Konstrukce vstřikovací formy

Lukáš Obst

Bakalářská práce
2008

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš OBST**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy**

Zásady pro vypracování:

1) Vypracujte literární studii na dané téma
2) Nakreslete model plastového dílu ve 3D
3) Proveďte konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy v programu CATIA V5 pro daný plastový díl
4) Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

dle zadaní vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2008**

Termín odevzdání bakalářské práce: **6. června 2008**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2008

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta technologická
L.S.

doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo vypracovat literární studii na dané téma, navrhnout vstřikovací formu pro zadaný plastový díl, nakreslit plastový díl ve 3D a nakreslit sestavu v programu CATIA V5R16.

Zadaný plastový díl je držák světlometu do automobilů a z materiálu PBT-GF30.

Klíčová slova: Vstřikovací stroj, vstřikovací forma, dutina, HASCO, CATIA, plast.

ABSTRACT

The aim of this thesis was to elaborate a literary study on the topic, to design a mould for injection moulding of the given part, create a 3D model of the part and to create an assembly in CATIA V5R16.

The part is a automotive headlight holder manufactured from PBT-GF30.

Keywords: Injection moulding machine, mould, cavity, HASCO, CATIA, plastic.

Poděkování:

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Michalu Staňkovi PhD. za odborné vedení, trpělivost, ochotně poskytnuté rady a za čas, který mi věnoval při vypracování práce. Dále bych chtěl poděkovat Bc. Tomáši Vackovi za ochotné poskytnutí rady.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

.

Ve Zlíně

.....

Podpis diplomant

OBSAH

ÚVOD **7**
I TEORETICKÁ ČÁST **8**
1 VSTŘIKOVÁNÍ **9**
1.1 ROZDĚLENÍ PLASTŮ 9
1.1.1 Termoplasty 9
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ 10
1.2.1 Průběh vstřikovacího cyklu 11
1.2.2 Vstřikovací stroj – charakteristika 12
1.3 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ 13
1.3.1 Technické údaje pro konstrukci formy 13
1.3.2 Konstrukční návrh formy 15
1.3.3 Konstrukce formy 15
1.3.4 Zaformování výstřiku 16
1.3.5 Dimenzování tvarové dutiny 16
1.3.6 Povrch dutiny 17
1.3.7 Smrštění výstřiku 17
1.3.8 Vtokový systém 18
1.3.9 Studený vtokový systém 19
1.3.10 Horký vtokový systém 20
1.3.11 Vyhazování výstřiku 21
1.3.12 Odvzdušnění forem 22
1.3.13 Temperování forem 23
1.3.14 Materiály používané při výrobě forem 25
II PRAKTICKÁ ČÁST **27**
2 KONSTRUKCE FORMY **28**
2.1 VÝROBEK 28
2.2 KONSTRUKCE FORMY 29
2.2.1 Zaformování výstřiku 29
2.2.2 Odvzdušnění formy 29
2.2.3 Vtokový systém 29
2.2.4 Temperace formy 30
2.2.5 Dutina formy 31
ZÁVĚR **37**
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY **38**
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK **39**
SEZNAM OBRÁZKŮ **40**
SEZNAM TABULEK **40**
SEZNAM PŘÍLOH **42**

ÚVOD

První plast (dříve „umělá hmota“) byl vyroben roku 1862 britským chemikem Alexanderem Parkesem. Do té doby se používaly ke zhotovování nejrůznějších předmětů přírodní materiály jako dřevo, sklo, keramika, slonovina nebo jantar. Plasty tyto drahé materiály v mnoha případech plně nahradily a v mnoha dokonce předčili. Jsou pevné, za tepla dobře tvarovatelné, mají nízkou hustotu, na vzduchu jsou stálé a některé odolávají účinkům žíravin a chemikálií. Pro výrobu plastových dílů nejrůznějších tvarů se používá několika metod. Mezi nejrozšířenější je v poslední době vstřikování plastů do forem, dále pak vytlačování atd.

Vstřikování plastů je poměrně složitý tepelně-mechanický proces. Dovoluje velmi rychlou a přesnou výrobu plastových výrobku každodenní potřeby. Provádí se na vstřikovacích strojích. Hlavní součástí vstřikovacího stroje je forma, která udává vstřikovanému materiálu tvar, drsnost a další vlastnosti. Musí odolávat teplotním zatížením, velmi vysokým tlakům a zajistit snadné vyhození výrobku z dutiny formy.

Pro jednotlivé tvary výrobku se navrhuje a vyrábí každá forma zvlášť. Její složitost se odvíjí od složitosti výrobku. Pro zjednodušení práce a výroby se objevili firmy poskytující normalizované součásti. Mezi nejznámější patří firmy HASCO, D-M-E nebo STRACK. Jednotlivé díly vyrábějí ve velkých sériích se zaručeným tepelným zpracováním. Díky těmto firmám se stává výroba formy skládáním jako stavebnice.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování do forem je druhé nejrozšířenější zpracování plastů hned za vytlačováním. Při této metodě se dopraví roztavený materiál do dutiny formy určitým tlakem. Poté se ochladí a vyjme se již hotový výrobek. Výhodou tohoto způsobu zpracování je její automatizace, takže stroj dokáže vyrábět určitou dobu bez zásahu obsluhy.

1.1 Rozdělení plastů

Plasty jako materiál jsou látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci. Lze je rozdělit na dva základní druhy:

- termoplasty - mají řetězce přímé tzv. lineární polymery, nebo řetězce s bočními větvemi, tzv. rozvětvené polymery. Při ohřátí se uvolní soudržnost řetězců a hmota je dobře tvářitelná. Po ochlazení zůstanou ve tvaru, jaký byl vymodelován.
- reaktoplasty - též se nazývají termosety. Mají řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou síť. Při ohřátí je nelze tvarovat, dochází k zesíťování neboli vytvrzování plastu.

Při nadměrném ohřevu dojde k tzv. degradaci. Chemické vazby se přeruší a další zpracování takto přehřátého matriálu je bezpředmětné. [1]

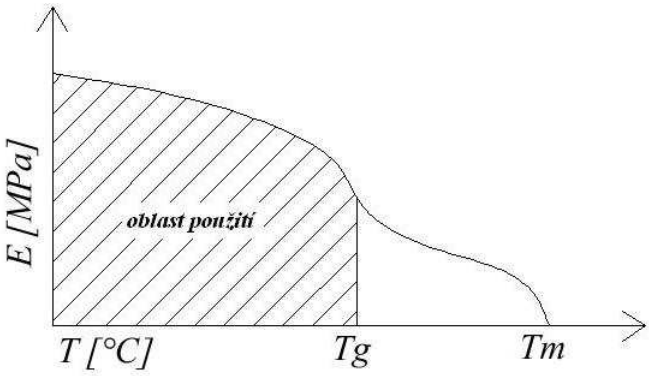
1.1.1 Termoplasty

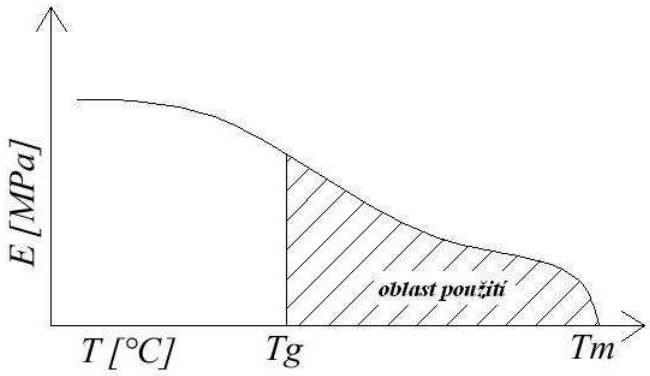
Z jednotlivých skupin plastů jsou nejrozšířenější termoplasty. Tyto lineární či rozvětvené polymery jejichž řetězec tvoří jen jeden druh základní chemické skupiny se nazývají homopolymery. Polymery, jejichž řetězec je složen z více základních druhů chemických skupin se nazývají kopolymer. Z hlediska vnitřní struktury jsou termoplasty děleny na:

- amorfní – jejich řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány,
- semikrystalické – podstatná část řetězců je pravidelná a těsně uspořádaná a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfní uspořádání.

