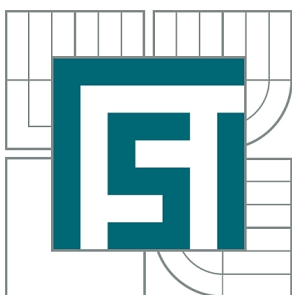




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉ ZÁKLADNY PŘÍSTROJE SE SVORKOVNICÍ

PRODUCTION TECHNOLOGY OF PLASTIC BASE DEVICE WITH TERMINAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ HORNÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Horník

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologie výroby plastové základny přístroje se svorkovnicí

v anglickém jazyce:

Production technology of plastic base device with terminal

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešení na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na plastovou základnu přístroje se svorkovnicí podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- MENGES, Georg and Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 2nd ed. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá výběrem vhodné technologie pro výrobu zadané plastové součástky. V úvodu se nachází zhodnocení výrobku a volba technologie vstřikování plastů jako nejvhodnější výrobní technologie. V rešeršní části jsou zpracovány všechny potřebné teoretické znalosti pro návrh vstřikovací formy. Jednotlivé kapitoly se zabývají jak samotnými plasty a jejich výrobou, tak technologií vstřikování plastů se všemi náležitostmi co se technologie, stroje i nástroje týče. Návrhová část obsahuje potřebné výpočty pro konstrukci vstřikovací formy a popisuje a zdůvodňuje všechna konstrukční řešení provedená při návrhu této formy a volby vstřikovacího stroje. Součástí diplomové práce jsou i provedené simulace vstřikování. V přílohách diplomové práce jsou umístěny výkresy sestavy, tvárníku a tvárnice stejně jako další dokumenty potřebné při zpracování této práce.

Klíčová slova

Vstřikování plastů, plast, polyamid, vstřikovací forma, horká vtoková soustava.

ABSTRACT

Master's thesis deals with selection of a proper technology for manufacturing of chosen plastic part. The beginning of thesis contains part survey. Plastic injection was chosen as the most suitable manufacturing technology. Required theoretical knowledge for plastic injection mould designing were extracted in the recherche. Individual chapters deals with plastics, their manufacturing and plastic injection technology with all required knowledge about this technology, machines and moulds. Designing chapter contains every required calculation for mould design and all individual sections of mould design and injection machine selection. Injection simulations and their evaluations are part of this thesis aswell. Assembly and forms drawings as well as other documents used during thesis processing are included in the attachments.

Key words

Plastic injection, plastic, polyamid, injection mould, hot runner.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

HORNÍK, Tomáš. *Technologie výroby plastové základny přístroje se svorkovnicí*. Brno, 2012. 65 s. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 21.5.2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce a společnosti Hella Autotechnik s.r.o. Mohelnice za spolupráci na simulacích vstřikování.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD.....	10
1. ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTKY	11
2. PLASTY	13
2.1. Výroba polymerů.....	13
2.2. Základní typy polymerů	14
2.3. Přísady	15
2.4. Chování plastů při zatížení.....	16
2.5. Vstřikovací granulát	17
3. TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	18
3.1. Vstřikovací soustava	18
3.2. Vstřikovací cyklus	18
3.3. Smrštění výstřiků	20
3.4. Změna rozměrů výstřiků	21
3.5. Anizotropie smrštění	22
3.6. Přesnost výstřiků z termoplastů.....	23
4. VSTŘIKOVACÍ FORMY	24
4.1. Základní rozdělení vstřikovacích forem	24
4.2. Vtokový systém formy	25
4.2.1. Rozváděcí kanálky	25
4.2.2. Studená vtoková soustava	26
4.2.3. Horká vtoková soustava.....	28
4.3. Vyhazovací systém forem	30
4.4. Odvzdušnění vstřikovacích forem	31
4.5. Temperace vstřikovacích forem.....	32
4.5.1. Speciální metody temperance	33

5.	VSTŘIKOVACÍ STROJE	34
5.1.	Základní technické parametry vstřikovacích strojů.....	35
5.2.	Vstřikovací jednotka stroje	35
5.3.	Uzavírací jednotka stroje.....	37
5.4.	Řídicí systém	38
5.5.	Přídavná zařízení.....	38
6.	NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY	40
6.1.	Určení násobnosti vstřikovací formy	40
6.2.	Návrh vtokového systému.....	42
6.3.	Výpočet technologických dat a parametrů vstřikovacího stroje	45
6.4.	Výpočet síly potřebné na vyhození plastového výstřiku z formy	48
6.4.1.	Výpočet průhybu desky vstřikovací formy	50
6.5.	Návrh dalších částí formy	51
6.5.1.	Návrh tvárníku a tvárnice.....	51
6.5.2.	Simulace vyplnění tvarové dutiny	52
6.5.3.	Návrh mechanismu bočních jader.....	53
6.5.4.	Návrh vedení a středění formy.....	54
6.5.5.	Návrh vyhazovacího systému formy	54
6.5.6.	Návrh temperančního systému.....	55
6.5.7.	Návrh odvzdušnění	56
6.5.8.	Návrh závěsného šroubu pro manipulaci s formou.....	56
6.5.9.	Volba materiálu jednotlivých desek formy.....	57
7.	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	59
8.	TECHNOLOGICKÝ POSTUP VSTŘIKOVÁNÍ.....	61
9.	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	62
10.	ZÁVĚR	65

Seznam použitých zdrojů
seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam obrázků a grafů
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD

Od historicky prvního zařízení pro vstřikování plastů z roku 1870 a vývoje syntetických termoplastů v roce 1927 uplynula velmi dlouhá cesta. Plasty se staly nezbytným produktem v každodenním životě a našly si nenahraditelnou úlohu v mnoha výrobních odvětvích. S pokrokem v technologiích vstřikování, lisování, vytlačování a dalších nahradily plasty svými specifickými vlastnostmi mnoho materiálů v širokém spektru výrobků. V současné době tvoří plasty 12 až 15 % hmotnosti běžných osobních automobilů, a předpokládá se, že do deseti let se tato cifra zvýší na hodnotu 25%.

Již na první pohled si lze všimnout plastů ve světlometech nových automobilů, v přístrojových deskách, výplni dveří či palivové nádrži. Automobilový průmysl ovšem není jediným průmyslem s vysokým podílem plastových součástí. Především kvůli levnější výrobě a nižší hmotnosti se plasty staly výraznou složkou elektrotechnického průmyslu, kde se nejčastěji používají k výrobě konektorů a krytů. Díky jednoduchému zpracování jsme schopni vyrobit i tvarově velmi složité designové prvky, na které je kladen důraz u velkého počtu výrobků.

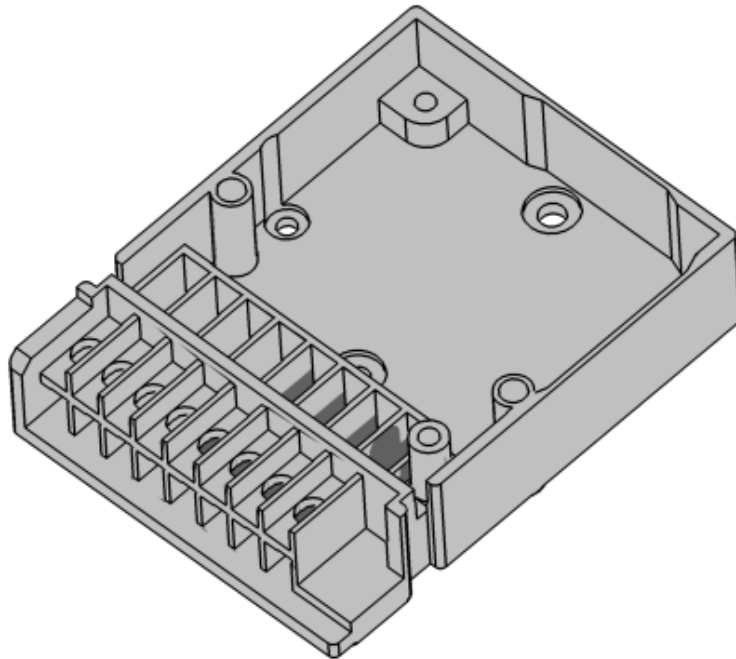
Současné trendy se orientují směrem k modifikacím klasické technologie vstřikování. Jako příklad je možné jmenovat vícekomponentní vstřikování, vstřikování dutých a tlustostěnných dílů s využitím tlaku inertního plynu nebo vody, výstřiky s malou tloušťkou stěn či vstřikování strukturně lehčených plastů.



Obr. 1 Příklady výrobků z plastů [5][8][25][26][32]

1. ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTKY [1][21][29]

Cílem této diplomové práce je navrhnout vhodnou technologii výroby zadané plastové součástky, viz obr. 1.1, kterou je základna přístroje se svorkovnicí. Roční objem výroby je 1 000 000 kusů. Použití této součástky je v elektrotechnickém průmyslu, čemuž je třeba přizpůsobit volbu vhodného materiálu. Pro správnou funkci je potřeba zajistit dobrou samozhášivost, elektroizolační vlastnosti a vyvážený poměr tuhosti a houževnatosti. Pro co nejefektivnější výrobu je nutno zvolit nejvhodnější výrobní technologii. Součást je skořepina obdélníkového tvaru s řadou funkčních otvorů a svorkovnicí, která představuje komplikaci při výrobě a je nutno navrhnout správné konstrukční řešení nástroje.



Obr. 1.1 Model zadané plastové součástky

Pro výrobu zadané součásti lze volit ze tří technologií.

Lisování reaktoplastů

Podobu stroje pro lisování reaktoplastů vidíme na obr. 1.2. Při použití této technologie by bylo nutné provést úpravy zadaného dílce. V oblastech s nízkou tloušťkou stěn by hrozilo nevyplnění taveninou a vznik zmetku. Řešením by bylo zvýšení tloušťky stěn a to především v oblasti svorkovnice. To by ale vedlo ke komplikacím při vkládání kovových kontaktů a pravděpodobně by bylo nutno zvětšit celkové rozměry skřínky. Další nevýhodou by byla délka výrobního cyklu. Cyklus lisovací je delší než cyklus vstřikovací, což by mohlo vést k problémům se splněním termínu zakázky a navíc k růstu ceny výrobků. Tento čas by byl navíc navýšen časem potřebným k vytvrzení reaktoplastů. Při vytvrzování je nutno zajistit odvod plynných produktů této chemické reakce. Výrobní proces je obtížněji automatizovatelný.



Obr. 1.2 Lis pro lisování reaktoplastů [29]

Vstřikování reaktoplastů

Oproti technologii lisování dosahujeme u vstřikování daleko lepších časů výrobního cyklu. Stroj pro vstřikování plastů je zobrazen na obr. 1.3. Jsme schopni vyrobít zadaný tvar bez nutnosti provedení konstrukčních úprav na zadané součásti. Komplikací je opět čas nutný pro vytvrzení reaktoplastů. Nejjednodušším způsobem pro odvod plynných produktů

vytvrzení při technologii vstřikování je konstrukční úprava formy a její částečné pootevření během cyklu. Tento čas nám prodlužuje dobu vstřikovacího cyklu až na desetinásobek, což velmi výrazně ovlivňuje jak cenu výrobku, tak schopnost vyrobit požadovanou výrobní dávku v daném termínu.



Obr. 1.3 Vstřikovací stroj [1]

Vstřikování termoplastů

Jak již bylo zmíněno u předešlé technologie, vstřikování umožní bezproblémovou výrobu požadovaného tvaru výrobku. Při použití termoplastů není nutno řešit konstrukční úpravy formy ani čas potřebný na odvedení plyných produktů. Navíc je technologie vstřikování velmi dobře automatizovatelná s vysokým procentem opakovatelnosti technologických parametrů, což vede ke snížení výrobního času a tedy i ceny výrobku. Použití termoplastů umožňuje regeneraci vtokových zbytků, které by v případě použití reaktoplastů tvořily odpad. Tento proces příznivě ovlivní cenu výrobku.

Volba nejvhodnější technologie

Po zvážení všech parametrů a vlastností jednotlivých technologií jsme došli k jednoznačné volbě technologie vstřikování plastů. Tato technologie svými vlastnostmi přináší bezproblémovou výrobu požadovaných tvarů a rozměrů a navíc nejnižší výrobní náklady a v případě automatizace zároveň i snížení potřebného počtu pracovníků obsluhy. Další snížení ceny poskytuje možnost regenerace vtokových zbytků.

V této práci se tedy budu dále zabývat technologií vstřikování termoplastů. Literární rešerše bude obsahovat potřebné znalosti této technologie pro vypracování konstrukčního návrhu vstřikovací formy a volbu vhodného stroje.

Volba použitého materiálu

Pro výrobu zadané součásti byl zvolen materiál z druhu polyamidů plněný skelnými vlákny od švýcarské firmy DuPont. Materiál má firemní označení Zytel® 70G30HSLR NC010 | PA66-GF30 (dále jen Zytel) a jedná se o polyamid chemického složení 6.6 s obsahem 30% skelných vláken, nejčastěji používaný v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. Základní vlastnosti tohoto materiálu jsou umístěny v tabulce 1.1. Materiálový list je přiložen v příloze 2.

Tab. 1.1 Vlastnosti materiálu Zytel [21]

Modul pružnosti	Mez pevnosti	Teplota tání	Průrazové napětí	Hustota
10000 MPa	200 MPa	263°C	38 kV/mm	1370 kg/m ³

2. PLASTY [37]

Plasty jsou organické, člověkem vytvořené materiály. Komponenty, které určují jejich technologické a fyzikální vlastnosti se nazývají polymery, které jsou charakterizovány dlouhými řetězci opakujících se monomerů. Slovo plast označuje polymer smíšený s nezbytnými přísadami ve stavu vhodném k dalšímu zpracování. Polymery byly dříve vyráběny chemickou modifikací organických přírodních produktů, např. celulózy a lněného oleje, ale nyní jsou vyráběny převážně polymerizací relativně jednoduchých složek – monomerů.

Základní pojmy

Výběr některých pojmů používaných při technologiích zpracování plastů:

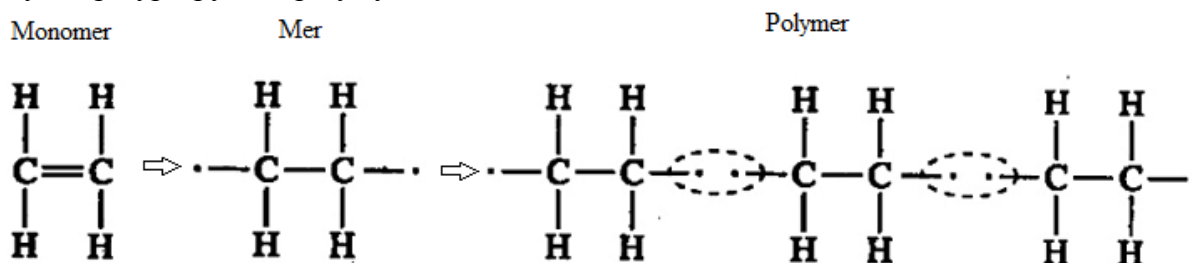
- *Plast* – látka makromolekulárního charakteru. Za určitých podmínek lze tepelně tvarovat či tvářet.
- *Monomer* – vstupní nízkomolekulární organická sloučenina.
- *Polymer* – makromolekulární látka vznikající polyreakcemi, např. polymerací, polyadící či polykondenzací.
- *Termoplast* – polymer, který lze opakovaně tavit, má řídké síťování.
- *Reaktoplast* – nerozpustný netavitelný hustě síťovaný polymer.
- *Elastomer* – polymer s výraznou elastickou deformací, vrací se do původní podoby.
- *Amorfní plast* – neuspořádaný polymer, mezi jehož vlastnosti patří průhlednost, odolnost proti creepu, vrubům a malé smrštění.
- *Krystalický plast* – má prostorově pravidelnou uspořádanou strukturu, která poskytuje tvarovou stálost za tepla, tvrdost a otěruvzdornost. Má výrazně vyšší smrštění. V praxi nikdy nevznikne dokonale krystalický plast, vždycky má část objemu amorfní.

2.1. Výroba polymerů [23][40]

Na výrobu polymerů se používají tzv. polyreakce. Mezi tyto reakce patří polymerace, polyadice a polykondenzace.

Polymerace

Je nejčastěji používanou polyreakcí. Principem je vytváření dlouhých polymerních řetězců z plynných či kapalných reaktantů. Ke spojení monomerů dojde štěpením dvojných vazeb monomerů, čímž vzniknou mery, které poté skládáme do dlouhých řetězců, viz obr. 2.1. Polymery takto vzniklé se poté nazývají podle monomerů, z nichž vznikly, např. polyetylén, polypropylén a polystyrén.

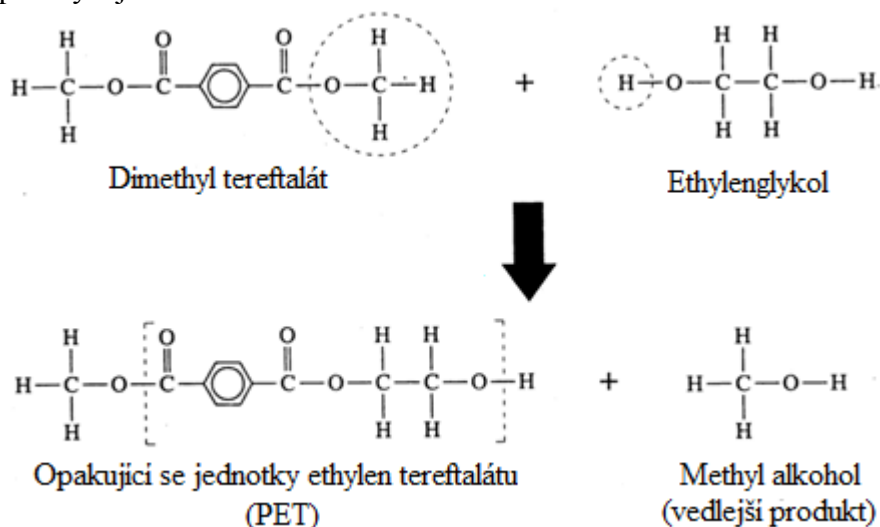


Obr. 2.1 Polymerace [23]

Polykondenzace

Stejně jako u polymerizace je základem polykondenzace propojování malých molekul do dlouhých řetězců. Různé druhy monomerů jsou spolu propojeny pomocí jejich reaktivních konců, ale při spojení každého meru je uvolněna molekula jednoduché látky, jako je voda, alkohol, amoniak apod. (obr. 2.2). Molekulová velikost polykondenzátu je regulovaná

relativními vlastnostmi výchozí suroviny a podmínkami reakce. Polymery vyráběné polykondenzací jsou pojmenovány podle typických chemických skupin, např. polyamidy, polyuretany, epoxidy a jiné.



Obr. 2.2 Polykondenzace [23]

Polyadice

Polyadice je spojování monomerů nebo meziproduktů s rozdílnými reaktivními koncovými skupinami bez vzniku těkavých produktů. Nejčastějšími produkty polyadice jsou epoxidové pryskyřice nebo polyuretany.

2.2. Základní typy polymerů [23]

Základní vlastností pro dělení polymerů je jejich chování za zvýšených teplot. Z tohoto hlediska se plasty dělí na termoplasty a reaktoplasty (obr. 2.3), dříve nazývané termosety či duromery.

Termoplasty

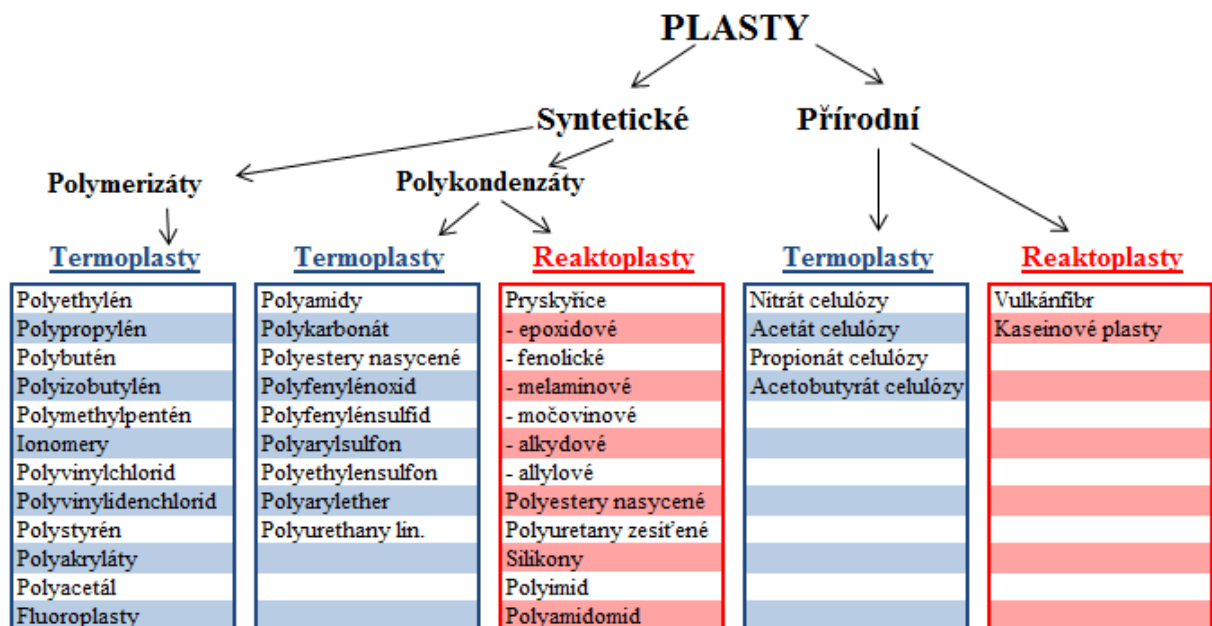
Termoplasty jsou polymery utvořené z dlouhých řetězců bez prostorového zesíťování. Tyto řetězce mohou, ale nemusejí být zesíťované. Při zatížení se tyto plasty chovají tvárně a plasticky. Vyskytují se jak v semikrystalické, tak v amorfnní podobě. Při zahřátí přecházejí do plastického stavu, který umožňuje dobré zpracování. I při opakovaném cyklu ohřevu a ochlazení nedochází ke změně jejich chemické struktury a proto je lze opakovaně recyklovat a zpracovávat.

Reaktoplasty

Reaktoplasty, dříve termosety, mají na rozdíl od termoplastů prostorové zesíťování. Takto zesíťované řetězce nemohou pokluzovat ani rotovat, což umožňuje dobrou pevnost, tvrdost a tuhost, ale malou tažnost a rázovou odolnost. Při tahové zkoušce vykazují reaktoplasty podobné chování jako křehké kovy nebo keramika. Při opětovném tavení dochází k degradaci materiálu, což vede k velmi složité recyklovatelnosti.

Elastomery

Elastomery jsou přírodní i syntetické polymery, které, jak už název napovídá, vykazují velmi dobré elastické vlastnosti a jsou schopny deformace větší než 200%. Tyto elastické vlastnosti umožňují příčné vazby, které po odlehčení materiálu vrátí řetězce do původní polohy a eliminují veškerou deformaci. Při prvním zahřívání měknou a lze je po omezenou dobu tvářet, avšak při dalším zahřívání dochází k jejich příčnému zesíťování – vulkanizaci.

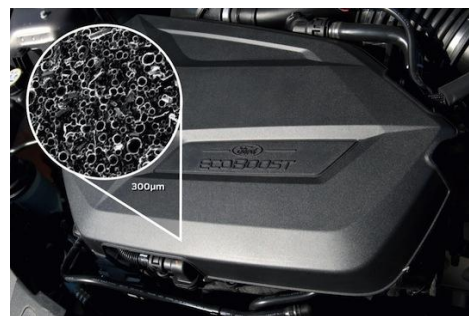


Obr. 2.3 Rozdělení plastů

2.3. Přísady [14][37][39]

Cílem přísad je připravit co nejvhodnější vlastnosti plastu pro plnění požadovaných funkcí a zároveň dosáhnout co nejnižších výrobních nákladů. Mezi hlavní nevýhody plastů patří jejich hořlavost, křehkost, malá tvarová stálost za tepla, vznik elektrostatického náboje na jejich povrchu a další. Přidáním přísad můžeme některé z těchto vlastností odstranit a navíc zlepšit další zpracovatelské i uživatelské vlastnosti.

- *Stabilizátory* – přísady poskytující ochranu polymerů především během jejich zpracování, umožňují tváření plastů, jejich tvarování za tepla a poskytují ochranu plastu před degradací vlivem UV záření. Pro stabilizaci jsou nejčastěji používány soli anorganických a organických kyselin a organické, např. epoxidové sloučeniny.
- *Antidegradanty* – přísady chránící před vnějšími vlivy během používání plastů, např. vlivy UV záření, působení atmosféry, ozonu nebo tepelné energie. Prozatím nejsou vyvinuty látky, které by dokázaly ochránit plast před vlivy tepelné energie tak účinně, jako jej chrání před vlivy UV záření či působení atmosféry.
- *Nadouvadla* – používají se pro výrobu lehčených hmot s pěnovou strukturou. Příklad použití lze vidět na obr. 2.4. Tyto přísady se během teploty tváření polymerní směsi rozkládají a vytvářejí plynné produkty, nejčastěji dusík nebo oxid uhličitý. Nejčastějším nadouvadlem je azobisformamid, který je nejedovatý, nehořlavý a bez zápachu. Jako nadouvadla lze použít i látky, u nichž se využívá změny skupenství, např. vypařování kapaliny.
- *Retardéry hoření* – přísady zpomalující proces hoření. Nejpoužívanější je oxid antimonitý v kombinaci se změkčovadly.
- *Maziva* – usnadňují zpracování, zkracují dobu nutnou k plastikaci a zabraňují adhezi plastu k zpracovatelskému zařízení. Mezi nejpoužívanější maziva patří uhlovodíky, mastné kyseliny, vosky a těžké alkoholy.
- *Změkčovadla* – zvyšují houževnatost a ohebnost materiálu, snižují viskozitu taveniny a teplotu zesílení, většinou o desítky stupňů, což má za následek přechod ze



Obr. 2.4 Příklad použití nadouvadel [14]

skelného do kaučukovitého stavu. Změkčovadla jsou nejčastěji používána pro polyvinylchlorid a jeho kopolymery.

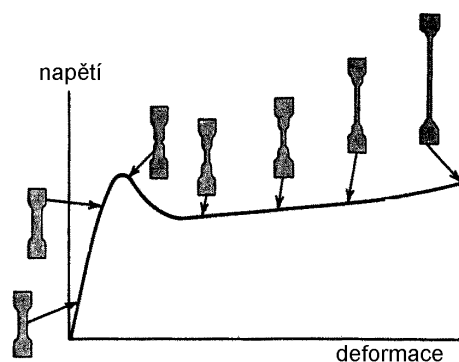
- *Tvrdidla* – umožňují vznik příčných vazeb a následného vytvrzení.
- *Antistatika* – přísady zabraňující vzniku elektrostatického náboje, který způsobuje lnutí ke zpracovatelským strojům, špinění, případně přeskokování jisker, které mohou způsobit vznik požáru. Cílem je snížení povrchového odporu tak, aby bylo možné vzniklý elektrostatický náboj dostatečně rychle odvádět.
- *Barviva (pigmenty)* – dodávají platu požadovaný barevný odstín. Podle požadavků se používají buď pigmenty anorganické, které jsou nejlevnější, ale nejsou schopny vytvořit syté odstíny, nebo pigmenty organické, které umožňují vznik pastelových barev na úkor vyšší ceny (obr. 2.5).



Obr. 2.5 Barevné varianty granulátů [39]

2.4. Chování plastů při zatížení [23]

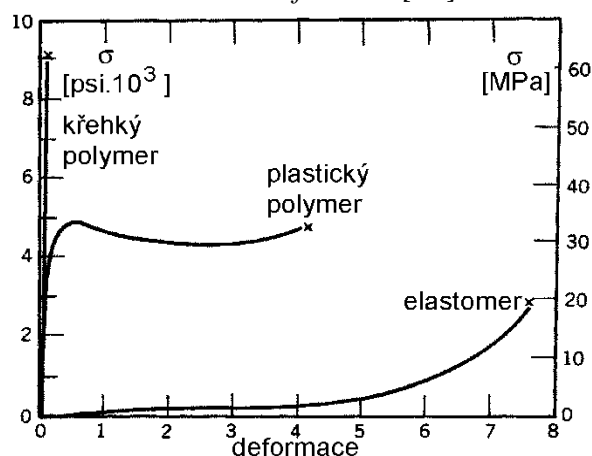
Plasty při zatížení vykazují rozdílné chování než kovy. Na rozdíl od kovů mají plasty tzv. viskoelastický charakter. To znamená, že kombinují vlastnosti ideálně elastických a ideálně viskózních materiálů. Na obr. 2.6 lze vidět, jak se chová zkušební vzorek z plasty při tahové zkoušce. Po překročení meze kluzu dojde ke vzniku krčku. Na rozdíl od kovů však nedojde k porušení materiálu, ale k postupné deformaci. Důsledkem tohoto jevu je velmi vysoká hodnota deformace, při níž dojde k porušení vzorku.



