použitím chladicí drážky

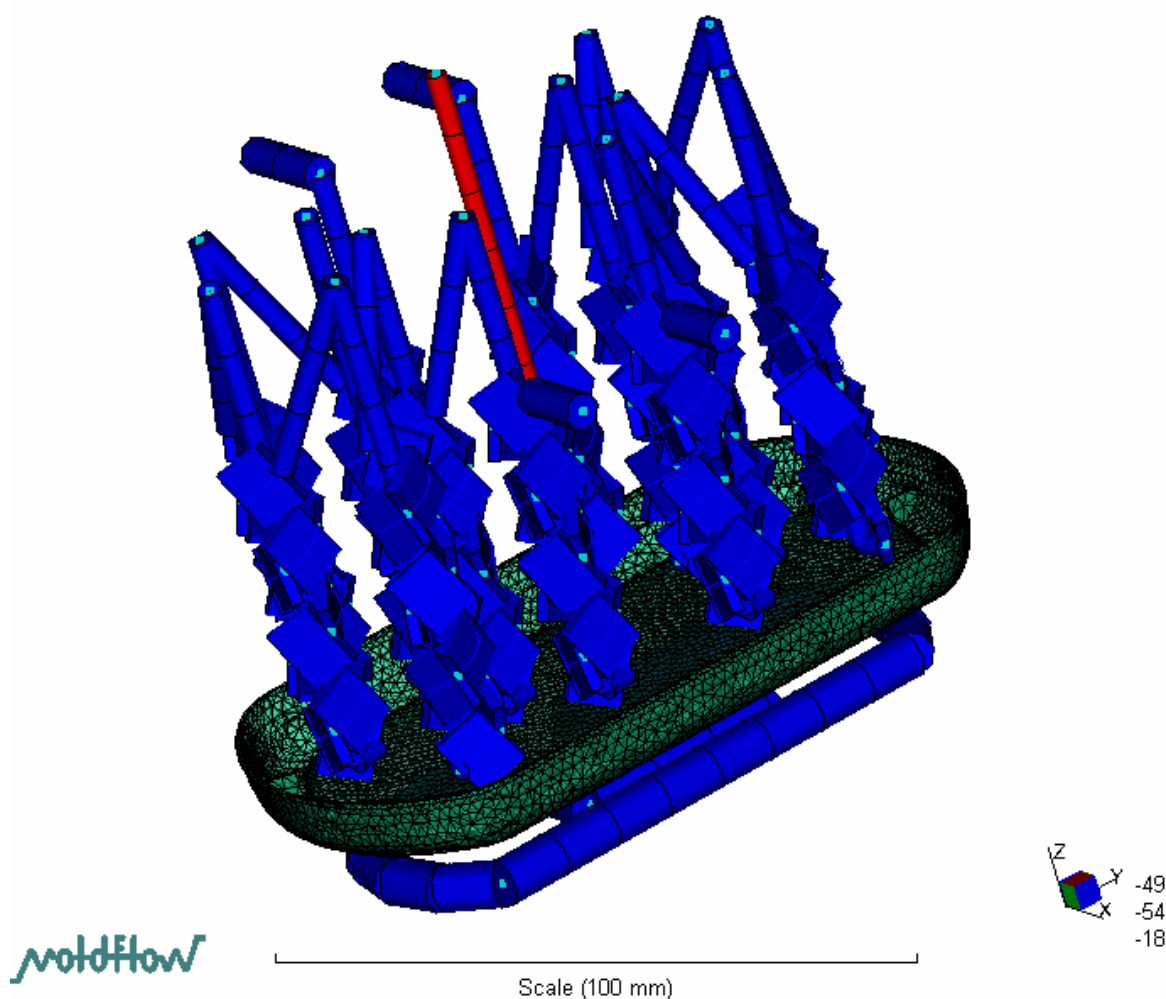
V tomto případě bylo uvažováno chlazení pomocí vyfrézované drážky, která by byla vyfrézována z vnitřní strany trnu tvárníku. Kopírovala by tak oválný tvar trnu ve vzdálenosti 8 mm. Chladicí okruh byl rozdělen opět na dva nezávislé chladicí okruhy. Profil chladicího kanálu byl navržen obdélníkového tvaru o rozměrech 10 x 8 mm. Přívodní a odvodní kanály byly kruhového profilu o průměru 8 mm. Model chladicí soustavy s použitím drážky je patrný z obrázku 19.



Obr. 19. Chladicí soustava s použitím drážky.

3.3.3 Varianta s použitím spirál

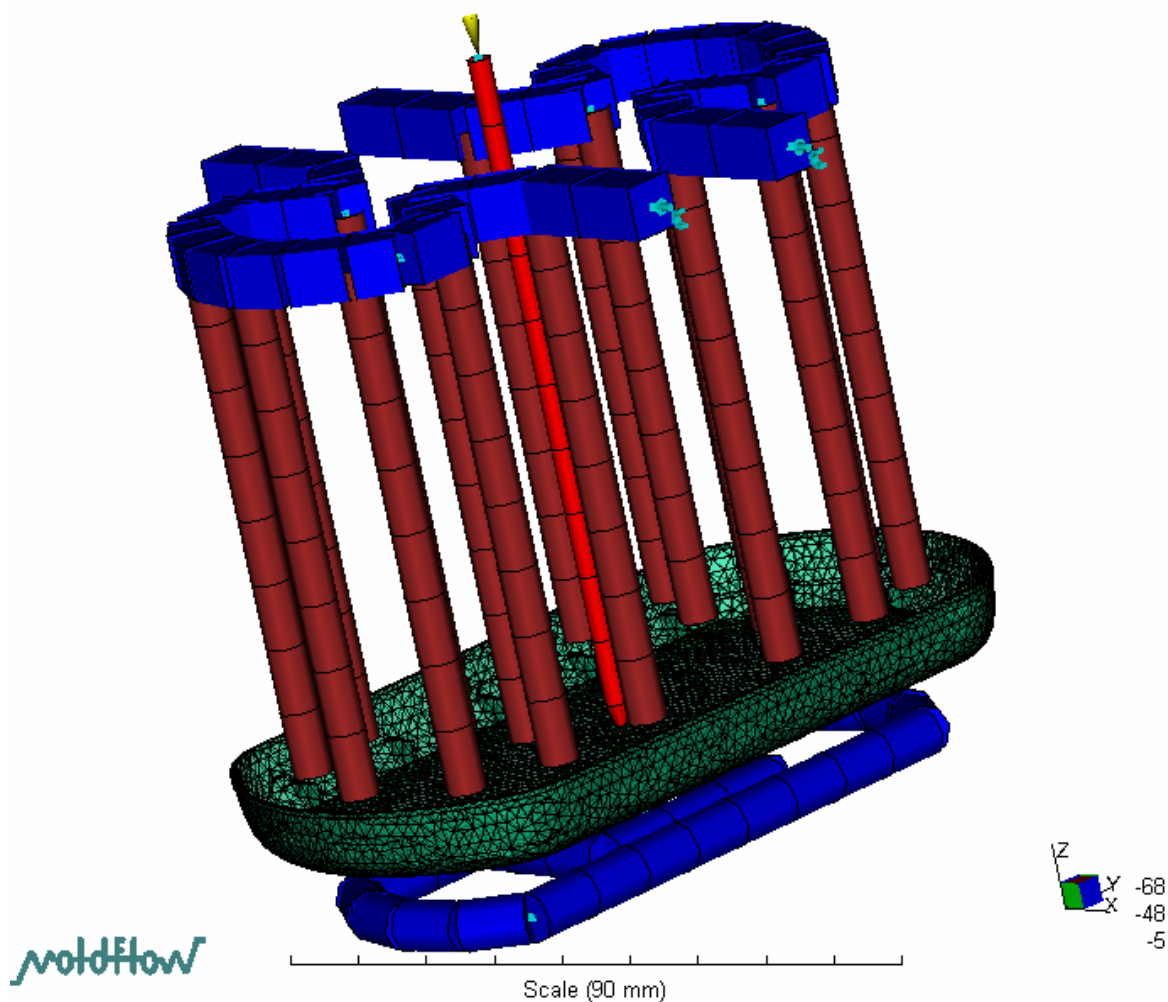
Varianta je řešena pomocí spirál, které jsou vyrobeny z PA. Tyto spirály dodává na trh firma HASCO. Katalogové číslo je Z968/12x125. Spirály se musely různě tvarově upravovat. Vznikly tak čtyři typy upravených spirál, jedna z nich je na obrázku 15. Celkový počet spirál -14 kusů- je rozdělen do dvou nezávislých okruhů po 7 kusech. Každá spirála je zajištěna proti pootočení pojistným kolíkem. Rozmístění spirál v dutině tvárníku je navrženo tak, aby docházelo k rovnoměrnému odvodu tepla z dutiny formy. Přívod chladicího média je realizován na obvodovou stranu spirály a vývod je tvořen průchozí dírou, která je vedena středem spirály. Propojení jednotlivých spirál zajišťují spojovací kanálky o rozměrech 4 x 4 mm. Přívodní kanály jsou o průměru 6 mm. Profil drážky spirály je obdélníkový a má rozměry 11 x 2 mm.



Obr. 20. Namodelovaná soustava chlazení s použitím spirál.

3.3.4 Varianta s použitím teplosměnných trubíc

Teplosměnné trubice se používají např. u chlazení dlouhých tenkých trnů a také tam, kde není dostatek místa pro běžně používané způsoby chlazení. Zde byly použity trubice od firmy HASCO, katalogové číslo je Z975/8x100. Dají se použít až do teploty okolí 250°C. Tyto trubice jsou zasunuty do otvorů v tvárníku, jejich konce obtéká chladicí voda, která odebírá teplo ohřátým trubicím. Rozvržení trubic v tvárníku je patrné z obrázku 21. V této variantě bylo použito celkem 20 teplosměnných trubic rozdělených po deseti do dvou samostatných okruhů.



Obr. 21. Namodelovaná soustava chlazení s použitím teplosměnných trubic.

3.4 Vyhodnocení namodelovaných soustav

Procesní parametry byly nastaveny dle technologického předpisu, který je doložen v příloze. Vycházelo se základních parametrů nastavených přímo v reálné výrobě. Pro všechny čtyři navržené způsoby chlazení byly provedeny analýzy se vstupními hodnotami uvedenými v tabulce 2. U všech analýz byla shodně nastavena teplota taveniny 260°C a teplota formy 60°C. Bylo provedeno celkem 7 analýz pro každou variantu chlazení, přičemž ve všech případech byla chladícím médiem voda.

Tab. 3. Výsledné hodnoty analýzy nastavené dle základních parametrů.

	Přepážka	Drážka	Spirála	Teplosměnná trubice
Teplota chladicího média [°C]	25 -25,38	25 – 25,37	25 – 25,87	25 – 25,38
Teplota stěny chladicího kanálu [°C]	25 – 27,53	25,04 – 29,32	25,04 – 37,61	11,55 – 30,76
Teplota povrchu výstřiku [°C]	25 – 59,61	25 – 59,96	25 – 57,12	25 – 59,63
Čas zamrznutí [s]	2,158	2,158	2,145	2,151
Doba plnění [s]	1,466	1,469	1,459	1,472
Celkový tlak taveniny [MPa]	42,64	42,83	42,96	42,66
Def. celková [mm]	1,271	1,262	1,279	1,273
Def. chlazením [mm]	0,2215	0,1879	0,2397	0,2085
Def. smrštěním [mm]	1,205	1,205	1,208	1,204
Def. orientací [mm]	0,3818	0,3821	0,3832	0,3811

Tab. 4. Výsledné hodnoty analýzy nastavené dle cyklu 6.

	Přepážka	Drážka	Spirála	Teplosměnná trubice
Teplota chladicího média [°C]	25 – 25,54	25 – 25,53	25 – 26,2	25 – 25,54
Teplota stěny chladicího kanálu [°C]	25,04 – 28,56	25,05 – 30,89	25,05 – 40,34	9,62 – 32,6
Teplota povrchu výstřiku [°C]	25 – 72,5	25 – 73,04	25 – 68,48	25 -72,63
Čas zamrznutí [s]	2,271	2,273	2,273	2,278
Doba plnění [s]	0,9452	0,9462	0,9445	0,9453
Celkový tlak taveniny [MPa]	38,33	38,53	38,56	38,35
Def. celková [mm]	1,230	1,213	1,249	1,233
Def. chlazením [mm]	0,2973	0,2476	0,3466	0,2690
Def. smrštěním [mm]	1,178	1,178	1,180	1,177
Def. orientací [mm]	0,3510	0,3544	0,3526	0,3502

V tabulkách 3 a 4 jsou pouze výsledné hodnoty, které byly zapotřebí k vyhodnocení analýz s akcentem na chlazení. Grafické vyhodnocení tabulek 3 a 4 je uvedeno v příloze I a II. Tyto byly stanoveny na základě nejlepších výsledků. Pro posuzování byla stanovena tato kritéria:

- teploty chladících médií na vstupu a výstupu z chladících soustav
- teploty stěn chladících kanálů
- teploty povrchů výstřiků.