Využitelnost výrobku z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (Tg). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad Tg postupně slábnou kohezní síly a plast přechází k plastické až viskózní oblasti, kde se zpracovává.

U semikrystalických plastů jsou části makromolekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfní oblasti, potom i ostatní. To je doprovázeno značným objemovým nárůstem. Rozdíl obou typů termoplastů je patrný z obr. 1. [1]





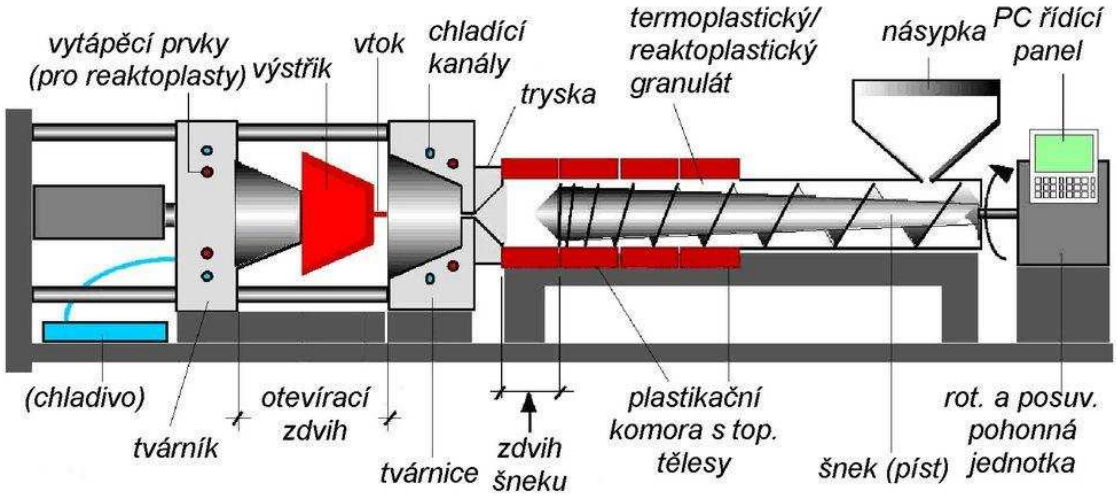
Amorfní plasty	Tg (°C)
PS	90-100
hPS	90
ABS	105-115
SAN	115
tr. PVC	85
PMMA	100
mod. PPO	120-140
PC	144
PSU	187
PESU	225
mod. PC	205
PI	300

Semikrystalické plasty	Tg (°C)
PE	-80
PP	-20
Hom. PE	-50
PT PE	-60
Kopol. POM	-113
EVA	-80
PBT	+60
PA 6	+45

Obr. 1. Oblast využití amorfních a semikrystalických plastů

1.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj slouží k roztavení granulovaného materiálu, který je v násypce, zhomogenizování a následnému vstříknutí do dutiny formy. Forma se dělí z funkčního hlediska na tři základní části: ovládání a řízení stroje, uzavírací jednotku a vstřikovací jednotku. [11]

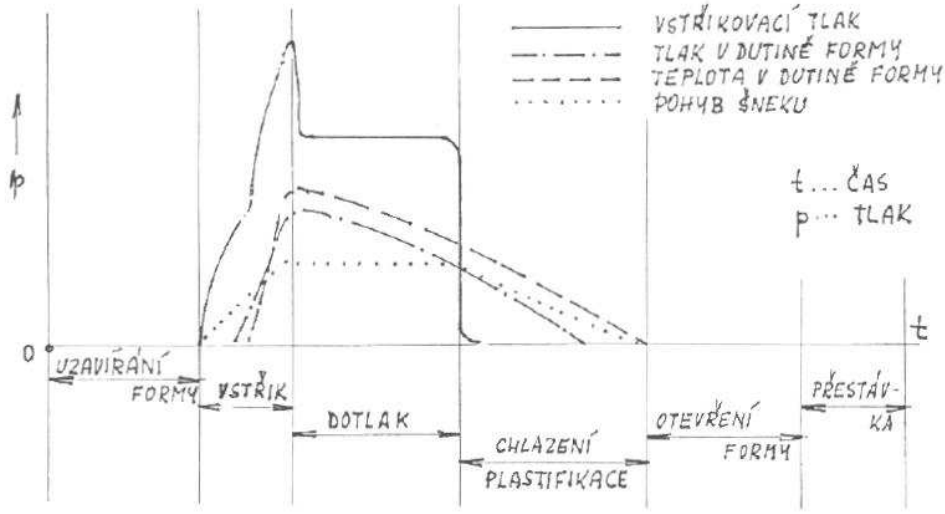


Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje

1.2.1 Průběh vstřikovacího cyklu

Před vstříknutím taveniny do formy se musí patřičně připravit. Příprava spočívá v temperaci, vložení zálisků, závitových jader apod.

Temperance formy závisí na typu zpracovaného plastu, tvaru a tloušťce stěn výrobku. Vytemperovaná a upnutá forma ve stroji je uzavřena uzavírací silou. Její velikost je volena tak, aby se forma neotevřela při vstřikování. Uzavírání formy je proces poměrně rychlý, jen před stykem polovin formy se zpomalí. Po uzavření formy dojde k přijetí vstřikovací jednotky a následnému vstříknutí polymeru do dutiny formy. Následuje dotlak, který trvá do doby, kdy zamrznou vtokové kanály. Po jeho skončení se vstřikovací jednotka vrátí do původní polohy. Průběh cyklu je schématicky znázorněn na obr. 3.



Obr. 3. Vstřikovací cyklus v závislosti na tlaku vstřikovacího stroje

V průběhu vstřikování se musí zvolit celá řada parametrů:

- velikost dávky taveniny
- teplota taveniny
- velikost a doba působení vstřikovacího tlaku
- vstřikovací rychlost
- dotlak
- otáčky šneku a jeho zpětný chod
- chlazení

Jednotlivé zpracovatelské parametry se při zkušebním provozu nastaví podle plastem požadovaných hodnot s korekcemi získaných zkušenostmi a s ohledem na tvar formy.

1.2.2 Vstřikovací stroj – charakteristika

V současné době existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se liší svými provedeními, stupni řízení, stálosti a reprodukovatelností jednotlivých parametrů. Konstrukce je charakterizována podle:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje.

Vstřikovací jednotka: Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90% kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva pro doplnění úbytku smrštěním. Optimálně je doporučováno 80%.

Uzavírací jednotka: Ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření a případné vyhození. Velikost uzavírací síly je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a ploše vtoků v dělící rovině. Hlavní části uzavírací jednotky jsou:

- opěrná deska
- upínací deska
- vodící sloupky
- uzavírací mechanismus

Ovládání a řízení stroje: Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výrobky výstřiku. Řízení se proto musí zajistit vhodnými řídícími a regulačními prvky. [1]

1.3 Formy pro vstřikování plastů

Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Její dobrá kvalita plní požadavky:

- technické – zaručují správnou funkci, která musí vyrobit požadovaný počet výrobku v náležité kvalitě,
- ekonomické – nízká pořizovací cena, využití plastu

společenskoestetické – umožňují vytvářet vhodné prostředí při bezpečné práci

1.3.1 Technické údaje pro konstrukci formy

Pro vyhotovení výkresové dokumentace je třeba znát mnoho technických údajů. Nejdůležitější přehled viz obr. 4.

Obr. 4. Technické údaje pro konstrukci a výrobu formy

Výkres součásti – musí definovat tvar, stupeň přesnosti a úchylek, jakost povrchu, materiál součásti.

Násobnost formy – optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, které ovlivňují:

- přesnost výstřiku,
- požadované množství,
- kapacita vstřikovacího stroje,
- ekonomika výroby.

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, se většinou vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. Výroba rozměrově přesných součástí zavádí další faktor chyb. Nerovnoměrná teplota formy i plastu při plnění jednotlivých dutin, nestejné vstřikovací tlaky, rozdílné dráhy vtoků apod. způsobují další rozměrové nepřesnosti.

Velikosti vstřikovacího stroje se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem i uzavírací silou musí dostatečně a s rezervou naplnit bezpečnou uzavřenou formu.