Obr. 2.6 Průběh napětí v závislosti na deformaci [23]

Vlivy na mechanické vlastnosti polymerů

- *Typ polymeru* – druh polymeru je samozřejmě nejdůležitějším vlivem na jeho chování, jak je znázorněno na obr. 2.7.
- *Struktura polymeru* – struktura má stejně jako u kovů velmi výrazný vliv na mechanické vlastnosti polymerů.
- *Teplota* – polymery reagují na změnu teploty daleko citlivěji než oceli.



Obr. 2.7 Závislost mechanických vlastností na typu polymeru [23]

2.5. Vstřikovací granulát [41]

Vstřikovacím granulátem rozumíme termoplastický materiál připravený pro použití ve vstřikovacím stroji. Plast se do vstřikovacího stroje dodává ve formě malých granulí o příslušných parametrech. Granulátů existuje nespočet druhů definovaných svým typem, vlastnostmi, aditivy, zrnitostí a dalších, podle aktuálních nabídek dodavatelských firem. V současné době je největší databází plastových materiálů databáze CAMPUS, která nabízí informace o vlastnostech jednotlivých plastů získané experimentální cestou dle postupů definovaných v ISO. To umožňuje jednoduché srovnání ekvivalentních plastů od různých dodavatelů.

Při výběru správného typu granulátu pro výrobu zadané plastové součásti je potřeba zjistit několik údajů:

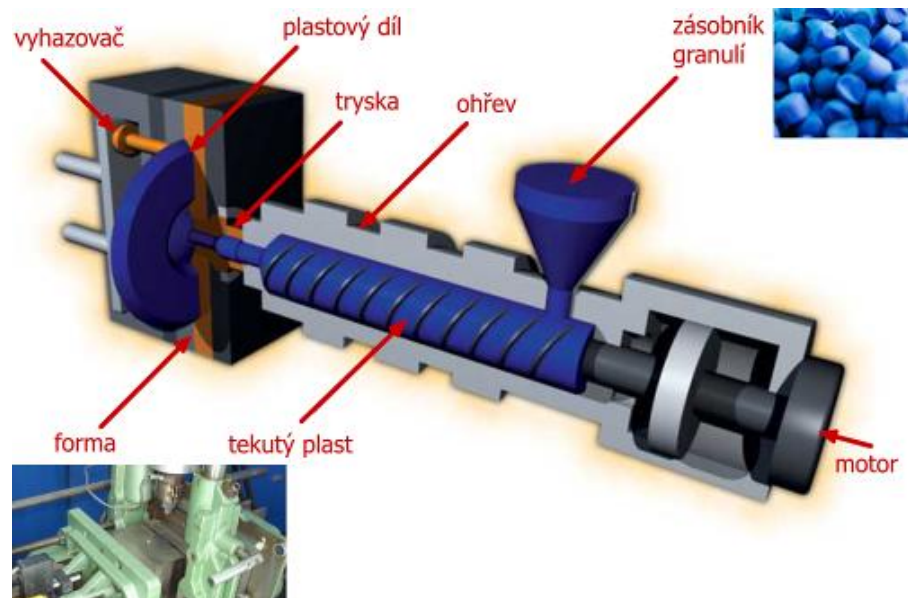
- údaje o zpracovatelských teplotách, např. teplotě taveniny, formy atd.
- údaje o podmínkách sušení, např. teplotě sušení, době sušení a dovoleném obsahu vody v granulátu při vstřikování
- maximální možnou dobu, po kterou může tavenina setrvat na zpracovatelské teplotě. Tento údaj je velmi důležitý při použití horké vtokové soustavy.
- vysokou, střední a pomalou vstřikovací rychlost
- doporučené hodnoty vstřikovacího tlaku a dotlaku
- údaje o zabíhavosti, viskozitě taveniny a indexu toku taveniny

3. TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ [37]

Stejně jako i jiné materiály mají plasty širokou škálu technologií, kterými je lze zpracovávat. Nejrozšířenější technologií je technologie vstřikování termoplastů, kterou se vyrábí až 80% všech výrobků z plastů. Po rozboru zadané součástky byla zvolena právě tato technologie, protože poskytovala nejvíce výhod.

3.1. Vstřikovací soustava [11][37]

Základem vstřikovací soustavy je forma a vstřikovací stroj. Zjednodušený náhled můžeme vidět na obr. 3.1. Materiál je ve formě granulátu dopravován do zásobníku granulí. To je ve větších firmách prováděno centrálním rozvodem, kdy je ke každému stroji přivedeno potrubí a dle řídicího počítače je stroji v požadovaný okamžik dodán požadovaný druh plastu. Plast ve formě granulátu následně putuje do válce, kde je mnutím otáčejícím se šnekem a ohřevem topnými tělesy doveden do tekutého stavu. Takto natavený plast je shromažďován v prostoru před šnekem a v pravidelných cyklech dochází k posunutí celého šneku a výstřiku taveniny tryskou do formy. Zde tavenina ztuhne a po dosažení dostatečně nízké teploty je forma otevřena a hotový dílec vyhozen vyhazovači.



Obr. 3.1 Schéma vstřikovací soustavy[11]

3.2. Vstřikovací cyklus [20]

Časový průběh vstřikování lze rozdělit na pět částí. Tyto části jsou:

1. Dávkování a plastikace

- *Dávkování* – cílem je určení optimálního objemu taveniny pro vstřik do formy. Čistý objem dílce musí být navýšen o 5 – 10%. Tento objem zahrnuje všechny dutiny formy, plnicí kanálky vtokové soustavy a smrštění, které je nutno vykompenzovat odpovídajícím množstvím taveniny. K dávkování dochází ještě v predešlém vstřikovacím cyklu, čímž se výrazně sníží čas vstřikovacího cyklu.
- *Plastikace* – jedná se o přechod plastu z tuhého stavu do taveniny. Účelem je příprava dostatečného množství homogenní taveniny před čelem šneku, aby bylo možno provést vstřik.

2. Vstřikování

Během vstřikování dochází vlivem axiálního posuvu šneku k vstříknutí taveniny do tvarové dutiny formy. Vstřikování se skládá ze dvou fází:

- *Fáze objemového plnění* – doba zaplnění všech dutin formy
- *Kompresní fáze* – prudce stoupne tlak ve formě i hydraulice a klesne rychlost.

Vstřikovací fáze je ovlivněna především teplotou taveniny, vstřikovacím tlakem, vstřikovací rychlostí a teplotou formy.

3. Doplnování (dotlak)

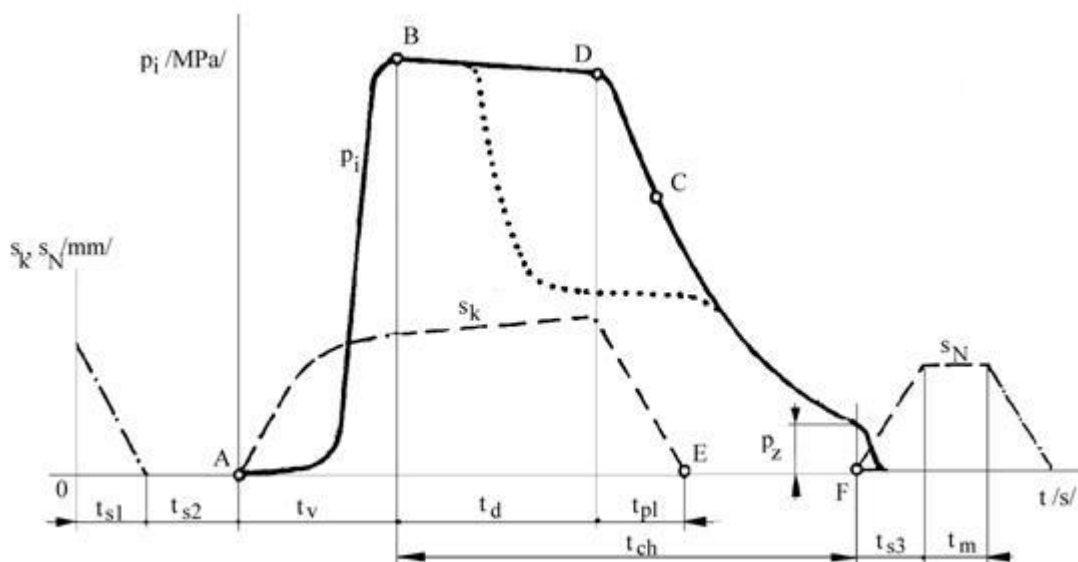
Ve fázi dotlaku je doplňován úbytek materiálu způsobený smršťováním plastu při ochlazení z teploty tavení na teplotu formy. Dotlak je definován svou délkou trvání a výší tlaku po tuto dobu. Velmi důležité je zvolit správný čas přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak. Při příliš brzkém přepnutí dojde k vzniku nedostřiku, který obsahuje propadliny, staženiny či k nekompletnímu zaplnění formy. Při pozdním přepnutí dojde k přetlaku v dělicí rovině a následnému přeplnění.

4. Chlazení taveniny ve formě

Doba chlazení velmi výrazně ovlivňuje dobu vstřikovacího cyklu a tak se z hlediska produktivity snažíme o co nejkratší délku chlazení. Tato fáze probíhá do momentu otevření formy. Ta se otevírá v momentě, kdy dílec dosáhne teploty odformování. Kvůli produktivitě volíme tuto teplotu co nejvyšší, ale zároveň musí být dostatečně nízká, aby nedošlo k poškození dílce pádem z formy či probodnutím vyhazovačem. Naopak pokud je teplota odformování příliš nízká, hrozí nalepení dílce na formu vlivem smrštění.

5. Vyjmutí výstřiku z formy

K vyjmutí výstřiku dochází buď mechanicky, nebo hydraulicky. Mechanický způsob využíval stavitelných dorazů, ale u moderních strojů se již moc nepoužívá a je spíše využíván systém hydraulický, který je programovatelný a není vázán na pohyb formy.



Obr. 3.2 Průběh vnitřního tlaku formy během vstřikovacího cyklu [20]

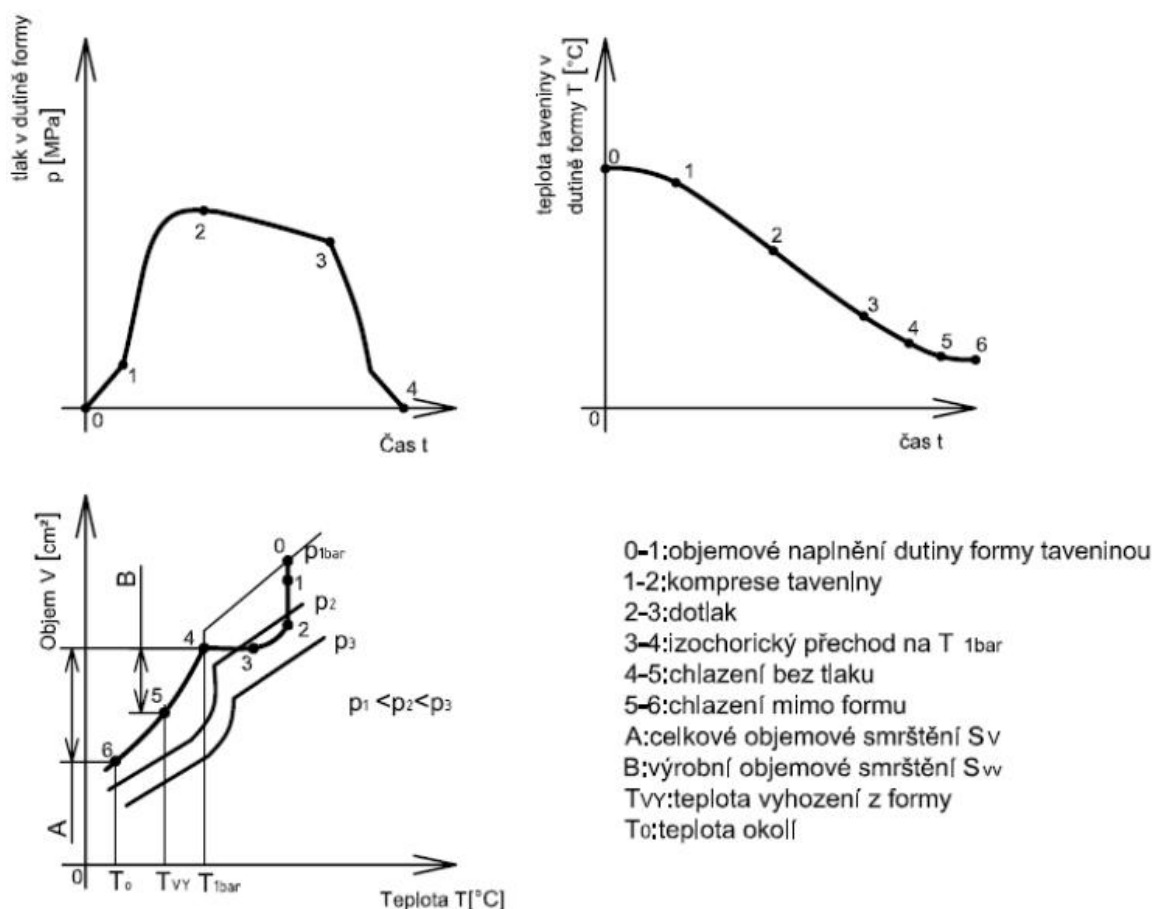
Na obr. 3.2 můžeme vidět průběh tlaku ve formě během vstřikovacího cyklu. t_{s1} je strojní čas na zavření formy a t_{s3} na její otevření. t_v je vstřikovací čas, t_d čas dotlaku, t_{pl} čas plastikace a t_{ch} celkový čas chlazení. Čas chlazení nikdy nesmí být kratší, než součet časů dotlaku a plastikace.

3.3. Smrštění výstřiků [37][41]

Ať už se jedná o termoplast semikrystalický či amorfní, vždy u něj dojde ke změně rozměrů po vyhození z formy. Tuto změnu mezi původními a novými rozměry výstřiků způsobuje smrštění nebo deformace. Pro objasnění významu těchto pojmů je třeba zdůraznit rozdíly mezi nimi. Během deformace dochází ke změně tvaru tělesa, kdežto objem zůstává po celou dobu konstantní. Smrštění je změna objemu tělesa, kterou má za následek především stlačitelnost a tepelná rozpínavost či kontrakce plastů. Dalším faktorem ovlivňujícím změnu objemu je například navlhavost a nasákavost, ale tyto děje jsou vratné a proto nezpůsobují takové komplikace.

Zjednodušeně by se dalo říci, že pro výrobu požadovaných rozměrů stačí navýšit rozměry tvarové dutiny. Problémem však je vysoké množství parametrů ovlivňujících hodnotu smrštění. Mezi nejvýraznější parametry patří procesní parametry vstřikování, což jsou teplota, tlak a čas. Dalšími parametry jsou vlastnosti samotného výstřiku, a to jak materiálové, např. typ a vlastnosti plastu, druh použitých plniv a jejich množství, tak vlastnosti konstrukční, a to tloušťka stěn a tvar. Pro použití v praxi byly vypracovány tabulky smrštění pro jednotlivé druhy plastů. Tyto hodnoty jsou však pouze přibližné a při vysokých požadavcích na přesnost výstřiku je třeba použít jiné metody optimalizace.

Pro názorný popis průběhu tlaku p , objemu V a teploty T během vstřikovacího cyklu slouží tzv. pVT diagramy, na kterých je znázorněn průběh těchto veličin v závislosti na čase. Příklad těchto diagramů je uveden na obr. 3.3.



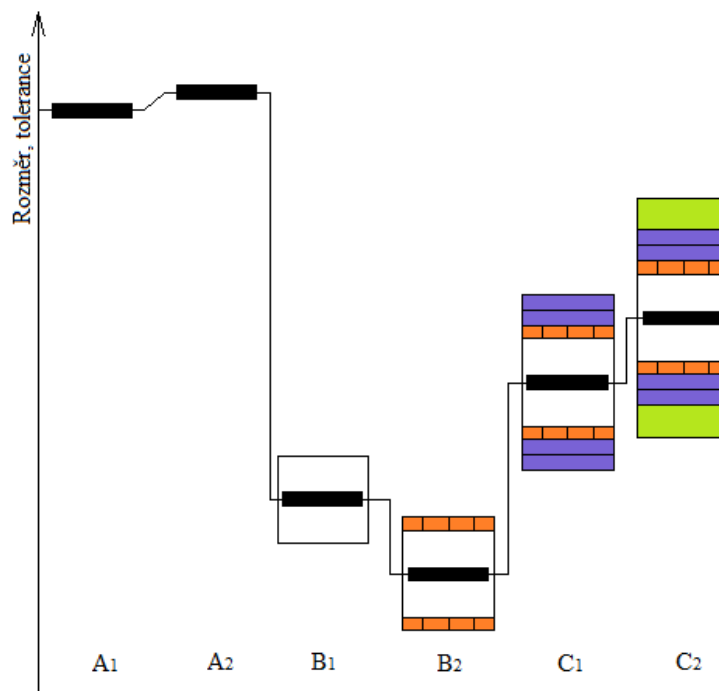
Obr. 3.3 pVT diagramy vstřikovací formy [37]

Popis procesů probíhajících ve vstřikovací formě u pVT diagramu z obr. 3.3.

- Bod 0** tavenina o příslušné teplotě je tlačena šnekem vyvolávajícím svým čelem požadovaný vstřikovací tlak, který je převeden na vstřikovací rychlost. Ta s překonáním odporů vtokového systému dopraví taveninu do ústí vtoku.
- Bod 0 – 1** mezi těmito body dochází k plnění tvarové dutiny taveninou, kdy v bodě 1 je tvarová dutina zcela objemově naplněna.
- Bod 1 – 2** dochází ke stlačování taveniny v dutině formy, kdy v bodě 2 dosahuje tlak svého maxima.
- Bod 2** vstřikovací tlak je přepnut na dotlak, začíná dotlaková fáze.
- Bod 2 – 3** během dotlakové fáze dochází k poklesu teploty taveniny v dutině formy, což má za následek objemovou kontrakci. Dotlak postupně tento úbytek hmoty doplňuje další taveninou, čímž kompenzuje ztráty způsobené objemovou kontrakcí.
- Bod 3** zatuhnutí vtokového ústí znemožňuje další dodávání taveniny a působení dotlaku.
- Bod 3 – 4** postupný pokles tlaku v tvarové dutině až na hodnotu tlaku atmosférického při zachování konstantního objemu výstřiku. Povrch výstřiku se vlivem smrštění odděluje od stěn formy.
- Bod 4 – 5** při zachování konstantního tlaku je výstřik ochlazován a po zatuhnutí celého objemu je v bodě 5 vyhozen z formy.
- Bod 5 – 6** dochlazování výstřiku mimo formu, kdy k ustálení tvaru i rozměrů dochází až za 16 až 48 hodin od vyhození z formy.

3.4. Změna rozměrů výstřiků [37]

Jak již bylo výše naznačeno, rozměry, které má výstřik po vyhození z formy nejsou definitivní, a je třeba počítat s řadou vlivů, které na výstřik působí. Průběh těchto změn a jednotlivých vlivů je graficky zobrazen na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Změna rozměrů výstřiků [37]

Na počátku tohoto diagramu, v rozměru A_1 představujícím vyrobenou vstřikovací formu, vidíme jmenovitý rozměr a od něj černým polem vyznačenou výrobní toleranci. Po ohřevu na provozní teplotu dojde k přechodu jmenovitého rozměru včetně výrobních tolerancí na stav A_2 . V praxi je možné výrobní tolerance i tepelnou roztažnost formy zanedbávat, protože v porovnání s rozměrovými změnami výstřiků bývají zhruba o jeden řád menší.

Po ukončení vstřikovacího cyklu je výstřik o rozměrech A_2 vyhozen z formy, po čemž vlivem ochlazování dojde k nevratnému smrštění na rozměr B_1 . Tento děj je postupný a trvá zhruba 24 hodin od vyhození výstřiku. Toleranční pole tohoto stavu je na diagramu znázorněno bílou barvou. Při přeměrování rozměrů výstřiku dostáváme různé hodnoty smrštění. To je způsobeno především působením rozdílných teplot v různých částech formy, anizotropií smrštění či různými tloušťkami stěn. Po 24 hodinách ještě dochází k dalším změnám. Vlivem uvolňování vnitřního pnutí, změn orientace a dodatečné krystalizace dochází k dosmrštění na rozměr B_2 . Dosmrštění obvykle nabývá hodnot okolo jedné desetiny výrobního smrštění. Na diagramu je znázorněno oranžovou barvou.

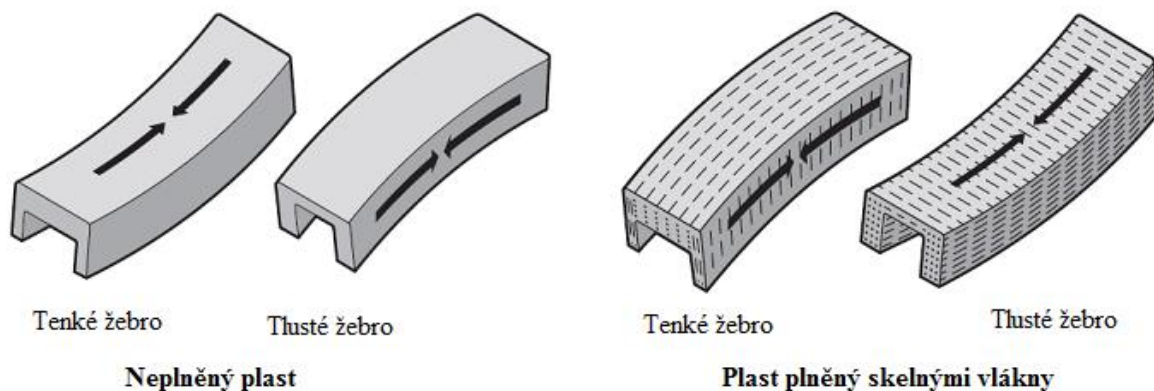
Při výrobě je používán vysušený granulát s obsahem vody blížícím se nule. Tento stav ovšem v reálných podmínkách nenastává a při používání navlhavých plastů dochází v provozních podmínkách k sorpci vody a vratné změně rozměrů na C_1 . Toleranční pole rozměrových změn způsobených navlhavostí je v diagramu znázorněno fialovou barvou. Je třeba brát v potaz, že vlhkostní podmínky nemusí být v provozním prostředí konstantní, a tak může docházet ke změně rozměrů i za provozu.

Stejně jako u vlhkosti nemusí být ani teplota v provozním prostředí konstantní, což vede k další změně rozměrů označené jako C_2 . Toleranční pole této rozměrové změny je v diagramu zaznačeno zelenou barvou a zahrnuje i vliv nehomogenní struktury, která má za následek anizotropii teplotní roztažnosti. Dalším podstatným vlivem je nerovnoměrné rozložení teplot v objemu výstřiku. Pokud je výstřik dlouhodobě používán v prostředí s vyšší provozní teplotou, nesmíme zapomenout na změnu rozměrů způsobenou vysušením a téměř nulovým obsahem vody.

Z diagramu tedy vyplývá, že celková tolerance rozměrů výstřiku je složena z mnoha dílčích tolerancí ovlivněných jak výrobními, tak provozními podmínkami. Především u smrštění a dosmrštění je vliv výrobních parametrů velmi výrazný, a pokud chceme dosáhnout užšího tolerančního pásma, je třeba zajistit reprodukovatelnost cyklů.

3.5. Anizotropie smrštění [19][41]

Jak již bylo nastíněno v předešlé kapitole, smrštění hraje velmi podstatnou roli v rozměrové přesnosti výstřiků. Vlivem orientace makromolekul a plniva, především ve formě vláken, dochází k anizotropii smrštění, neboli ke směrové rozdílnosti rozměrových změn (obr 3.5).



Obr. 3.5 Rozdílné smrštění plněného a neplněného plastu [19]

Při použití neplněných termoplastů vznikají rozdíly pouze mezi smrštěním ve směru příčném na směr toku taveniny a ve směru podélném. Jelikož existuje řada faktorů a materiálových vlastností ovlivňujících anizotropii, nelze obecně říci, zda je u termoplastů větší smrštění podélné nebo příčné. Lze pouze říci, že u částečně krystalických termoplastů dochází k větším rozdílům ve směrovém smrštění, a to 10 až 25%, kdežto u amorfních termoplastů dosahuje rozdílnost smrštění hodnot pouze okolo 5 až 10%.

Pokud používáme vláknová plniva, je smrštění ve směru toku taveniny vždy menší, než ve směru na tento směr kolmém. Velikost rozdílů podélného a příčného smrštění dosahuje podle obsahu použitého plniva hodnot zhruba 20 až 60%. Pokud je použito plnivo částicové, je tento rozdíl daleko menší a při obsahu částicového plniva zhruba 40% lze říci, že je smrštění prakticky stejné ve všech směrech, neboli izotropní.

3.6. Přesnost výstřiků z termoplastů [41]

Pro výrobní tolerance plastových výstřiků platí norma ČSN 64 0006. Stejně jako u kovů je na výkresech předepsána požadovaná přesnost ve stupních IT. Tyto stupně zahrnují pouze toleranci výrobních rozměrů měřených v ustáleném stavu, tedy 24 hodin po výrobě v podmínkách $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ a suchém prostředí. Obecně lze dosáhnout výrobní přesnosti:

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| – Amorfní termoplasty | IT 10 až IT 12 |
| – Částečně krystalické termoplasty | IT 11 až IT 13 |
| – „Měkké“ termoplasty | IT 14 až IT 16 |

Při požadavcích na větší přesnost menších výstřiků je možné použití jednonásobných forem. Tímto můžeme zvýšit přesnost o zhruba 1 stupeň IT. Další možností pro zvýšení výrobní přesnosti je použití vstřikovacích strojů poháněných elektricky místo vstřikovacích strojů hydraulických. Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, čím lepší je reprodukovatelnost výrobních parametrů, tím vyšší přesnosti jsme schopni dosáhnout. Volba elektrického vstřikovacího stroje může zvýšit přesnost až o 1 až 2 IT.

V praxi by mělo platit, že výši požadované přesnosti výstřiku stanovujeme pouze na základě skutečných požadavků daného dílce, nikoliv na hranici danou výrobní tolerancí dle normy. Ačkoliv je možné vyrobit výstřiky i o přesnosti IT 8, dochází u nich k razantnímu zvýšení výrobních nákladů, které vždy nemusí být opodstatněné. Z tohoto důvodu je vždy nutná konzultace se zákazníkem a sjednání přijatelných požadavků na přesnost výstřiků.

4. VSTŘIKOVACÍ FORMY [31][37]

Vstřikovací forma (obr 4.1) je nástrojem technologie vstřikování a výměnnou částí uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. Stejně jako u odlévání kovů je tvar výsledného dílce dán tvarem dutiny formy. Vstřikovací forma klade velmi vysoké požadavky na konstrukční i výrobní přesnost a v neposlední řadě na ekonomičnost. Forma musí zajistit bezproblémovou výrobu výstřiků o přesných rozměrech, jejich snadné vyjmutí a schopnost pracovat v automatickém provozu. Životnost forem bývá vyšší než 1 000 000 zdvihů

Při výrobě formy se až 80% dílů nakupuje jako normálie od dodavatele s případnými drobnými úpravami, což příznivě ovlivňuje její cenu a dobu potřebnou na výrobu. Hlavní funkční systémy forem jsou vtokový systém, tvarová dutina, temperační systém a vyhazovací systém. Všechny tyto systémy je pro bezproblémovou funkci formy potřeba správně navrhnout. Forma dále obsahuje vodící a středící prvky a upevňovací elementy. Pokud je pro daný výstřik požadováno, může být forma vybavena prvky pro převedení pohybu na vedlejší osy, které zajišťují posun jader ve směru kolmém na směr pohybu formy při otevírání a umožňují vyhození výstřiku.



Obr. 4.1 Příklad vstřikovací formy [31]

4.1. Základní rozdělení vstřikovacích forem [37]

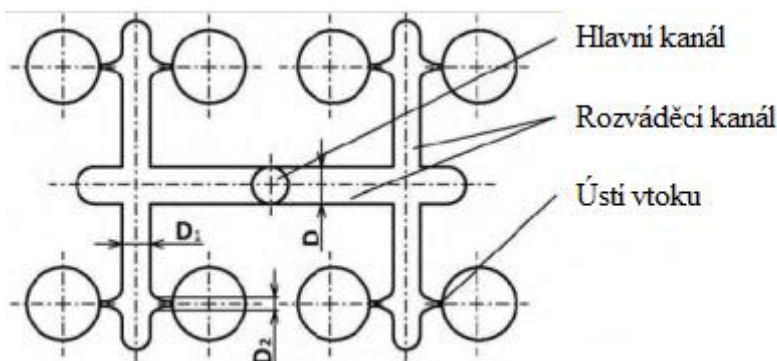
Vstřikovací formy lze dělit do několika kategorií, a to podle:

- typu vstřikovacího stroje:
 - se vstřikováním do osy
 - se vstřikováním do dělicí roviny formy
- počtu tvarových dutin:
 - jednonásobné
 - vícenásobné
- uspořádání vtoku:
 - dvoudeskové (jednoduché)
 - třideskové (s odtrhovacím vtokem)
 - s horkým vtokem (pro bezezbytkové vstřikování)
 - s izolovanými vtokovými kanály
 - s vyhřívanými vtokovými kanály
- konstrukce:
 - jednoduché
 - čelist'ové
 - s výsuvnými jádry
 - vyšroubovací (když výstřik obsahuje závit)

- zpracovávaného materiálu: - pro termoplasty
- pro reaktoplasty
- pro elastomery

4.2. Vtokový systém formy [20]

Jak již název napovídá, úkolem vtokového systému je doprava taveniny plastu z plastikační komory do dutiny formy a rovnoměrné zaplnění dutiny. Vtokový systém zahrnuje všechny cesty od trysky až do nejvzdálenějšího místa dutiny a má podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření studených spojů a orientaci makromolekul a plniva. Zároveň je velmi důležité zajistit bezproblémové odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození zbytku vtokové soustavy. Schéma vtokové soustavy je na obr. 4.2.