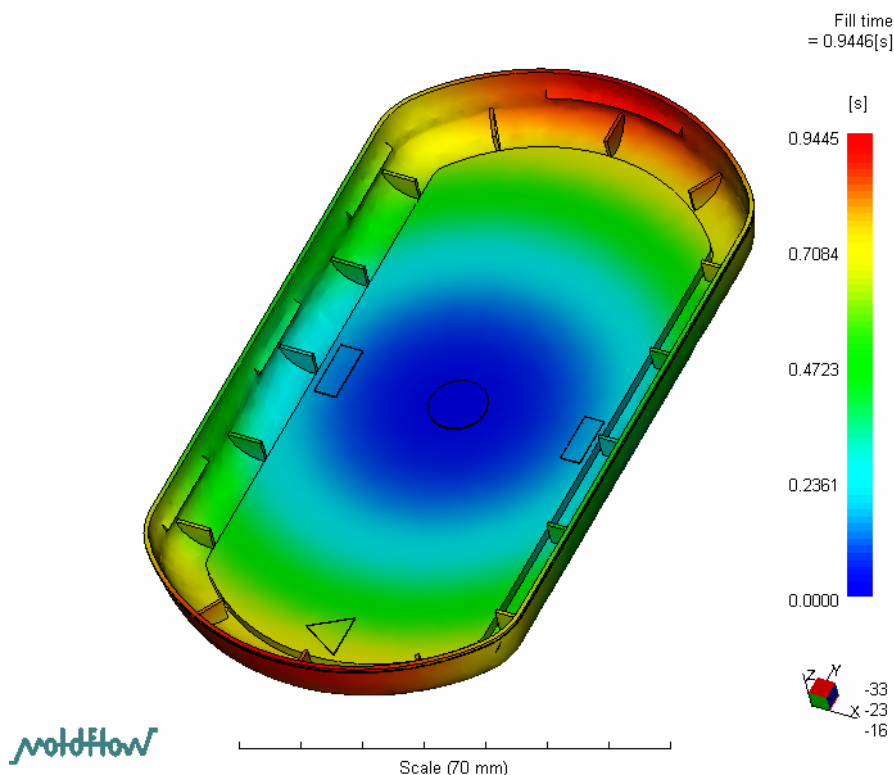
Jako nejlepší model z nasimulovaných analýz byla vyhodnocena chladicí soustava s použitím spirál, z důvodu nejlepší účinnosti.

3.4.1 Grafické vyhodnocení nejlepšího návrhu chladicí soustavy

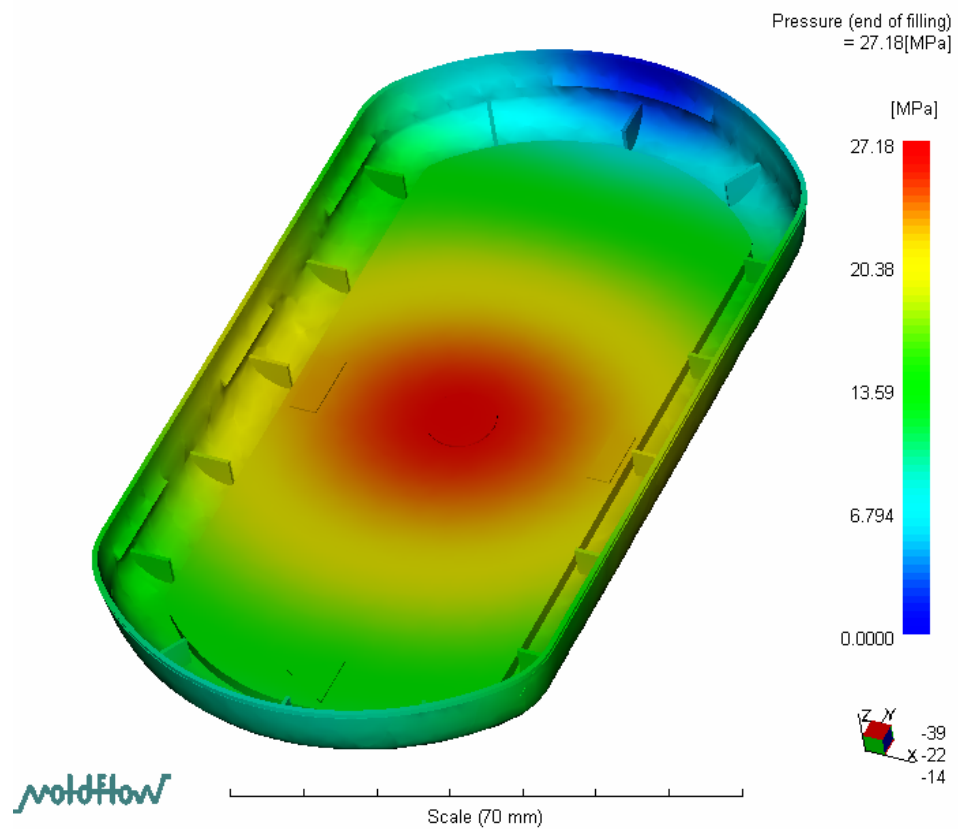
Jak již bylo výše uvedeno, jako nejlepší řešení se jeví soustava s použitím spirál, které jsou vyrobeny z PA. Obrázek 22 nám vypovídá o času potřebném k naplnění celé dutiny formy. Barevné rozlišení ukazuje zaplnění formy v určitém čase.

Tlak v dutině na konci formy při jejím plnění znázorňuje obrázek 23. Nejvyšší tlak je uprostřed výstřiku v místě, kde je umístěn horký vtok a směrem k okrajům klesá až na nulovou hodnotu.

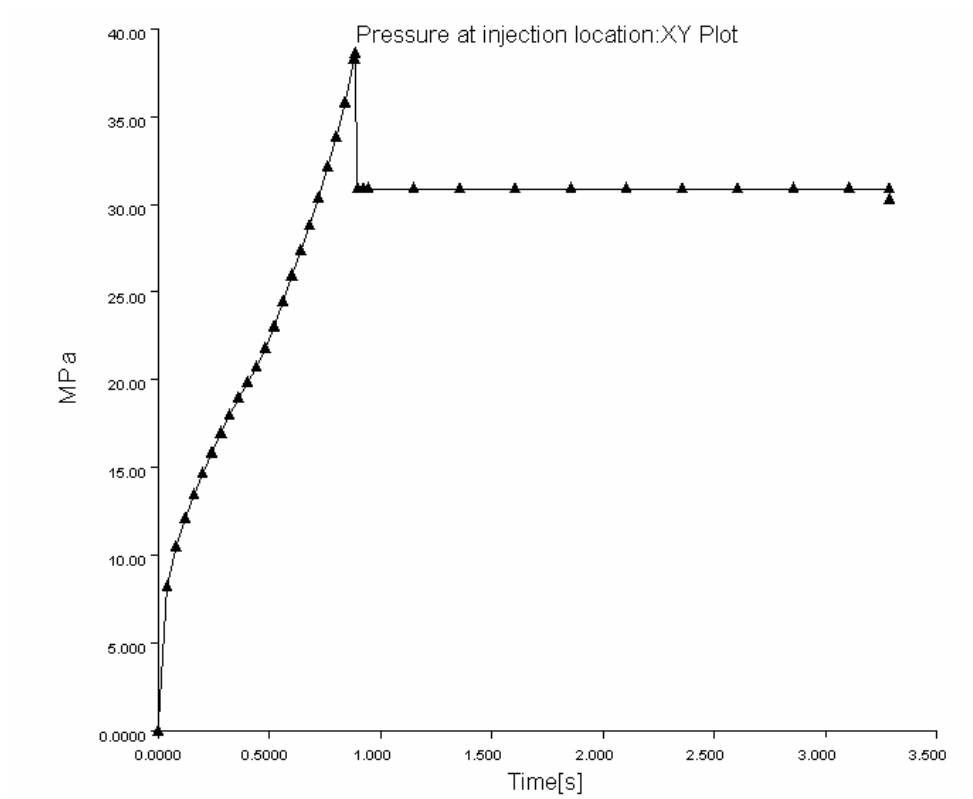
Obrázek 24 znázorňuje průběh tlaků po celý průběh vstřikování. Z průběhu grafu lze přesně určit maximální hodnotu tlaku při vstřikování, hodnotu dotlaku a jeho začátek v čase. Maximální hodnota tlaku při vstřikování znázorňuje nejvyšší bod na křivce. Od této doby začíná dotlak, provázený prudkým poklesem tlaku. Po čas dotlaku je hodnota tlaku neměnná.



Obr. 22. Doba plnění dutiny formy.



Obr. 23. Tlak v dutině formy na konci cyklu.

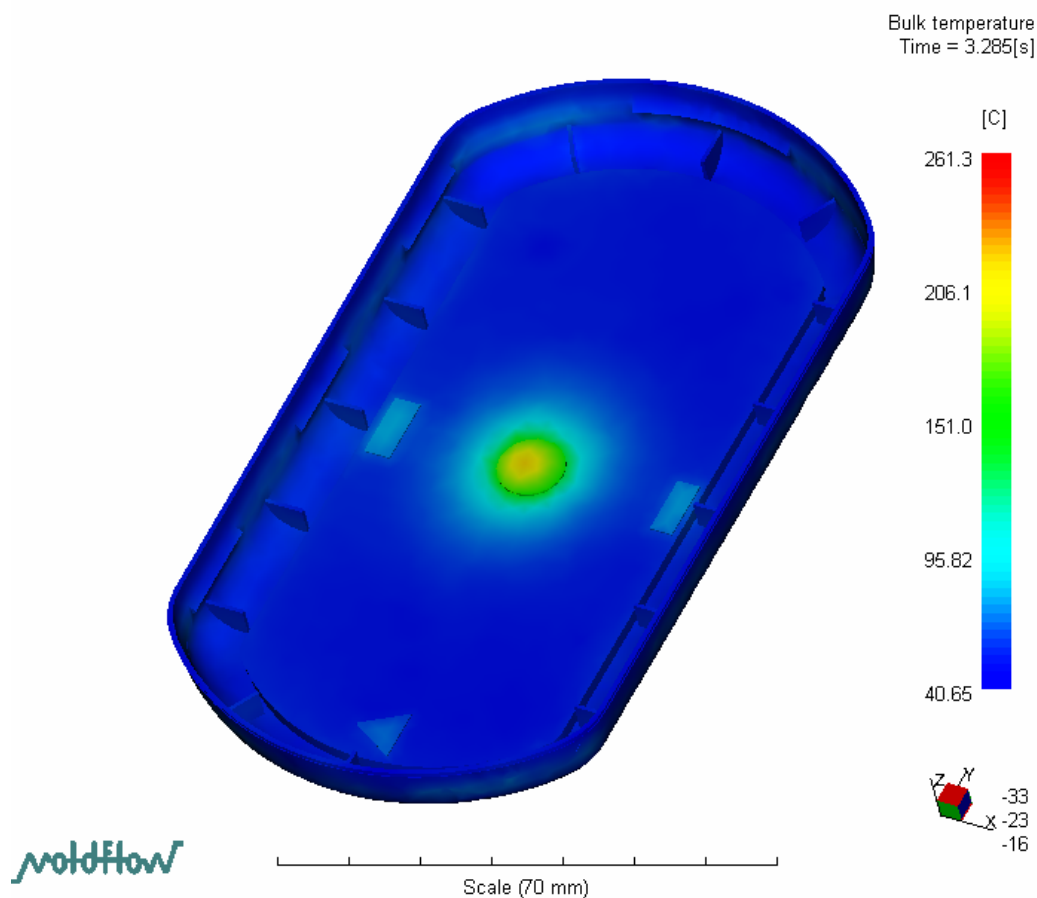


Obr. 24. Průběh tlaku v procesu vstřikování.