Volba optimálního vstřikovacího stroje – jeho volbu určují:

- hmotnost a rozměry vyráběného dílu,
- požadovaná přesnost a kvalita dílu,
- velikost formy.

Navržený stroj proto musí splňovat:

- dostatečnou vstřikovací kapacitu,
- dostatečnou uzavírací sílu,
- vhodnou koncepci stroje.

Zvláštní požadavky na konstrukci forem

Pokud pro zákazníka běžné požadavky nejsou vhodné, doplní je svými speciálními. Obvykle mají urychlit, případně zlevnit výrobu. Takovým zvláštním příslušenstvím bývá využití typizovaných rámů forem, nasazení vyhřívané trysky, vyšší automatizace při vstřikování, robotizace apod. [1]

1.3.2 Konstrukční návrh formy

Jsou-li všechny potřebné technické údaje pro návrh k dispozici, následuje vypracování konstrukčního návrhu formy. Ten předchází vlastní konstrukci. Je vyžadován jako podklad pro konstrukci, posouzení pracnosti a stanovení nákladů na formu.

Taková činnost představuje:

- posoudit tvar a rozměry dílu – základní podklad pro konstrukci formy,
- zaformování výstřiku a určení dělící roviny – určuje charakter a druh plastu.

Z takto vyhodnocené a umístěné tvarové dutiny téměř vyplyne koncepce formy. Doplňujícím faktorem je násobnost formy, vyhazovací a temperanční systém, vratná a vodící funkce formy.

Takto vypracovaný konstrukční návrh formy je podkladem pro konstrukci a pro vypracování cenové nabídky. [1]

1.3.3 Konstrukce formy

Výkres součásti společně s konstrukčním návrhem jsou podkladem pro konstruktéra. Konstrukce má pak následující postup:

a. Posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Nezanedbávat úpravy ostrých hran a rohů – vyvolávají obtížné plnění a vyhazování výrobku.

b. Upřesnění dělící roviny a způsobu zaformování výrobku s ohledem na funkci a vzhled.

c. Dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikosti průřezů, tvarů a délky rozváděcích kanálků.

d. Stanovení koncepce vyhazovacího a temperančního systému, odvzdušnění formy.

e. Navržení rámu formy s ohledem na předchozí body.

f. Vhodné uspořádání, středění a upínání formy na stroj.

g. Kontrola funkčních parametrů formy. Nastavení vstřikovacího a uzavíracího tlaku a další faktory s ohledem na použitý stroj.

h. Celá koncepce musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle požadavků. [1]

1.3.4 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělící roviny náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměr výstřiku i ekonomiku výroby.

Dělící rovina je zpravidla rovnoběžná s upínáním formy. Může být šikmá i různě tvarovaná, v případech vytváření bočních otvorů ve výstřiku jsou hlavní a vedlejší roviny. Výroba formy s větším počtem dělících rovin je složitější. Nepřesnost v dělící rovině má za následek nedovření formy a vznik otřepů nebo zvětšení výstřiku.

Je třeba také přihlédnout k tomu, že dělící rovina hraje důležitou roli při odvzdušňování formy.

1.3.5 Dimenzování tvarové dutiny

Tvar a rozměr funkčních dílů, které jsou převážně umístěny v různých částech formy, tvoří po jejím uzavření tvarovou dutinu. Její dimenzování hraje důležitou roli konstrukčního řešení. Chybně dimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměrů výstřiku.

Povrch a rozměr výstřiku jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy, která je obvykle složena z tvárnice, tvárníku, jader a tvarových vložek.

Nejčastější příčinou chybného dimenzování rozměrů je především nepřesný odhad smrštění plastu. Smrštění se pohybuje od 0,2 až 6% podle složení polymeru. [1]

1.3.6 Povrch dutiny

Povrch dutiny formy určuje vzhled výstřiku. Vysoké nároky na jakost povrchu ovlivňují pracnost i funkčnost formy. Funkční plochy v dutině formy se vyrábějí jako:

- matné - jsou výrobně jednodušší,
- lesklé – vyžadují nákladnou a náročnou technologii,
- dezénové – po celé dutině, nebo po její části je speciální úprava.

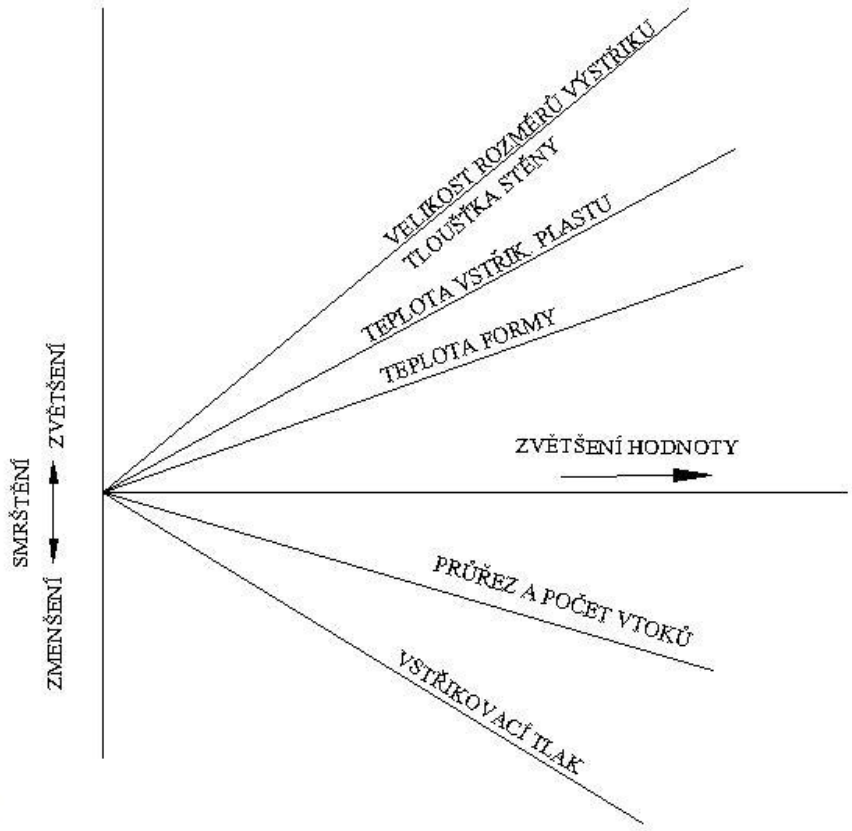
Nejčastější výrobní technologií dutiny formy je elektroerozivní obrábění. Hrubost obrobeného povrchu je nastavitelná elektrickými veličinami. [1]

1.3.7 Smrštění výstřiku

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny a skutečným rozměrem výrobku. Jeho velikost závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činidlech.

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. Velikost smrštění nemusí být ve všech směrech stejná.

Velikost smrštění je ovlivněna vlastností plastu, tvarem výstřiku, technologii vstřikování, ale i vstřikovací formou (vtokovou soustavou a teplotou chlazení). Na obr. 5. je znázorněn vliv těchto faktorů na jeho velikost. [2]



Obr. 5. Vliv jednotlivých faktorů na velikost smrštění

1.3.8 Vtokový systém

Vtokový systém zprostředkuje průtok taveniny do dutiny formy. Ztuhlý materiál ve vtokovém systému se pak nazývá vtokový zbytek. Tendence je tento zbytek minimalizovat, případně úplně odstranit.

Rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. U vícenásobných forem musí tavenina dorazit ke všem dutinám současně za stejného tlaku.

Při volbě vtokového systému se vychází z toho, že tavenina je do studené formy vstříknuta velikou rychlostí. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita na

vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed. Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Za tohoto stavu se zaplní celá forma.

Vtokové systémy se rozdělují na dvě skupiny:

- studené vtokové systémy,
- horké vtokové systémy.