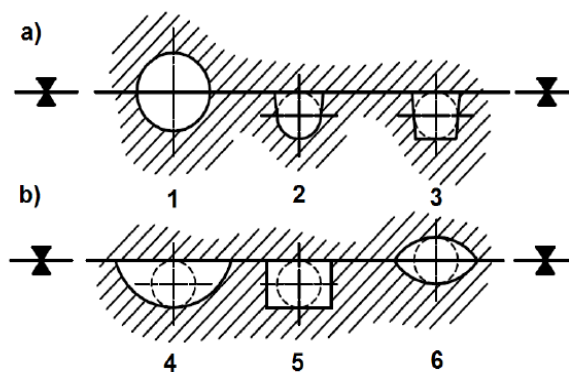


Obr. 4.2 Schéma vtokového systému formy [20]

Při návrhu vtokového systému je potřeba brát v potaz několik faktorů. Objem vtokové soustavy by měl být omezen na minimum. V případě termoplastů a reaktoplastů by měl být vtok směřován do nejtlustší stěny, v případě vstřikování s nadouvadlem do stěny nejslabší. Vtoková soustava by dále neměla být umístěna na pohledové plochy či tam, kde by komplikovala funkci výrobku. Z hlediska toku materiálu je samozřejmě nejvýhodnější, pokud je vtok umístěn v geometrickém středu součásti. Podle druhu a parametrů výstřiku volíme nejvhodnější druh vtoků. Vtokový zbytek se od dílce odděluje řezem, odtrhnutím nebo u větších dílců odstříhovacím přípravkem.

4.2.1. Rozváděcí kanálky [20][38]

Funkce rozváděcích kanálků je dopravit taveninu od trysky až do tvarové dutiny. Poměr obvodu kanálku k jeho ploše by měl být co nejmenší, což zajišťuje nejmenší hydraulický odpor průtoku taveniny. Na obr. 4.3 vidíme možné průřezy vtokových kanálků. Z hlediska hydraulických odporů jsou nejvýhodnější průřezy 1, 2 a 3. Z hlediska vyrobitelnosti jsou však kanály 1 a 6 obtížně vyrobitelné a proto je lepší



Obr. 4.3 Nejčastější průřezy kanálků vtokové soustavy [20]



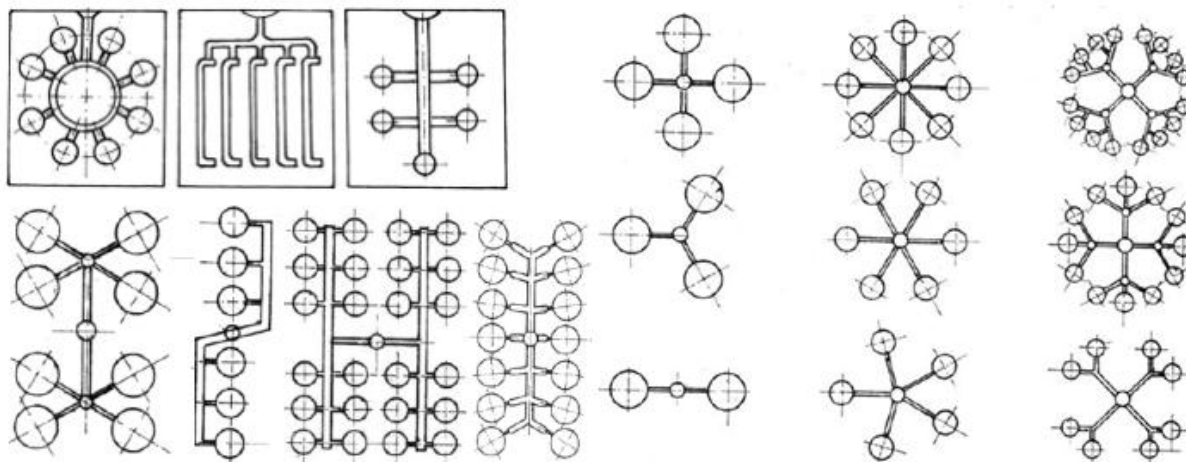
Obr. 4.4 Špatně zvolené uspořádání [20]

volit z průřezů 2 až 5. Proto jsou nejvýhodnější průřezy 2 a 3.

Pokud používáme vícenásobnou formu, je nutné použít vhodné uspořádání vtokových kanálků. Jelikož tlak i teplota se vzdáleností od hlavního vtoků klesají, musíme volit takové uspořádání, aby došlo k bezchybné výrobě všech dílců. Příklad špatně zvoleného uspořádání lze vidět na obr. 4.4.

Uspořádání vtokových kanálků je zvoleno podle

způsobu vstřikování. Příklady uspořádání pro vstřik do dělicí roviny jsou na obr 4.5. Při vstřiku do osy lze použít uspořádání buď řadové, zobrazené v levé části obrázku, nebo symetrické (v pravé části obrázku).



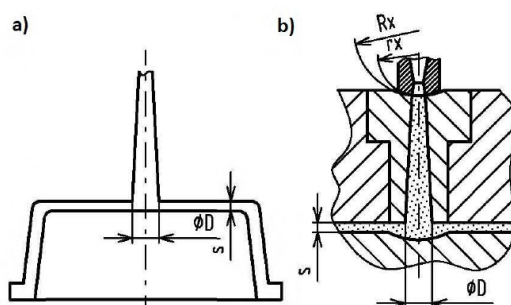
Obr. 4.5 Řadové a symetrické uspořádání vtokových kanálků [38]

4.2.2. Studená vtoková soustava [19][20][38]

Je základním a nejjednodušším typem vtokové soustavy. U studené vtokové soustavy se počítá se ztuhnutím taveniny i v rozváděcích kanálech, odkud musí být při otevření formy vyhozena jako vtokový zbytek. Druhy vtoků:

a/ Plný kuželový vtok

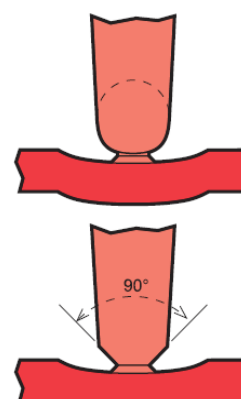
Je nejjednodušším řešením, které se používá pouze u jednonásobných forem a masivních výstřiků s velkou dobou dotlačení. Kuželovitost se volí 1:15 až 1:50. Bez použití kuželu by hrozilo předčasné zatuhnutí vtoků či neuvolnění při vyhazování. Naopak vysoké hodnoty kuželovitosti prodlužují ochlazovací dobu a zvětšují odpad. Použití čokovitého vybrání v dutině formy (obr 4.6 b)) zlepšuje tokové vlastnosti.



Obr. 4.6 Schéma plného kuželového vtoku [20]

b/ Bodový vtok

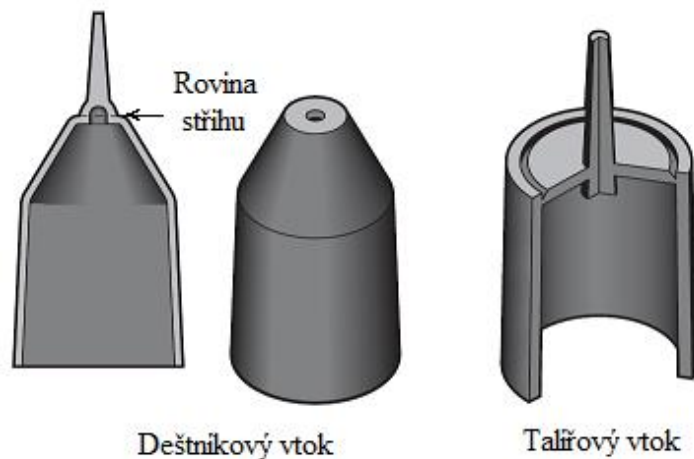
Je jedním z nejpoužívanějších ze zúžených vtoků. Průřez vtoku může být kruhový, obdélníkový či půlkruhový. Nejčastěji používaným je průřez kruhový (obr 4.7). Použití bodového vtoku je podmíněno použitím třídeskové formy, protože je po vstřiku nutné nejdříve odtrhnout vtok a až poté otevřít formu. Tento vtok není doporučeno používat u méně tekutých či plněných plastů.



Obr. 4.7 Bodový vtok [19]

c/ Deštníkový a talířový vtok

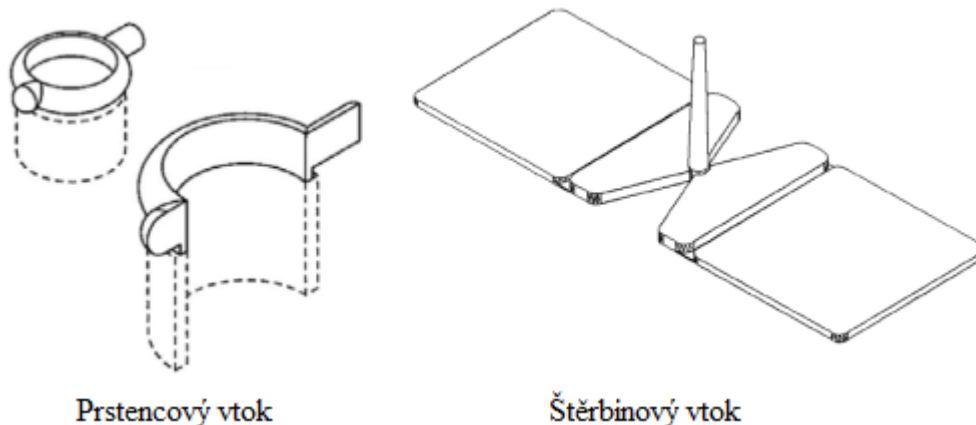
Tento typ vtoků je nejpoužívanější pro kratší rotační duté výstřiky. U těchto výstřiků není možné použít bodový vtok, protože by při obtékání jádra a následném spojení ochlazené taveniny hrozil vznik studených spojů. Deštníkový vtok (obr. 4.8) je charakterizován úzkým ústím po celém obvodu součásti a axiálním směrem tečení. Talířový vtok má směr tečení radiální.



Obr. 4.8 Deštníkový a taliřový vtok [19]

d/ Prstencový vtok

Prstencový vtok, zobrazen na obr. 4.9, je charakterizován kruhovým štěrbinovým ústím. Na rozdíl od deštníkového vtoku je vhodný pro delší rotační duté výstřiky menších průměrů, kde hrozí nebezpečí vyosení nebo prohnutí jádra ve formě.



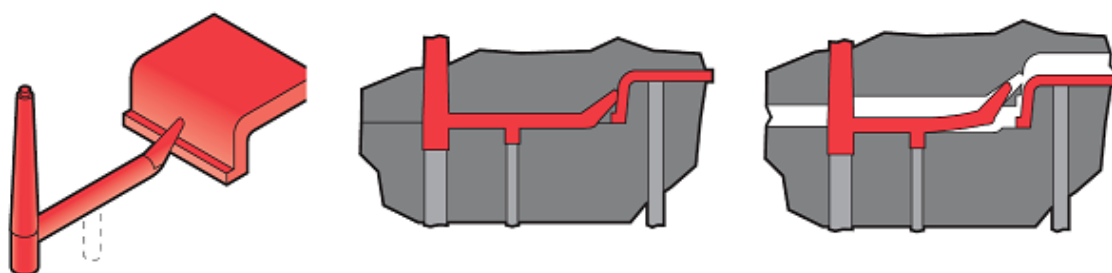
Obr. 4.9 Prstencový a štěrbinový vtok [38]

e/ Štěrbínový vtok

Štěrbínový vtok (obr. 4.9) se používá pro ploché deskové výstřiky se vstřikem do dělicí roviny a pro materiály plněné skelnými vlákny s vyššími požadavky na kvalitu. Po vyjmutí výstřiku je nutno vtokový zbytek dodatečně oddělit.

f/ Tunelový vtok

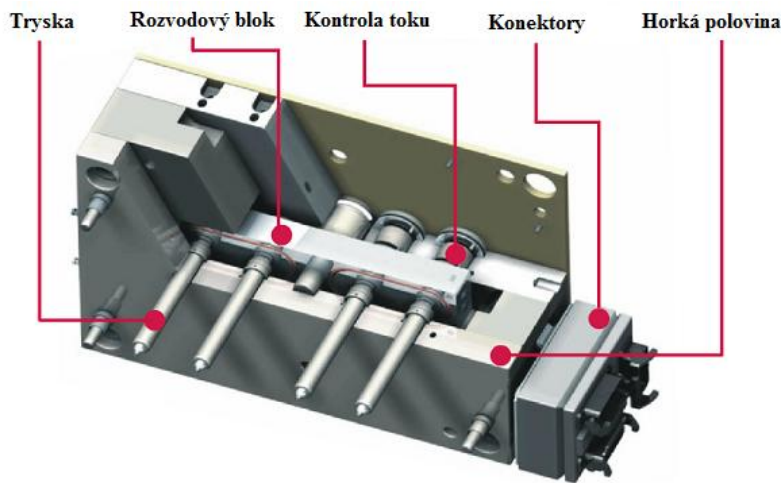
Tunelový vtok se používá u dvoudeskových forem a nahrazuje řešení forem třídeskových. Vtokový zbytek se automaticky oddělí řeznou hranou při vyhození výstřiku, jak lze vidět na obr. 4.10. Komplikací tohoto vtoku je složitá výroba elektrojiskrovým hloubením.



Obr. 4.10 Tunelový vtok [19]

4.2.3. Horká vtoková soustava [13][19][20][35]

Na horkou vtokovou soustavu lze prakticky nahlížet jako na prodloužení plastikační jednotky stroje. Ve vtokové soustavě již nedochází k homogenizaci, ale tavenina plastu je dopravována do jedné či více tvarových dutin a je zamezeno jejímu chladnutí. K tomu dochází až v momentě vniku do tvarové dutiny.



Obr. 4.11 Schéma horké vtokové soustavy [13]

Použití horké vtokové soustavy svými nastavitelnými a stabilními podmínkami zvyšuje kvalitu výstřiku a snižuje čas vstřikování. Jelikož k tuhnutí dochází až ve tvarové dutině, nevzniká u horké vtokové soustavy odpad jako u soustavy studené. Veškerá tavenina je využita v samotném výstřiku. Jediný odpad vzniká pouze v podobě stop či malých zbytků po vtoku na výstřiku.

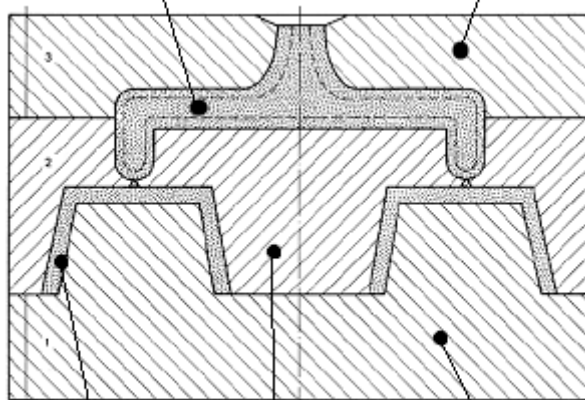
a zároveň i nejčastějším zdrojem problémů, je kontrola nastavené teploty. V celém průběhu soustavy musí být vysoký stupeň tepelné homogenity. Jen tak lze docílit rovnoměrného plnění, dotlaku i smrštění a předejít degradaci materiálu. Horké vtokové soustavy se nejčastěji používají pro malé výstřiky ve vícenásobných formách nebo pro vícebodové vstřikování rozměrných dílců, např. palubní desky automobilu.

Realizace horké vtokové soustavy je provedená použitím tzv. horké poloviny formy, viz obr. 4.11. Zde se až do momentu opuštění trysky pohybuje plast ve formě taveniny o konstantní teplotě, stejně jako ve stroji. Dle konstrukce a způsobu vyhřívání rozvodových kanálků se horké vtokové soustavy dělí na několik druhů.

Izolovaná horká vtoková soustava

Konstrukcí je izolovaná horká vtoková soustava podobná vtokové soustavě studené, ale rozváděcí kanálky izolované horké tokové soustavy mají daleko větší průměr, např. 15mm,

Izolovaná vtoková soustava Upínací deska



Plastový dílec Deska tvárniku Deska tvárnice

Obr. 4.12 Izolovaná horká vtoková soustava [20]

jak lze vidět na obr. 4.12. Při vstřikování dochází vlivem rychlého ochlazování k tuhnutí plastu na stěnách vtokových kanálků. Pokud je dostatečně krátká doba vstřikovacího cyklu, nedojde k úplnému zatuhnutí a uprostřed kanálku zůstane neztuhnutá tavenina. I když je teplota stěn kanálku nižší, vlivem nízké tepelné vodivosti plastu nedochází k zatuhnutí a plast uprostřed zůstává ve formě taveniny.

Tento typ vtokové soustavy lze použít například, pokud je požadavek na častou změnu plastových dílců. Systém je však velice citlivý na změnu délky vstřikovacího cyklu a po překročení určité hodnoty dochází k zatuhnutí plastu i uprostřed

kanálků. Takto zatuhlý plast sice není obtížné odstranit, ale oprava vyžaduje jistý čas.

Vnitřně vyhřívaná horká vtoková soustava

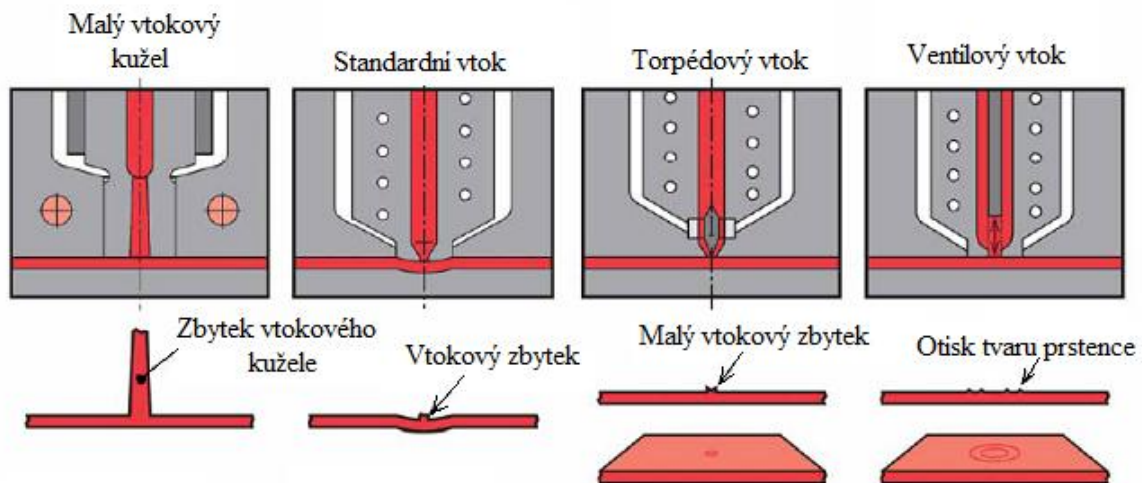
Je rovněž tvořena kanálky s větším průměrem, nejčastěji kruhovitěho či lichoběžníkového tvaru, ale, na rozdíl od předešlého, jsou uvnitř všech kanálků umístěny tepelné vložky. Tavenina plastu tedy proudí mezi stěnou kanálků a těmito vložkami. Výhodou tohoto systému je způsob distribuce tepla, kdy jde teplo zevnitř ven, čímž se zvětší poměr tepla odebraného plastem oproti teplu odvedenému deskami formy, což má za následek úsporu energie.

I u tohoto systému může docházet ke ztuhnutí tenké vrstvy taveniny na stěnách kanálků. Tato vrstva opět slouží jako izolace. Stěny kanálků není třeba temperovat na vysokou teplotu, obvykle stačí teplota o 100 až 150°C nižší, než je teplota tepelných vložek.

Tento systém se nedoporučuje aplikovat na termoplasty pro inženýrské aplikace s vysokou teplotou tání. Naopak výhodné je použití pro velkosériovou výrobu termoplastů s nižší tepelnou citlivostí. Cena vnitřně vyhřívané vtokové soustavy je nižší, než cena vtokové soustavy s vyhříváním vnějším.

Externě vyhřívaná horká vtoková soustava

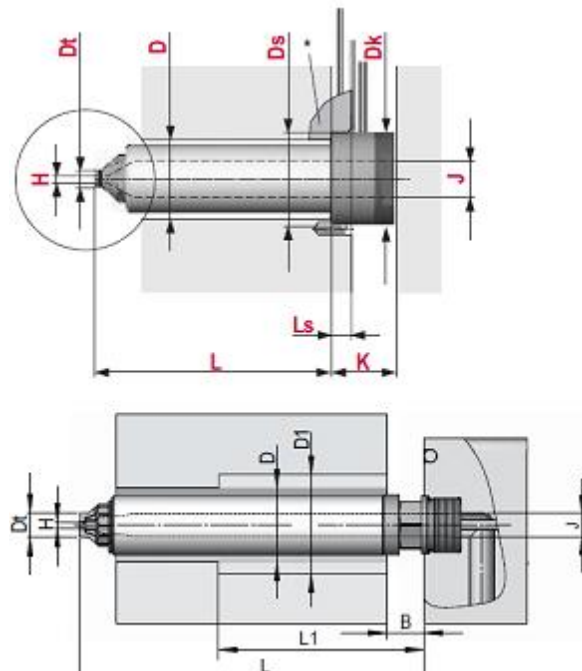
Na rozdíl od vnitřně vyhřívané vtokové soustavy přichází teplo u externě vyhřívané vtokové soustavy z vnější strany rozvodového kanálku. Podle násobnosti vstřikovací formy je použito buď samostatné horké vstřikovací trysky, nebo rozváděcího bloku s napojením na větší počet horkých trysek v místech vstřiku, jak bylo zobrazeno na obr. 4.11. Samotné provedení trysky se dělí do několika skupin a vhodný typ trysky se určí především podle materiálu výstřiku, vstřikovaného objemu, požadavků na stopy po vtoku a vstřikovacích parametrů. Základní typy trysek jsou znázorněny na obr. 4.13. Každá tryska zanechává svou specifickou stopu a záleží na použití výrobku, která stopa přijatelná je, a která přijatelná není. Nejméně výrazná stopa vzniká při použití ventilového vtoku, avšak jeho nevýhodou je nutná přítomnost zařízení, obvykle hydraulického či pneumatického, pro kontrolu uzavírání této trysky.



Obr. 4.13 Typy vtoků horkých trysek [19]

Problémem je rozdílná teplota desek formy a rozvodového bloku. Tento rozdíl vede k tepelné roztažnosti a tedy i změně rozměrů. Proto není správné určení polohy a uchycení trysky k rozvodovému bloku jednoduchou záležitostí. Připevnění těchto trysek k rozvodovému bloku je nejčastěji řešeno dvěma způsoby. První způsob, tzv. kluzký, je dosednutím čelních ploch a působením tlaku. Takto uchycená trysky sice vlivem vůle mírně kompenzuje vliv tepelné roztažnosti, ale i přesto je potřeba volit polohu trysky nikoliv ve stavu teploty okolí, ale ve stavu pracovní teploty formy. Nevýhodou tohoto uchycení je možnost podtečení materiálu mezi tryskou a rozvodovým blokem vlivem špatných tolerancí či opotřebení formy. Druhým způsobem je uchycení trysky šroubováním. Takto přichycené

trysky jsou v kontaktu s deskou formy pouze v místě vtoku do tvarové dutiny. Mezi zbylou částí trysky a desky je vůle. Trysky tohoto typu musí mít větší délku, aby za nízkých teplot nedocházelo vlivem tepelné roztažnosti k příliš vysokému pnutí v trysce. Výhodou tohoto typu uchycení je perfektní tepelná homogenita v celém průběhu vtokové soustavy a nemožnost podtečení materiálu. Oblast použití trysek s přichycením pomocí závitu je především pro výstřiky vyšších objemů a výstřiky s vyššími požadavky na kvalitu. Grafické znázornění těchto systémů uchycení je na obr 4.14.



Obr. 4.14 Systémy uchycení trysek [35]

Shrnutí

Hlavní výhodou horké vtokové soustavy je absence vtokového zbytku a nákladů spojených s jeho odstraněním a recyklací. Tato vlastnost rovněž vede k snížení vstřikovaného objemu a tedy úspoře na materiálu a snížení vstřikovacích časů. Přínosem je možnost přesné regulace, kontroly a tedy i lepší opakovatelnosti procesních podmínek ve vtokové soustavě, což pozitivně ovlivňuje kvalitu výstřiku. Další výhodou je snížení vstřikovacího tlaku a to především u široce rozvětvených mnohonásobných forem.

Na druhou stranu je zřejmé, že s takto komplexním zařízením porostou i jeho pořizovací náklady, a tedy největší nevýhodou horkých vtokových soustav je jejich cena. Další náklady jsou spojeny s energií potřebnou pro vyhřívání soustav a s údržbou formy, na kterou je pro bezproblémovou funkci horké vtokové soustavy potřeba klást zřetel. Nebezpečím je možnost přehřátí, tedy tepelné degradace materiálu, a to především ve stagnačních zónách.

Po shrnutí těchto parametrů lze říci, že horké vtokové soustavy mají velice příznivý vliv na kvalitu výstřiku, ale jsou podmíněny vysokými pořizovacími náklady, což je předurčuje především pro objemnější výrobní dávky, případně pro inženýrské aplikace, kde jsou vyšší požadavky na jakost výrobku.

4.3. Vyhazovací systém forem [9][37]

Po dokončení vstřikovacího cyklu a otevření formy je nutno zajistit vyjmutí výstřiku. Jelikož má výstřik po dokončení vstřikovacího cyklu nižší teplotu, než v momentu vstřikování, dochází k jeho smrštění. Jak již bylo zmíněno výše, jisté druhy plastů mohou mít velmi výrazné smrštění vedoucí k ulpívání výstřiku na formě. Aby byla zaručena správná funkce vyhazovacího systému, měl by mít výstřik hladké stěny a zkosení vnitřních stěn alespoň $0^{\circ}30'$.

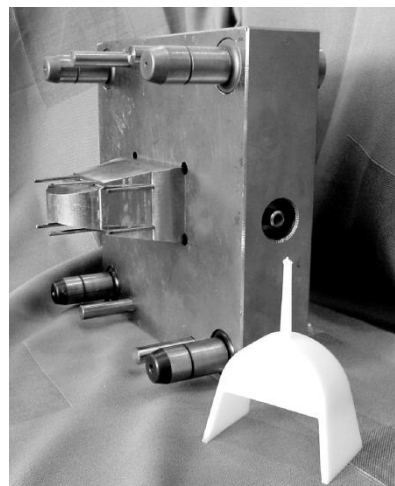
Z tohoto důvodu obsahuje forma vyhazovací systém, který zajišťuje bezproblémové vyjmutí výstřiku a zároveň dobrou automatizovatelnost. V praxi se používá několik konstrukčních provedení vyhazovačů, jejich volba závisí především na typu výstřiku a technickém vybavení stroje. Při špatné volbě vyhazovacího systému by mohlo dojít ke komplikacím během vyhazování, nebo k poškození výstřiku.

Určení potřebné velikosti vyhazovací síly je ovlivněno několika faktory. Nejvýraznější vliv má smrštění výstřiku a drsnost jeho povrchu, která výrazně zvyšuje třecí síly mezi formou a výstřikem. Dalšími faktory jsou podtlak, který vzniká ve vzdušných kanálcích při vyhazování, adheze k líci formy, kterou lze snížit použitím úkosů a pružné deformace formy.

Rozdělení vyhazovacích systémů

Druh vyhazovacího elementu je volen podle typu výstřiku. Pro masivní výstřiky a ploché tvary je nejpoužívanější vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků (obr. 4.15). Nevýhodou při použití vyhazovacích kolíků je působení síly na malou plochu, což může vést k otlacení výstřiku. Pro rotační tvary je nejběžnější vyhazování pomocí stírací desky nebo kroužků. Ty, na rozdíl od kolíků, zajišťují rovnoměrné rozložení síly na větší plochu. Na výstřiky pouzdrovitých tvarů je používán trubkový vyhazovač a na hluboké a rozměrné výstřiky se používá vyhazování pomocí stlačeného vzduchu. Toho se docílí elementem ovládaným stlačeným vzduchem, impulsem stlačeného vzduchu po otevření jehlového ventilu nebo impulsem stlačeného vzduchu přivedeným štěrbinou.