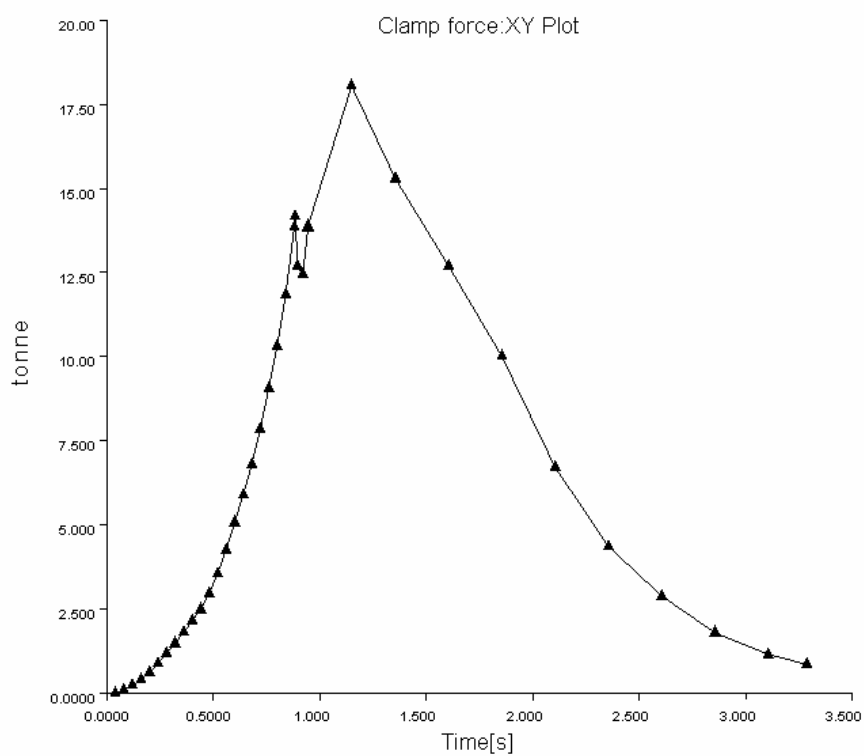
Teplotu výstřiku krátce po vyhození z formy v čase 3,285 s znázorňuje obrázek 25. Zde je patrné, že téměř celý výstřik je ochlazen na teplotu něco málo nad 40°C. Lokální místo s vyšší teplotou, které se nachází uprostřed výstřiku je způsobeno horkou tryskou. Zde se tedy nachází tavenina současně se zatuhlým polymerem a v tomto místě dochází k oddělení výstřiku od vtoku. Na tomto principu je založena metoda vyhřívaných soustav. V našem případě byla teplota trysky permanentně nastavena na 260°C.

Hodnoty z obrázku 26 nám vypovídají o velikosti uzavírací síly v daném průběhu vstřikování. Maximální hodnota je v okamžiku, kdy začíná působit dotlak a po zamrznutí vtoku prudce klesá. Maximální hodnota musí být menší než velikost uzavírací síly daného stroje.

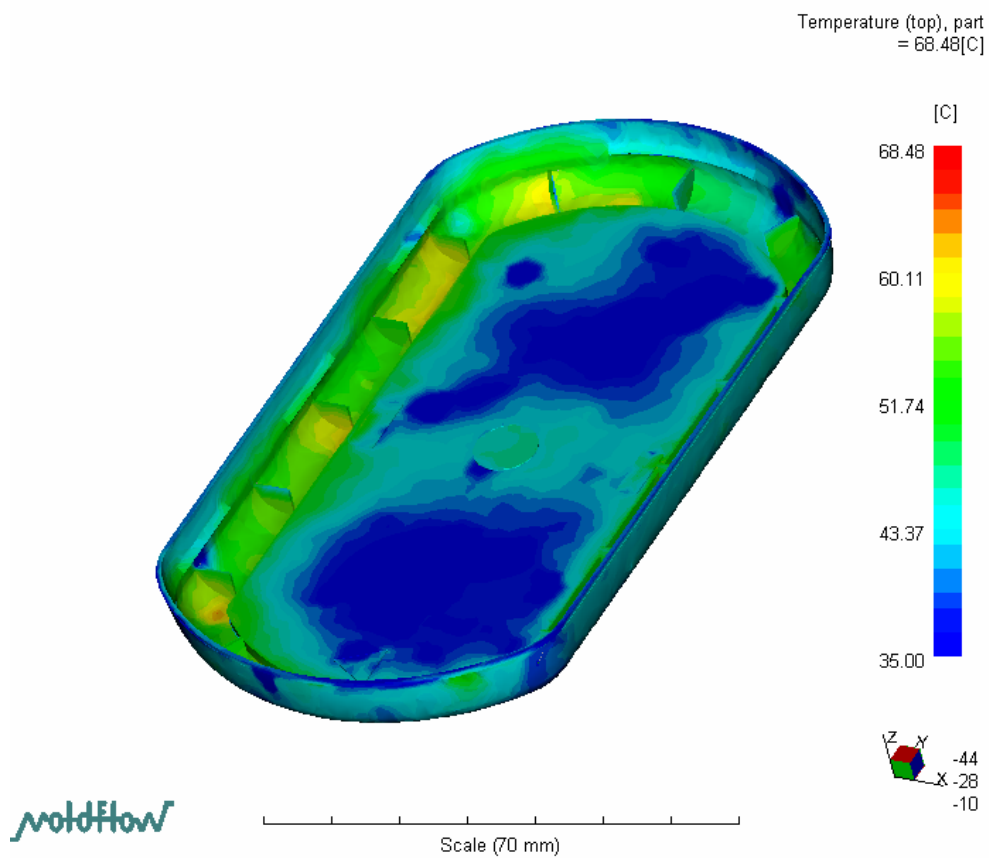
Teploty povrchu výstřiku na konci vstřikovacího procesu jsou patrné z obrázku 27. Tmavě modré skvrny jsou oblasti, kde je výstřik nejvíce ochlazen, místa s nejvyšší teplotou povrchu mají zbarvení červené. Tato místa jsou lokální a nemají příliš velký význam pro výsledky vyhodnocení.



Obr. 25. Teplota výstřiku při čase 3,285 s.



Obr. 26. Průběh uzavírací síly.

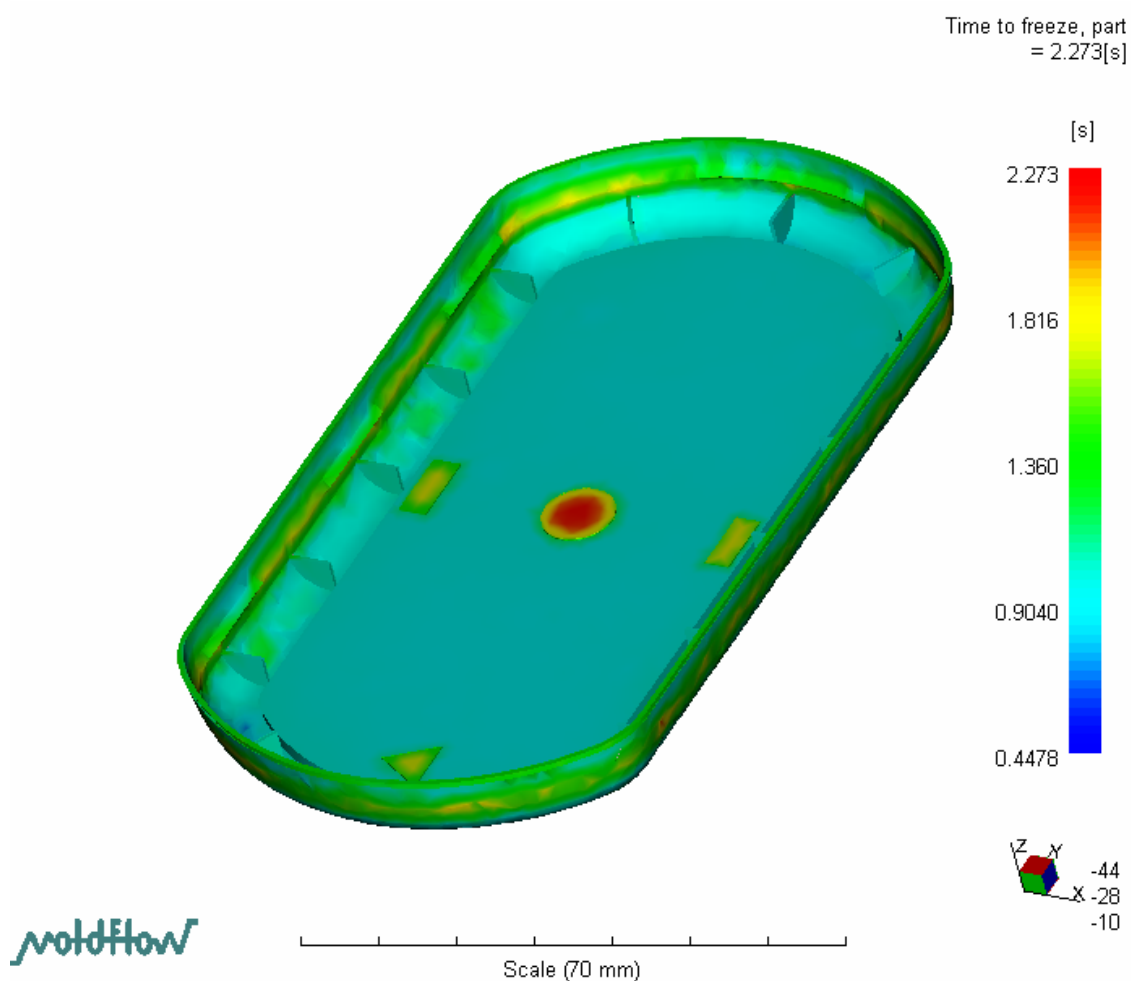


Obr. 27. Teplota povrchu výstřiku v době vyhazování.

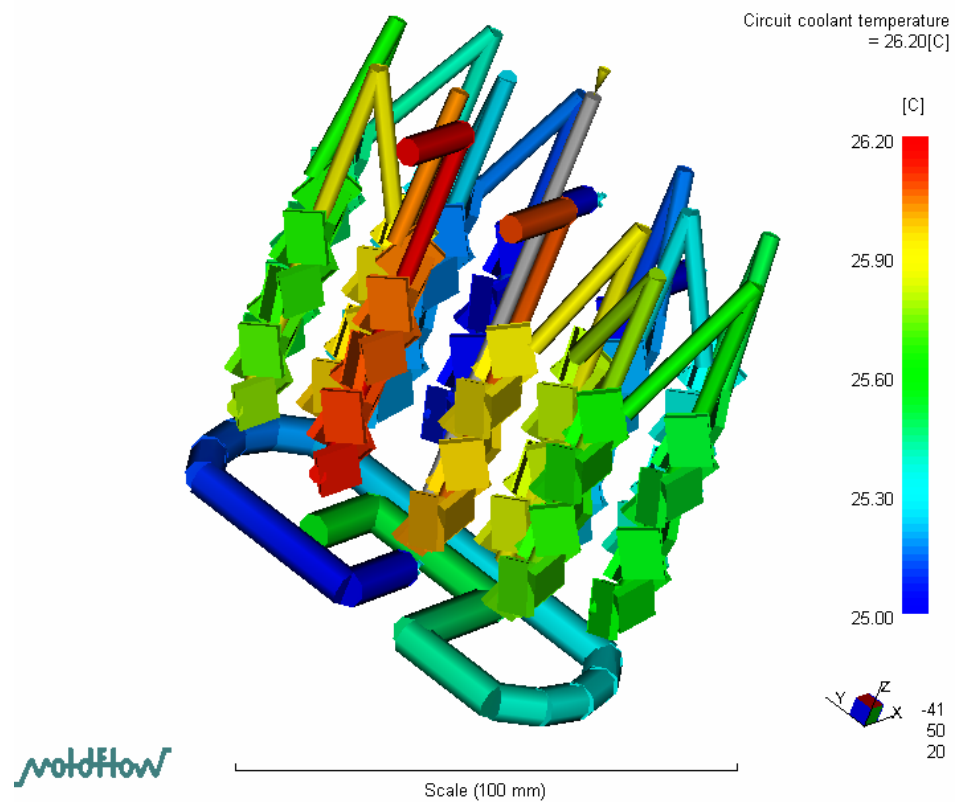
Doba potřebná k zamrznutí vtoku je patrná z obrázku 28. Po této době již nemá dotlak vliv na výslednou kvalitu výstříku, a proto by bylo vhodné zkrátit čas dotlaku v procesních podmínkách.

Obrázek 29 nám vypovídá o teplotě chladicího média (v našem případě vody) ve třech na sobě nezávislých soustavách od jeho vstupu až po opuštění chladicí soustavy. Na odvodu tepla z oblasti dutiny formy se nejvíce podílí chladicí soustavy s použitím spirál. V jejich případě má médium opouštějící temperanční systém nejvyšší teplotu, která činí 26,20 °C. Teplota vstupující do systému má 25 °C.