1.3.9 Studený vtokový systém

Dráha toku musí být co nejkratší, aby nedocházelo k tuhnutí materiálu příliš brzy. Ke všem dutinám formy musí být dráha stejně dlouhá a tím se zajistilo rovnoměrné plnění. Vyústění vtoku do dutiny, jeho průřez, poloha a počet ovlivňují velikost pnutí a existenci míst se sníženou pevností (studených spojů), kde vlivem částečného ochlazení taveniny a jejím vzájemným setkáním již nedojde ke kvalitnímu spojení. Průřez kanálů by měl být dostatečně veliký, aby byla jistota, že po vyplnění dutiny bude jádro ještě v plastickém stavu a bude možné působení dotlaku. U vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost proudění taveniny.

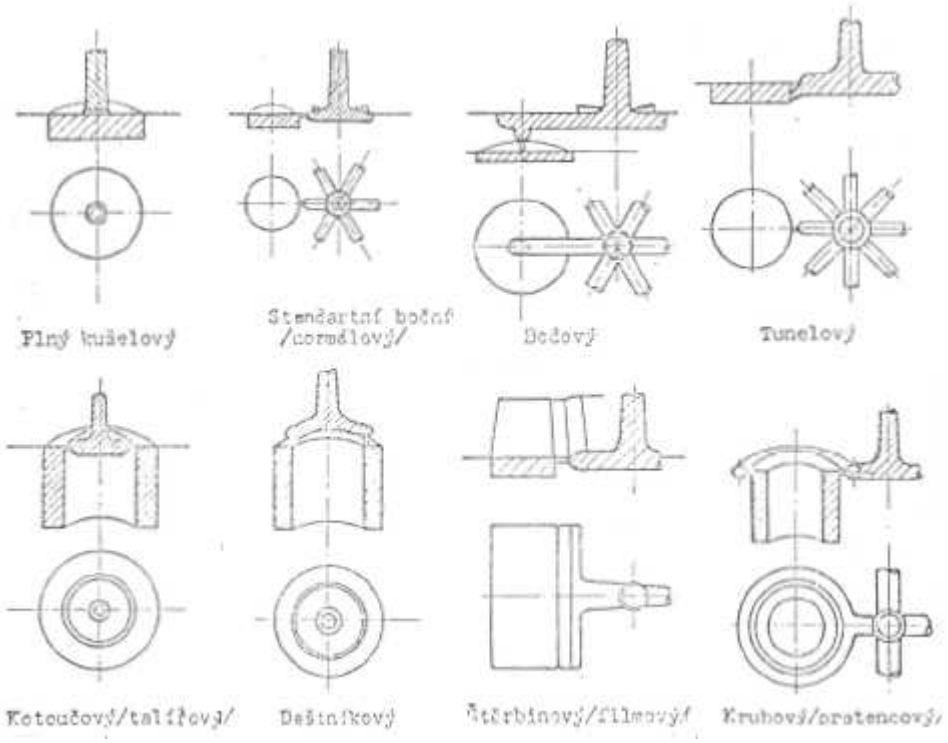
Nejobvyklejším tvarem vtokového kanálu je kuželový kanál vytvořený uvnitř vtokové vložky. Průměr vtokového kanálu na straně trysky stroje je minimálně o 0,5 až 1 mm větší, než je průměr otvoru trysky vstřikovacího stroje. Na opačné straně má být největší průměr kanálu větší o 1,5 mm, než je největší tloušťka výstřiku. Povrch kanálů je leštěný s drsnosti Ra 0,1.

Velikost průřezů se určuje s ohledem na:

- charakter výstřiku – tloušťka stěn, předpokládaná doba dotlaku,
- tepelné a reologické vlastnosti – viskozita tepelná vodivost apod.,
- parametry vstřikovacího stroje – vstřikovací tlak, rychlost apod.

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Ve výjimečných případech je použit plný nezúžený vtok. 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. Vtokové ústí se volí v závislosti na charakteru výstřiku, plastu a technologickou vstřikování co nejmenšího průřezu. Tvar bývá štěrbinový pro ploché vý-

střiky, nebo kruhový pro rotační a jiné díly. Při konstrukci se volí menší vtokové ústí, které se případně po zkouškách může upravit. [1]



Obr. 6 Základní typy vtokových ústí

1.3.10 Horký vtokový systém

Horké vtokové systémy představují velice rozsáhlou technologickou část z obvyklých vtokových systémů. Na jejich vývoji se podílí konstruktéři, formaři, producenti normálií a dodavatelé materiálů.

Snaha po úsporách materiálů i práce vede k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomocí vyhřívaných vtokových systémů. Vyhřívané vtokové systémy mají vyhřívané trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku a teploty v systému s optimálním tokem taveniny.

Rozhodující pro výběr vhodného vtokového systému je často vstřikovaný materiál. V dnešní době mohou být téměř všechny materiály vstřikovány se systémem horkých vtoků. Horké vtoky nabízí mnoho výhod ve srovnání se studenými vtoky. Výhody ekonomické i technologické.

Ekonomické výhody:

- úspora materiálu odpadnutím vtokových zbytků,
- krátké vstřikovací cykly,
- přijatelné malé stroje – dávka taveniny je pouze objem výstřiku,
- používání normalizovaných částí.

Ekonomické nevýhody:

- při spouštění více zmetků,
- pracnost při navrhování formy,
- vyšší náklady formy (vytápění, čidla…),
- náročnější obsluha.

Technologické výhody:

- jednodušší automatizace procesu – odpadá vyhazování vtokových zbytků,
- průměr vtoku je schopen udržet větší tlak.

Technologické nevýhody:

- nebezpečí degradace materiálu,
- nestejnosměrné teplotní rozdělení a tudíž nestejnoměrné plnění,
- žádná tlaková kontrola ústí vtoku. [1]

1.3.11 Vyhazování výstřiku

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí hotový výrobek. Vyhazovací systém tímto zajišťuje automatický výrobní cyklus.

Vyhazování má dvě fáze:

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

Základní podmínkou dobrého vyhazování je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho příčení, a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění, rozložení a tvar vyhazovačů může být velmi rozmanité. Vyhazovače lze použít i jako část tvárníku, nebo pro vytvoření funkční dutiny.

Po vyhazovacích kolících zůstanou obyčejně na výstřiku stopy. Jsou-li závadou, výstřik se upraví, aby nebyli. Je možné změnit způsob vyhazovaní, ale v takovém případě je nutné počítat se změnou koncepce celé formy.

Nejrozšířenějším typem je mechanické vyhazování. Používá se všude tam, kde je to jen trochu možné. Jeho konstrukce má různá provedení:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků,
- vyhazování pomocí stírací desky,
- šikmé vyhazování,
- postupné vyhazování,
- speciální vyhazování.

1.3.12 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotové formy, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku.

Dutina formy je před vstřikováním zaplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu. Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně zahřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (spálené místo na výstřiku). Toto obyčejně není přípustné.

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

Při určitém technologickém stavu a větších tloušťkách stěn výstřiku může vzduch, který nemá možnost být z formy vytlačen, vniknout do taveniny a po zchladnutí v ni zůstává jako bubliny. Obyčejně jsou ve výstřiku rozloženy na protilehlé straně vtoku.

Umístění odvzdušnění ve formě někdy bývá zřejmá z tvaru výstřiku, jindy však je jen obtížně zjistitelná. Je třeba se řídit úvahou, jakým způsobem a směry naplní proudy taveniny dutinu. V mnoha případech jsou naproti vtoku vyhazovače, které mají určitou vůli a touto mezírkou dojde k dostatečnému odvzdušnění. Pokud je tento způsob nedostatečný, je třeba výroba odvzdušňujících kanálků. Jejich ústí se konstruuje naproti vtoku.

Je třeba dodat, že stopy o odvzdušnění jsou někdy na výstřiku viditelné. Tam, kde nejsou přípustné vzhledové vady, je nutné se postarat o to, aby na vzhledové ploše k defektům nedošlo. [2]

1.3.13 Temperování forem

Temperance slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, nebo její části.

Během vstřikování 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 forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase za stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo odvádět.

Některé plasty se zpracovávají při větších teplotách formy (PC až 120°C). V takovém případě jsou tepelné ztráty větší, než ohřátí taveninou a musí se naopak vyhřívat.

Proto je úkolem temperance:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši,
- odvést teplo z dutiny formy, aby pracovní cyklus měl ekonomickou délku.

Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy se záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění plastu. V tabulce jsou udány požadované teploty formy při zpracování plastů.