Vyvození pohybu vyhazovačů je závislé na technickém vybavení vstřikovacího stroje. Nejjednodušší metodou je vyvození pohybu z pohybu částí formy. Tato metoda je sice nejlevnější, ale neumožňuje nezávislé ovládání vyhazovačů. Modifikací této metody je použití pružin k vyvození zpětného pohybu. Nejlepší metoda vyvození pohybu vyhazovačů je použití hydraulického vyhazovacího systému vstřikovacího stroje. Tato metoda je podmíněna dražší výbavou stroje, ale umožňuje úplnou kontrolu vyhazovačů během vstřikovacího cyklu.



Obr. 4.15 Příklad kolíkových vyhazovačů [9]

4.4. Odvzdušnění vstřikovacích forem [20]

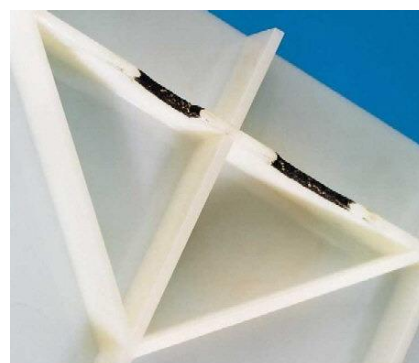
Stejně jako i u jiných technologií je nutno zajistit řádné odvzdušnění formy. Pokud by nebyla forma odvzdušněna, přitékající tavenina by stlačovala vzduch v určité kapse, která by zabraňovala úplnému zaplnění tvarové dutiny a navíc reagovala prudkým zvýšením teploty vedoucím k spálení taveniny. Tento jev se nazývá Diesel efekt (obr. 4.16).

U nejjednodušších forem není třeba řešit speciální odvzdušňovací systémy. K odvzdušnění stačí dostatečná hrubost dělicích ploch, vytvořená např. broušením dostatečně hrubým kotoučem. Tyto rýhy však musejí vést radiálně, směrem z tvarové dutiny. Tento způsob odvzdušnění nelze použít při požadavku na velmi krátké vstřikovací časy

Konstrukční řešení odvzdušňovacího systému je nejvíce ovlivněno tvarem výstřiku. U plochých výstřiků je odvzdušnění dosaženo mezerou v dělicí rovině na místě protilehlému k vtoku. Výška této mezery musí být dostatečně velká, aby mohlo dojít k bezproblémovému úniku vzduchu, ale zároveň nesmí být příliš velká, aby nedošlo k průtoku plastu touto mezerou. Výška se obvykle volí 0,02 – 0,05 mm podle typu vstřikovaného plastu. Šířka mezery se volí libovolná, nejčastěji 3 – 6 mm.

Pokud nevstřikujeme výstřiky plochých tvarů, ale např. tvarů rotačních, je nejvýhodnější vytvořit štěrbinu pro únik vzduchu přebroušením vyhazovače. Opět je třeba dbát na vhodné rozměry škvíry, aby nedocházelo k zatékání taveniny.

Speciální metodou odvzdušnění je metoda Tool-Vac. Tato metoda využívá slinované oceli obsahující póry, které dovolí odvedení vzduchu, ale zároveň nepropustí taveninu. Velikost těchto pórů bývá mezi 10 – 20 μm . Postup výroby oceli se skládá ze zhutňování



Obr. 4.16 Diesel efekt [20]

práškového materiálu pomocí lisování za studena, slinování a kalení. Příkladem tohoto materiálu je ocel s označením TVBX 03.

4.5. Temperace vstřikovacích forem [10][37]

Temperování forem je dalším důležitým systémem vstřikovacích forem. Během vstřikovacích cyklů dochází k periodicky se opakující změně teploty na vnitřní stěně tvarové dutiny. Temperační systém má za úkol přivádět nebo odvádět dostatečné množství tepla tak, aby vyrovnal rozdíl mezi teplem přivedeným taveninou plastu do formy a teplem odvedeným do okolí. To zaručuje kontrolované a stabilní tepelné podmínky uvnitř formy vedoucí k bezproblémové výrobě výstřiků.

Během vstřikovacího cyklu dochází k odvodu tepla do okolí. Odvedené teplo se dělí na teplo odvedené vedením do upínacích desek stroje, teplo odvedení do okolí a teplo odvedené zářením. Velmi důležitým faktorem při odvodu tepla je tepelná vodivost. Ta je daná druhem materiálu a nabývá velmi rozdílných hodnot, např. tepelná vodivost stříbra je až 10x vyšší než tepelná vodivost oceli.

Pro měření teploty se využívají teplotní čidla vložená v jímce ve formě. Tato čidla však udávají mírně zkreslené údaje se zpožděním, což je potřeba brát v potaz.

Nejběžnější metodou temperance je s použitím chladicí kapaliny jako temperačního média (obr. 4.17), která je složena z vody a inhibitorů koroze, usazování atd. Pro správnou funkci temperačního systému je třeba dodržet několik zásad. Aby chladicí kapalina správně odváděla teplo, musí proudit turbulentně. Při laminárním proudění dochází k několikanásobnému poklesu odvodu tepla. Přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním je dán Reynoldsovým číslem, které je závislé na průřezu potrubí, kinematické viskozitě



Obr. 4.17 Přívody temperační kapaliny formy [10]

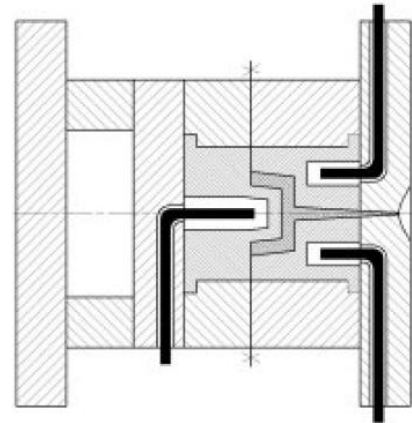
a rychlosti proudění. Aby byla vždy dodržena správná hodnota Reynoldsova čísla, je temperační systém vybaven řadou čidel, podle jejichž měření řídicí systém optimalizuje rychlost proudění. Dalším doporučením pro správnou funkci systému je maximální rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou chladicí kapaliny. Ten by neměl přesahovat 4°C, při vstřikování přesných výstřiků maximálně 2,5°C.

Při návrhu rozvodu temperačních kanálků je potřeba dbát na jistá pravidla. Pro nejvyšší účinnost je potřeba umístit kanálky co nejbližší tvarové dutině formy. Při tomto kroku je ovšem třeba dbát na tuhost formy, aby nemohlo docházet k deformaci. Kapalina by měla odvádět teplo nejintenzivněji na začátku kanálku, neboli průtok by měl být od místa nejteplejšího k nejchladnějšímu. Doporučovaný průměr kanálků by se měl pohybovat v rozmezí 6 – 20 mm a průtoková rychlost chladicí kapaliny by měla být 0,5 – 4 m/s. Obě poloviny formy by měly mít své vlastní temperační okruhy.

4.5.1. Speciální metody temperance [4]

Metoda Tool-Vac

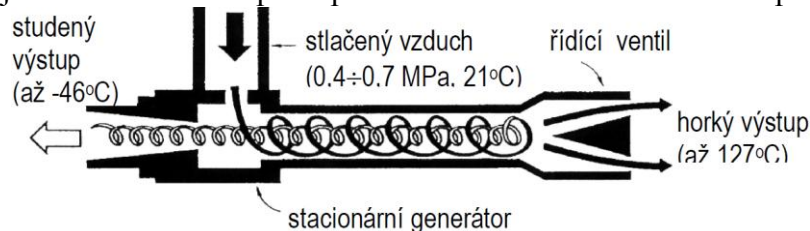
Jak již bylo zmíněno v kapitole od vzdušňování formy, Tool-Vac je založen na využití porézního materiálu, který umožňuje průnik média, v tomto případě kapalného CO₂ (obr. 4.18). Ten je v určitých impulzech přiváděn trubičkami do formy, kde svým vypařováním snižuje teplotu ve formě. Celý systém je snímán a řízen řídicí jednotkou. Tool-Vac se nejčastěji používá v kombinaci s temperančními kanálky pro lokální chlazení tlustostěnných výstřiků. Nevýhodou této metody jsou náklady spojené s dodatečnou operací k zajištění vysoké jakosti povrchu dílce, požadavky na zajištění čistoty při montáži a ošetřování nástroje konzervačními prostředky.



Obr. 4.18 Schéma metody Tool-Vac [4]

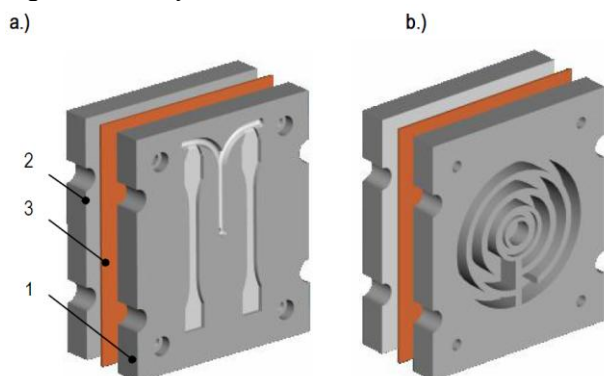
Vírová trubice

Vírová trubice je založena na výsledku experimentu, kdy se podařilo zkonstruovat trubici tak, aby z jednoho konce vycházel teplý a z druhého studený vzduch. Toto jednoduché zařízení funguje na bázi stlačeného vzduchu, který je upravován do dvou proudů, horkého a studeného. Vzduch uprostřed předává teplo vzduchu proudícímu u povrchu trubice, který poté odchází jehlovým ventilem ven. Takto ochlazený vzduch opět proudí zpět ke studenému výfuku, kde provádí přirozenou výměnu tepla. Princip je vyobrazen na obr. 4.19. Výhodou této metody je výborná ekologičnost a okamžitý nástup chladicího účinku. Vlivem vysokých rychlostí proudů však produkuje výrazný hluk a proto bývá trubice vybavena tlumiči hluku. Tato technologie je nestandardní a nepříliš používaná v oblastech vstřikování plastů.



Obr. 4.19 Schéma vírové trubice [4]

Tepelné vložky



Obr. 4.20 Použití tepelných vložek ve formě [4]

Tato metoda, založená na použití vložek z vysoce tepelně vodivého materiálu je velmi hojně používána v kombinaci s klasickou temperancí pomocí temperančního média. Použití těchto vložek poblíž dutiny formy (obr. 4.20) vede k zvýšení temperančního účinku. Vložky přispívají k rovnoměrnějšímu odvodu tepla z celého objemu současně, a tak přispívají k zlepšení produktivity. Nevýhodou těchto vložek jsou především mechanické vlastnosti horší než vlastnosti materiálu formy, což vede k rychlejšímu opotřebení.

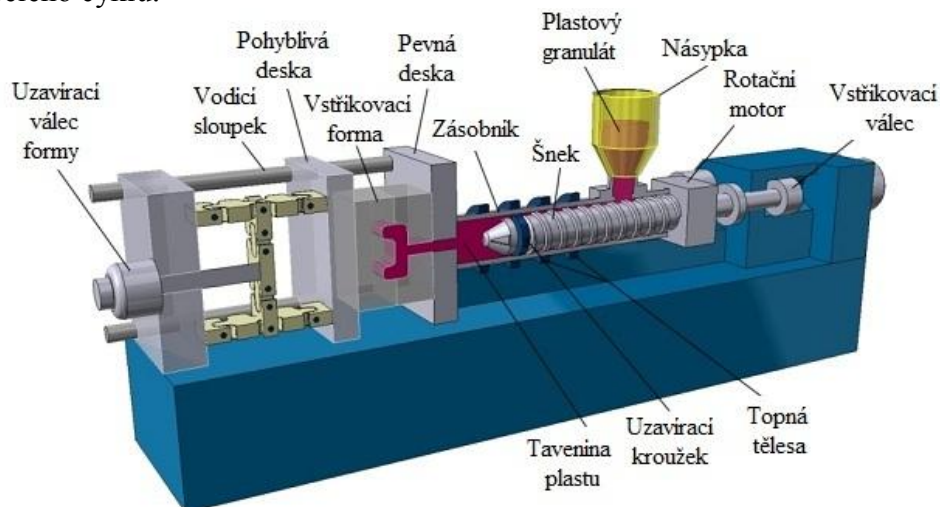
5. VSTŘIKOVACÍ STROJE [27][37]

Současné vstřikovací stroje jsou plně automatické s velmi vysokou produktivitou. Jelikož jsou pořizovací náklad vstřikovacího stroje i formy velmi vysoké, je tato technologie předurčena pro použití v sériové výrobě. Existuje široká škála vstřikovacích strojů dělených podle různých parametrů. Základní rozdělení je podle:

- pohonu vstřikovací a uzavírací jednotky: -hydraulické
-elektrické
-kombinované
- zpracovávaného materiálu: - vstřikování termoplastů
- vstřikování reaktoplastů
- vstřikování elastomerů a silikonů
- vstřikování keramiky
- plastikačního systému: - šnekové stroje
- pístové stroje
- pístové se šnekovou předplastikací
- vzájemné polohy vstřikovací a uzavírací jednotky: - horizontální
- vertikální
- úhlové
- objemu vstřikované taveniny: - malogramážní (do 50 cm³)
- středogramážní (50 – 1000 cm³)
- velkogramážní (nad 1000 cm³)

Ačkoliv se konstrukční provedení vstřikovacího stroje může zdát jako jeho hlavní parametr, nemá na výrobu výstřiků požadované jakosti příliš výrazný vliv. Daleko důležitější je provádět pravidelnou údržbu a zajistit reprodukovatelnost výrobních parametrů. Správná funkčnost zpětného uzavíracího kroužku rovněž nesmí být opomenuta.

Na obr. 5.1 lze vidět základní schéma vstřikovacího stroje. Funkční systémy stroje lze rozdělit na vstřikovací jednotku, uzavírací jednotku a řídicí jednotku. Granulát je přiváděn do násypky, odkud putuje do válce. Zde je vlivem topných těles a hnětení šnekem stlačován, zplastizován a přesunut před čelo šneku. Po zplastizování požadovaného množství taveniny se zastaví rotační pohyb šneku a celý šnek je poté axiálně posunut vstřikovacím válcem, čímž tlačí taveninu do vstřikovací formy. Zde tavenina tuhne a po dosažení dostatečně nízké vyhazovací teploty dochází k otevření formy pohybem pohyblivé desky a k vyhození hotového výstřiku. V tento moment je již připravena další dávka taveniny a dochází k opakování celého cyklu.



Obr. 5.1 Vstřikovací stroj [27]

5.1. Základní technické parametry vstřikovacích strojů [41]

Pro volbu vstřikovacího stroje je nutno vypočítat požadované hodnoty jednotlivých parametrů stroje. Mezi základní parametry vstřikovacích strojů patří:

Vstřikovací tlak p_v [bar]

Jedná se o maximální hodnotu tlaku, který je čelo šneku daného průměru schopné vyvolat v tavenině plastu nacházející se před čelem. Tento tlak vyvolává vstřikovací píst daného průměru a lze jej přes poměr průměrů přepočítat na tlak šneku.

Vstřikovací kapacita C_v [cm³]

Určuje maximální objem taveniny plastu, kterou lze při daném průměru šneku dopravit během jednoho vstřikovacího cyklu ze stroje do formy.

Plastikační kapacita C_p [kg/hod nebo dm³/hod]

Maximální množství plastu, které lze v daném stroji převést na taveninu za 1 hodinu.

Průměr šneku d_s [mm]

Definuje, jaké průměry šneků lze použít v daném stroji. Většinou jsou pro daný typ stroje definovány tři průměry.

Maximální nastavitelné otáčky šneku n_s [min⁻¹]

Přidržovací síla F_p [kN]

Maximální síla, kterou je stroj schopen vyvinout mezi pevnou a pohyblivou deskou uzavírací jednotky stroje. Tato síla drží formu v uzavřené poloze.

Uzavírací síla [kN]

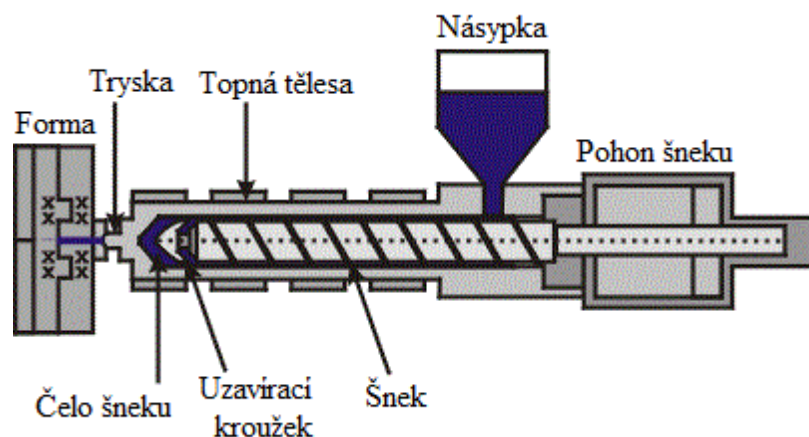
Je vyvozena stejným mechanismem jako síla přidržovací, ale je nižší. Zajišťuje pohyb vstřikovací formy při uzavírání a otevírání během vstřikovacího cyklu.

Vyhazovací síla F_{vc} [kN]

Maximální síla, kterou je schopen vyhazovací mechanismus stroje vyvodit na vyhazovací mechanismus formy při vyhazování ztuhlých výstřiků z formy.

5.2. Vstřikovací jednotka stroje [16][20][28][30][34]

Hlavní úlohou vstřikovací jednotky (obr. 5.2) je převod plastového granulátu do podoby taveniny a následné vstříknutí taveniny požadovaným tlakem a rychlostí do formy. Z hlediska produktivity jsou samozřejmě vzneseny požadavky, aby vstřikovací jednotky zplastizovaly co největší množství granulátu za jednotku času. Dříve se pro vstřikování používal pístový mechanismus, který ale nesl řadu nevýhod. Mezi ně lze zařadit např. přehřívání plastu ve válci či tlakové ztráty při pohybu hmoty. Zhruba od poloviny minulého století došlo k úplnému nahrazení pístových mechanismů mechanismy šnekovými, které eliminovaly řadu nevýhod pístových mechanismů a naopak přinesly spoustu výhod. Největšími výhodami



Obr. 5.2 Vstřikovací jednotka stroje [28]

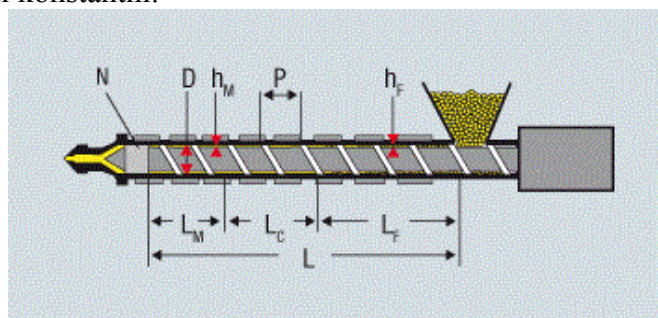
šnekových mechanismů je dosažení velmi dobré homogenity taveniny hnětením, které zároveň přispívá k jejímu ohřevu vlivem tření, dále pak zkrácení vstřikovacího cyklu a jednoduché a přesné dávkování.



Obr. 5.3 Příklady různých provedení šneků [16]

Tvar šneku je přizpůsoben požadavkům na něj kladených. Dříve používaný válcový šnek byl plně nahrazen šnekem diferenciálním (obr. 5.3). Diferenciální šnek je definován tzv. kompresním poměrem, který je určen poměrem objemu šnekového profilu pro jeden závit v prostoru pod násypkou a objemu šnekového profilu v prostoru před tryskou. Obvykle nabývá hodnot od 1,5 do 4,5. Technické provedení kompresního poměru je možné buď změnou úhlu stoupání šneku, což je ale obtížně vyrobitelné a tedy ne příliš používané, nebo změnou průměru jádra šneku. Šnek lze rozdělit na tři funkční části, jak lze vidět na obr. 5.4. První se nachází pod násypkou

a je nazývána vstupní nebo dopravní část a pokrývá zhruba 60% délky šneku. Tato část má nejmenší průměr jádra a tedy největší tzv. šnekový kanál, neboli volný objem pro plastový granulát z násypky. Granulát je zde především stlačován, aby došlo k odstranění nežádoucích vzduchových bublin, a rovněž ohříván. K tání však dochází až na konci této části. Následující část se nazývá kompresní a je charakteristická zvětšováním průměru jádra šneku, které vede k výraznému stlačení materiálu. V této části dochází k nejintenzivnějšímu tání granulátu, avšak zde vzniklá tavenina ještě není teplotně homogenní. Na homogenizaci taveniny slouží část poslední, zvaná homogenizační nebo výstupní. Průměr jádra šneku je po celé délce této části konstantní.



D	Vnější průměr šneku
L	Efektivní délka šneku
L _F	Délka vstupní části
L _C	Délka kompresní části
L _M	Délka výstupní části
h _M	Výška šnekového kanálu výstupní části
h _F	Výška šnekového kanálu vstupní části
P	Stoupání závitu
N	Uzavírací kroužek

Obr. 5.4 Rozměry jednotlivých částí šneku [30]

Jelikož má tavenina tendenci téct zpět směrem k násypce, je nutné použít konstrukční opatření a zabránit tomuto jevu. Tento problém je možné vyřešit úpravou tvaru šneku, např. tupým zakončením či prodloužením zakončení špičky. Nejspolehlivějším řešením ale je použití tzv. uzavíracího kroužku (obr. 5.5), který zabraňuje zpětnému pohybu taveniny. Při plastikaci je kroužek tlakem taveniny posunut směrem k trysce a umožňuje vstup taveniny drážkou ve šneku. V momentě, kdy dojde ke vstřikování, neboli k axiálnímu pohybu celého šneku, působí tavenina z prostoru před čelem šneku na kroužek a ten je natlačen na dosedací sedlo na šneku. V této poloze zabraňuje přestupu taveniny z prostoru před čelem šneku do prostoru šneku. Pro správnou funkci uzavíracího kroužku je naprosto nezbytná perfektní těsnost mezi kroužkem a sedlem. Pokud není tato podmínka



Obr. 5.5 Úpravy šneku pro zamezení zpětného toku [34]

splněna, dochází k návratu jistého objemu taveniny zpět do prostoru šneku a tím ke změně vstřikovaného objemu, který může způsobit vznik zmetků.

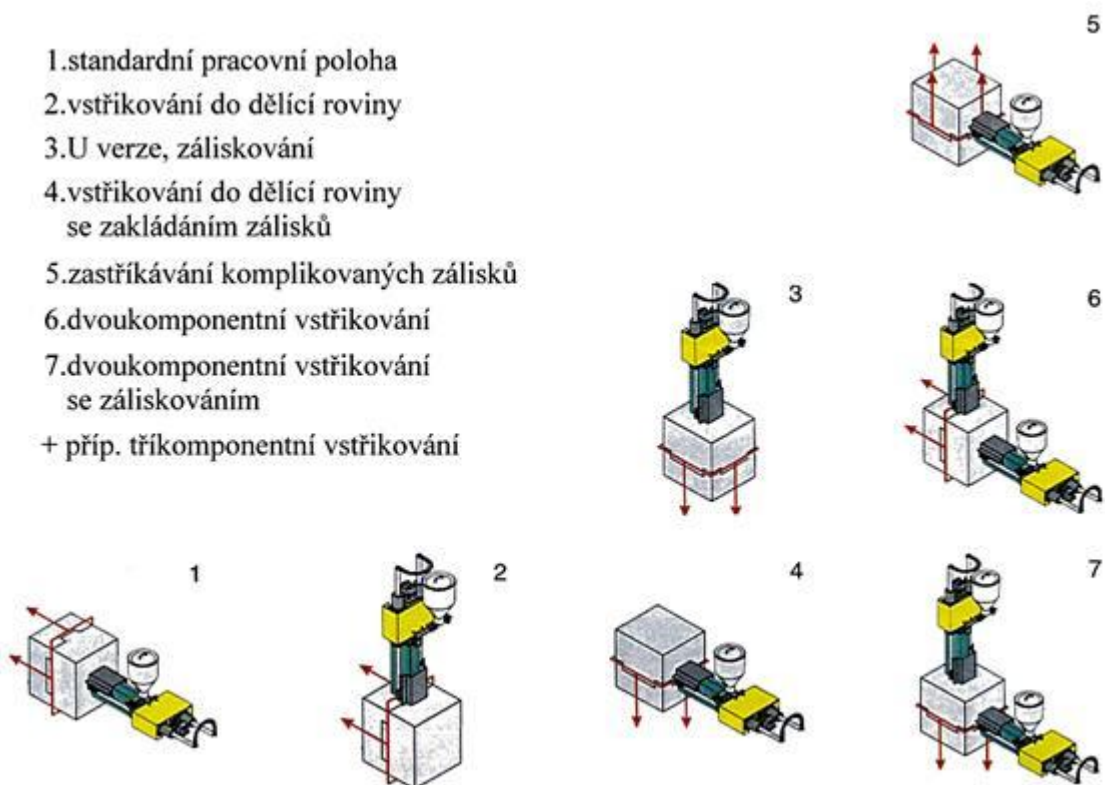
Pro popis rozměrů šneků se nepoužívají běžné délkové hodnoty, ale jednotlivé rozměry bývají vyjádřeny jako násobek průměru šneku D_s . Délka běžných šneků dosahuje hodnot 15 až 20 D_s . Délka kompresní části bývá obvykle 3 až 4 násobek průměru D_s , ale používají se i šneky s délkou 1 D_s . Takové šneky se používají pro plasty, které mají úzký interval teploty tání, např. PA nebo PE. Naopak šneky bez výrazné kompresní části mají kuželový průběh průměru jádra po celé délce šneku. Jejich použití je u hmot se špatnou tekutostí, kdy hrozí rychlé přehřátí a degradace hmoty, např. PVC.

Tavení granulátu probíhá vlivem topných těles a přeměnou mechanické práce šneku na teplo vlivem tření. Teplota topných těles není stejná a tělesa jsou rozdělena do tří samostatně ovládaných pásem. Nejnižší teplotu mají pásma u trysky. Zde by vlivem příliš vysoké teploty hrozilo nebezpečí spékání granulátu, kde by takto vzniklé hrudky mohly ve šneku působit jako zátka a znemožnit proudění plastu směrem k trysce. Proto je část komory u násypky chlazená. Naopak nejvyšší teploty mají topná tělesa u trysky.

5.3. Uzavírací jednotka stroje [20][24]

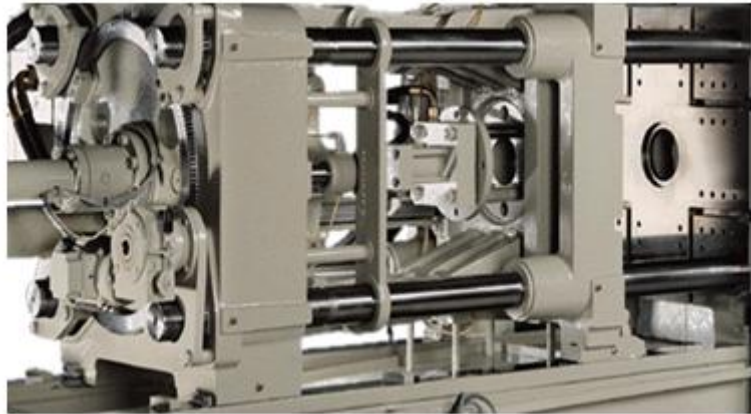
Uzavírací jednotka se skládá z přidržovacího a vyhadzovacího mechanismu stroje. Hlavním úkolem je v co nejkratším čase otevřít a uzavřít vstřikovací formu při vyhadzování hotových výstřiků. Zároveň musí zajistit požadovanou přidržovací sílu, aby nemohlo dojít k pootevření formy během vstřikování a doplňování. Dalším úkolem uzavírací jednotky je zajistit vyhození hotového plastového výstřiku z dutiny formy po jejím pootevření.

Uzavírací a vstřikovací jednotka mohou být v různých vzájemných polohách. Nejčastější řešení lze vidět na obr. 5.6, a to horizontální uzavírací i vstřikovací jednotka, tedy vstřikování kolmo na dělicí rovinu formy. Pokud je nutno zakládat zálisky nebo se jedná o vícekomponentní vstřikování, je výhodnější použít jinou vzájemnou polohu.



Obr. 5.6 Různé možnosti vzájemné polohy vstřikovací a uzavírací jednotky [20]

Uzavírací jednotky lze dále dělit podle druhu pohonu. Nejběžnější jsou hydraulické uzavírací jednotky, viz obr. 5.7, u kterých lze díky řídicímu systému nastavit přesnou hodnotu přidržovací síly i požadovaný průběh rychlosti. Další variantou jsou mechanické a hydraulicko – mechanické uzavírací jednotky. Ačkoliv se obtížněji seřizují a nelze přesně nastavit průběh rychlosti, nachází své uplatnění u velkogramážních strojů, protože jsou schopny vyvinout vysoké hodnoty přidržovacích sil. Nejnovějším typem pohonu je pohon elektrický, který nabízí velmi dobrou nastavitelnost a zároveň čistější a ekologičtější provoz.