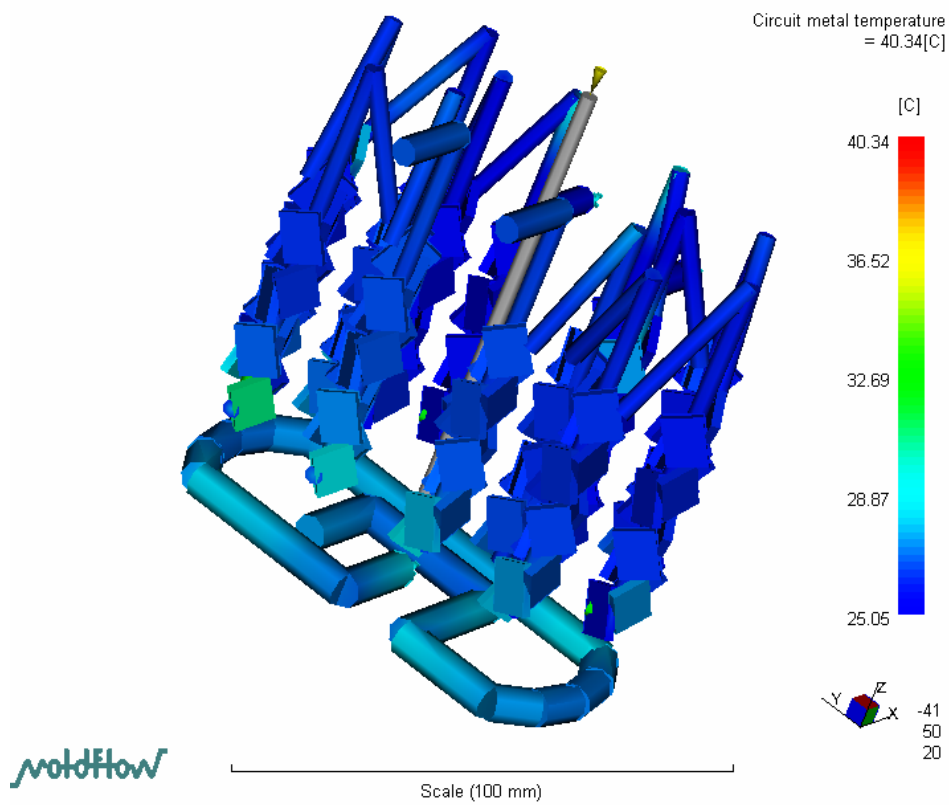
Na obrázku 30 jsou vidět teploty stěn chladících kanálů, které předávají své teplo kapalině v nich protékající. Nejvyšší teploty jsou na spodních stranách spirál. Ohřátí chladících kanálů je způsobeno přestupem tepla od taveniny uvnitř formy.



Obr. 28. Doba zamrznutí.



Obr. 29. Teplota chladicího média.

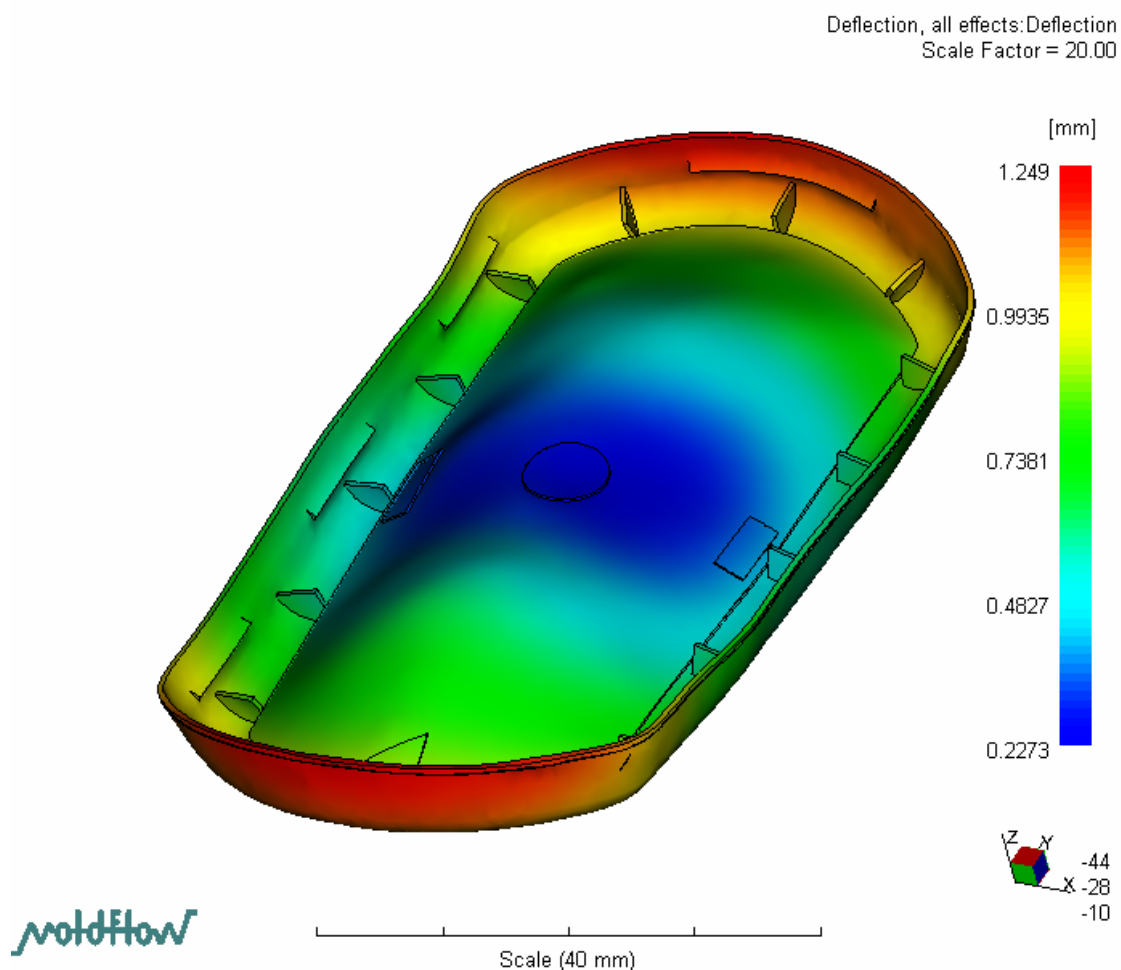


Obr. 30. Teplota stěny chladicího kanálu.

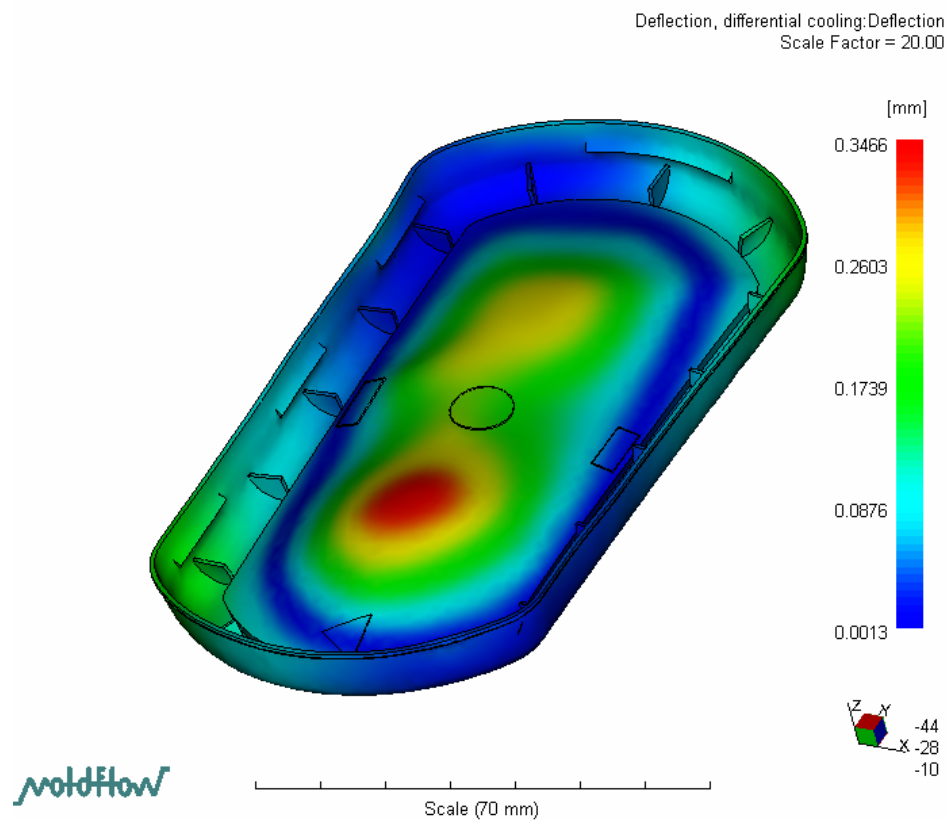
Dalšími důležitými parametry pro vyhodnocení analýz jsou průběhy deformací. Tyto průběhy mohou být způsobeny několika faktory. Program Moldflow 4.1 bere v úvahu deformace vlivem chlazení, smrštění a orientace. Z těchto tří hodnot vychází hodnota celkové deformace, která je patrná z obrázku 31. Měřítko deformace je pro lepší grafické znázornění 20x zvětšeno.

Obrázek 32 ukazuje výstřik zdeformovaný vlivem chlazení. Největší deformace je ve středu výstřiku v místě umístění trysky horkého vtoku. V tomto místě se nachází největší rozdíl teplot. Měřítko deformace je pro lepší znázornění 20x zvětšeno.

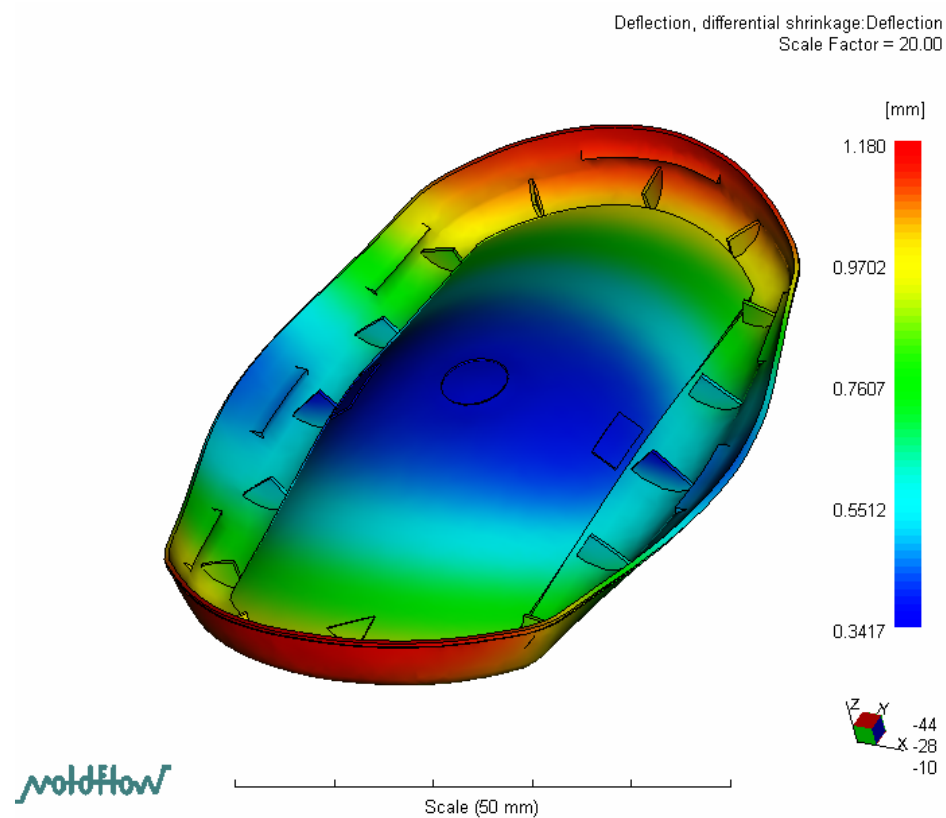
Největší podíl na deformaci je způsoben působením smrštění viz. obrázek 33. Toto smrštění je největší na místech nejvíce vzdálených od vtoku, nejmenší hodnoty deformace jsou okolo středu součásti. Měřítko deformace je 20x zvětšeno.



Obr. 31. Celková deformace výstřiku, 20x zvětšená.