Tab. I. Teploty formy pro vstřikování

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
PE-HD	180-270	20-60
PE-LD	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PEEK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

Ohřívání, případně ochlazování formy na předepsanou teplotu záleží na energetické bilanci formy i okolního prostředí. Teplo se z formy přivádí (odvádí) především temperačním systémem. Mimo toho se projeví ztráty tepla z formy vedením do upínacích ploch vstřikovacího stroje, odvodem tepla okolním vzduchem a také vyzářením do okolí.

Temperanční systém je tvořen soustavou kanálků a dutin, kterými proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu na požadované výši. U forem, kde je nutné naopak vyhřívat se používá většinou elektrického vytápění.

Rozměry a rozmístění temperančních kanálů se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálů od funkčních dutin má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěn dutin. Je vhodnější používat větší počet menších kanálů s malými roztečemi, než naopak. Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. V oblasti tlustší stěny výrobku, případně v jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přiblíží k dutině formy.

V praxi se ve velké míře navrhují temperační systémy na základě zkušeností konstruktéra. V dnešní době se ale častěji využívá simulačních programů, které poskytují možnosti sledovat tepelné děje ve formách.

Temperační media se rozdělují na:

- aktivní – působí přímo ve formě, teplo přivádí, nebo odvádí,
- pasivní – svými fyzikálními ovlivňují tepelný režim.

Aktivní prostředky představují kapaliny, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály. Dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. Používá se voda, která má vysoký přestup tepla, nízkou viskozitu a cenu a je ekologicky nezávadná. Je však použitelná pouze do 90°C, zapříčiňuje vznik koroze a usazování kamene. Těmto negativním jevům lze předejít úpravou vody. Dále se používají oleje, které jsou schopny temperovat i nad 100°C, ale mají zhoršený přestup tepla a jsou ekologicky závadné a glykoly, které omezují korozi a ucpávání systému, ale zapříčiňují stárnutí a znečišťování prostředí.

Topných elektrických článků se využívá především k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou v případě, kdy jsou ztráty do okolí větší, než teplo dodané vstřikováním. Používají se topné patrony a prstencová topná tělesa.

Při jejich instalaci je třeba dbát na to, aby aktivní povrch topného tělesa byl vždy v těsném kontaktu s povrchem formy. Dokonalejší, ale technicky náročnější je zalití topných těles do daného dílce formy. Pro umístění topných článků platí podobné pravidlo jako pro temperanční kanály. [2]

1.3.14 Materiály používané při výrobě forem

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. Významným činidlem pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn:

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

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí a

rozměrů. Z toho se dává přednost materiálům s širokým rozsahem užitečných vlastností. Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů,
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé…).

Oceli jsou daleko nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen těžko nahradit.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 KONSTRUKCE FORMY

2.1 Výrobek

Výrobek, pro který byla zkonstruována forma v programu Catia je držák ke světlometům automobilu. Výrobek byl zadán vedoucím bakalářské práce.

Obr. 7. Výrobek

Materiál byl navržen zadavatelem. Jedná se o Polybutylentereftalát s 30% příměsí skelných vláken. Označení materiálu je tedy PBT-GF30. Tento materiál lze použít pro vstřikované funkční součástky do hmotnosti 16000g.

Je tuhý, pevný i při snížených teplotách. Lze krátkodobě používat v rozmezí +210 °C až -50°C. Surovina pro výrobu je Ultradur B4300 G6.

Po 20 000 hod používání ztrácí 50% pevnosti v tahu. Další vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce. [11]

Tab. II. Obecné vlastnosti materiálu

Hustota	1,53 g/cm3
Pevnost v tahu	130 Mpa
Tažnost	2,50%
Modul pružnosti v tahu	10000 Mpa
Tepelná vodivost	0,27 W/Km
Teplota tavení	225 °C
Max. krátkodobá teplota	210 °C
Max. dlouhodobá teplota	140 °C
Min. teplota použití	-50 °C
Nasákavost (norm. podm.)	0,12%
Nasákavost při vlhkosti	0,35%

2.2 Konstrukce formy

Konstrukce formy by měla být řešena s ohledem na složitost výstřiku a přesnost co nejjednodušeji. Při vlastní konstrukci je žádoucí používat normálie, aby se výroba zjednodušila a zlevnila.

Forma byla zadána jako čtyřnásobná s horkým vtokem a prizmatickými vyhazovači.

2.2.1 Zaformování výstřiku

Určení dělící roviny je bezesporu nejdůležitější částí na vlastní konstrukci. Tato rovina se volí rovnoběžně s upnutím formy na vstřikovací stroj a probíhá po hranách výstřiku.

Dutina formy je konstruována tak, aby při vstříknutí a otevření formy zůstal výstřik na straně tvárníku, a mohl být vyhozen vyhazovacím systémem. Tento předpoklad je splněn, protože výstřik zůstane na drážkách, které jsou uvnitř.

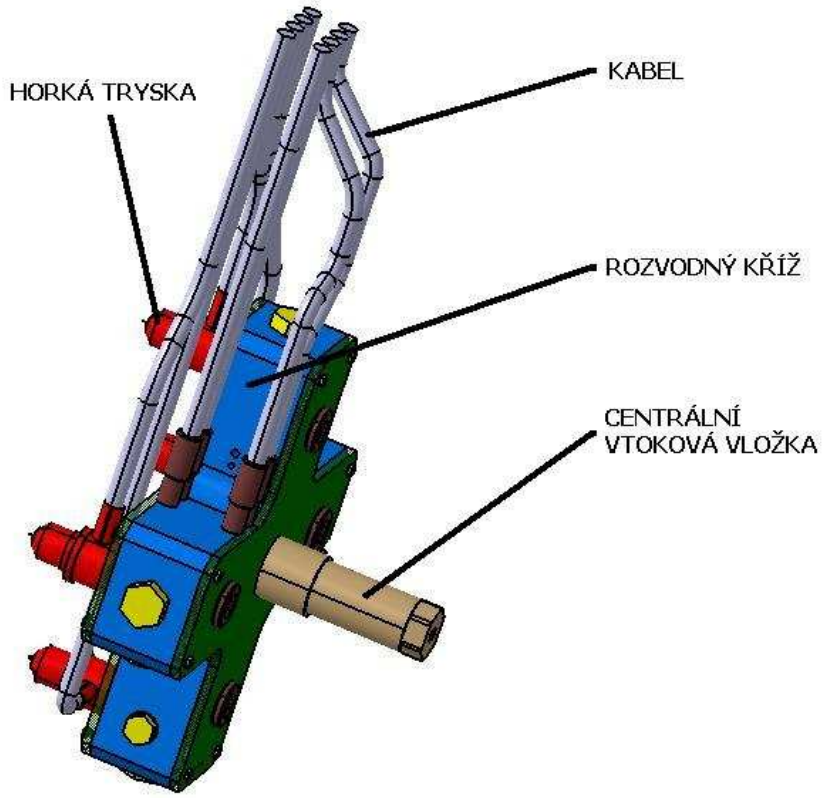
2.2.2 Odvzdušnění formy

Při vstříknutí plastu vzniká obrovský tlak a dochází ke stlačení vzduchu ve formě. Tento vzduch se silně ohřívá a je nutné ho z dutiny odvézt. Pokud by se neodvedl, mohl by na výstřiku zanechat stopy, které nejsou žádoucí. Proto je třeba při navrhování pamatovat na odvzdušnění formy. Při prvních zkušebních výstřicích bude zjištěno, zda je odvzdušnění vůlemi u vyhazovačů a vůlí v dělící rovině dostačující. Pokud by nestačily, je potřeba do tvárníku vyfrézovat odvzdušňující kanálky. Ústí jednoho do dutiny formy by bylo proti vtoku a druhé na protilehlé straně výstřiku. Odvzdušňující kanálek má průřez obdélníku. Pro materiál použitý na zadaný výrobek je vhodná hloubka mezery odvzdušňujícího kanálku do 0,03 mm. Šířka kanálku se upravuje po dalších zkouškách výstřiku.

2.2.3 Vtokový systém

Vtokový systém zajišťuje při výstřiku dopravu materiálu do dutiny formy. Naplnění dutiny by mělo proběhnout v nejkratším možném čase.