Obr. 5.7 Uzavírací jednotka stroje [24]

5.4. Řídicí systém [17][41]

V současnosti jsou plně automatizované stroje naprostou samozřejmostí. Mikroprocesorový řídicí systém s pamětí ovládá stroj podle předem nastaveného programu a na ovládacím panelu zobrazuje aktuální technické parametry, které je možné měnit



Obr. 5.8 Moderní ovládací panel vstřikovacího stroje [17]

i v průběhu výrobního cyklu. Díky řídicímu systému jsme schopni rychle nastavovat či měnit režim stroje. Stroj je rovněž vybaven řadou čidel a provádí vlastní diagnostiku a kontrolu všech funkcí. V případě nalezení nesrovnalosti okamžitě vysílá chybové hlášení. Kromě zobrazení všech informací na ovládacím panelu stroje (obr. 5.8) je možné připojit stroj na centrální síť a umožnit tak skupinové řízení více strojů současně. Tímto způsobem je možno sledovat výrobní data a automaticky provádět statistickou kontrolu. Zároveň jsme schopni provádět optimalizaci výrobního procesu na základě počítačové analýzy.

5.5. Přídavná zařízení [41]

Kromě hlavních systémů vstřikovacích strojů je pro správnou funkci potřeba použít i další přídavná zařízení. Některá zařízení jsou pro správnou funkci nezbytná, jiná pouze zvyšují stupeň automatizace stroje. Potřebná přídavná zařízení je nutno řešit individuálně u každého výrobku podle požadavků zákazníka kladených na daný výrobek. Mezi přídavná zařízení patří:

- **Zařízení pro sušení granulátu**

Dodávají se v konstrukčních provedeních se samostatnou cirkulací ohřátého vzduchu, s nuceným oběhem ohřátého vzduchu či podtlakové nebo tlakovzdušné.

- **Temperační zařízení vstřikovacích forem**

Podle požadované pracovní teploty jsou ve variantách do 95°C v provedení vodní, do 200°C vodní přetlaková nebo s regulací průtoku temperačního média.

- **Zařízení pro dávkování aditiv**
Dávkují podle objemu nebo hmotnosti.
- **Separátory kovových částic při dávkování drtě**
- **Zařízení pro dopravu granulátu**
Podle velikost výroby a finančních možnosti je použit buď centrální rozvod, nebo vlastní dávkovací zařízení stroje.
- **Roboty pro manipulaci s výstřiky**
Požívané především pro vyjímání z formy. Použití robotů zajistí reprodukovatelnost a zmenšuje riziko deformace výstřiků.
- **Manipulátory pro odstranění vtokových zbytků**
- **Dopravníky**
- **Roboty pro manipulaci s výstřiky**
Slouží pro manipulaci s výstřiky po vyhození z formy. Zároveň mohou zastávat funkci dochlazovacího pole, což opět vede k minimalizaci deformací.
- **Mlýny pro přípravu drtě**
Slouží pro recyklaci materiálu a jeho opětovné zařazení do výroby.
- **Kontrolní zařízení**
Nejčastěji se jedná o zařízení kontrolující hmotnost, teplotu či rozměry.

6. NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY [33]

Správná konstrukce formy je nejdůležitějším krokem pro výrobu kvalitních výstřiků. Rozměry jednotlivých desek formy musí být dimenzovány tak, aby mohly pojmout veškeré systémy potřebné pro správnou funkci formy, a aby nemohlo dojít k elastické deformaci desek nebo k jejich porušení. Při elastické deformaci hrozí průnik taveniny plastu do dělicí roviny formy, což vede k vzniku nekvalitního výstřiku.

Pro výrobu zadaného výstřiku bude použita forma s horkou vtokovou soustavou. Použití tohoto typu vtoku je podmíněno zajištěním optimální tepelné izolace formy mezi rozváděcím blokem vtokového systému a deskami formy

6.1. Určení násobnosti vstřikovací formy [18][21]

Prvním krokem při návrhu vstřikovací formy je výpočet její násobnosti. Ta je ovlivněna jak rozměry výstřiku, tak strojním vybavením a velikostí výrobní dávky a požadovaným termínem dodání.

Výpočet objemu V [cm^3] plastového dílce

Pro zjištění objemu jsme použili data získaná z modelu v programu Autodesk Inventor.

$$V = 26,39 \text{ cm}^3$$

Výpočet hmotnosti G [g] plastového dílce

Hmotnost vypočteme pomocí hustoty vstřikovaného materiálu a jeho objemu.

$$G = \rho \cdot V$$

$$G = 1,37 \cdot 26,39 \tag{1}$$

$$G = 36,1543 \text{ g}$$

kde ρ ... hustota materiálu Zytel [g/cm^3], $\rho = 1,37 \text{ g}/\text{cm}^3$ [21]

Jelikož prvotní návrh počítá s použitím horké vtokové soustavy, bude se dále počítat s hodnotou objemu vtokových kanálků $V_k = 0 \text{ cm}^3$.

Výpočet vstřikovaného objemu V_d [cm^3]

$$V_d = n \cdot (V + V_k) + 2 \div 3$$

$$V_d = 2 \cdot (26,39 + 0) + 2,5 \tag{2}$$

$$V_d = 55,28 \text{ cm}^3$$

Velikost vstřikovací dávky je $55,28 \text{ cm}^3$. Na základě této hodnoty můžeme určit dobu vstřikovacího cyklu a potřebné parametry stroje.

Stanovení doby vstřikování t_v [s]

Ke stanovení doby vstřikování použijeme dvě metody, a to tabulku závislosti vstřikovacího objemu a viskozity materiálu tab. 6.1 a obecný vzorec pro výpočet vstřikovacího času.

Tab. 6.1 Přibližné hodnoty vstřikovacích časů [18]

Vstřikovaný objem [cm ³] přes-do	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskozní materiál	Vysokoviskozní materiál
1 – 8	0,2 - 0,4	0,25 - 0,5	0,3 - 0,6
8 – 15	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75
15 – 30	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75	0,75 - 0,9
30 – 50	0,6 - 0,8	0,75 - 1,0	0,9 - 1,2
50 – 80	0,8 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,8
80 – 120	1,2 - 1,8	1,5 - 2,2	1,8 - 2,7
120 – 180	1,8 - 2,6	2,2 - 3,2	2,7 - 4,0
180 – 250	2,6 - 3,6	3,2 - 4,5	4,0 - 5,5
250 – 500	3,6 - 4,8	4,5 - 6,0	5,5 - 7,5

$$t_v = 0,04 \cdot V_d^{0,834} \cdot \log\left(\frac{\eta}{10}\right)$$

$$t_v = 0,04 \cdot 55,28^{0,834} \cdot \log\left(\frac{124}{10}\right) \quad (3)$$

$$t_v = 1,24s$$

kde η ... viskozita při smykové rychlosti 1000 s^{-1} [Pa.s], $\eta = 124 \text{ Pa.s}$

Výsledná délka vstřikovacího času je $t_v = 1,24 \text{ s}$. Tento čas přibližně odpovídá údajům z tabulky.

Výpočet doby chlazení t_k [s]

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot \alpha_{\text{eff}}} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W}\right)$$

$$t_k = \frac{2^2}{\pi^2 \cdot 0,0685} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{295 - 100}{110 - 100}\right) \quad (4)$$

$$t_k = 16,33s$$

kde s ... tloušťka stěny plastového dílce [mm]

α_{eff} ... měrná teplotní vodivost materiálu Zytel [mm^2/s], $\alpha_{\text{eff}} = 0,0685$ [20]

T_M ... teplota taveniny [$^{\circ}\text{C}$], $T_M = 295 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [20]

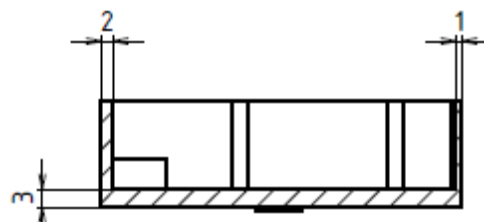
T_W ... střední teplota líce tvarové dutiny [$^{\circ}\text{C}$], $T_W = 100^{\circ}\text{C}$ [20]

T_E ... střední vyhazovací teplota výstřiku [$^{\circ}\text{C}$], $T_E = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [20]

Potřebná doba chlazení daného výrobku je $t_k = 16,33 \text{ s}$. Tato doba se velmi znatelně promítne na celkové délce vstřikovacího cyklu.

Volba výpočtové tloušťky stěny s [mm]

Kvůli rozmanitosti tloušťek stěn výrobku, viz obr. 6.1, která se pohybuje mezi 1 a 3 mm byla zvolena výpočtová tloušťka 2 mm, která je zároveň nejčastější tloušťkou stěny výrobku.



Obr. 6.1 Volba výpočtové tloušťky stěny

Výpočet doby vstřikovacího cyklu t_c [s]

Doba vstřikovacího cyklu se skládá z doby vstřikování a doby chlazení a je navýšena o manipulační čas pro pootevření formy, vyhození výstřiku a opětovné uzavření formy, přisunutí vstřikovací jednotky a prodlevy. Tyto časy dávají dohromady 3 až 4 s.

$$\begin{aligned}t_c &= t_v + t_k + 3 \div 4 \\t_c &= 1,24 + 16,33 + 4 \\t_c &= 21,57s\end{aligned}\tag{5}$$

S vypočtenou délkou vstřikovacího cyklu je možné určit termínovanou násobnost formy tak, aby bylo možné vyrobit zadanou výrobní dávku v požadovaném termínu.

Určení požadované doby dodání τ_p [hod]

$$\begin{aligned}\tau_p &= n_m \cdot n_{pm} \cdot h_d \\ \tau_p &= 8 \cdot 20 \cdot 24 \\ \tau_p &= 3840\text{hod}\end{aligned}\tag{6}$$

kde n_m ... počet měsíců výroby [-]
 n_{pm} ... počet pracovních dní v měsíci [-]
 h_d ... počet pracovních hodin v třisměnném provozu za jeden den [hod]

Výpočet termínované násobnosti formy n_T

$$\begin{aligned}n_T &= \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} \\ n_T &= \frac{1000000 \cdot 21,57}{3840 \cdot 0,8 \cdot 3600} \\ n_T &= 1,95 \cong 2\end{aligned}\tag{7}$$

kde K ... faktor využití času [-], ($K = 0,7 \div 0,9$)
 N ... velikost výrobní série [ks]

Aby bylo možné vyrobit zadanou výrobní sérii v požadovaném čase, je nutné použít dvojnásobnou formu.

Zhodnocení násobnosti formy

Pro určení násobnosti byla hlavním rozhodovacím kritériem termínovaná násobnost. Vzhledem k objemu, velikosti výrobní série a požadovanému termínu dodání zadaného výrobku byla jako nejvhodnější varianta zvolena dvojnásobná forma. Tedy pro další výpočty je hodnota násobnosti formy $n = 2$.

6.2. Návrh vtokového systému [7][33][35][36]

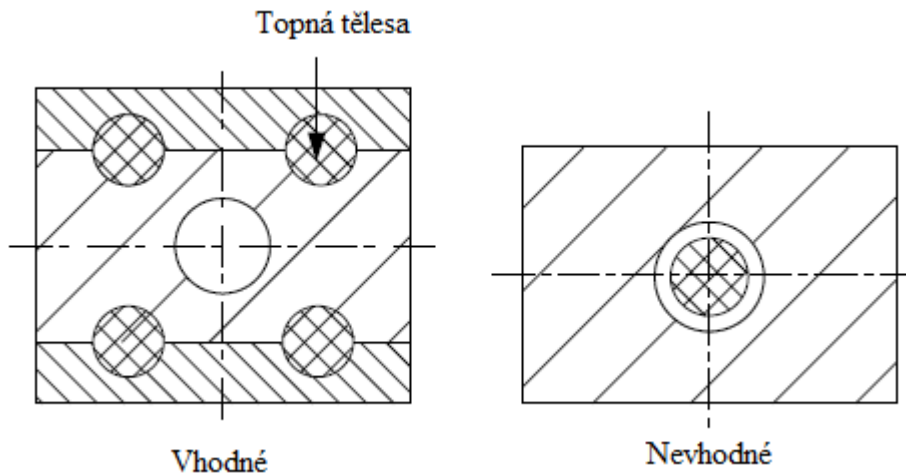
Jak již bylo výše zmíněno, pro výrobu zadaného výstřiku byla zvolena horká vtoková soustava. Horká vtoková soustava byla zvolena kvůli úsporám materiálu, zkrácení vstřikovacího cyklu a zjednodušení vyhazování výstřiku, kdy by v případě studené vtokové soustavy bylo nutné použít třideskovou formu.

Pro realizaci horké vtokové soustavy byl zvolen nákup systému Hot Runner firmy Synventive holding solutions s.r.o (dále jen Synventive). Firma Synventive dodává zrealizované externě vyhřívané vtokové systémy po zadání uspořádání a rozměrů poloh vtokových trysek vzhledem k hlavnímu vtokovému systému, typu vstřikovaného plastu a typu horkých trysek.

Volba trysky

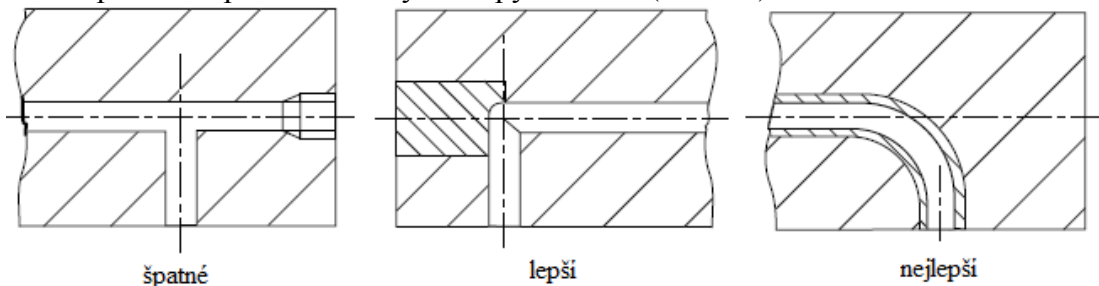
Dle zpracovatelské příručky materiálu Zytel [7] je při volbě horké vtokové soustavy nutno dodržet jisté podmínky:

- kvůli malému rozptylu zpracovatelských teplot je potřeba zajistit dobrou tepelnou izolaci mezi vtokovým systémem a formou z důvodu vysokých teplotních skoků v systému
- nízký tlakový pokles v rozváděcím systému
- je nutno použít rozváděcí bloky a trysky s průtokem taveniny v celém průřezu. Systémy s vnitřním ohřevem a prstencovým průtokem nejsou doporučovány, viz obr. 6.2



Obr. 6.2 Vhodné a nevhodné provedení trysek [7]

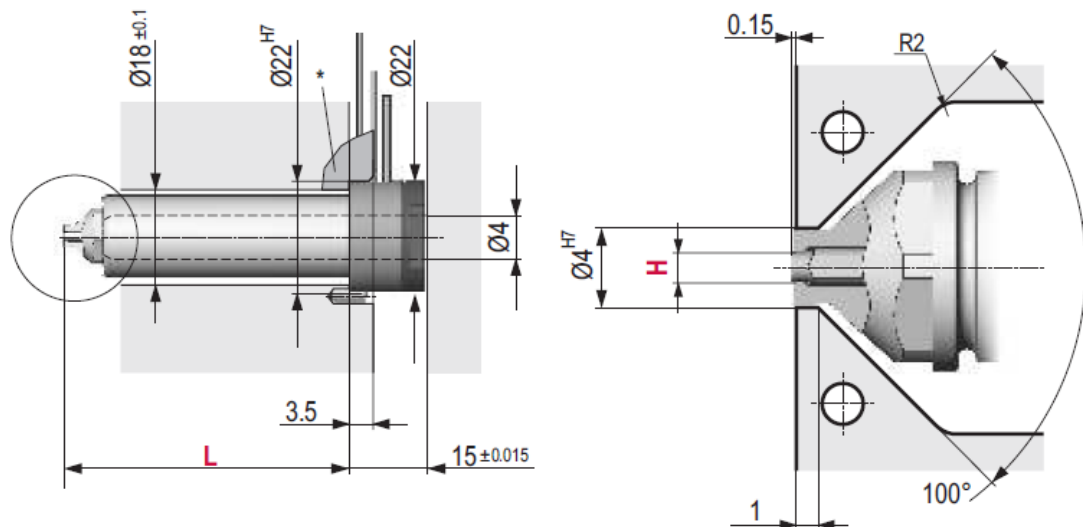
- není doporučeno použít rozvody se slepými konci (obr. 6.3)



Obr. 6.3 Vhodné a nevhodné provedení rozvodů [7]

- je doporučeno použít standardních uspořádání trysek s rovnoměrným rozložením tlaku ve všech větvích rozvodového systému

Pro materiál vstříku Zytel a hmotnost vstříkované dávky 36,15 g byla z katalogů firmy Synventive [35] zvolena tryska API 04 C01 Y01T 046 H1,8 J4. Tato tryska je vybavena systémem vnějšího vytápění s průtokem taveniny celým průřezem, nazvaným API, který je jedním z hlavních požadavků pro použití Zytelu. Rovněž je uzpůsobená pro úzké okno zpracovatelských podmínek. Průměr trysky H je 1,8 mm, který je vhodný i pro použití plastu se skelnými vlákny, které mají požadavek na vyšší průměry trysek. Schéma trysky je zobrazeno na obr. 6.4, kde H je průměr trysky a L její délka, v našem případě 46mm. Tyto trysky nejsou k rozváděcímu bloku přichyceny žádným spojovacím prvkem, pouze na něj dosedají svým čelem, čímž je umožněn vzájemný pohyb při teplotní roztažnosti soustavy.



Obr. 6.4 Rozměry zvolené trysky [35]

Volba rozváděcího bloku

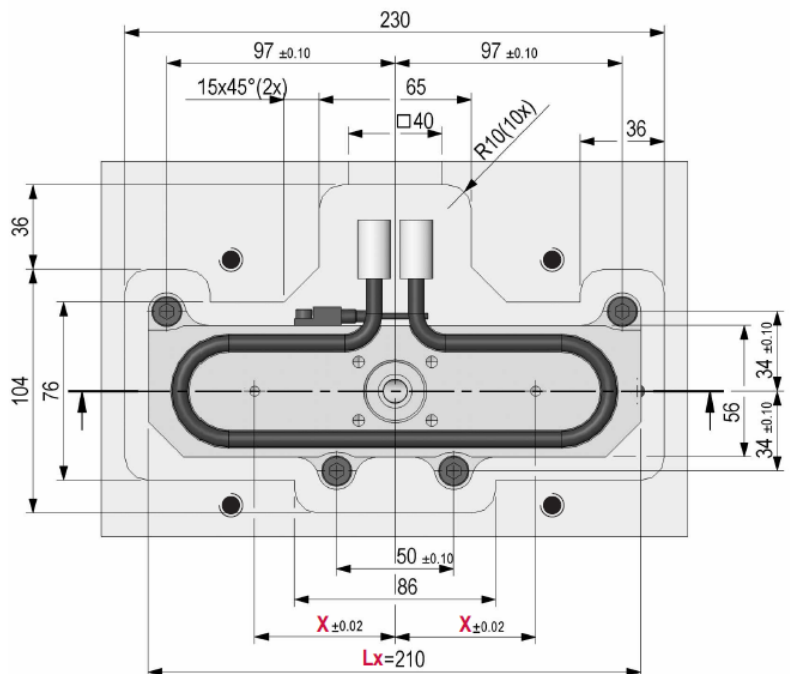
Pro zvolenou trysku a materiál Zytel byl zvolen rozváděcí blok VC I2E 210 X=65 J=4 – 04 CO1. Jedná se o rozváděcí blok pro rozložení dvou výstřiků do tvaru I s celkovou délkou 210 mm a vzdáleností mezi tryskou a hlavním vtokovým ústím 65mm. Schéma zvoleného bloku je zobrazeno na obr. 6.5. Navržený blok splňuje podmínku absence slepých konců a jeho provedení je v souladu s provedením na obr. 6.3 označeným jako nejlepší.

Volba vtokového pouzdra

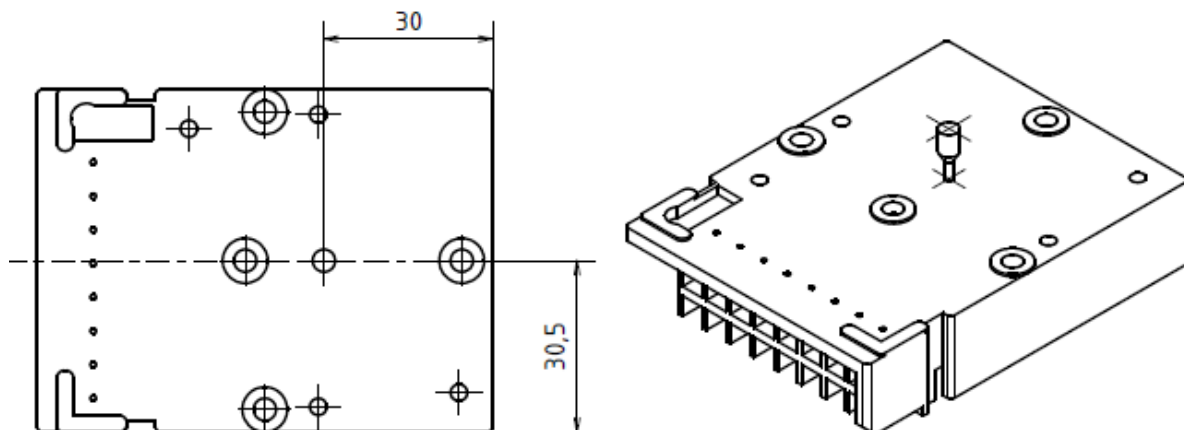
Pro přenos taveniny ze stroje do rozváděcího bloku bylo zvoleno vyhřívané vtokové pouzdro ABL060 R=16 J=4. Pro jeho uchycení ve formě byla navržena objímka tak, aby splňovala všechny podmínky uložené firmou Synventive.

Volba umístění vtoku

Vtok byl umístěn do osy souměrnosti výstřiku uprostřed duté části. Takto umístěný vtok zajistí rovnoměrné vyplnění dutiny formy taveninou. Zakótovaná poloha vtoku je na obr. 6.6. Výstřik není v místě vtoku nijak výrazně namáhán a tak nehrozí narušení jeho funkčnosti. Jelikož se nejedná o designovou součást, není stopa po vtoku vzniklá po odsunutí trysky problémem, i když se nachází na pohledové části.



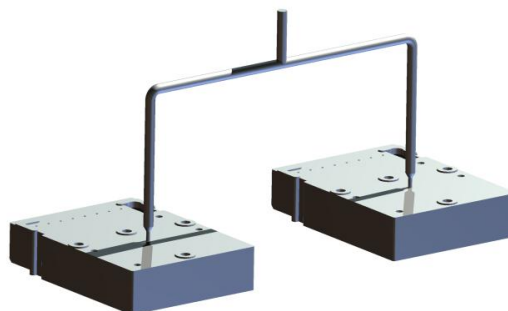
Obr. 6.5 Rozměry zvoleného rozváděcího bloku [36]



Obr. 6.6 Umístění vtoku na výstřiku

Umístění výstřiků ve formě

Po provedení návrhu horké vtokové soustavy lze definovat způsob, jakým budou výstřiky umístěny v dvojnásobné formě. Byla zvolena nejjednodušší varianta, a to jejich rovnoběžné umístění vedle sebe tak, aby se mechanismus pro ovládání bočních jader nacházel ve stejné části formy. Provedení umístění výstřiků s vyobrazeným vtokem je znázorněno na obr. 6.7.



Obr. 6.7 Rozestavení výstřiků ve formě

6.3. Výpočet technologických dat a parametrů vstřikovacího stroje [12][18][21]

Volba základních rozměrů desek formy

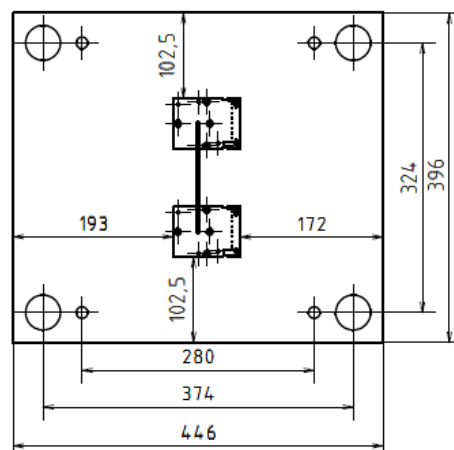
Pro volbu základních rozměrů desek byl použit katalog produktů firmy HASCO [12]. Rozměry byly zvoleny tak, aby bylo možné bezproblémové zavedení všech systémů formy, tj. tvárníky, temperančního systému, vyhazovacího systému a mechanismu pro pohyb bočních jader.

Po zvážení těchto požadavků byly zvoleny rozměry desek 396 x 446 mm. Základní rozměry desky s umístěnými tvárníky se nachází na obr. 6.8.

Výpočet minimální vstřikovací kapacity vstřikovacího stroje C_v [cm³]

$$\begin{aligned}
 C_v &\geq 1,1 \cdot n \cdot (V + V_k) \\
 C_v &\geq 1,1 \cdot 2 \cdot (26,39 + 0) \\
 C_v &\geq 58,058 \text{ cm}^3
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Potřebná vstřikovací kapacita stroje činí 58,058 cm³. S touto hodnotou budeme porovnávat parametry stroje.



Obr. 6.8 Rozměry zvolených desek

Výpočet minimální plastikační kapacity vstřikovacího stroje C_p [kg/hod]

$$C_p \geq \frac{4 \cdot n \cdot \rho \cdot (V + V_k)}{t_c}$$
$$C_p \geq \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,37 \cdot (26,39 + 0)}{21,57} \quad (9)$$

$$C_p \geq 13,41 \text{ kg/hod}$$

Výpočet minimální přidrřovací síly vstřikovacího stroje F_p [kN]

$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot p_v \cdot S_{pr}$$
$$F_p \geq 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 80 \cdot 4833,9 \quad (10)$$

$$F_p \geq 850,77 \text{ kN}$$

kde S_{pr} ... plocha průmětu čelní plochy výstřiku do dělicí roviny formy [mm²].
Velikost vypočtená programem Autodesk Inventor $S_{pr} = 4833,9 \text{ mm}^2$.
 p_v ... vstřikovací tlak [MPa], pro Zytel zvolen tlak $p_v = 80 \text{ MPa}$ [21]

Stanovení průměru šneku d_s [mm]

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} < d_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_d}$$
$$7,5 \cdot \sqrt[3]{55,28} < d_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{55,28} \quad (11)$$
$$28,57 < d_s < 40,1$$

Průměr šneku se volí z normalizované řady průměru: 20, 25, 30, 35, 40, 45 atd. Byl zvolen průměr šneku $d_s = 40 \text{ mm}$. Jako ideální by se mohl zdát průměr 35 mm, ale nastaly obtíže s volbou vstřikovacího stroje, kdy stroje se šneky o průměru 35 mm neměly dostatečnou plastikační kapacitu pro materiál PA 6.6. Proto byl tento rozměr dodatečně změněn a hodnoty přepočítány.

Výpočet délky dráhy pohybu šneku L_{sn} [mm]

$$V_d = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4 \cdot 10^3} \cdot L_{sn} \Rightarrow L_{sn} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_d}{\pi \cdot d_s^2}$$
$$L_{sn} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 55,28}{\pi \cdot 40^2} \quad (12)$$

$$L_{sn} = 43,99 \text{ mm}$$

Vypočtená hodnota L_{sn} by se měla nacházet v intervalu $d_s < L_{sn} < 3d_s$.

$$d_s < L_{sn} < 3 \cdot d_s$$
$$40 < 43,99 < 3 \cdot 40 \quad (13)$$

$$40 < 43,99 < 120 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vypočtená hodnota splňuje podmínku, rozměry šneku tedy byly navrženy správně.

Výpočet otáček šneku n_s [min⁻¹] vstřikovacího stroje pro plastikasi polotovaru.

$$n_s = \frac{10^3 \cdot 60 \cdot v}{\pi \cdot d_s}$$
$$n_s = \frac{10^3 \cdot 60 \cdot 0,15}{\pi \cdot 40} \quad (14)$$

$$n_s = 71,62 \text{ min}^{-1}$$

kde: v ... maximální povolená obvodová rychlost šneku [m/s]. Z databáze materiálů [21] pro Zytel $v = 0,15 \text{ m/s}$

Výpočet vstřikovací rychlosti v_s [cm^3/s]

$$v_s = \frac{V_d}{t_v}$$

$$v_s = \frac{55,28}{1,24} \quad (15)$$

$$v_s = 44,85 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

Výpočet celkové délky dráhy toku taveniny L_S [mm]

Celkovou dráhu toku taveniny určíme z modelu výstřiku. Pro zadaný výstřik bylo určeno místo s největší délkou toku taveniny, které se skládá z rozměrů L_A [mm] a L_B [mm], viz obr. 6.9. Velikost těchto rozměrů byla zjištěna programem Autodesk Inventor a nabývá hodnot:

$$L_A = 58,67 \text{ mm}$$

$$L_B = 15 \text{ mm}$$

Obé délky toku protékají stejnou tloušťkou stěny a to $s_1 = 3 \text{ mm}$.

$$L_S = L_A + L_B$$

$$L_S = 58,67 + 15 \quad (16)$$

$$L_S = 73,67 \text{ mm}$$

Nejdelší délka toku taveniny ve tvarové dutině je 73,67 mm. Pro tuto délku je potřeba řešit tlakové ztráty a potřebný vstřikovací tlak.