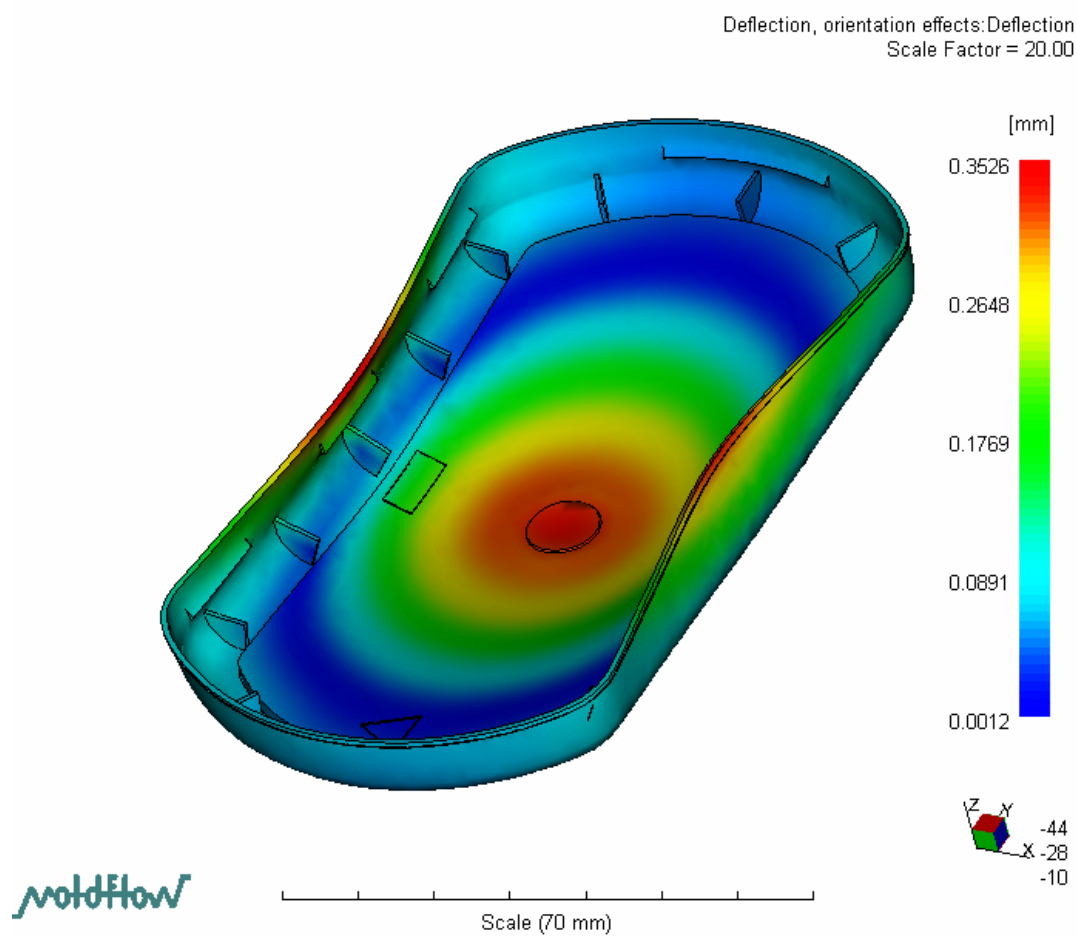


Obr. 32. Deformace výstřiku vlivem chlazení, 20x zvětšená.



Obr. 33. Deformace výstřiku vlivem smrštění, 20x zvětšená.

Na deformaci vlivem orientace má největší vliv umístění vtoku a s tím také související rovnoměrné zaplnění dutiny formy. Dalším faktorem majícím vliv na deformaci je typ materiálu. Velký význam této deformace se projevuje u plněných materiálů, příkladem mohou být materiály plněné skelnými vlákny. Tento průběh deformace je patrný z obrázku 34. Měřítko deformace je pro lepší zviditelnění 20x zvětšeno.



Obr. 34. Deformace výstřiku vlivem orientace, 20x zvětšená.

4 PARAMETRICKÁ SESTAVA FORMY VÍČKA

V našem případě byla parametrická forma víčka vytvořena v programu Autodesk Inventor 6. Je rozšířen v hojném počtu po celém světě a těší se velké oblibě. Proto byl vybrán pro řešení této problematiky.

Tento program má velkou knihovnu normalizovaných součástí. Jsou zde zastoupeny normy jako např. ČSN, ISO, DIN a mnohé další. Součásti nenormalizované si uživatel může dle vlastního návrhu zkonstruovat sám. Modely těchto součástí vytváří v parametrických 3D modelech. Jsou vytvářeny v souborech s koncovkou IPT a lze s nimi dále operovat. Je možno zde také importovat modely z jiných designérských programů ve formátu STEP např. z CATIE, Solidworks atd.

Z libovolných normalizovaných součástí a uživatelem vytvořených modelů lze vytvářet sestavy ve formátu IAM. Lze zde také vytvářet výkresy jednotlivých součástí, které jsou exportovány do formátu IDW. Ne jinak je tomu v případě vytváření výkresů u sestav či podsestav. Zde lze jednoduše vygenerovat jednotlivé pohledy a dokonce také složité lomené řezy. Tyto možnosti významně urychlují a zjednodušují práci konstruktéra.

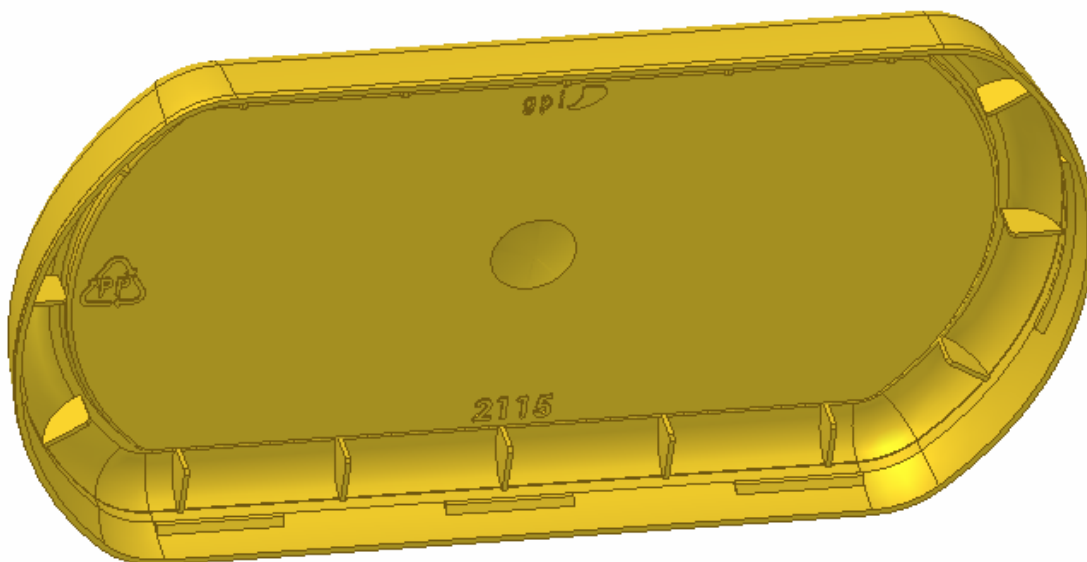
V našem případě bylo používáno co nejvíce normalizovaných součástí, z důvodu zjednodušení konstrukce formy, a také z hlediska ekonomického. Platí obecně zásada, že nejlevnější je používání normalizovaných součástí. Nejvíce byly použity součástky z normálií ČSN a dále od renomovaných firem HASCO, GÜNTHER, STRACK, DME a FESTO. Celkové řešení formy jako např. zaformování výstřiku, temperační soustava, vtoková soustava, vyhazování výstřiku atd. byla řešena již v bodě 2. Zde jsou také podrobně popsány jednotlivé konstrukce a funkce těchto systémů.

Obecně se forma rozděluje na jednotlivé podsestavy. Tyto podsestavy jsou rozděleny zpravidla na:

- pravou stranu formy
- levou stranu formy
- vtokový systém (u složitých vyhřívaných vtokových soustav)
- vyhazovací systém
- manipulační zařízení

4.1 Vytvoření parametrického modelu víčka

Prvním krokem konstruktéra je vytvoření parametrického modelu víčka, jenž je zkonstruován dle výkresu dodaného zadavatelem. Tento model musí být upraven tak, aby jej bylo možno zaformovat a následně odformovat. Jedná se většinou o drobné úpravy ve formě eliminování ostrých přechodů za pomoci sražení či zaoblení. Dalším krokem je zvětšení modelu o smrštění materiálu, z kterého bude výstřik vyroben. Tyto hodnoty se u všech materiálů liší a pohybují se zpravidla v rozmezí několika málo procent. V našem případě se jednalo o materiál PP Borealis BH 345 MO, který má dle tabulek velikost smrštění 1,5%. Zvětšený model nám dále poslouží k vytváření trnu tvárníku a dutiny tvárnice. Model víčka je vidět na obrázku 35.

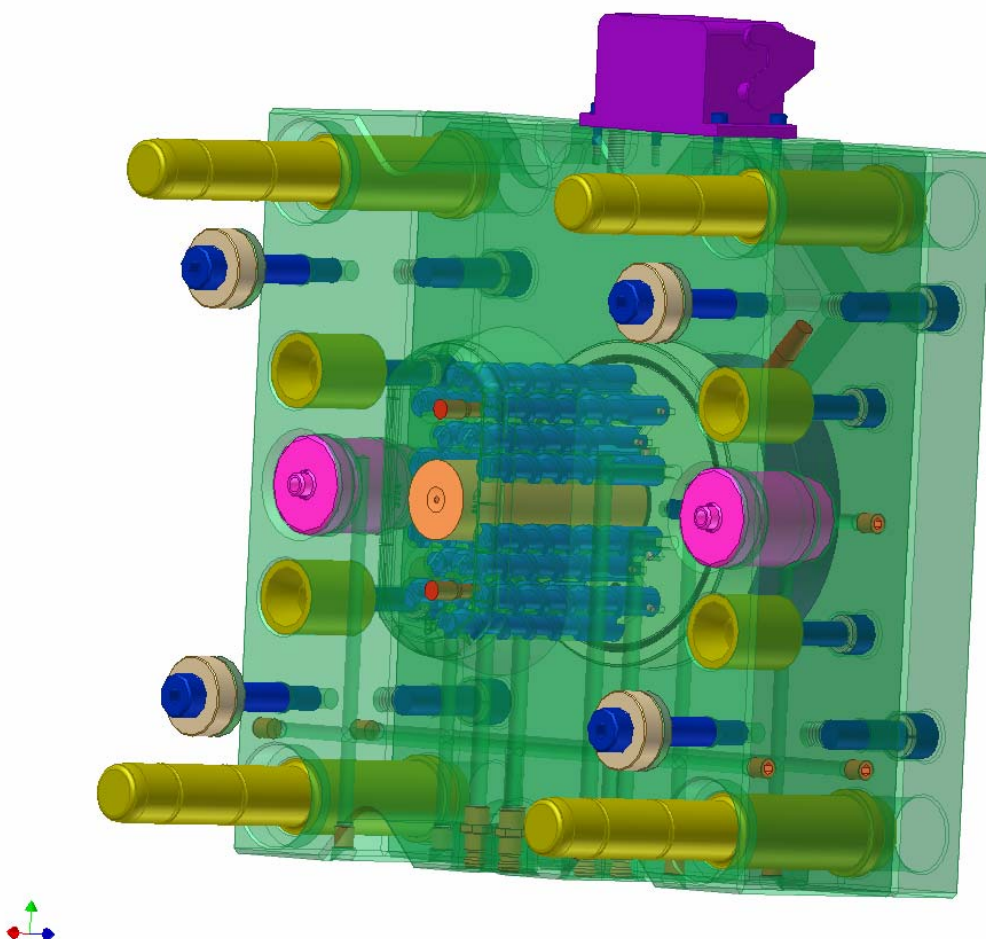


Obr. 35. Parametrický model víčka.

4.2 Vytvoření parametrické sestavy pravé strany formy

Tato sestava je vytvořena z jednotlivých dílů, které jsou určitým způsobem sepyaty s tvárníkem, přichyceným k pravé upínací desce vstřikovacího stoje pomocí pravé kotevní desky. Upevnění na upínací desku je provedeno pomocí šroubů. Vystředění formy zajišťuje středící kolík. Vedení formy zajišťují vodící čepy a pomocné středící pouzdra. Temperaci formy zajišťují spirály, pojištěné proti pootočení pojistnými kolíky. Jsou zde také umístěny hydraulické válce od firmy STRACK, které ovládají vyhazovací desku. Vymezení krajní polohy stírací desky určují dorazy zakomponované do pravé strany

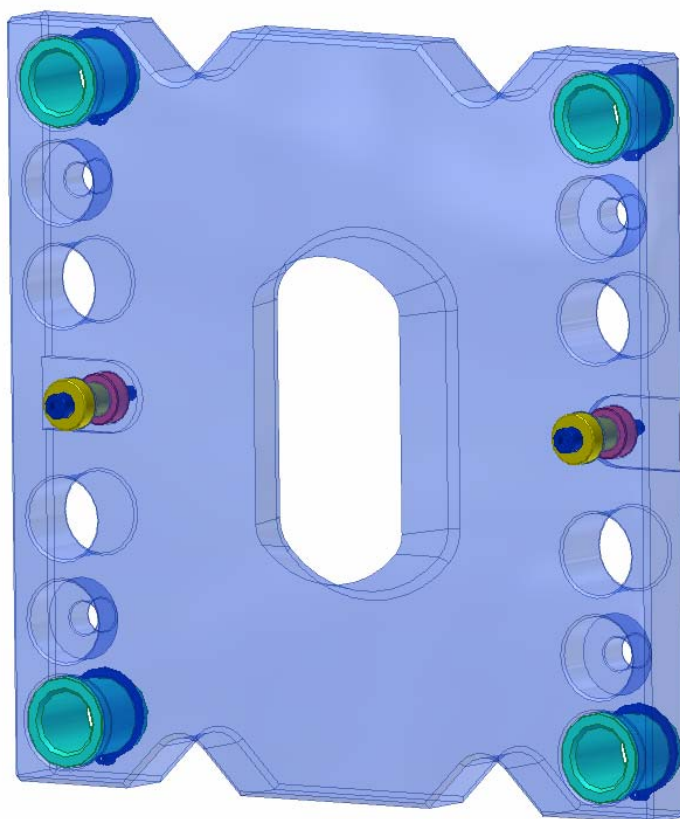
formy. Dále je zde předkomůrka horkého vtoku, samotný horký vtok od firmy GÜNTHER a příslušný konektor. Nechybí zde ani pneumatické a hydraulické rychlospojky. Těsnost chladicí soustavy zabezpečují pryžové O-kroužky. Soudržnost formy zajišťují příslušné šrouby.