Do formy byl zadán systém horkých vtoku. Tento systém zajišťuje přesné a rychlé dávkování materiálu bez vtokových zbytku, protože je celý systém vytápěný. Systém je složený z normálií HASCO, aby se výroba zjednodušila a zlevnila.



Obr. 8. Vtokový systém

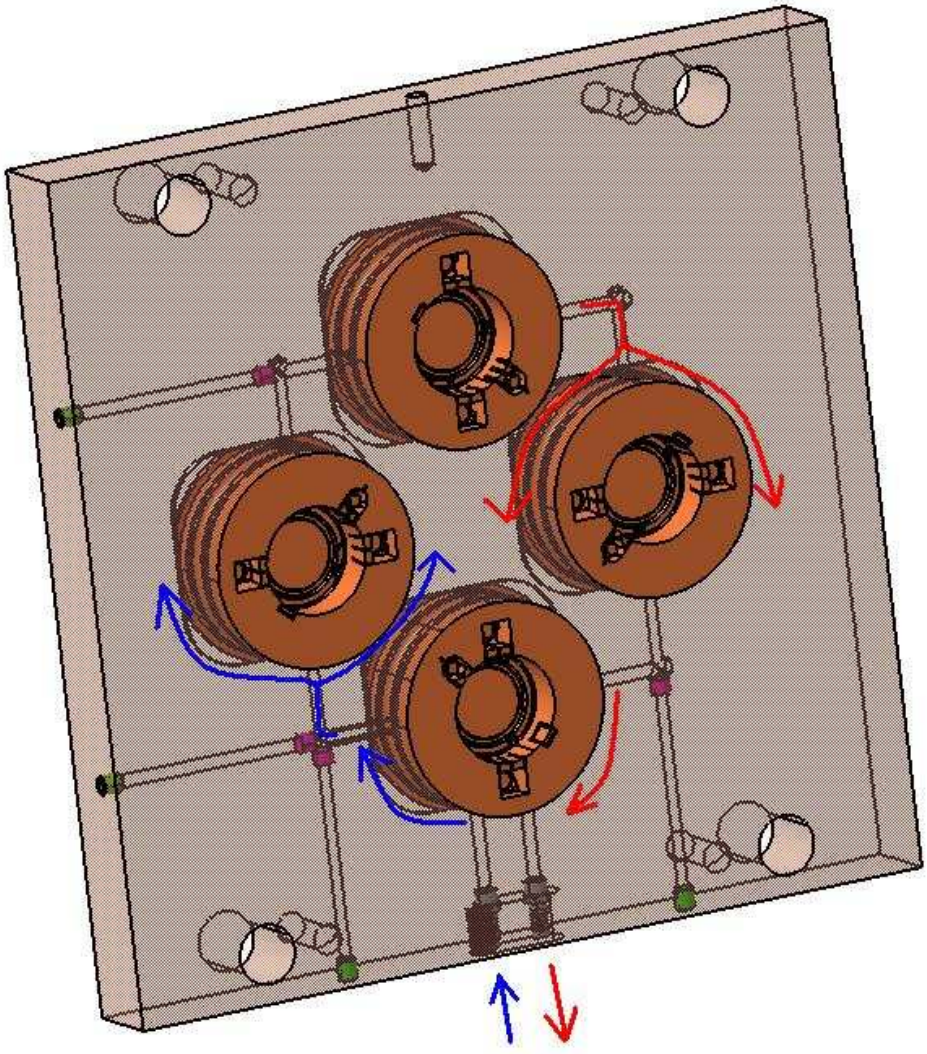
Protože je systém horkých vtoků vytápěný na vstřikovací teplotu materiálu, je nutné pro rychlou výrobu tvárník a tvárnici chladit.

2.2.4 Temperace formy

Ohřívání, popřípadě ochlazování formy na předepsanou teplotu záleží na tepelné bilanci formy a okolí. Teplota formy stoupá a klesá podle fáze, ve které se nachází. Při vstříknutí materiálu prudce stoupne a poté pozvolna klesá. Kolísání teplot by mělo být co nejmenší. Proto musí být ve formě systém chlazení.

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálků a dutin, kterými proudí vhodná kapalina. Pro zadanou formu je použita voda, protože je ekonomicky i ekologicky nenáročná.

Temperační systém je umístěn v pravé straně formy, tedy vtokové straně, i v levé straně. Je řešen systémem kanálků a ucpávek, kapalina obíhá kolem tvárníků.

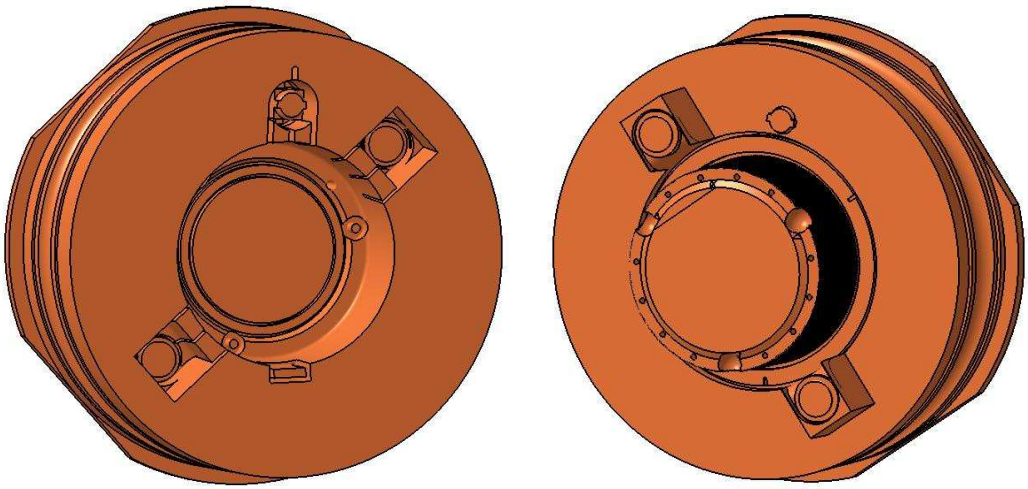


Obr. 9. Temperační systém

2.2.5 Dutina formy

Pro svou složitost je nutné zvážit způsob výroby. Tvar dutiny se bude vyrábět elektroerozivním obráběním. Je to fyzikální jev, při kterém dochází účinkem tepelného a tlakového působení elektrických výbojů k obrábění částeček povrchových vrstev materiálu.

Tvar dutiny se nejprve na hrubo vyfrézuje, aby se co nejvíce materiálu odebralo.