Výpočet maximální délky dráhy toku taveniny L_1 [mm] tloušťkou stěny s

$$M = (0,93471 \cdot p_1^{0,07085}) \cdot k_2$$

$$M = (0,93471 \cdot 500^{0,07085}) \cdot 1,1685 \quad (17)$$

$$M = 1,69640$$

$$L_1 = k_1 \cdot (1,90682 + 0,12485 \cdot p_1) \cdot s_1^M$$

$$L_1 = 1,195 \cdot (1,90682 + 0,12485 \cdot 500) \cdot 3^{1,69640} \quad (18)$$

$$L_1 = 303,27 \text{ mm}$$

kde k_1, k_2 ... materiálový koeficient plnění [-], $k_1 = 1,195$; $k_2 = 1,1685$ [18]

p_1 ... plnicí tlak [bar], $p_1 = 500 \text{ bar}$

M ... výpočtový exponent vzorce [-]

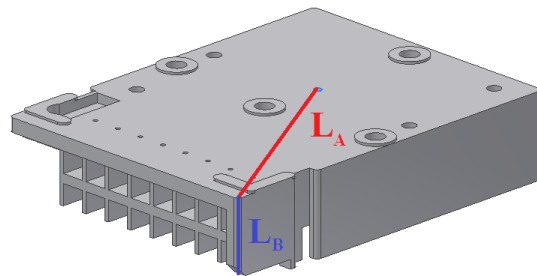
Kontrola vyplnění stěn výstřiku v místě nejdelšího toku taveniny

Aby bylo zajištěno bezproblémové vyplnění tvarové dutiny, musí být nejdelší dráha toku taveniny L_S menší, než maximální délka toku taveniny L_1 .

$$L_S < L_1 \quad (19)$$

$$73,67 < 303,27 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Z výpočtů lze usoudit, že u zadaného výstřiku nehrozí nedokonalé zaplnění tvarové dutiny formy vlivem tlakových ztrát a nízkého plnicího tlaku.



Obr. 6.9 Maximální délka toku taveniny

6.4. Výpočet síly potřebné na vyhození plastového výstřiku z formy [18]

Teoretické výpočtové vztahy pro výpočet vyhazovacích sil je nutno brát pouze jako informativní. Jelikož v průběhu životnosti formy dochází k jejímu opotřebení, které je při použití skelných vláken velmi výrazné, nelze tyto vztahy brát jako definitivní. Drsnost stěn a tedy i koeficient tření jsou v rámci životnosti formy proměnlivé hodnoty.

Pro vyhození výstřiku z formy bude použito vyhazování pomocí kolíkových vyhazovačů. Jejich počet, rozměry a rozmístění budou navrženy až v dalších kapitolách. Prvním krokem je určení potřebné vyhazovací síly.

Přepočet plochy výstřiku na pomocnou kruhovou plochu

Výpočet vyhazovací síly je nejjednodušší pro symetrické rotační součásti. Tyto vzorce lze použít i pro součásti s čtvercovým či obdélníkovým průřezem, ale tento průřez je potřeba přepočítat na pomocný kruhový průřez.

Prvním krokem je určení vnitřní obdélníkové plochy S_{obd} [mm^2]:

$$S_{obd} = a \cdot b$$

$$S_{obd} = 57 \cdot 79 \quad (20)$$

$$S_{obd} = 4503 mm^2$$

kde $a, b \dots$ vnitřní rozměr výstřiku [mm], (obr 6.10)

Tato plocha je dále přepočítána na plochu čtvercovou S_{ctv} [mm^2], kde velikost hrany čtverce a' odpovídá průměru pomocné kružnice D_1 [mm] v tomto čtverci vepsané.

$$S_{obd} = S_{ctv}$$

$$S_{obd} = a'^2$$

$$\sqrt{4503} = a' \quad (21)$$

$$a' = 67,10 mm = D_1$$

Takto vypočtený pomocný průměr kružnice můžeme dosadit do obecných vzorců pro výpočet vyhazovací síly.

Výpočet smrštění materiálu $s_{m(t)}$ [%] v době odformování

Pro výpočet potřebné vyhazovací síly je nutné určit smrštění výstřiku ve formě, které má za následek přilnutí výstřiku k formě. Toto přilnutí se projeví jako tření, neboli odpor při vyhazování výstřiku.

$$t_E = t_v + t_k$$

$$t_E = 1,24 + 16,33 \quad (22)$$

$$t_E = 17,57 s$$

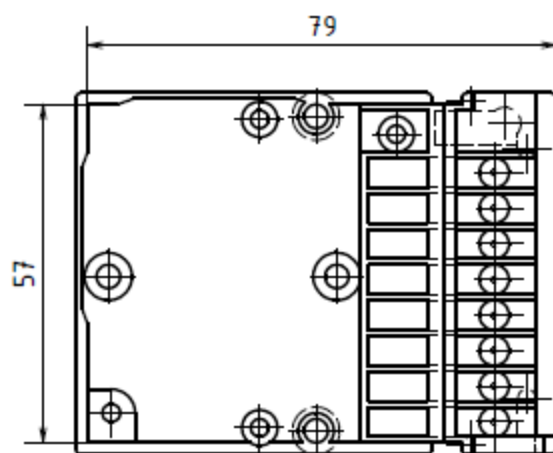
kde $t_E \dots$ doba odformování [s]

$$K_s = 61,366 - 5,574 \cdot \ln t_E$$

$$K_s = 61,366 - 5,574 \cdot \ln 17,57 \quad (23)$$

$$K_s = 45,390$$

kde $K_s \dots$ koeficient pro výpočet smrštění [-]



Obr. 6.10 Vnitřní rozměry výstřiku

$$s_{m(t)} = s_m \cdot \frac{100 - K}{100}$$

$$s_{m(t)} = 1,1 \cdot \frac{100 - 45,30}{100} \quad (24)$$

$$s_{m(t)} = 0,60\%$$

kde s_m ... celkové smrštění plastu 24 hodin po odformování [%], $s_m = 1,1\%$ [18]

Během setrvání výstřiku ve formě dojde k jeho smrštění o hodnotu 0,60%. Tření vzniklé touto hodnotou smrštění je potřeba překonat při vyhazování výstřiku.

Výpočet pomocného průměru $D_{1(t)}$ [mm] po smrštění

$$D_{1(t)} = \frac{100 \cdot D_1}{100 + s_{m(t)}}$$

$$D_{1(t)} = \frac{100 \cdot 67,10}{100 + 0,60} \quad (25)$$

$$D_{1(t)} = 66,700 \text{ mm}$$

Při dosažení teploty odformování bude mít pomocný průměr vlivem smrštění rozměr 66,700 mm.

Výpočet teoretické vyhazovací síly pro jeden výstřik F_{E1} [N]

$$F_{E1} = f \cdot E_{(T_E)} \cdot \frac{D_1 - D_{1(t)}}{D_1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot s \cdot l_1$$

$$F_{E1} = 0,38 \cdot 2200 \cdot \frac{67,1 - 66,7}{67,1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 15 \quad (26)$$

$$F_{E1} = 939,39 \text{ N}$$

kde $E_{(T_E)}$... modul pružnosti materiálu Zytel při teplotě odformování 110°C [MPa];
 $E_{(T_E)} = 2200 \text{ MPa}$ [18]

l_1 ... pracovní délka tvárníku formy [mm]; $l_1 = 15 \text{ mm}$

f ... koeficient tření pro drsnost tvárníku formy R_z [μm], $f = 0,38 \mu\text{m}$ [18]

Výpočet skutečné vyhazovací síly F_V [N]

Jelikož bylo při výpočtu síly použito nahrazení obdélníkové plochy plochou kruhovou, je nutno vypočtenou sílu F_{E1} přepočítat na sílu pro obdélník F_V .

$$F_V = \frac{\pi \cdot F_{E1}}{4}$$

$$F_V = \frac{\pi \cdot 939,39}{4} \quad (27)$$

$$F_V = 737,80 \text{ N}$$

Výpočet celkové vyhazovací síly pro vyhození obou výstřiků F_{VC} [N]

$$F_{VC} = F_V \cdot n$$

$$F_{VC} = 737,80 \cdot 2 \quad (28)$$

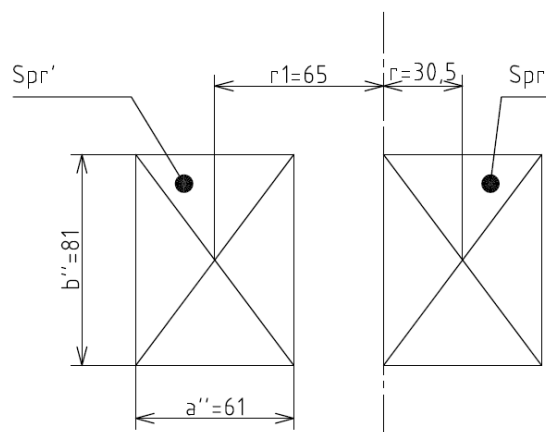
$$F_{VC} = 1475,6 \text{ N}$$

Síla potřebná pro vyhození výstřiků činí 1475,6N. Jelikož je tato síla pouze teoretická a v praxi je několik faktorů, které v průběhu životnosti formy mění její hodnotu, bude maximální vyhazovací síla stroje volena s dostatečnou rezervou.

6.4.1. Výpočet průhybu desky vstřikovací formy [18]

Vlivem vstřikovacího tlaku působí uvnitř formy pnutí, které má tendenci rozevírat v rámci elastických deformací desky formy od sebe, jak lze vidět na obr. 6.12. Takto vzniklá mezera nesmí překročit mez příslušnou pro daný typ plastu, jinak by hrozilo zatečení plastu do dělicí roviny formy a vznik přetoku, tedy i nekvalitního výstřiku.

Postup výpočtu spočívá v náhradě spojitého zatížení v oblasti tvárníků na zatížení osamělými silami umístěných v těžištích ploch průmětů. Velikost těchto sil je rovna součinu plochy průmětu výstřiku v dělicí rovině S_{pr} [mm²] a vstřikovacího tlaku p_v [bar]. Pro zjednodušení nahradíme plochu S_{pr} plochou obdélníku vnějších rozměrů výstřiku $S_{pr'}$. Tuto plochu, vzdálenou od osy o hodnotu ramene $r_1 = 65\text{mm}$, a sílu F , na ni působící, dále převedeme pomocí momentové věty na plochu přilehlou k ose symetrie, abychom mohli získat hodnoty potřebné pro výpočet samotného průhybu desky. Schéma převedení plochy je zobrazeno na obr. 6.11.



Obr. 6.11 Přepočet sil

Výpočet velikosti síly F [N]

$$F = S'_{pr} \cdot p_v$$

$$F = a'' \cdot b'' \cdot p_v$$

$$F = 61 \cdot 81 \cdot 80$$

$$F = 395280\text{N}$$

Tato síla působí na desku formy v jedné tvarové dutině.

(29)

Přepočet síly pomocí momentové rovnice

$$F \cdot r_1 = F' \cdot r \Rightarrow F' = \frac{F \cdot r_1}{r}$$

$$F' = \frac{395280 \cdot 65}{30,5} \quad (30)$$

$$F' = 842400\text{N}$$

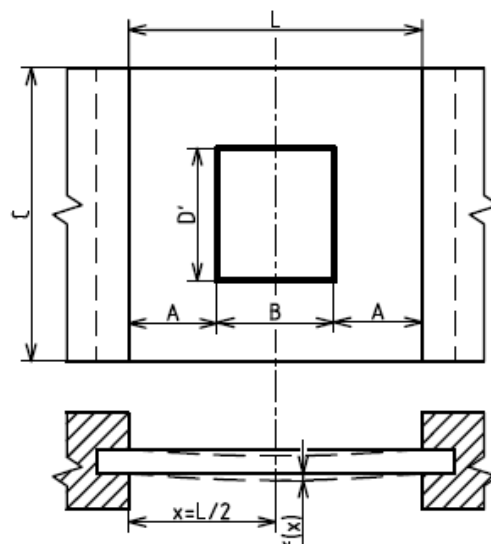
Tato síla působí na plochu průmětu $S_{pr'}$ na rameni r .

Určení celkové délky obdélníku D' [mm]

$$\frac{F}{S'_{pr}} = \frac{F'}{a'' \cdot D'} \Rightarrow D' = \frac{F' \cdot S'_{pr}}{a'' \cdot F}$$

$$D' = \frac{842400 \cdot 4941}{61 \cdot 395280} \quad (31)$$

$$D' = 172,6\text{mm}$$



Obr. 6.12 Průhyb desek formy

Výpočet konstanty K_2 [mm^2]

$$K_2 = \frac{L^3 + 4 \cdot A^3}{12 \cdot L}$$
$$K_2 = \frac{332^3 + 4 \cdot 105^3}{12 \cdot 332} \quad (32)$$

$$K_2 = 10347,6 \text{mm}^2$$

kde L ... nevetknutá délka zatížené desky [mm], $L = 332 \text{mm}$

A ... vzdálenost okraje plochy S_{pr} od kraje vetknutí desky [mm]

Výpočet konstanty K_1 [mm^4]

$$K_1 = K_2 \cdot \frac{x^2}{2} - L \cdot \frac{x^3}{12} + \frac{x^4}{24} - x \cdot \frac{A^3}{6} + \frac{A^4}{24}$$
$$K_1 = 10347,6 \cdot \frac{166^2}{2} - 332 \cdot \frac{166^3}{12} + \frac{166^4}{24} - 166 \cdot \frac{105^3}{6} + \frac{105^4}{24} \quad (33)$$

$$K_1 = 20689575 \text{mm}^4$$

kde x ... vzdálenost osy náhradního zatížení od kraje vetknutí desky [mm], $x = 166 \text{mm}$

Výpočet průhybu desky $f_{(x)}$ [mm] vlivem ohybového namáhání

$$f_{(x)} = \frac{p_v \cdot D' \cdot 12 \cdot (1 - \mu^2)}{C \cdot S^3 \cdot E} \cdot K_1$$
$$f_{(x)} = \frac{80 \cdot 172,6 \cdot 12 \cdot (1 - 0,3^2)}{396 \cdot 132^3 \cdot 210000} \cdot 20689575 \quad (34)$$

$$f_{(x)} = 0,0163 \text{mm}$$

kde μ ... poissonova konstanta [-], pro ocel $\mu = 0,3$

E ... modul pružnosti v tahu [MPa], pro ocel $E = 210000 \text{MPa}$

S ... tloušťka zatížené desky [mm]

Pro materiál Zytel je přípustná maximální celková velikost průhybu desky $0,02 \text{mm}$.

$$f_{(x)} < 0,02 \quad (35)$$

$$0,0163 < 0,02 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Průhyb desek vlivem vstřikovacího tlaku p_v nepřesahuje maximální povolenou hodnotu a proto nehrozí zatečení materiálu do dělicí roviny.

6.5. Návrh dalších částí formy [33]

Po výpočtu a ověření základních výpočtů formy následuje návrh a konstrukce dalších částí. Jako první se budeme věnovat tvarové dutině.

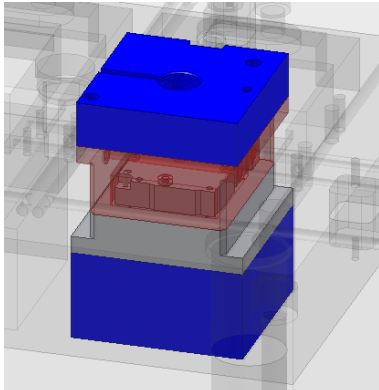
6.5.1. Návrh tvárníku a tvárnice [33]

Pro zadaný výstřik byla navržena tvarová dutina, která je negativem tvaru výstřiku. Dělicí rovina byla umístěna na spodní hranu výstřiku, čímž umožňuje nejjednodušší konstrukci tvárníku a tvárnice a zároveň pomáhá v odvodu vzdušné dutiny. Umístění dělicí roviny zobrazené modrou barvou lze vidět na obr. 6.13.



Obr. 6.13 Umístění dělící roviny

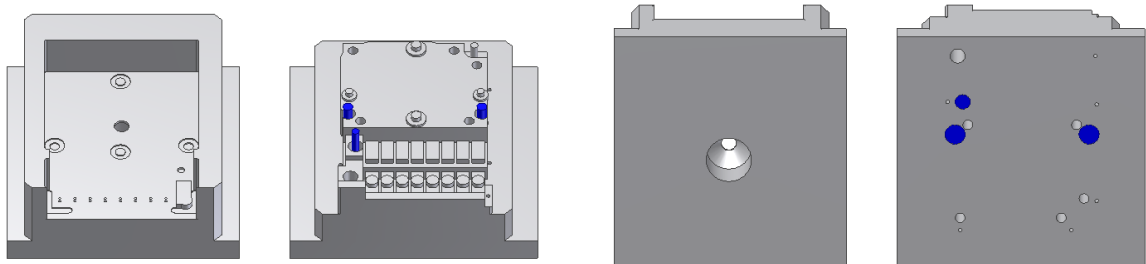
Po volbě dělicí roviny následoval detailní návrh tvárníků. Kvůli tvaru součásti bylo potřeba použít boční jádra, jejich návrhu byla věnována další kapitola. Tvárník i tvárnice byly navrženy v podobě vložek umístěných v kotevních deskách. Tyto vložky jsou opřeny o přírubu desky a ze zadní strany dotlačeny distančními bloky opřenými o opěrné desky, na obr. 6.14 zvýrazněnými modrou barvou. V distančních blocích jsou vyrobeny všechny potřebné otvory pro vyhazovače, vstřikovací trysku i kabeláž pro ni potřebnou.



Obr. 6.14 Distanční bloky

Na obr. 6.15 je zobrazená podoba tvárníku i tvárnice. Modře zvýrazněné objekty jsou jádra, která jsou opřena o osazení v tvárníku a o distanční blok. Na vnější straně tvárníku jsou díry pro kolíkové vyhazovače. Na spodní straně tvárnice se nachází díra pro vstřikovací trysku. Detailní výkres tvárníku a tvárnice je přiložen v přílohách této práce.

Jako materiál tvárníku, tvárnice i jader byla zvolena ocel DIN 1.2358, X38CrMoV5.1. Jedná se o nástrojovou ocel pro vstřikovací formy, která poskytuje dostatečné mechanické vlastnosti a odolnost proti opotřebení, která je především při použití skelných vláken velice důležitá. Tato ocel bude zpracována kalením a popouštěním na tvrdost 54 – 56 HRC.

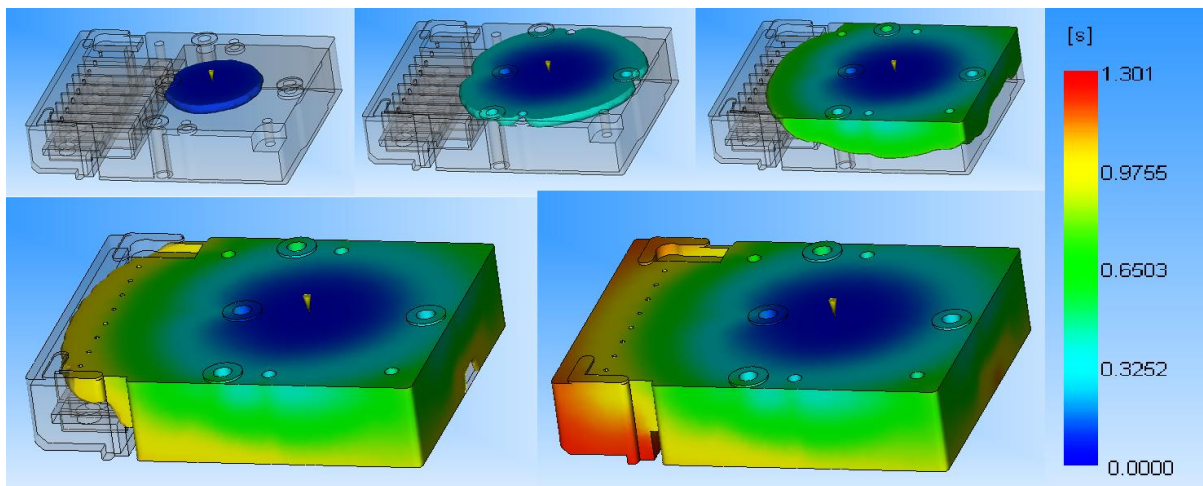


Obr. 6.15 Použití jader v tvárníku

6.5.2. Simulace vyplnění tvarové dutiny [22]

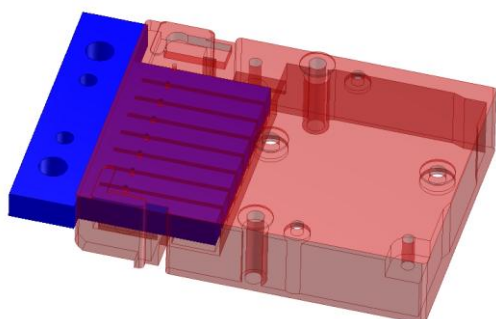
Pro kontrolu spolehlivého vyplnění tvarové dutiny byla zvolena simulace v programu Autodesk Moldflow. Z důvodu velmi složité obsluhy tohoto programu, jehož výsledky nejsou při nízké zkušenosti obsluhy směrodatné, byla o spolupráci požádána firma Hella Autotechnik s.r.o. Mohelnice (dále jen Hella). Po komunikaci se zástupci firmy byla simulace přidělena Ing. Lukáši Matulovi. Jelikož se jedná o jednodušší součást, byl kladen důraz na simulaci plnění tvarové dutiny.

Po provedení simulací bylo zjištěno, že dojde k úplnému zaplnění dutiny, ačkoliv není zcela vybalancované. Mírnou komplikací jsou tloušťky stěn, kdy tavenina nejdříve teče po vrchní stěně výstřiku o tloušťce 3 mm a k úplnému vyplnění bočních stěn o tloušťce 1mm dochází až společně se zaplněním části se svorkovnicí, jak lze vidět na obr. 6.16. U takto malého dílu se však nejedná o výraznou komplikaci. Průběhy tlaků jsou během procesu vstřikování v bezpečných hodnotách a nehrozí nevyplnění vlivem tlakových ztrát.



Obr. 6.16 Výsledky simulace zaplnění tvarové dutiny [22]

6.5.3. Návrh mechanismu bočních jader [12][33]



Obr. 6.17 Tvarová vložka bočního jádra

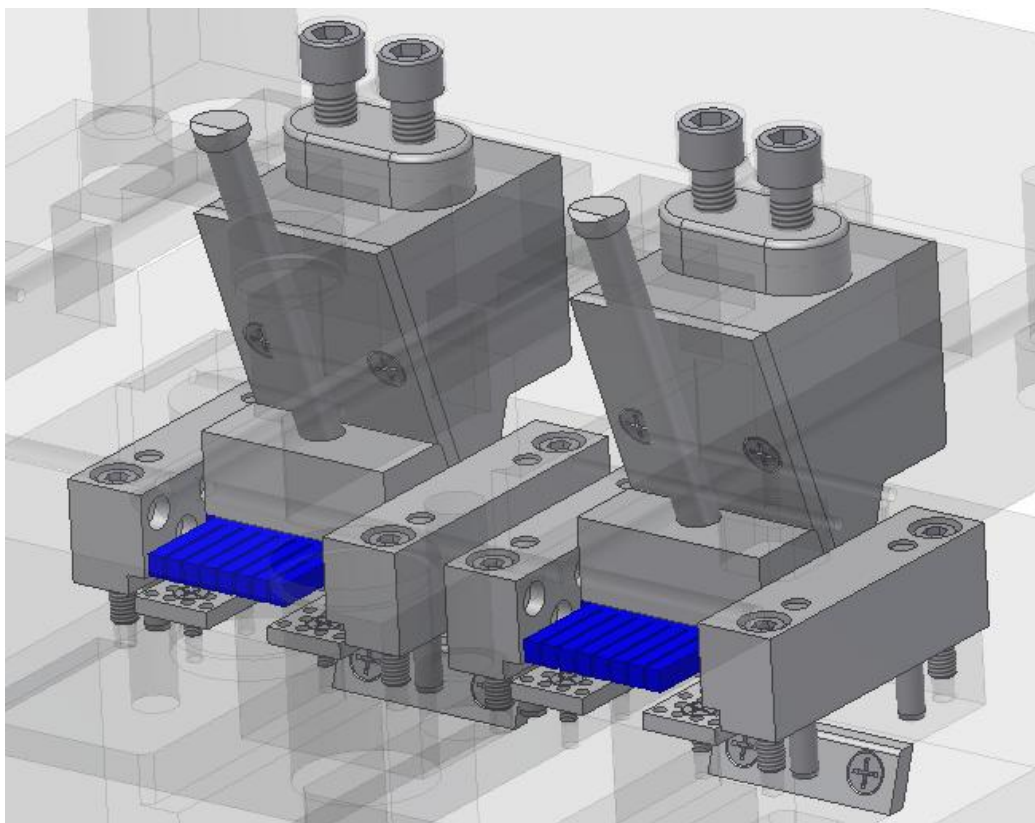
Jelikož výstřik obsahuje tvarovou dutinu ve směru kolmém na směr pohybu formy, je potřeba použít boční jádra. Navrhnuté jádro je zobrazeno na obr. 6.17 a zvýrazněno modře. Jádro je stejně jako tvárníky vyrobeno z oceli 1.2358 a bylo zkonstruováno jako malá vložka, která je vystředěná kolíky a uchycena šrouby v šoupátku. Toto provedení má příznivý vliv na odvzdušnění formy.

Nejlepší a nejlépe kontrolovanou možností ovládní pohybu bočních jader je pomocí hydraulického systému. Tento systém je však velmi drahý a proto bylo navrženo ovládní mechanické,

vyvozené z pohybu formy při jejím otevírání a zavírání. Konstrukční provedení i jednotlivé komponenty mechanismu byly zvoleny a nakoupeny z normálií firmy HASCO [12].

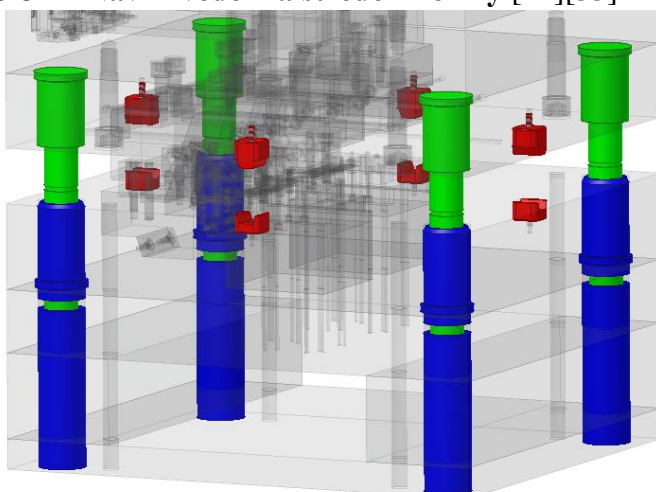
Detailní zobrazení mechanismu se nachází na obr. 6.18. Na tomto obrázku lze vidět vložená jádra zvýrazněná modrou barvou. Protože je vzhledem k velikosti výstřiku nutný relativně velký pohyb bočního jádra, přibližně přes třetinu délky výstřiku, bylo potřeba zvolit jedny z největších komponentů v katalozích firmy HASCO. Sklon úhlového čepu činí 20° a jeho poloha je v upínací desce zajištěna osazením a opřením o desku horkého vtoku. Pro zajištění přesného pohybu šoupátka slouží vodící latě. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce byly tyto latě zvoleny samomazné. Sice mají větší pořizovací náklady než latě běžné, ale vyžadují daleko menší údržbu, což má za následek zvýšení spolehlivosti formy.

Při montáži tohoto systému do formy je potřeba jeho seřízení. To probíhá zbroušením opěrných plechů na rozměr, které zajistí perfektní dosednutí bočního jádra. Z důvodu vůlí a výrobních tolerancí není možné tento rozměr navrhnout ještě před kompletací formy.