Obr. 36. Sestava pravé strany formy.

4.3 Vytvoření parametrické sestavy vyhazování

Tuto sestavu tvoří pouze stírací deska a ovládací prvky hydraulického válce, který zajišťuje pohyb stírací desky. Vedení a středění zajišťují vodící pouzdra zajištěna pružným pojistným kroužkem.



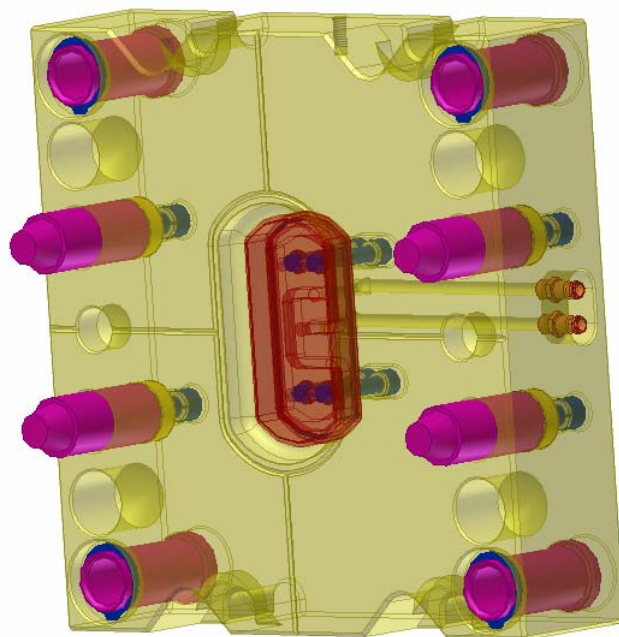
Obr. 37. Sestava vyhazování.

4.4 Vytvoření parametrické sestavy levé strany formy

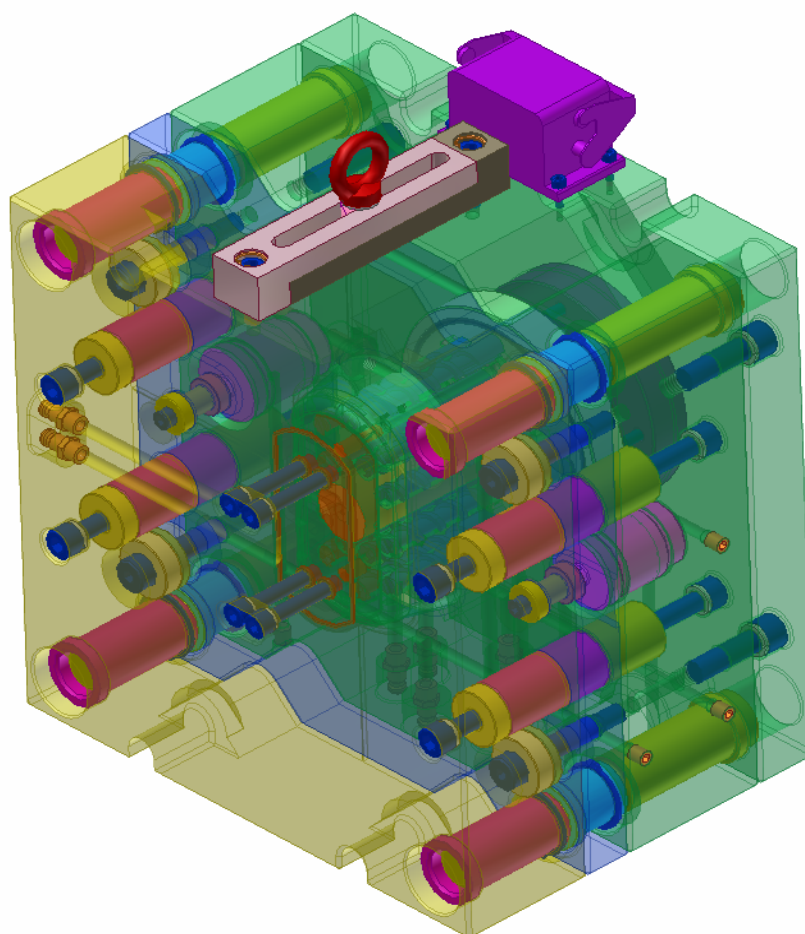
Základním prvkem sestavy (viz. obr. 38) je v tomto případě tvárnice, která je současně deskou kotevní. V tvárnici je dále vložena tvarová vložka upevněná pomocí šroubů. Vedení levé strany formy zajišťují hlavní vodící pouzdra zajištěna pružnými pojistnými kroužky a pomocné středící čepy. Vymezení polohy středících čepů zajišťují jejich podložky. Těsnost chladicí soustavy zajišťují pryžové O-kroužky.

4.5 Vytvoření parametrické sestavy celé formy

Sestava celé formy (viz. obr. 39) je sestavena z jednotlivých podsestav, které jsou blíže popsány v bodech 4.2 až 4.4, a dále k nim přísluší podsestava manipulační. Ta je načtena jako celek z katalogu firmy HASCO pod označením Z70/1. Parametrická sestava formy a jednotlivé podsestavy jsou na přiloženém CD.



Obr. 38. Sestava levé strany formy.



Obr. 39. Kompletní sestava formy víčka.

5 PEVNOSTNÍ ANALÝZA FORMY

Jedním z bodů v zadání bylo také provedení pevnostní analýzy formy. V našem případě byla forma podrobena mechanické analýze v programu COSMOS Design STAR 3.0, který využívá metody konečných prvků.

Základní entity, z nichž je tvořen model jsou POINT (vztažný bod), CURVE (křivka), SURFACE (povrch.- troj nebo čtyřúhelníková plocha), REGION (oblast vymezená křivkami, vícenásobně souvislá plocha), VOLUME (objem, čtyř nebo šestistěn), PH (PolyHedra – uzavřený mnohostěn), PART (součást, vymezená mnohostěny, vícenásobně souvislá oblast s dutinami). Postup modelování je prakticky stejný jako např. u programu Autocad. Geometrický model je možno vytvořit přímo v Autocadu a přenést ho do systému COSMOS jako soubor typu DXF.

Každý systém MKP obsahuje knihovnu různých typů konečných prvků, které lze většinou vzájemně kombinovat např. MASS (hmotný bod, 1 uzel, 6 stupňů volnosti), BEAM3D (nosníkový prvek), PIPE (trubka), TRIANG (zakřivený trojúhelníkový prvek), SHELL3 (trojúhelníkový skořepinový prvek) atd. Generování sítě konečných elementů se provádí parametricky nebo automaticky.

Zadávání materiálových parametrů se děje přímo v programu. Pro statistické výpočty uvažující lineární izotropní materiál, stačí zadat modul pružnosti E /označení EX/ a Poissonovu konstantu μ /NUXY/ nebo modul pružnosti ve smyku G /GXY/. Dále lze zadat α /ALPX/ teplotní roztažnost, λ /KX/ tepelnou vodivost, ρ /DENS/ hustotu atd.

Zadávání zatížení a okrajových podmínek se děje po vytvoření geometrického a prvkového modelu. Zadávané síly, posunutí, teploty, atd. se vztahují k prvkové databázi. Lze např. zadat zatížení tlakem, který působí na plochu a program sám vyhledá elementy, které na této ploše leží a každému z nich předepsané zatížení přiřadí.

Odstartováním vlastního výpočtu se začnou vytvářet matice tuhosti, hmot, vodivosti apod. a řešit soustavy algebraických nebo diferenciálních rovnic pro uzlové parametry (posuvy, teploty) nebo vlastní čísla (frekvence kmitání či kritická zatížení). Následující zpracování zahrnuje výpočet deformací, napětí a event. životnosti konstrukce.

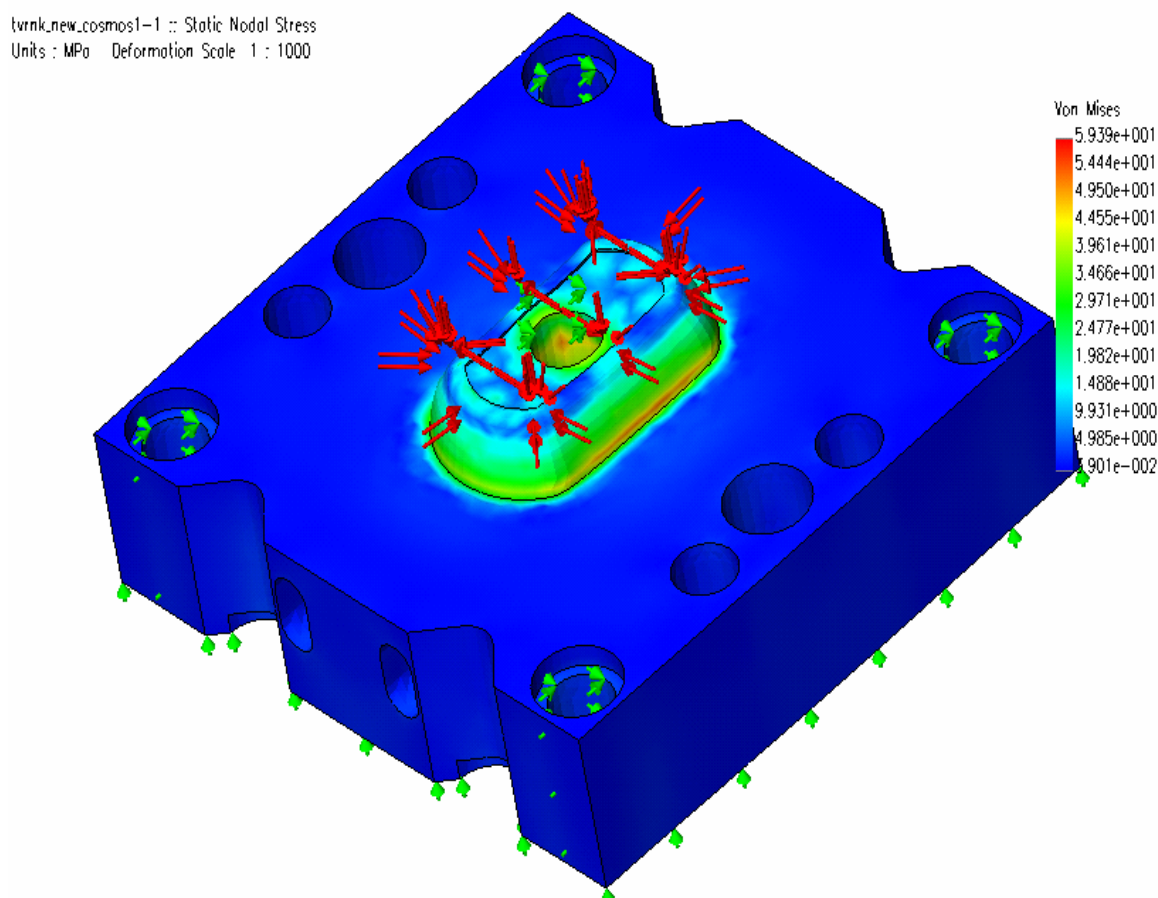
5.1 Mechanická analýza tvárnicku

Upravený model tvárnicku byl vytvořen v programu Inventor Autodesk 6 a odsud exportován do programu CATIE V5R13 ve formátu STEP. Odsud byl následně exportován ve stejném formátu do programu COSMOS Design STAR 3.0.

Po vytvoření příslušné studie byl modelu přidělen materiál z knihovny, pod označením alloy steel. Dalším krokem bylo zadat modelu okrajové podmínky, vzájemné vazby a zatížení. To je názorně vidět na obrázku 40. Model byl zatížen tlakem 40MPa. Tento tlak jsme zjistili z provedených tokových analýz viz. bod 3.4.1.