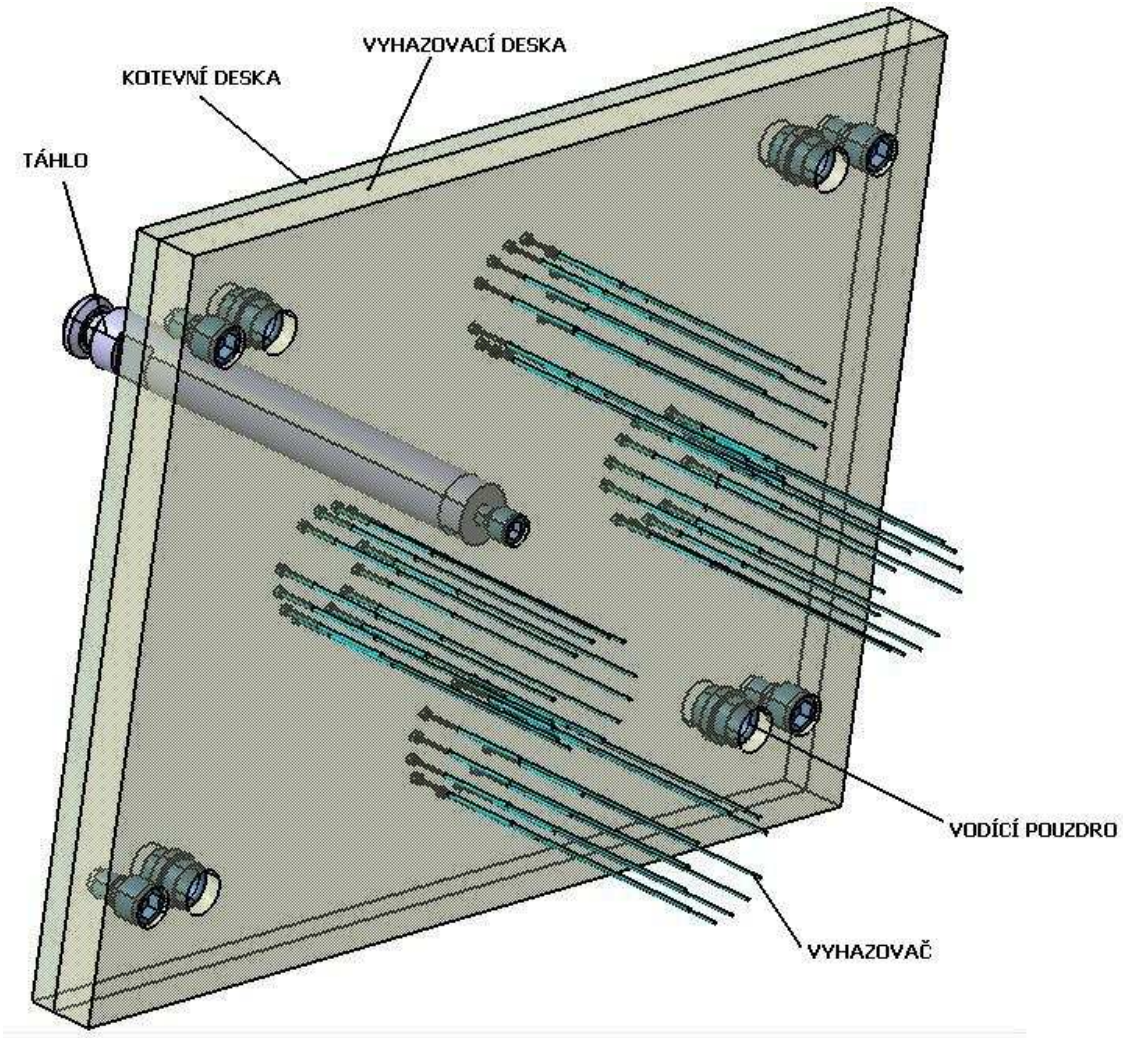


Obr. 10. Tvárnice a tvárník

2.2.6 Vyhazovací systém

Vyhození výstřiku z dutiny formy je realizováno pomocí dvanácti prizmatických vyhazovačů působících na stěnu výstřiku. Vyhazovače jsou ukotveny mezi vyhazovacími deskami. Na výstřiku po vyhození zůstanou stopy po vyhazovačích, protože je mezi tvárníkem a vyhazovačem vůle. Tento nedostatek, protože je mimo pohledovou stranu.

Zdvih vyhazovačů musí být dostatečný s ohledem na zajištění vyhození celého výstřiku a jeho následnému spadnutí na dopravník. Nesmí dojít například k vzpříčení výstřiku. Pohyb vyhazovacího systému zajišťuje hydraulika vstřikovacího stroje.



Obr. 11. Vyhazovací systém

2.2.7 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj se volí z mnoha hledisek. Prvním hlediskem je velikost formy. Stroj musí být větší, aby se dala upnout celá forma. Další hlediska jsou uzavírací síla, vstřikovací tlak, kapacita vstřiku atd.

Pro rozměry a požadavky hotové formy vyhovuje vstřikovací stroj s označením INTEC 250 SP II od Rakovnické firmy INVERA s.r.o.

Obr. 12. Vstřikovací stroj IN-TEC 250 SP II

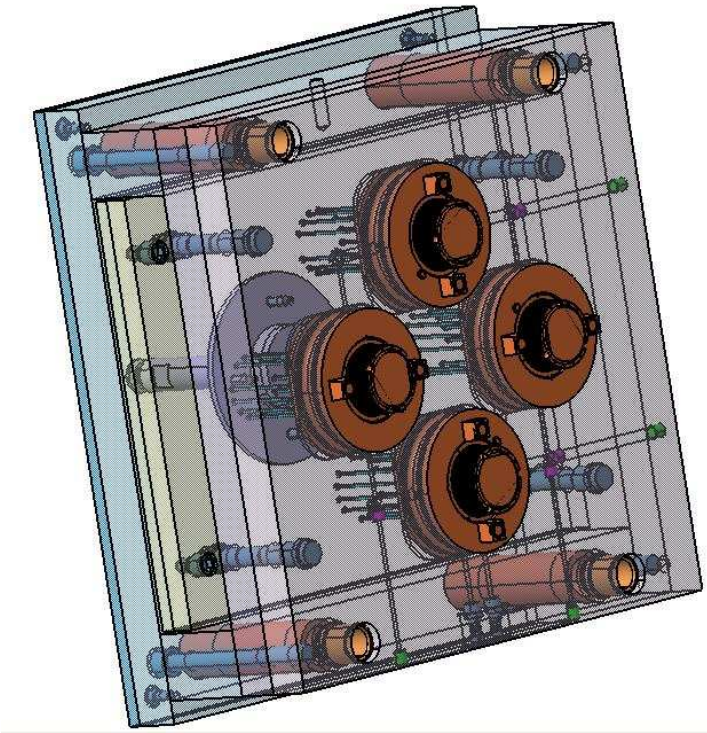
Tab. III. Parametry vstřikovacího stroje

Teoretický vstřik. objem	617	cm3
Gramáž vstřiku	546	g
Kapacita vstřiku	210	cm3/sec
Vstřikovací tlak (max.)	2483	kg/cm2
Uzavírací síla	250	t
Max. otevření	770–1200	mm
Vnější rozměr upínac. desek	860 × 860	mm
Rozměry stroje (D × Š × V)	6,57 × 1,58 × 2,06	m
Celková hmotnost stroje	11000	kg

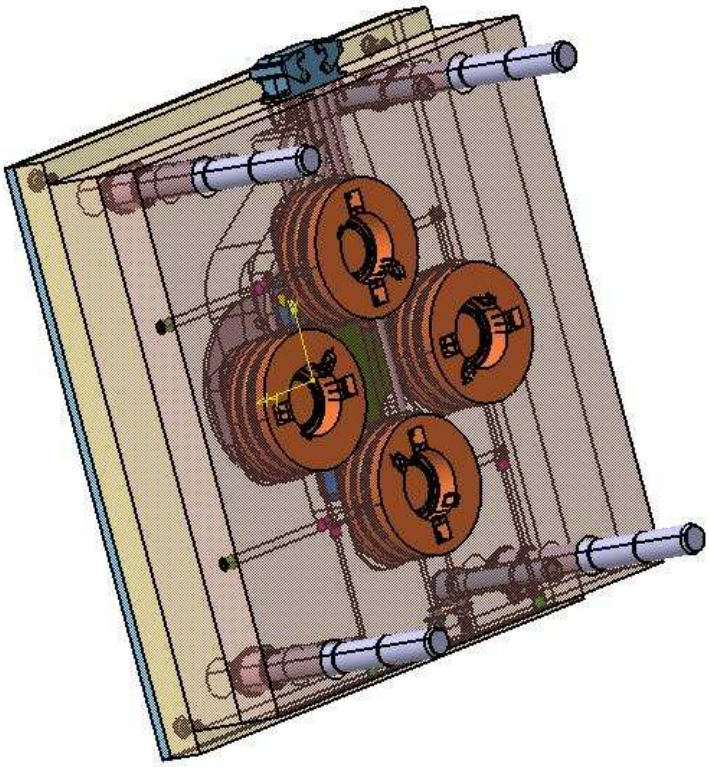
Tab. IV. Parametry výstřiku

Objem výstřiku	32	cm3
Rozměry upínacích desek	650x650	mm
Minimální potřebné otevření formy	200	mm