Obr. 6.18 Mechanismus pohybu bočních jader

6.5.4. Návrh vedení a středění formy [12][33]

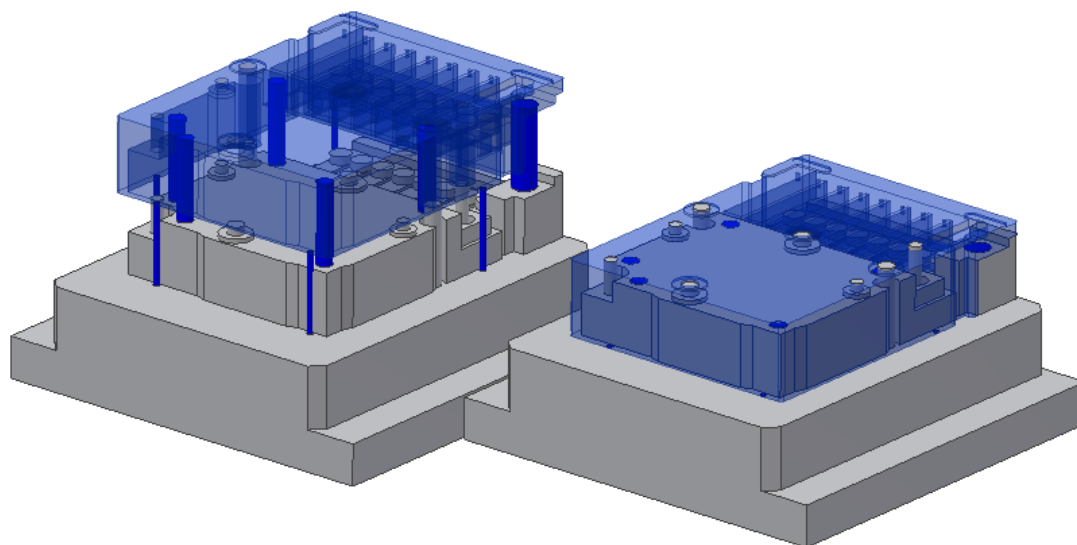


Obr. 6.19 Vodicí a středící elementy

Pro vedení formy byly opět použity normálie firmy HASCO. Byl zvolen nejjednodušší způsob a to použití osazených vodicích sloupek (označených zeleně) a vodicích pouzder (modrá barva), jak je vyobrazeno na obr. 6.19. Jelikož tento způsob neposkytuje vysokou přesnost vedení, byly pro přesné dosednutí obou polovin formy přidány trapézové středící vložky (červená barva). V této kombinaci poskytuje vodicí systém přijatelnou přesnost i cenu.

6.5.5. Návrh vyhazovacího systému formy [12][33]

Jelikož je výstřik obdélkového tvaru, nabízí se jako nejlepší volba pro vyhazování použití kolíkových vyhazovačů. Ty byly umístěny po obvodu výstřiku a dále v místech, kde by mohly hrozit komplikace s vyhazováním. Byly zvoleny kolíkové vyhazovače firmy HASCO o průměrech 1,5; 4 a 6 mm. Aby nedošlo k namáhání vyhazovače o průměru 1,5 mm na vzpěrnou stabilitu, byl použit odstupňovaný vyhazovač. Rozmístění vyhazovačů a jejich funkci lze vidět na obr. 6.20. Na levé straně se nachází výstřik ve fázi vyhazování, na straně pravé ve fázi vstřikování.



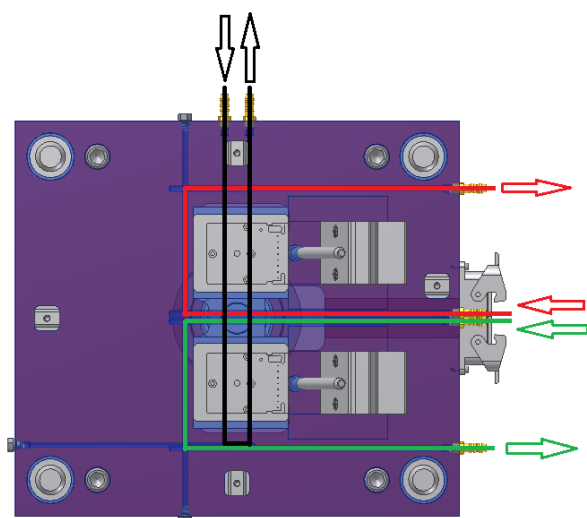
Obr. 6.20 Schéma funkce vyhadzovačů

Vyhazovací zdvih činí 20 mm. Tímto je zajištěno, že se celý výstřik, včetně spodní plochy na dělicí rovině, dostane nad úroveň tvárníku a bude bezproblémově vyhozen.

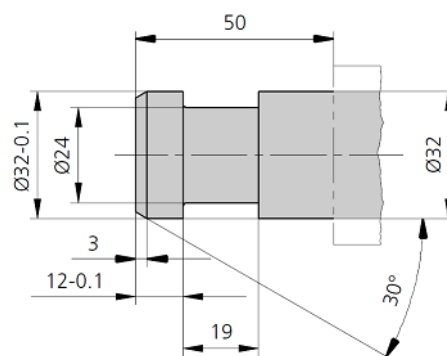
Rozměry tyčového ovladače vyhadzovačů jsou kompatibilní s vstřikovacím strojem Arburg Allrounder 470 S, viz obr. 6.21. Pro přesné vedení ovladače bylo použito kluzné ložisko umístěné v základové desce.

6.5.6. Návrh temperančního systému [18][33]

Vedení temperančních kanálků bylo provedeno dle obr. 6.22. Kvůli tvaru součásti byly temperanční kanálky navrženy pouze pro horní polovinu formy, protože se celý objem výstřiku nachází nad dělicí rovinou. Temperaci zajišťují tři kanálky, kdy jeden je pro každou tvárnici zvlášť (červený a zelený) a jeden je



Obr. 6.22 Umístění temperančních kanálků



Obr. 6.21 Rozměry připojovacího čepu stroje Allrounder 470 S [18]

společný pro obě (černý), zajišťující chlazení trysky horké vtokové soustavy. Rozměry temperančních kanálků byly zvoleny z doporučených hodnot z tabulky v příloze 3. Překrytí kanálků na obrázku 6.22 je pouze optické, kanálky se nachází v různých výškách desky. Jako těsnící element při průchodu kanálku tvárnici byly použity těsnící O-kroužky firmy HASCO.

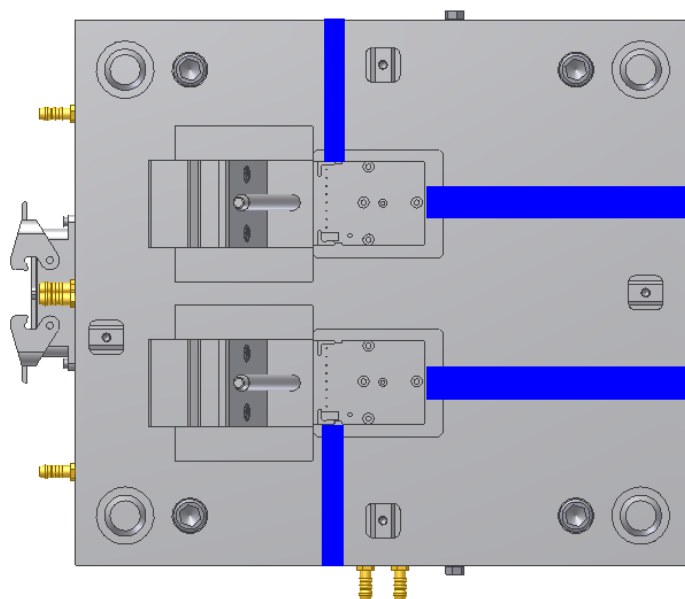
Jako temperanční médium byla zvolena voda o teplotě 80°C. Temperanční výkon bude nutno otestovat při zkouškách formy a případně upravit parametry či médium.

Vstupní a výstupní otvory jednotlivých chladicích okruhů byly opatřeny koncovkami pro připojení hadic. Pomocné

otvory uzavírající temperanční okruhy byly vybaveny zátkou pro zajištění těsnosti.

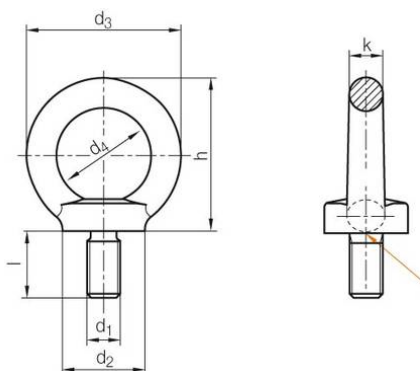
6.5.7. Návrh odvodu vzduchu [33]

K řešení odvodu vzduchu systému dochází až při fázi testování formy. Předběžný návrh konstrukčního provedení odvodu vzduchu spočívá ve vybroušení drážek v částech tvárnice a kotevní desky. Hloubka těchto drážek nesmí přesáhnout 0,02 mm, jinak by hrozilo zatečení taveniny. Grafické vyobrazení tohoto návrhu je modrou barvou na obr. 6.23. Pro odvodu vzduchu části se svorkovnicí by měly stačit mezery vzniklé upnutím bočního jádra v šoupátku a mezi jednotlivými komponenty mechanismu bočního jádra, viz obr. 6.18. Pokud by se tato řešení jevila při zkouškách formy jako nedostatečná, bylo by nutné zlepšit odvodu vzduchu např. zbroušením vyhazovačů či vytvořením dalších drážek. Simulace vstřikování však ukazují, že vstřikovací cyklus by měl proběhnout bez komplikací a nemělo by dojít ke vzniku vzduchových kapes nebo Diesel efektu.



Obr. 6.23 Návrh odvodu vzdušňovacích drážek

6.5.8. Návrh závěsného šroubu pro manipulaci s formou [12]





Obr. 6.24 Schéma závěsného oka [12]

Pro manipulaci s formou mimo vstřikovací stroj je potřeba použít manipulační prostředky. Nejjednodušší a nejbezpečnější cestou je instalace závěsných ok a přeprava formy pomocí jeřábu. Tato oka jsou dimenzována na příslušná zatížení, a proto je pro jejich volbu potřeba určit hmotnost formy.

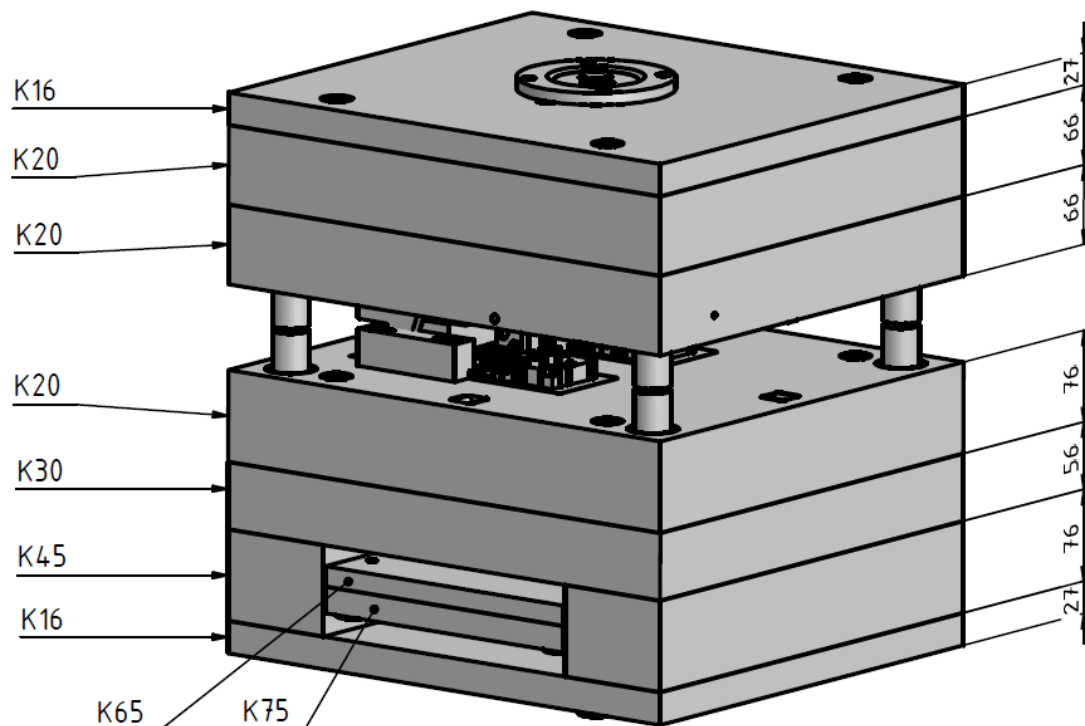
Z programu Autodesk Inventor byla odečtena celková hmotnost formy. Ta činí 503,4 kg. Pro tuto hmotnost bylo zvoleno závěsné oko firmy HASCO označené Z710/16, které má nosnost 710 kg. Schéma tohoto oka je na obr. 6.24 a informace o rozměrech v tabulce 6.2.

Tab. 6.2 Parametry závěsného oka [12]

	d1	k	h	d4	d3	d2	l		
Z 710/16	M16	14	62	35	63	35	27	500	700
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg]

6.5.9. Volba materiálu jednotlivých desek formy [12]

Jednotlivé desky vstřikovací formy jsou namáhány různými způsoby, kterým je potřeba přizpůsobit volbu materiálu. Nejvíce namáhané desky jsou namáhány vstřikovacím tlakem $p_v = 80 \text{ MPa}$ a proto je potřeba volit správný typ materiálu. Typ materiálu je volen podle katalogu dodavatele desek, firmy HASCO. Označení jednotlivých desek lze vidět na obr. 6.25.



Obr. 6.25 Použité typy desek a jejich výška

Volba materiálu upínací desky

Jako materiál upínacích desek formy byl zvolen DIN 1.1730 (Tab. 6.3). Tento materiál poskytuje dostatečné mechanické vlastnosti, jako je tvrdost a pevnost po tepelném zpracování, a zároveň je cenově nejvýhodnějším materiálem v katalogích HASCO.

Tab. 6.3 Volba materiálu upínacích desek

Název desky	Označení HASCO	DIN	ČSN
Upínací deska	K16	1.1730	19 083

Volba materiálu kotevních desek

Opět byl zvolen materiál s dostatečnými mechanickými vlastnostmi. Na rozdíl od desek upínacích jsou na desky kotevní kladeny vyšší nároky, a to vlivem uložení vkládaných tvárníků a komponentů mechanismu pohybu bočního jádra. Z toho důvodu byl zvolen materiál vyšší jakosti, DIN 1.2085 (Tab. 6.4).

Tab. 6.4 Volba materiálu kotevních desek

Název desky	Označení HASCO	DIN	ČSN
Kotevní deska	K20	1.2085	-

Volba materiálu opěrné desky

Pro volbu materiálu opěrné desky platí stejná pravidla jako pro volbu materiálu desek upínacích. Jediným výraznějším rozdílem je pohyb kolíkových vyhazovačů v tělese desky.

Tento pohyb však nezpůsobuje o mnoho výraznější zatížení, a proto byl zvolen materiál DIN 1.1730 (Tab. 6.5).

Tab. 6.5 Volba materiálu opěrné desky

Název desky	Označení HASCO	DIN	ČSN
Opěrná deska	K30	1.1730	19 083

Volba materiálu desky horkého vtoku

Materiál desky horkého vtoku je více než ostatní desky ovlivňován tepelnými změnami. Jelikož ale není v přímém kontaktu s rozvodovým blokem vtokové soustavy, nedochází k tak výraznému přestupu tepla. Materiál byl vybrán dle katalogu HASCO 1.1730 (Tab. 6.6).

Tab. 6.6 Volba materiálu desky horkého vtoku

Název desky	Označení HASCO	DIN	ČSN
Deska horkého vtoku	K30	1.1730	19 083

Volba materiálu horní a spodní desky vyhazovače

Materiál horní a spodní desky vyhazovače byl zvolen DIN 1.1730 (Tab. 6.7). Tento materiál splňuje všechny požadavky kladené na desky vyhazovače během jejich funkce.

Tab. 6.7 Volba materiálu desek vyhazovačů

Název desky	Označení HASCO	DIN	ČSN
Desky vyhazovačů	K65, K75	1.1730	19 083

Volba materiálu rozpěrné desky

Na rozpěrnou desku nejsou kladeny žádné zvýšené nároky, a proto byl zvolen materiál DIN 1.1730 (Tab. 6.8).

Tab. 6.8 Volba materiálu rozpěrných desek

Název desky	Označení HASCO	DIN	ČSN
Rozpěrná deska	K45	1.1730	19 083

7. VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE [15][33]

Základní parametry pro volbu vstřikovacího stroje jsou:

- Velikost vstřikovací kapacity
- Velikost plastikační kapacity
- Velikost maximální vyhazovací síly
- Průměr šneku vstřikovacího stroje
- Rozměry upnuté formy

Rozměry vstřikovací formy činí 396 x 446 mm. Zavřená výška činí 411 mm a při otevření naroste o 80 mm na 491 mm. Z těchto rozměrů zjistíme, zda je možné upnout formu do stroje, který jinak splňuje všechny potřebné požadavky. Pro zřetelnost byly všechny požadované parametry stroje shrnuty do tabulky 7.1.

Tab. 7.1 Požadované hodnoty parametrů vstřikovacího stroje

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotka
Vstřikovací kapacita	C_v	58,058	cm ³
Plastikační kapacita	C_p	13,41	kg/h
Vstřikovací tlak	p_v	800	bar
Přidržovací síla	F_p	850,77	kN
Celková vyhazovací síla	F_{vc}	1,4756	kN
Průměr šneku	D_s	40	mm
Vstřikovací rychlost	v_s	44,85	cm ³ /s
Rozměr upínací desky	-	396 x 446	mm
Uzavřená výška formy	-	411	mm
Otevřená výška formy	-	491	mm

Volba vstřikovacího stroje z nabídky firmy Arburg

Pro volbu vstřikovacího stroje byly použity katalogy firmy Arburg. Tato firma nabízí velmi kvalitní stroje se sítí prodejných míst i na území české republiky. Podle požadavků, zobrazených v tabulce 7.1, byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 470 S (obr. 7.1.) Parametry tohoto stroje jsou zobrazeny v tabulce 7.2. Zbylé parametry stroje jsou přiloženy v příloze 5.



Obr. 7.1 Zvolený stroj Arburg Allrounder 470 S [15]

Tab. 7.2 Parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotka
Maximální vstřikovací kapacita	C_v	201	cm^3
Maximální plastikační kapacita	C_p	15	kg/h
Maximální vstřikovací tlak	p_v	2500	bar
Maximální přídržovací síla	F_p	1100	kN
Maximální vyhazovací síla	F_{vc}	40	kN
Průměr šneku	D_s	40	mm
Maximální vstřikovací rychlost	v_s	168	cm^3/s
Vzdálenost mezi sloupky	-	470 x 470	mm
Minimální uzavřená výška formy	-	250	mm
Maximální otevřená výška formy	-	750	mm

Porovnání těchto hodnot a ověření splnění požadavků na stroj je zobrazeno v tabulce 7.3.

Tab. 7.3 Porovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje Arburg Allrounder 470 S

Parametr	Označení	Požadovaná hodnota parametru	Hodnota parametru stroje	Jednotka	Vyhovuje
Vstřikovací kapacita	C_v	58,058	201	cm^3	✓
Plastikační kapacita	C_p	13,41	15	kg/h	✓
Vstřikovací tlak	p_v	800	2500	bar	✓
Přídržovací síla	F_p	850,77	1100	kN	✓
Celková vyhazovací síla	F_{vc}	1,4756	40	kN	✓
Průměr šneku	D_s	40	40	mm	✓
Vstřikovací rychlost	v_s	44,85	168	cm^3/s	✓
Rozměr upínací desky	-	396 x 446	470 x 470	mm	✓
Uzavřená výška formy	-	411	250	mm	✓
Otevřená výška formy	-	491	750	mm	✓

Jak lze vyčíst z tabulky 7.3, vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 S by měl zvládnout všechny požadavky na něj kladené. Cena tohoto stroje činí přibližně 70 000 € (příloha 4).

8. TECHNOLOGICKÝ POSTUP VSTŘIKOVÁNÍ [21][37]

1. Krok - Příprava plastového polotovaru:

Zytel v podobě granulátu je před použitím potřeba vysušit v horkovzdušné sušárně. Sušení probíhá za teploty 80°C po dobu 3 hodin. Maximální vlhkost v granulátu by po sušení neměla překročit hodnotu 0,2% [21].

2. Krok - Plastikace granulátu v plastikačním válci:

Plastikační jednotku vstřikovacího stroje je potřeba nastavit na objem plastového polotovaru pro jeden vstřikovací cyklus. Tato hodnota činí 55,28 cm³. Dále je nutno nastavit teplotu vstřikování, která je pro Zytel 295°C.

Pro homogenizaci granulátu v plastikačním válci je nutno nastavit otáčky šneku. Vypočtená hodnota potřebných otáček je 71,32 min⁻¹.

3. Krok – Jednotlivé kroky při vstřikování:

- Uzavření dutiny formy za dobu 1,5 s a následovné vyvození dostatečné přidržovací síly $F_p = 1100$ kN.
- Ohřátí formy temperančním systémem stroje na teplotu 100°C.
- Přísun vstřikovací jednotky stroje k vtoku formy, doba přísunu 1 s.
- Nastavení vstřikovacího tlaku $p_v = 80$ MPa.
- Nastavení vstřikovací rychlosti $v_s = 44,85$ cm³/s.
- Nastavení dráhy pohybu šneku při vstřikování $L_s = 43,99$ mm.
- Nastavení doby působení vstřikovacího tlaku na $t_v = 1,24$ s.
- Nastavení přepnutí na fázi dotlaku. Hodnota dotlaku je 70% p_v . Doba trvání dotlaku se stanoví při seřízení stroje vážením výstřiků a porovnáním s teoreticky správnou hmotností do doby, kdy se při dvou po sobě následujících cyklech nezmění hmotnost výstřiků.
- Hodnota zpětného tlaku 160 bar.
- Pohyb šneku v plastikačním válci do výchozí polohy.
- Temperace uzavřené formy temperančním systémem vstřikovacího stroje. Temperačním médiem je voda s aditivou o teplotě 80°C. Celková doba chlazení $t_k = 16,33$ s.
- Otevření dutiny formy. Doba otevírání 1,5 s.
- Vyhození výstřiků z formy působením kolíkových vyhazovačů. Zdvih vyhazovačů 20mm, nezbytně nutná vyhazovací síla stroje zjištěna při zkouškách formy.

9. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [18]

Nejdůležitější částí technicko-ekonomického zhodnocení při výrobě výstřiku z plastu je stanovení nákladů na pořízení vstřikovací formy. Tyto náklady se skládají převážně z normálií nakoupených od jednotlivých firem a nákladů na další obráběcí operace na těchto dílech a jejich tepelné zpracování.

Dalším krokem pro určení ceny jednoho výstřiku je zohlednění nákupní ceny materiálu stejně jako dalších nákladů s materiálem spojených. Do ceny je potřeba zahrnout i odpisové a provozní náklady vstřikovacího stroje.

Pro reálnější odhad nákladů bylo technicko-ekonomické zhodnocení vypracováno ve spolupráci s Ing. Karlem Horníkem, technickým ředitelem firmy o 800 zaměstnancích, která se specializuje na obrábění a svařování. Do výpočtů byly dosazeny hodnoty používané touto firmou.

• Určení ceny vstřikovací formy N_{FOR} [Kč]

Pro určení ceny vstřikovací formy N_{FOR} je potřeba provést součet všech nákladů spojených s výrobou formy. Hlavními položkami této ceny je cena normálií firmy HASCO N_{HAS} [Kč], cena horké vtokové soustavy firmy Synventive N_{SYN} [Kč], cena normalizovaných dílů N_{NOR} [Kč] a náklady spojené s opracováním formy N_{OBR} [Kč].

Dle nákupního listu, viz příloha 6, je cena normálií firmy HASCO $N_{HAS} = 7173,62$ €. Po emailové komunikaci se zástupci firmy Synventive byla stanovena cena horké vtokové soustavy $N_{SYN} = 2400$ €. Aktuální kurz činí $1\text{€} = 25,3$ Kč. Cena normalizovaných dílů byla odhadnuta $N_{NOR} = 400$ Kč. Pro odhad ceny obrábění desek formy i dalších součástí byl použit časový odhad ve spolupráci s technologem obrábění a ceny strojního času, kde 1 strojní hodina stojí přibližně 1000 - 1200 Kč. Náklady na tepelné zpracování desek po hrubování stojí přibližně 5 Kč/kg. Celková cena zpracování byla odhadnuta na $N_{ZPR} = 50000$ Kč.

$$\begin{aligned} N_{FOR} &= N_{HAS} + N_{SYN} + N_{NOR} + N_{ZPR} \\ N_{FOR} &= 7173,62 \cdot 25,3 + 2400 \cdot 25,3 + 400 + 50000 \\ N_{FOR} &= 292613 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (36)$$

• Strojní náklady na 1 hodinu provozu stroje N_{S1} [Kč/hod]

$$\begin{aligned} N_{S1} &= \frac{P_S \cdot C_E}{K_S} \\ N_{S1} &= \frac{30,4 \cdot 3,2}{0,8} \\ N_{S1} &= 121,6 \text{ Kč / hod} \end{aligned} \quad (37)$$

kde P_S ... příkon stroje [kW], dle parametrů stroje v přílohách $P_S = 30,4$ kW
 C_E ... cena elektrické energie [Kč/kWh], pro velký odběr závodem o 800 zaměstnancích se pohybuje podle roční doby a odběru mezi 2,8 až 3,5 Kč/kWh, bylo zvoleno $C_E = 3,2$ Kč/kWh.
 K_S ... koeficient opotřebení stroje [-], $K_S = 0,8$

- **Výpočet celkové doby chodu stroje t_s [hod]**

$$t_s = t_c \cdot \frac{N}{n}$$

$$t_s = 21,7 \cdot \frac{1000000}{2} \quad (38)$$

$$t_s = 10850000s = 3013,89hod$$

Pro výrobu zadané výrobní série bude potřeba 3013,89 hodin strojního času. Tento čas se projeví především v nákladech na provoz stroje.

- **Náklady na materiál celé série N_m [Kč]**

$$N_m = C_m \cdot G \cdot N$$

$$N_m = 75 \cdot 36,1543 \cdot 1000000 \quad (39)$$

$$N_m = 2711572,5Kč$$

kde C_m ... cena materiálu Zytel [Kč/kg], $C_m = 75$ Kč/kg (Příloha 4)

- **Obecné společné náklady, režie a další náklady N_R [Kč]**

Do režijních nákladů je potřeba započítat především náklady na konstrukci, technologii, programování obráběcích strojů a další. Odhad těchto nákladů činí $N_R = 50000$ Kč

- **Odpisy z pořizovacích nákladů vstřikovacího stroje N_{OSR} [Kč/rok]**

Cena vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S je 70 000 €.

$$N_{OSR} = \frac{N_{VS}}{T_{ZS}}$$

$$N_{OSR} = \frac{1771000}{6} \quad (40)$$

$$N_{OSR} = 295167Kč / rok$$

kde N_{VS} ... pořizovací náklady vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S [Kč],
 T_{ZS} ... předpokládaná životnost stroje [rok]

- **Doba zhotovení celé série plastových dílců t_p [hod]**

$$t_p = \frac{N \cdot t_c \cdot K_Z}{3600 \cdot n \cdot K_V}$$

$$t_p = \frac{1000000 \cdot 21,7 \cdot 1,01}{3600 \cdot 2 \cdot 0,8} \quad (41)$$

$$t_p = 3805hod$$

kde K_Z ... koeficient zmetkovitosti [-], $K_Z = 1,01$
 K_V ... koeficient využití času [-], $K_V = 0,8$

- **Odpisy z pořizovacích nákladů stroje po dobu výroby výrobní série N_{OS} [Kč]**

$$N_{OS} = N_{OSR} \cdot \frac{t_p}{24 \cdot 365}$$

$$N_{OS} = 295167 \cdot \frac{3805}{24 \cdot 365} \quad (42)$$

$$N_{OS} = 126688Kč$$

- **Výpočet vlastních nákladů na jeden plastový dílec N_{pd1} [Kč]**

$$N_{pd1} = \frac{N_{S1} \cdot t_S + N_m + N_{FOR} + N_R + N_{OS}}{N}$$

$$N_{OS} = \frac{121,6 \cdot 3013,86 + 2711572,5 + 292613 + 50000 + 126688}{1000000} \quad (43)$$

$$N_{OS} = 3,55Kč$$

- **Výpočet konečné ceny plastového dílce C [Kč]**

$$C = \frac{N_{OS} \cdot N \cdot \left(1 + \frac{Z}{100}\right)}{N} \cdot \left(1 + \frac{Q}{100}\right)$$

$$C = \frac{3,55 \cdot 1000000 \cdot \left(1 + \frac{20}{100}\right)}{1000000} \cdot \left(1 + \frac{60}{100}\right) \quad (44)$$

$$C = 6,81Kč$$

kde Z ... zisk [%], zvoleno $Z = 20\%$

Q ... obchodní přírážky k ceně [%], zvoleno $Q = 60\%$

Po výpočtu všech nákladů a navýšení výrobní ceny o zisk a obchodní přírážky byla stanovena prodejní cena jednoho výstřiku 6,81 Kč.

10. ZÁVĚR

Zadaná součást, základna se svorkovnicí, bude sloužit v elektrotechnickém průmyslu. Tomu byla přizpůsobena volba materiálu tak, aby splňoval všechny požadavky dané použitím v tomto odvětví. Materiál byl zvolen polyamid s 30% skelných vláken PA 6.6 30GF od firmy DuPont s firemním označením Zytel.

Pro výrobu zadané součásti byla zvolena technologie vstřikování plastů. V práci byl detailně rozebrán návrh vstřikovací formy se všemi potřebnými systémy. Konstrukce formy proběhla stavebnicovým systémem, kdy byly téměř všechny komponenty zakoupeny od firmy HASCO a následně upraveny obráběním. Rozměry desek byly zvoleny 396 x 446 mm. Jako vtokový systém byla zvolena horká vtoková soustava, jejíž pořizovací náklady byly sice vyšší, než náklady na vtokovou soustavu studenou, ale při objemu výrobní dávky 1000000 ks došlo jen k nepatrnému navýšení výsledné ceny výstřiku.