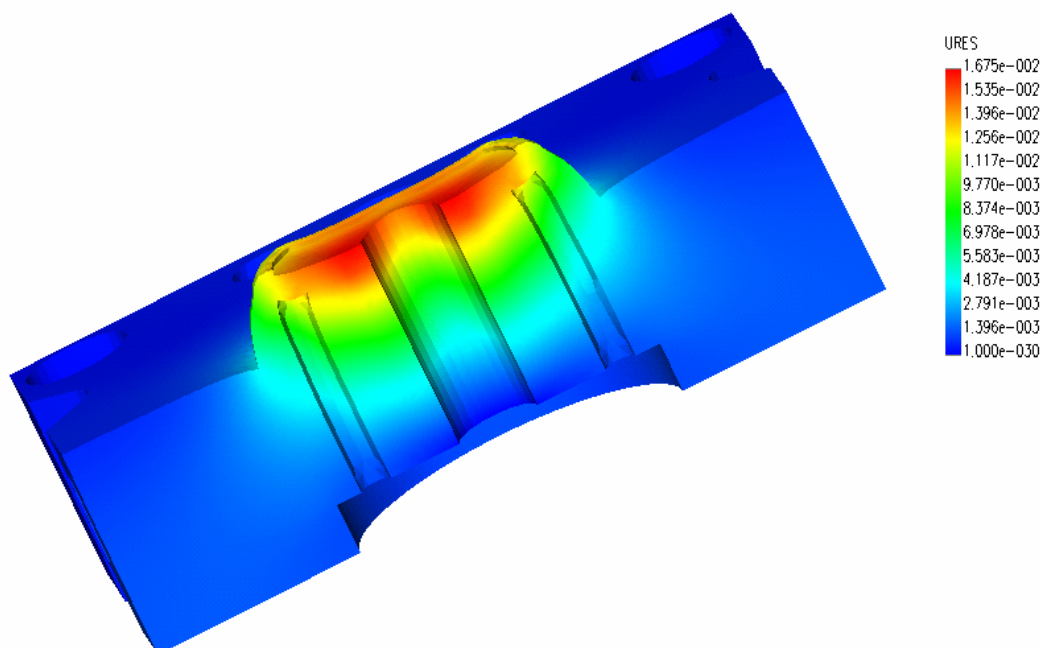
Průběhy napětí v jednotlivých částech tvárnicku jsou vidět na obrázku 41. V našem případě se jedná o velikosti srovnávacích napětí dle Von Misesa .

Velikost deformace (spíše posunutí) je patrna z obrázku 41. U obou obrázků jsou pro lepší názornost měřítko upravena na 1:1000.



Obr. 40. Průběhy napětí v tvárniku.

tvrnk_new_cosmos1-1 :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 1000



Obr. 41. Průběh deformace tvárníku.

5.2 Mechanická analýza tvárnice

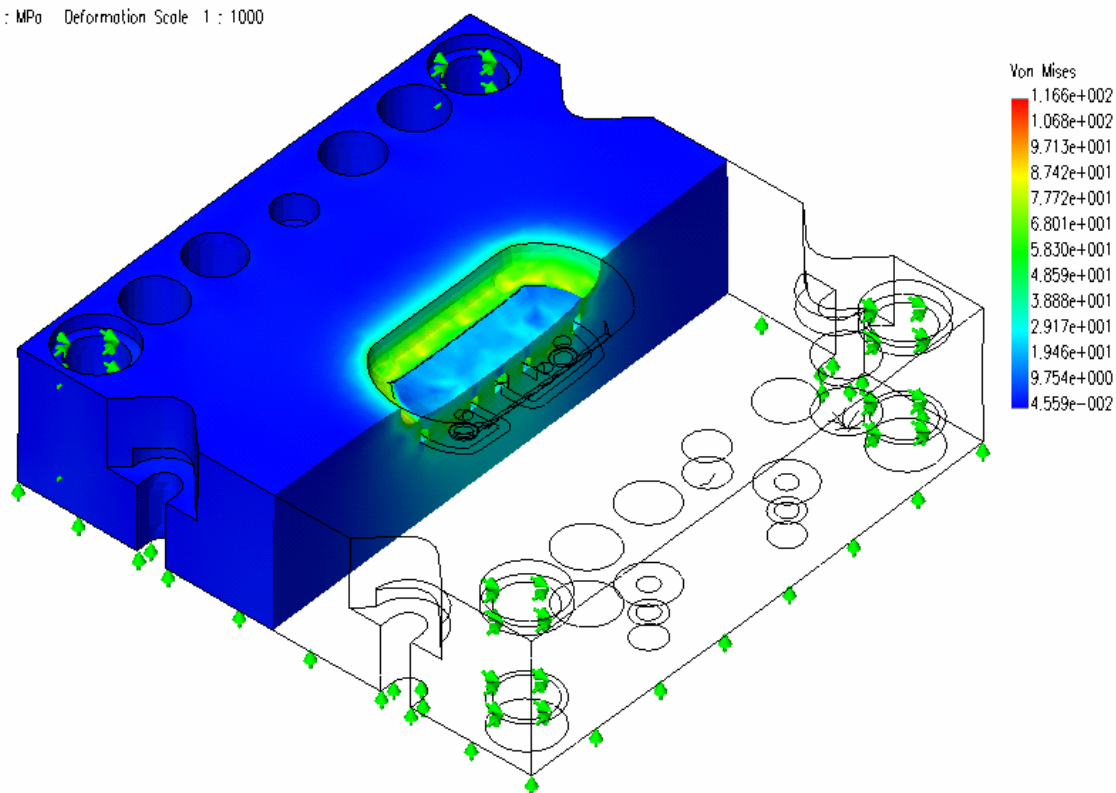
Dalším bodem bylo provedení pevnostní analýzy tvarové desky – tvárnice v programu COSMOS Design STAR 3.0. Model tvárnice byl vytvořen ze dvou částí. Jednalo se o desku tvarovou a do ní zakomponovanou vložku tvárnice. Vznikl model, který byl dále upraven tak, aby výsledky analýzy byly co nejpřesnější. Znamenalo to odstranění např. závitů a sražení děr, tyto profily jsou zpravidla zdrojem chyb.

Po vytvoření příslušné studie byl modelu přidělen materiál z knihovny, pod označením alloy steel. Dále pak byly zadány modelu okrajové podmínky, vzájemné vazby a zatížení. Tvarová dutina byla stejně jako v předchozím případě zatížena tlakem 40 MPa.

Průběhy napětí v jednotlivých částech tvárnice jsou zřejmé z obrázku 42. V našem případě nás zajímali velikosti srovnávacích napětí dle Von Misesa .

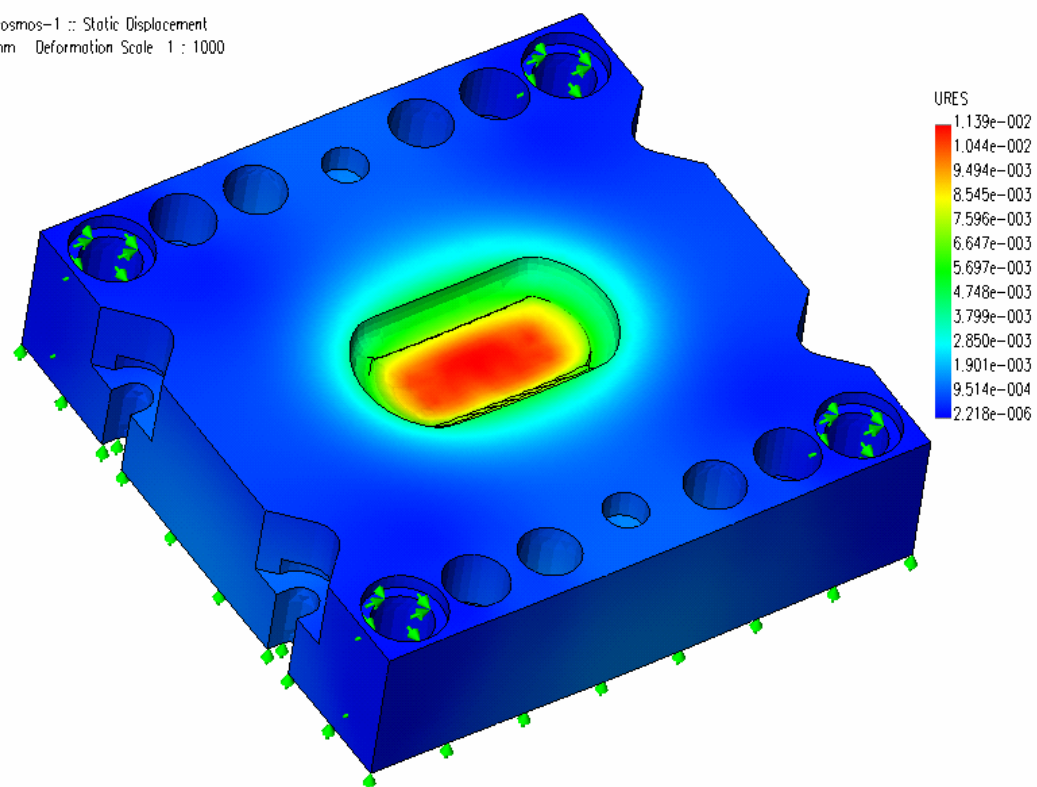
Velikosti deformace (spíše posunutí) v daných částech tvárnice jsou patrné z obrázku 43. U obou obrázků jsou pro lepší názornost měřítko upravena na 1:1000.

tvárnice-cosmos-1 :: Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 1000



Obr. 42. Průběhy napětí v tvárnici.

tvárnice-cosmos-1 :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 1000



Obr. 43. Průběh deformace tvárnice.

6 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Roční produkce daného výstřiku je 1 milion kusů. Při stávajícím cyklu 5,5 sekundy je potřeba 63 dnů, 15 hodin, 46 minut pro vyrobení požadovaného množství kusů. Při námi navrhnutém cyklu 3,2 sekundy je pro výrobu potřeba 37 dnů, 53 minut. Vznikne tak časová úspora o velikosti 26 dnů, 14 hodin, 52 minut. Finanční úspora na provozu stroje činí 95 850 Kč/rok, za předpokladu, že cena stroje je 150 Kč/hodinu. Úspora na jednom kusu je 9,585 halíře.

DISKUSE VÝSLEDKŮ

Při řešení problematiky konstrukce bylo vycházeno z požadavků zadavatele a ze stávající konstrukce formy. Požadavkem bylo vytvořit formu takovou, která zvýší produktivitu práce a zkrátí výrobní časy. Hlavní důraz byl zaměřen na systém temperanční. Při řešení bylo postupováno podle předem pečlivě vypracované literární studie.

Při volbě vstřikovacího stroje se vycházelo z požadavků zadavatele. Jedním z nich bylo, že výrobek bude vyráběn na vstřikovacím stroji ENGEL ES 60 SO, kterým firma disponuje. Násobnost formy pro výrobu víčka byla omezena přesně určeným typem vstřikovacího stroje, pro který má být forma vyrobena. V našem případě se tedy jednalo o formu jednonásobnou.

Jedním z požadavků na konstrukci bylo navrhnout řešení vrchní strany víčka bez stopy po vstřiku. Tato okolnost si vyžádala speciální konstrukci formy. Hlavní dělicí rovina byla tedy zvolena rovnoběžně s upínáním formy a kopíruje hlavní profil výstřiku. Dutina formy byla navržena tak, aby výstřik po otevření formy zůstal na tvárníku.

Bylo použito systému rychloběžného vstřikování, kdy cyklus výroby probíhá řádově v několika málo sekundách. Musel být použit vtokový systém s vyhřívanou tryskou. Důvodem pro použití vyhřívané trysky a vložky z normálií od firmy GÜNTHER byla velká šířka tvárníku.

Výstřik po otevření formy zůstává na straně tvárníku. Odsud je vyhozen pomocí stírací desky, která je ovládána dvěma hydraulickými válci a v krajní poloze je zajištěna dorazy. Pro snadnější odformování je na straně trnu použito dvou odvzdušňovacích ventilů z důvodu vytvářejícího se podtlaku.

Tvarová dutina se skládá celkem ze tří základních tvarových dílů. Na pravé nepohyblivé straně formy je umístěn tvárník, ve kterém je zakomponována vložka horkého vtoku a samotný horký vtok. Na levé straně formy je umístěna tvárnice, která tvoří současně kotevní desku levé strany formy a v ní vložená vložka tvárnice.

Způsob temperace levé strany formy je vyřešen pomocí kanálu. Důležitou připomínkou je přívod temperančního média přímo naproti vstřikovací trysce, z důvodu výskytu nejvyššího tepla. V případě temperance pravé strany formy byly uvažovány čtyři varianty. Jednalo se o chladicí okruhy s použitím přepážek, oválného kanálu, spirál

a teplosměnných trubic. Každá z variant byla rozdělena na dva samostatné okruhy. Nejlepší variantou se v našem případě ukázalo použití spirál.

V maximální míře bylo použito normalizovaných dílů, které mají dány materiálové i pevnostní vlastnosti od výrobce a jsou dány také platnou normou. Největší uplatnění našly normalizované součásti od renomovaných firem jako jsou HASCO, STRACK, GÜNTHER, DME, FESTO - z důvodu snížení ceny formy. Materiálové vlastnosti všech dílů jsou uvedeny v kusovníku, který je součástí výkresu sestavy.