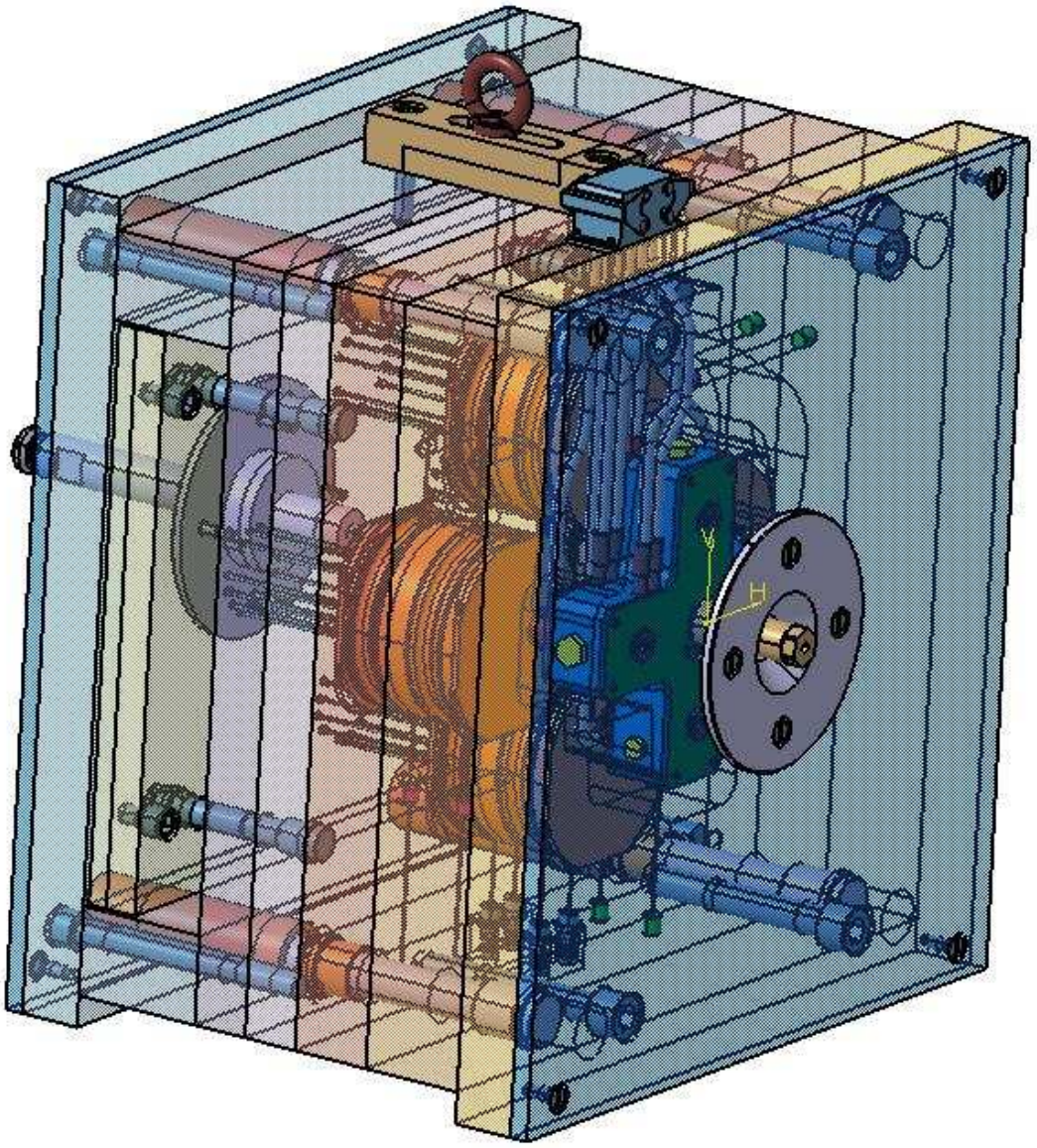
Nároky formy a výstřiku vyhovují tomuto vstřikovacímu stroji. Při zadání menšího stroje by mohli nastat problémy s upnutím formy. Proto je tento stroj pro zkonstruovanou formu vyhovující.



Obr. 13. Pohled do levé dělící roviny



Obr. 14. Pohled do pravé dělící roviny



Obr. 15. Celkový pohled na formu

ZÁVĚR

Na základě zadaného plastového výrobku byla zkonstruována čtyřnásobná vstřikovací forma s horkým vtokem.

Pro tuto formu byl vybrán vstřikovací stroj IN-TEC 250 SP II od Rakovnické firmy INVERA s.r.o. Odformování výrobku je realizováno pomocí prizmatických vyhazovačů. Vstříknutí materiálu díky systému horkých vtoků nezanechá vtokové zbytky a dávkování je přesnější. Roztavený materiál se do dutiny formy dostane díky bodovému vtoku umístěnému na přední straně. Temperace formy je zajištěna chladícím systémem, ve kterém proudí jako chladící médium voda. Při návrhu formy byla snaha se držet pravidel a zásad pro konstrukci forem. Při modelování bylo využito normálií HASCO. Tyto normálie byly použity s výhodou u systému horkého vtoku, kdy by výroba vstřikovací trysky a její konstrukce byla velmi nákladná. Dále bylo těchto normálií použito u dalších součástí, které se jednoduše koupí místo pracné výroby. Takto zkonstruovaná a vymodelovaná forma by mohla jít do výroby a po prvních zkušebních výstřicích by na ní musely být provedeny úpravy, aby se odstranily případné nedostatky.

Pro návrh veškerých dílů, výkresovou dokumentaci a vyhotovení 3D modelu byl použit program CATIA V5R16.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BOBČÍK, Ladislav. a Kol. *Formy pro zpracování plastů. I Díl.* Brno: UNIPLAST, 1999.

[2] BOBČÍK, Ladislav. a Kol. *Formy pro zpracování plastů. II. Díl.* Brno: UNIPLAST, 1999.

[3] VESELÝ, K., *Polymery – struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování,* Brno: Česká společnost průmyslové chemie, 1992. ISBN 80-02-00951-7.

[4] Firemní katalog normálií HASCO

[5] VÁVRA, Pavel. a Kol. *Strojnické tabulky. 2. vyd.* Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6

[6] LINDNER, E., UNGER, O. *Injection molds*. 3rd ed. Munich:Hanser Publischers, 2002. ISBN 3-446-17729-9.

[7] TOMIS, František., HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*, Brno: VUT, 1985.

[8] REES, H. *Mold engeneering.,* Munich:Hanser Publischers 1995

[9] ŠTĚPEK, Jiří., ZELINGER, Jiří., KUTA, Antonín. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů,* Praha: SNTL, 1989.

[10] TRES, P. A. *Designed plastic parts for assembly.* Munich:Hanser Publischers, 2003. ISBN 3-446-22456-4

[11] Internetové stránky: http://www.lpm.cz/

http://scad.ft.utb.cz/

http://www.hasco.de/

http://www.ksp.vslib.cz

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Tg	Teplota skelného přechodu
PBT-GF30	Polybutylentereftalát s 30% příměsí skelných vláken

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Oblast využití amorfních a semikrystalických plastů 10

Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje 11

Obr. 3. Vstřikovací cyklus v závislosti na tlaku vstřikovacího stroje 12

Obr. 4. Technické údaje pro konstrukci a výrobu formy 14

Obr. 5. Vliv jednotlivých faktorů na velikost smrštění 18

Obr. 6 Základní typy vtokových ústí 20

Obr. 7 Výrobek 28

Obr. 8 Vtokový systém 30

Obr. 9 Temperační systém 31

Obr. 10 Tvárnice a tvárník 32

Obr. 11. Vyhazovací systém 33

Obr. 12. Vstřikovací stroj IN-TEC 250 SP II 34

Obr. 13 Pohled do levé dělící rovny 35

Obr. 14 Pohled do pravé dělící rovny 35

Obr. 15 Celkový pohled na formu 36

SEZNAM TABULEK

Tab. I. Teploty formy pro vstřikován 24

Tab. II. Obecné vlastnosti materiálu 28

Tab. III. Parametry vstřikovacího stroje 34

Tab. IV. Parametry výstřiku 34

SEZNAM PŘÍLOH

P1: Detail náhledu Q

P2: Detail náhledu P

P3: Detail řezu A-A

P4: Kusovník

P5: CD disk obsahující:

- Model formy, výkresovou dokumentaci v programu CATIA V5R16
- Textová část bakalářské práce