Model plastového víčka byl podroben analýzám vstřikovacího procesu v programu Moldflow Plastics Insight 4.1 s akcentem na chlazení. Byly navrženy celkem čtyři varianty chlazení pro pravou stranu formy a jedna varianta pro stranu levou. Na pravé straně byly uvažovány způsoby chlazení pomocí mosazných přepážek, spirál, teplosměnných trubic a drážky. Jednotlivé návrhy jsou blíže popsány v bodech 3.2 až 3.3.4.

U všech analýz byla shodně nastaveny procesní podmínky. Teplota taveniny 270°C a teploty formy 60°C. Analýzy byly variovány se změnou doby vstřikovacího cyklu. Ten se skládal z doby plnění dutiny, doby dotlaku a doby chlazení. Výsledky namodelovaných soustav jsou přesně uvedeny v bodu 3.4.

Nejlepším návrhem byla chladicí soustava s použitím spirál. Byla tak určena na základě výsledků analýz a projevila se nejlepší účinností chlazení. Jsou vyrobeny z PA a dodává je na trh firma HASCO pod katalogovým označením Z968/12x125. Celkový počet spirál použitých v tvárníku je 14 kusů. Tento počet je rozdělen do dvou nezávislých okruhů po 7 kusech. Rozmístění spirál v dutině tvárníku je navrženo tak, aby docházelo k rovnoměrnému odvodu tepla z dutiny formy. Přívod chladicího média je realizován na obvodovou stranu spirály a vývod je tvořen průchozí dírou, která je vedena středem spirály. Propojení jednotlivých spirál zajišťují spojovací kanálky o rozměrech 4 x 4 mm. Přívodní kanály jsou o průměru 6 mm. Profil drážky spirály je obdélníkový a má rozměry 11 x 2 mm.

Součástí této práce je grafické vyhodnocení chladicí soustavy s použitím spirál. Důležitým výstupem této práce je skutečnost, že se nám podařilo namodelovat vstřikovací cyklus o délce 3,2s oproti stávajícím 5,5s. Jedná se tak o časovou úsporu 2,3s na jednom vstřikovacím cyklu. Z důvodu velké vytíženosti stroje navržený cyklus však nemohl být vyzkoušen v praxi, bohužel tak odpadla možnost porovnání teorie s praxí. Můžeme tedy alespoň konstatovat, že u nového návrhu jsme pozorovali pokles vstřikovacího tlaku

o 4,4 MPa i za snížení doby vstřiku z 1,2s na 0,8s. Teplota povrchu výstřiku při vyhození z formy se zvýšila z 59,61°C na 68,48°C. Nejvyšší teplota vhodná pro vyhození materiálu udávaná výrobcem je 115°C. Bylo dosaženo také snížení celkové deformace výstřiku z 1,271mm na 1,249 mm. Teplota chladicího média na výstupů byla u nového návrhu o 0,82°C vyšší. Tato hodnota vypovídá o lepším odvodu tepla z dutiny formy. Doba plnění klesla ze stávajících 1,466s na 0,9445s.

V našem případě byla parametrická forma víčka vytvořena v programu Autodesk Inventor 6. Jednalo se o sestavu vytvořenou ve 3D. Forma byla rozčleněna do několika podsestav. Základní podsestavu tvoří pravá strana formy. Spojená s podsestavou vyhazování, kterou tvoří stírací deska a celou formu uzavírá levá strana formy. Zvláštní podsestavu tvoří manipulační oko, které je přímo normalizováno dle HASCO pod označením Z70/1. Celá parametrická sestava formy, její podsestavy a jednotlivé díly jsou uloženy na příloženém disku. Cena formy byla odhadnuta na 750.000 Kč.

Tvarové části formy byly podrobeny pevnostním analýzám v programu COSMOS Design STAR 3.0, který využívá metody konečných prvků. Jednalo se o tvárník a sestavu tvárnice s tvarovou vložkou. Dutina formy byla zatížena tlakem, jenž byl zjištěn při řešení tokových analýz. Zadávaný tlak musí být větší jako maximální tlak v dutině formy. Napětí dle Von Misesse vyšlo u tvárníku 59,39 MPa a v případě tvárnice 116,6 MPa. Napětí materiálu 1.2343 na mezi kluzu $R_e = 1300$ MPa při teplotě 100°C. Deformace (velikost posunutí) byla spočtena na 0,01675 mm u tvárníku a u tvárnice a její vložky 0,01139 mm. Dovolená velikost posunutí byla stanovena na 0,02 mm. Všechny vygenerované hodnoty vyhovují požadovaným parametrům, uvažujeme-li koeficient bezpečnosti roven dvěma.

ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo navržení vstřikovací formy pro plastové víčko, které vyrábí firma Greiner packaging Slušovice s.r.o. Je používáno v potravinářském průmyslu. Materiál pro výrobu byl zvolen polypropylén od firmy Borealis s označením BH345MO.

V maximální míře bylo použito normalizovaných dílů, které mají dány materiálové i pevnostní vlastnosti od výrobce a jsou dány také platnou normou. Nejvíce byly použity součástky z normálí ČSN a dále od renomovaných firem HASCO, GÜNTHER, STRACK, DME a FESTO. Bylo tak učiněno z důvodu snížení ceny formy.

Model plastového víčka byl podroben analýzám vstřikovacího procesu v programu Moldflow Plastics Insight 4.1 s akcentem na chlazení. Byly navrženy celkem čtyři varianty chlazení pro pravou stranu formy a jedna varianta pro stranu levou. Nejlepším návrhem byla chladicí soustava s použitím spirál. Jsou vyrobeny z PA a dodává je na trh firma HASCO pod katalogovým označením Z968/12x125. Spirály byly dále tvarově upraveny. Tvarové části formy byly podrobeny pevnostním analýzám v programu COSMOS Design STAR 3.0, který využívá metody konečných prvků. Jednalo se o tvárník a sestavu tvárnice s tvarovou vložkou. Všechny vygenerované hodnoty vyhovují požadovaným parametrům.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Bobčík L. a Kol. Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. UNIPLAST, 1999, Brno.
- [2] Bobčík L. a Kol. Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. UNIPLAST, 1999, Brno.
- [3] Kryštof M., Konstrukce vstřikovací formy, UTB Zlín 1998.
- [4] Tomis F., Holštýn J., Formy a přípravky, VUT, 1985, Brno.
- [5] Henrych J., Weber A., Doležel J. : Standardizace rámců a součástí forem pro vstřikování termoplastů, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1986.
- [6] Vávra P. a Kol., Strojnické tabulky, SNTL, 1984, Praha.
- [7] Firemní katalog normálií HASCO
- [8] Firemní katalog normálií STRACK
- [9] Firemní katalog normálií GÜNTHER
- [10] Firemní katalog normálií DME
- [11] Firemní katalog normálií FESTO
- [12] Internetové stránky: www.greiner.cz
www.mouldandmatic.com
www.hasco.de
www.d-m-e.com
www.strack.cz
www.festo.cz
www.hotrunner.com
www.guenther-hotrunner.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

M_S	Vstřikovací objem stroje (gramáž) [g]
G	Hmotnost výstřiku [g]
A	Koeficient vtokového zbytku (bez vtoku se rovná jedné, jinak se pohybuje v rozmezí $1,05 \div 2$, větší hodnota platí pro malé výstřiky)
Q_p	Plastikační výkon stroje [kg/h]
t_c	Celková doba cyklu [s]
F_S	Uzavírací síla stroje [N]
S	Plocha dutin a kanálů v dělicí rovině kolmá na směr uzavírací síly [mm ²]
P_v	Vstřikovací tlak [MPa]
Q_R	Celková požadovaná produkce [ks]
t_s	Doba směny [hod.]
n_p	Počet pracovních dnů v roce
n_s	Počet směn za den
K_p	Provozní náklady formy [Kč]
N	Celková produkce životnosti formy [ks]
K_f	Míra amortizace formy
y_D	Maximální dovolený průhyb [mm]
l	Délka prohýbané části desky [mm]
y_{max}	Maximální průhyb desky [mm]
F	Síla deformující desku [N]
I	Kvadratický moment plochy desky [mm ⁴]
E	Tahový modul pružnosti materiálu desky [MPa]
h	Tloušťka desky [mm]
W_O	Ohybový modul průřezu [mm ³]

$M_{O,max}$	Maximální ohybový moment [N.mm]
p_{vs}	Tlak taveniny ve formě [MPa]
y_D	Maximální průhyb desky [mm]
F_R	Síla deformující rozpěrný sloupek [N]
F_T	Síla deformující tvarovou desku [N]
F_{Op}	Síla deformující opěrnou desku [N]
l_S	Délka rozpěrného sloupku [mm]
I_T	Kvadratický moment plochy tvarové desky [mm ⁴]
I_{Op}	Kvadratický moment plochy opěrné desky [mm ⁴]
E_R	Tahový modul pružnosti rozpěrného sloupku [MPa]
E_T	Tahový modul pružnosti tvarové desky [Mpa]
E_{Op}	Tahový modul pružnosti opěrné desky [MPa]
b	Šířka desky [mm]
h_T	Tloušťka tvarové desky [mm]
h_{Op}	Tloušťka opěrné desky [mm]
i	Počet rozpěrných sloupků
ν	Poissonovo číslo materiálu desky (pro oceli $\nu = 0,3$)
σ_x	Normálové napětí ve směru osy x (dle obr. 1) [MPa]
σ_z	Normálové napětí ve směru osy z (dle obr. 1) [MPa]
PA	Polyamid
R_e	Napětí na mezi kluzu [MPa]
MKP	Metoda konečných prvků

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vstřikovací forma.....	9
Obr. 2. Příklad zatížení desky.....	16
Obr. 3. Vtokový systém formy.....	21
Obr. 4. Základní typy vtokových ústí.....	22
Obr. 5. Vyhřívaná tryska.....	27
Obr. 6. Ústí trysky.....	28
Obr. 7. Stírací deska (kroužek).....	35
Obr. 8. Trubkové vyhazovače.....	35
Obr. 9. Výrobek.....	44
Obr. 10. Stírací deska.....	46
Obr. 11. Tvárník.....	47
Obr. 12. Tvárnice (kotevní deska levá).....	47
Obr. 13. Vložka tvárnice.....	48
Obr. 14. Upravená spirála.....	49
Obr. 15. Rozmístění spirál v tvárníku.....	50
Obr. 16. Ukázka křivek chladicího kanálu.....	52
Obr. 17. Soustava chlazení levé strany formy.....	54
Obr. 18. Chladicí soustava s použitím mosazných přepážek.....	55
Obr. 19. Chladicí soustava s použitím drážky.....	56
Obr. 20. Namodelovaná soustava chlazení s použitím spirál.....	57
Obr. 21. Namodelovaná soustava chlazení s použitím teplosměnných trubíc.....	58
Obr. 22. Doba plnění dutiny formy.....	62
Obr. 23. Tlak v dutině formy na konci cyklu.....	63
Obr. 24. Průběh tlaku v procesu vstřikování.....	63
Obr. 25. Teplota výstřiku při čase 3,285 s.....	64
Obr. 26. Průběh uzavírací síly.....	65
Obr. 27. Teplota povrchu výstřiku v době vyhazování.....	65
Obr. 28. Doba zamrznutí.....	66
Obr. 29. Teplota chladicího média.....	67
Obr. 30. Teplota stěny chladicího kanálu.....	67
Obr. 31. Celková deformace výstřiku, 20x zvětšená.....	68
Obr. 32. Deformace výstřiku vlivem chlazení, 20x zvětšená.....	69

Obr. 33. Deformace výstřiku vlivem smrštění, 20x zvětšená.....	69
Obr. 34. Deformace výstřiku vlivem orientace, 20x zvětšená.....	70
Obr. 35. Parametrický model víčka.	72
Obr. 36. Sestava pravé strany formy.....	73
Obr. 37. Sestava vyhazování.....	74
Obr. 38. Sestava levé strany formy.....	75
Obr. 39. Kompletní sestava formy víčka.	75
Obr. 40. Průběhy napětí v tvárníku.....	77
Obr. 41. Průběh deformace tvárníku.....	78
Obr. 42. Průběhy napětí v tvárnici.....	79
Obr. 43. Průběh deformace tvárnice.	79

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Materiálové vlastnosti PP BH345MO.	43
Tab. 2. Tabulka nastavených hodnot pro provedené analýzy v Moldflow Plastics Insight 4.1.	53
Tab. 3. Výsledné hodnoty analýzy nastavené dle základních parametrů.	59
Tab. 4. Výsledné hodnoty analýzy nastavené dle cyklu 6.	60

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Výsledné hodnoty analýzy nastavené dle základních parametrů.
- P II Výsledné hodnoty analýzy nastavené dle cyklu 6.
- P III Výrobní výkres víčka
- P IV Technická data vstřikovacího stroje ENGEL ES 60 SO
- P V Upínací deska vstřikovacího stroje ENGEL ES 60 SO
- P VI Technologický list
- P VII Výkres sestavy

- (4) Henrych J., Weber A., Doležel J. : Standardizace rámců a součástí forem pro vstřikování termoplastů, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1986