Ověření funkčnosti navrženého řešení formy bylo provedeno simulacemi ve firmě Hella Autotechnik s.r.o. Mohelnice. Byly provedeny základní simulace plnění tvarové dutiny s pozitivními výsledky, které ukázaly, že dojde k bezproblémovému zaplnění celé tvarové dutiny.

Vstřikovací stroj pro výrobu zadané součásti byl volen z katalogu firmy Arburg. Po porovnání všech požadavků kladených na tento stroj formou, byl zvolen stroj Arburg Allrounder 470 S s hydraulickým ovládáním uzavírací jednotky, který splňuje všechny potřebné parametry. Odpisová doba tohoto stroje byla zvolena 6 let.

V technicko-ekonomickém zhodnocení byly zahrnuty základní náklady na výrobu požadovaného množství výstřiků. Nejvýraznější vliv na výslednou cenu součásti má cena materiálu, náklady spojené s výrobou formy a odpisové a provozní náklady stroje. Po použití reálných hodnot nákladů středně velké výrobní firmy a započtení výše zmíněných položek byla stanovena cena jednoho výstřiku 6,81 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [6]

1. 350 Tons Plastic Injection Molding Machine. *Steady Stream Business* [online]. 2010 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.steady-stream.com/350T.htm>
2. BĚHÁLEK, Luboš. *Deštníkový a prstencový vtok*. Katedra strojírenské technologie: Technická univerzita v Liberci [online]. 2004, s. 1 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c9/destnikovy%20a%20prstencovy.pdf
3. BĚHÁLEK, Luboš. *Filmový (štěrbinový) vtok*. Katedra strojírenské technologie: Technická univerzita v Liberci [online]. 2004, s. 1 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c9/filmovy.pdf
4. BĚHÁLEK, Luboš. *Speciální temperační prostředky*. Katedra strojírenské technologie: Technická univerzita v Liberci [online]. 2004, s. 12 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/lidi/behalek/Termoplastyvprazi.pdf>
5. Casio G-Shock GW-2500 'Gravity Defier'. *Mitsukake: Fine Japanese Watches - review* [online]. Mitsukake Japanese Watches, 2009 [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <http://www.mitsukake.com/95>
6. *Citace 3.0* [online]. 2012 [cit. 2012-01-15]. Vše o citování literatury a dokumentů. Dostupné z: <http://www.citace.com>
7. DuPont Engineering Polymers: Moulding Manual for MINLON® and ZYTEL® Resins. *DUPONT* [online]. Switzerland, 2002 [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: <http://plastics.dupont.com/plastics/pdflit/europe/zytel/ZYTMGe.pdf>
8. DVOŘÁK, František. *iDnes.cz. Plastů je na autě stále víc, už došlo i na kola* [online]. 2011 [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/plastu-je-na-aute-stale-vic-uz-doslo-i-na-kola-fm7-/pneu.aspx?c=A111011_175446_pneu_fdv
9. Efficient cooling with tool inserts manufactured by electron beam melting. *Emerald: Research you can use* [online]. 2007 [cit. 2012-02-27]. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1610437&show=html>
10. Flow measurement and control combined with online-thermography. *Plastech: plastic and packaging Vortal* [online]. 2011 [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: http://www.plastech.biz/news/article_4307_1/Flow-measurement-and-control-combined-with-online-thermography
11. FOŘT, Petr a Michal PROKEŠ. *K plastovému dílu cesta dlouhá*. In: DesignTech: otevřený publikační portál věnovaný nejen CA technologiím [online]. 2006, 2011 [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/c/plm/k-plastovemu-dilu-cesta-dlouha.htm>
12. *HASCO* [online]. 2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: www.hasco.de

13. Hot Runner Systems: Component Overview. *Synventive Molding Solutions* [online]. 2012 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.synventive.com/synventive-hot-runner-systems.aspx>
14. HRADIL, Ivo. Plasty Mucell sníží hmotnost automobilů. *Hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-02-10]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/plasty-mucell-snizi-hmotnost-automobilu>
15. Injection moulding machines: Allrounder S. *Plastic technology service* [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://www.plastic-ts.ro/administrare/pictures/promo_4.jpg
16. Injection plastic machine. *Frbiz: Small plastic injection molding machines* [online]. 2009 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: http://www.smallinjectionmachine.com/china-injection_plastic_machine-3015.html
17. K 2010 Preview, Injection Molding New All-Electrics & Hybrids Balance Performance & Economy. *Plastics Technology* [online]. 2010 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.ptonline.com/articles/k-2010-preview-injection-molding-new-all-electrics-hybrids-balance-performance-economy>
18. KANDUS, Bohumil. Technologie zpracování plastů (HTZ). Přednášky a cvičení. Odbor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno. 2011.
19. LANXESS. *Part and Mold Desing: A Desing Guide* [online]. U.S.A., 2007, 170 s. [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide%20%20.pdf?docId=77015
20. LENFELD, Petr. *Technologie II: Zpracování plastů*. Katedra Strojírenské Technologie: Technické univerzity v Liberci [online]. Fakulta strojní, TU Liberec, 2001 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty
21. *Material Data Center* [online]. M-Base Engineering+Software GmbH. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://materialdatacenter.com/mb/>
22. MATULA, Lukáš. HELLA AUTOTECHNIK S.R.O. MOHELNICE. *Mold Flow simulace*. Mohelnice, 2012.
23. MOLLIKOVÁ, Eva. *Polymery*. In: [online]. [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/Files/Vyuka/BUM/10-BUM.ppt>
24. Negri Bossi: CANBEL. *Euroimpex* [online]. 2012 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: www.euroimpex.cz/Canbel.pps
25. Nordica Dobermann WC 150. *Powder Magazine* [online]. 2011 [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <http://gear.powdermag.com/boots/nordica-dobermann-wc-150-boots.html>
26. Oakley Radar Range Jet Black. *Bike Gallery* [online]. 2009 [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <http://www.bikegallery.cz/bryle/bryle-8/radar-range-jet-black>

27. Plastic injection moulding machine. *Rutland Plastics limited* [online]. 2008 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: http://www.rutlandplastics.co.uk/moulding_machine.shtml
28. Plastic injection moulding: An introduction. *Azom: The A to Z of materials* [online]. 2001 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=265>
29. Press Machine (JE21S-63). *Xi'an Amco Machine Tools Co., Ltd* [online]. 2010 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.machsources.com/suppliers/mach019/products/13131.html>
30. Processing of Terblend: Injection moulding screw. *Styrolution* [online]. 2011 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: http://www.styrolution.net/wa/steu~en_GB/portal/show/common/content/products/styrenics/terblend_n/processing
31. Produkty - Naše produkty: Vstřikovací formy. *Mould & Matic Solutions, s.r.o* [online]. [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: <http://www.mouldandmatic.cz/?menu=produkty&typ=nase-produkty&podtyp=vstrikovaci-formy>
32. R8 Spyder V10: Exterior style features. *Audi* [online]. Audi United Kingdom, 2012 [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <http://www.audi.co.uk/new-cars/r8/r8-spyder-v10/exterior-style-features/all-led-headlights.html>
33. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. 2001, 175 s.
34. Screw Tips, Stop Ring, Check Valve. *Made in China: Conneciton Buyers with China Suppliers* [online]. 2012 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://lcscrew.en.made-in-china.com/product/YMtmPvXJHKhe/China-Screw-Tips-Stop-Ring-Check-Valve.html>
35. Series 04 C01: Manifold Nozzles, Face Fit. *Synventive Molding Solutions* [online]. 2009, 9 s. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Nozzles/PDFs/MK-PRM.BRM.GB-P.I04C01.pdf
36. Series VC: Hot Runner Manifolds. *Synventive Molding Solutions* [online]. 2009, 44 s. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.synventive.com/uploadedFiles/Products/Hot_Runner_Systems/Nozzles/PDFs/MK-PRM.BRM.GB-P.I04C01.pdf
37. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha: Dashöfer, 1999, 580, 425. 2 sv. ISBN 80-862-2915-7.
38. Vstřikovací formy: Vtoková soustava. *Katedra strojírenské technologie: Technická univerzita v Liberci* [online]. 2001, s. 14 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf

39. What is injection molding. *WiseGEEK: clear answers for common questions* [online]. 2012 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.wisegeek.com/what-is-injection-molding.htm#>
40. WOEBCKEN, Wilbrand. *International Plastics Handbook: for the Technologist, Engineer and User*. Munich: Hanser Publishers, 1995, 644 s. 3.
41. ZEMAN, Lubomír a Josef KREBS. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 246 s. 2 sv. ISBN 978-80-7300-250-3.
42. ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy*. Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie tváření kovů a plastů [online]. 2008, s. 39 [cit. 2012-01-29]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Vzdálenost okraje plochy S_{pr} od kraje vetknutí desky	[mm]
a	Vnitřní rozměr výstřiku	[mm]
a'	Velikost hrany náhradního čtverce	[mm]
a''	Vnější rozměr výstřiku	[mm]
a_{eff}	Měrná tepelná vodivost materiálu	[mm ² /s]
b	Vnitřní rozměr výstřiku	[mm]
b''	Vnější rozměr výstřiku	[mm]
C	Konečná cena plastového dílce	[Kč]
C_E	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
C_m	Cena materiálu Zytel	[Kč/kg]
C_p	Minimální plastikační kapacita vstřikovacího stroje	[kg/hod]
C_v	Minimální vstřikovací kapacita vstřikovacího stroje	[cm ³]
D'	Celková délka obdélníku	[mm]
D_1	Průměr pomocné kružnice	[mm]
$D_{1(0)}$	Pomocný průměr po smrštění	[mm]
d_s	Průměr šneku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$E_{(TE)}$	Modul pružnosti materiálu Zytel při teplotě odformování 110°C	[MPa]
F	Síla	[N]
F_{EI}	Teoretická vyhazovací síla pro jeden výstřik	[N]
F_p	Přidržovací síla vstřikovacího stroje	[kN]
F_v	Skutečná vyhazovací síla	[N]
F_{VC}	Celková vyhazovací síla pro vyhození obou výstřiků	[N]
f	Koeficient tření	[-]
$f_{(x)}$	Průhyb desky	[mm]
G	Hmotnost plastového dílce	[g]
h_d	Počet pracovních hodin v třísměnném provozu za jeden den	[hod]
K	Faktor využití času	[-]
K_1	Konstanta	[mm ⁴]
K_2	Konstanta	[mm ²]
K_s	Koeficient pro výpočet smrštění	[-]
K_S	Koeficient opotřebení stroje	[-]
K_v	Koeficient využití času	[-]
K_Z	Koeficient zmetkovitosti	[-]
k_1	Materiálový koeficient plnění	[-]
k_2	Materiálový koeficient plnění	[-]
L	Nevetknutá délka zatížené desky	[mm]
L_1	Maximální délka dráhy toku taveniny	[mm]
L_A	Rozměr výstřiku	[mm]
L_B	Rozměr výstřiku	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
L_s	Celková délka dráhy toku taveniny	[mm]
L_{sn}	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
l_1	Pracovní délka tvárníku formy	[mm]
M	Výpočtový exponent vzorce	[-]
N	Velikost výrobní série	[ks]
N_{FOR}	Pořizovací náklady vstřikovací formy	[Kč]
N_{HAS}	Cena normálií firmy HASCO	[Kč]
N_m	Náklady na materiál celé série	[Kč]
N_{NOR}	Cena normalizovaných dílů	[Kč]
N_{OS}	Odpisy z pořizovacích nákladů stroje po dobu výroby výrobní série	[Kč]
N_{OSR}	Odpisy z pořizovacích nákladů vstřikovacího stroje	[Kč/rok]
N_{pd1}	Vlastní náklady na jeden plastový dílec	[Kč]
N_R	Obecné společné náklady, režie a další náklady	[Kč]
N_{S1}	Strojní náklady na 1 hodinu provozu stroje	[Kč/hod]
N_{SYN}	Cena horké vtokové soustavy firmy Synventive	[Kč]
N_{VS}	Pořizovací náklady vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S	[Kč]
N_{ZPR}	Náklady spojené s opracováním formy a tepelným zpracováním	[Kč]
n	Násobnost formy	[-]
n_m	Počet měsíců výroby	[-]
n_{pm}	Počet pracovních dní v měsíci	[-]
n_s	Otáčky šneku	[min ⁻¹]
n_T	Termínovaná násobnost formy	[-]
P_S	Příkon stroje	[kW]
p_1	Plnicí tlak	[bar]
p_v	Vstřikovací tlak	[MPa]
Q	Obchodní přírážky k ceně	[%]
R_z	Drsnost tvárníku formy	[μm]
r	Rameno síly	[mm]
r_1	Rameno síly	[mm]
S	Tloušťka zatížené desky	[mm]
S_{ctv}	Náhradní čtvercová plocha	[mm ²]
S_{obd}	Vnitřní obdélníkové plocha	[mm ²]
S_{pr}	Plocha průmětu čelní plochy výstřiku do dělicí roviny formy	[mm ²]
$S_{pr'}$	Plocha obdélníku vnějších rozměrů výstřiku	[mm ²]
s	Tloušťka stěny plastového dílce	[mm]
s_1	Tloušťka stěny plastového dílce	[mm]
s_m	Celkové smrštění plastu 24 hodin po odformování	[%]
$s_{m(t)}$	Smrštění materiálu v době odformování	[%]
T_E	Střední vyhazovací teplota výstřiku	[°C]
T_M	Teplota taveniny	[°C]
T_W	Střední teplota líce tvarové dutiny	[°C]
$T_{žS}$	Předpokládaná životnost stroje	[rok]

Označení	Legenda	Jednotka
t_c	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_d	Čas dotlaku	[s]
t_E	Doba odformování	[s]
t_{ch}	Čas chlazení	[s]
t_k	Doba chlazení	[s]
t_P	Doba zhotovení celé série plastových dílců	[hod]
t_{pl}	Čas plastikace	[s]
t_S	Celková doba chodu stroje	[hod]
t_{s1}	Strojní čas na zavření formy	[s]
t_{s3}	Strojní čas na otevření formy	[s]
t_v	Vstřikovací čas	[s]
V	Objem plastového dílce	[cm ³]
V_d	Vstřikovaný objem	[cm ³]
V_k	Objem vtokových kanálků	[cm ³]
v	Maximální povolená obvodová rychlost šneku	[m/s]
v_s	Vstřikovací rychlost	[cm ³ /s]
Z	Zisk	[%]
η	Viskozita	[Pa . s]
μ	Poissonova konstanta	[-]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
τ_p	Požadovaná doba dodání	[hod]

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Příklady výrobků z plastů [5][8][25][26][32]	10
Obr. 1.1 Model zadané plastové součástky	11
Obr. 1.2 Lis pro lisování reaktoplastů [29]	11
Obr. 1.3 Vstřikovací stroj [1]	12
Obr. 2.1 Polymerace [23]	13
Obr. 2.2 Polykondenzace [23].....	14
Obr. 2.3 Rozdělení plastů.....	15
Obr. 2.4 Příklad použití nadouvadel [14].....	15
Obr. 2.5 Barevné varianty granulátů [39]	16
Obr. 2.6 Průběh napětí v závislosti na deformaci [23].....	16
Obr. 2.7 Závislost mechanických vlastností na typu polymeru [23].....	16
Obr. 3.1 Schéma vstřikovací soustavy[11].....	18
Obr. 3.2 Průběh vnitřního tlaku formy během vstřikovacího cyklu [20].....	19
Obr. 3.3 pVT diagramy vstřikovací formy [37]	20
Obr. 3.4 Změna rozměrů výstřiků [37]	21
Obr. 3.5 Rozdílné smrštění plněného a neplněného plastu [19].....	22
Obr. 4.1 Příklad vstřikovací formy [31].....	24
Obr. 4.2 Schéma vtokového systému formy [20].....	25
Obr. 4.3 Nejčastější průřezy kanálků vtokové soustavy [20].....	25
Obr. 4.4 Špatně zvolené uspořádání [20]	25
Obr. 4.5 Řadové a symetrické uspořádání vtokových kanálků [38]	26
Obr. 4.6 Schéma plného kuželového vtoku [20].....	26
Obr. 4.7 Bodový vtok [19]	26
Obr. 4.8 Deštníkový a talířový vtok [19]	27
Obr. 4.9 Prstencový a štěrbinový vtok [38]	27
Obr. 4.10 Tunelový vtok [19].....	27
Obr. 4.11 Schéma horké vtokové soustavy [13]	28
Obr. 4.12 Izolovaná horká vtoková soustava [20]	28
Obr. 4.13 Typy vtoků horkých trysek [19].....	29
Obr. 4.14 Systémy uchycení trysek [35]	30
Obr. 4.15 Příklad kolíkových vyhazovačů [9]	31
Obr. 4.16 Diesel efekt [20].....	31
Obr. 4.17 Příklady temperační kapaliny formy [10].....	32
Obr. 4.18 Schéma metody Tool-Vac [4]	33
Obr. 4.19 Schéma vírové trubice [4].....	33
Obr. 4.20 Použití tepelných vložek ve formě [4]	33
Obr. 5.1 Vstřikovací stroj [27]	34
Obr. 5.2 Vstřikovací jednotka stroje [28].....	35
Obr. 5.3 Příklady různých provedení šneků [16]	36
Obr. 5.4 Rozměry jednotlivých částí šneku [30].....	36
Obr. 5.5 Úpravy šneku pro zamezení zpětného toku [34].....	36
Obr. 5.6 Různé možnosti vzájemné polohy vstřikovací a uzavírací jednotky [20]	37
Obr. 5.7 Uzavírací jednotka stroje [24].....	38
Obr. 5.8 Moderní ovládací panel vstřikovacího stroje [17]	38
Obr. 6.1 Volba výpočtové tloušťky stěny	41
Obr. 6.2 Vhodné a nevhodné provedení trysek [7]	43
Obr. 6.3 Vhodné a nevhodné provedení rozvodů [7].....	43
Obr. 6.4 Rozměry zvolené trysky [35]	44

Obr. 6.5 Rozměry zvoleného rozváděcího bloku [36]	44
Obr. 6.6 Umístění vtoku na výstřiku	45
Obr. 6.7 Rozestavení výstřiků ve formě	45
Obr. 6.8 Rozměry zvolených desek	45
Obr. 6.9 Maximální délka toku taveniny.....	47
Obr. 6.10 Vnitřní rozměry výstřiku.....	48
Obr. 6.11 Přepočet sil.....	50
Obr. 6.12 Průhyb desek formy	50
Obr. 6.13 Umístění dělicí roviny.....	51
Obr. 6.14 Distanční bloky	52
Obr. 6.15 Použití jader v tvárníku	52
Obr. 6.16 Výsledky simulace zaplnění tvarové dutiny [22].....	53
Obr. 6.17 Tvarová vložka bočního jádra.....	53
Obr. 6.18 Mechanismus pohybu bočních jader.....	54
Obr. 6.19 Vodicí a středící elementy.....	54
Obr. 6.20 Schéma funkce vyhazovačů	55
Obr. 6.21 Rozměry přípojovacího čepu stroje Allrounder 470 S [18].....	55
Obr. 6.22 Umístění temperančních kanálků.....	55
Obr. 6.23 Návrh odzdušňovacích drážek	56
Obr. 6.24 Schéma závěsného oka [12]	56
Obr. 6.25 Použité typy desek a jejich výška	57
Obr. 7.1 Zvolený stroj Arburg Allrounder 470 S [15]	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Vlastnosti materiálu Zytel [21]	12
Tab. 6.1 Přibližné hodnoty vstřikovacích časů [18].....	41
Tab. 6.2 Parametry závěsného oka [12]	56
Tab. 6.3 Volba materiálu upínacích desek	57
Tab. 6.4 Volba materiálu kotevních desek	57
Tab. 6.5 Volba materiálu opěrné desky.....	58
Tab. 6.6 Volba materiálu desky horkého vtoku	58
Tab. 6.7 Volba materiálu desek vyhazovačů.....	58
Tab. 6.8 Volba materiálu rozpěrných desek.....	58
Tab. 7.1 Požadované hodnoty parametrů vstřikovacího stroje	59
Tab. 7.2 Parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S	60
Tab. 7.3 Porovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje Arburg Allrounder 470 S..	60

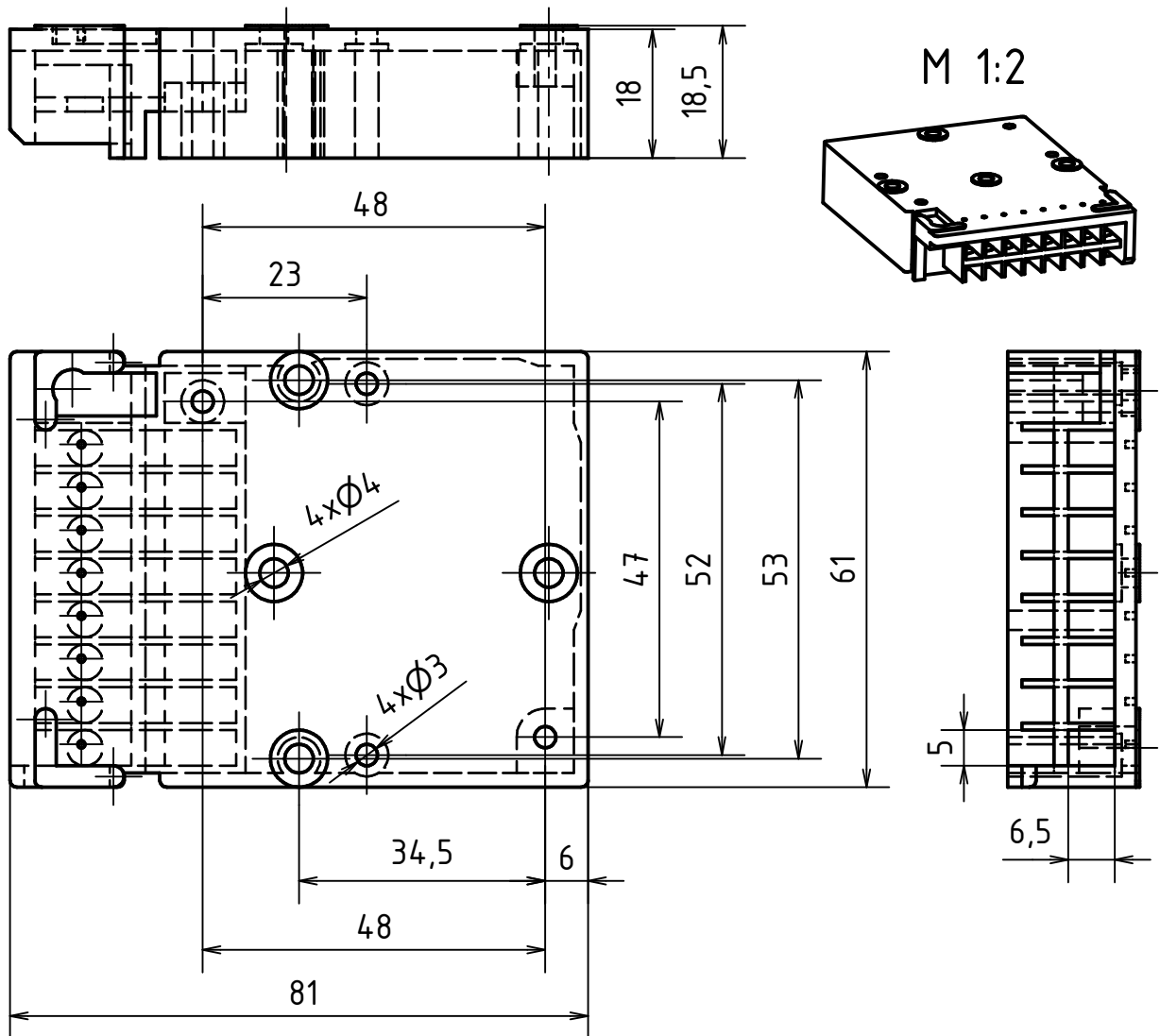
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Schéma zadané součástky se základními rozměry
Příloha 2	Vlastnosti materiálu Zytel [21]
Příloha 3	Doporučené hodnoty pro volbu temperančních kanálek [37]
Příloha 4	Ceny vstřikovacích strojů Arburg a jednotlivých typů plastů [18]
Příloha 5	Parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S [18]
Příloha 6	Nákupní seznam normálií firmy HASCO [12]

SEZNAM VÝKRESŮ

DP – 2012 – 00	Výkres sestavy
DP – 2012 – 12	Výkres tvárníku
DP – 2012 – 13	Výkres tvárnice

Příloha 1 - Schéma zadané součástky se základními rozměry



Příloha 2 - Vlastnosti materiálu Zytel [21]

Zytel® 70G30HSLR NC010

PA66-GF30

DuPont Engineering Polymers

Product Texts

Common features of Zytel® nylon resin include mechanical and physical properties such as high mechanical strength, excellent balance of stiffness and toughness, good high temperature performance, good electrical and flammability properties, good abrasion and chemical resistance.

In addition, Zytel® nylon resins are available in different modified and reinforced grades to create a wide range of products with tailored properties for specific processes and end-uses. Zytel® nylon resin, including most flame retardant grades, offer the ability to be coloured.

The good melt stability of Zytel® nylon resin normally enables the recycling of properly handled production waste. If recycling is not possible, DuPont recommends, as the preferred option, incineration with energy recovery (-31kJ/g of base polymer) in appropriately equipped installations. For disposal, local regulations have to be observed.

Zytel® nylon resin typically is used in demanding applications in the automotive, furniture, domestic appliances, sporting goods and construction industry.

Zytel® 70G30HSLR is a 30% glass fiber reinforced, heat stabilized, hydrolysis resistant and lubricated polyamide 66 for injection molding.

Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
CAMPUS/ISO Data			
Molding shrinkage (parallel)	0.3 / *	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage (normal)	1.1 / *	%	ISO 294-4, 2577

Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
CAMPUS/ISO Data			
Tensile Modulus	10000 / 7000	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	200 / 130	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3.4 / 5	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus (1h)	* / 6800	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus (1000h)	* / 5100	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength (+23°C)	70 / 90	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	70 / 70	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	12 / 16	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	10 / 10	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
CAMPUS/ISO Data			
Melting temperature (10°C/min)	263 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Glass transition temperature (10°C/min)	80 / *	°C	ISO 11357-1/-2
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	250 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	260 / *	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	250 / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion (parallel)	28 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion (normal)	95 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5 / *	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL / *	-	-
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8 / *	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL / *	-	-
ASTM Data			
UL 94 Flame rating	HB	-	UL 94
Thickness tested	1.5	mm	-
Coefficient of Thermal Expansion (MD)	22	E-6/K	ASTM D 696
Coefficient of Thermal Expansion (TD)	107	E-6/K	ASTM D 696

Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
-----------------------	------------	------	---------------

CAMPUS/ISO Data

Relative permittivity (100Hz)	4.3 / 11	-	IEC 60250
Relative permittivity (1MHz)	4.1 / 4.6	-	IEC 60250
Dissipation factor (100Hz)	70 / 4600	E-4	IEC 60250
Dissipation factor (1MHz)	150 / 650	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	>1E13 / 1E9	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	* / 1E13	Ohm	IEC 60093
Electric strength	38 / 32	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	450 / -	-	IEC 60112

Other properties

	dry / cond	Unit	Test Standard
CAMPUS/ISO Data			
Water absorption	6 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.9 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1370 / -	kg/m ³	ISO 1183

Material specific properties

	dry / cond	Unit	Test Standard
CAMPUS/ISO Data			
Viscosity number	140 / *	cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628

Rheological calculation properties

	Value	Unit	Test Standard
CAMPUS/ISO Data			
Density of melt	1200	kg/m ³	-
Thermal conductivity of melt	0.21	W/(m K)	-
Spec. heat capacity melt	2290	J/(kg K)	-
Eff. thermal diffusivity	6.85E-8	m ² /s	-
Ejection temperature	190	°C	-

Characteristics**Processing**

Injection Molding

Delivery form

Pellets, Natural Color

Additives

Lubricants, Release agent

Special Characteristics

Heat stabilized or stable to heat

Features

Creep Resistance, Fatigue Resistance, Weldable

Chemical Resistance

General Chemical Resistance, Grease Resistance, Hydrolytically Stable, Oil Resistance

Applications

Automotive, Electrical and Electrical

Regional Availability

North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America, Near East/Africa

Other text information**Injection molding****PREPROCESSING**

Drying Recommended = Yes, if moisture content of resin exceeds recommended level

Drying Temperature = 80 °C

Drying Time, Dehumidified Dryer = 2-4h

Processing Moisture Content = <0.2 %

PROCESSING

Melt Temperature Optimum = 295°C
Melt Temperature Range = 285-305°C
Mold Temperature Optimum = 100°C
Mold Temperature Range = 70-120°C
Maximum Screw tangential Speed : 0.15 m/s
Flow front speed : 150 mm/s
Hold pressure optimum : 85 MPa
Hold pressure range : 50-100 MPa
Back pressure : low
Hold pressure time : 2.5 s/mm
Maximum hold-up time : 15 min

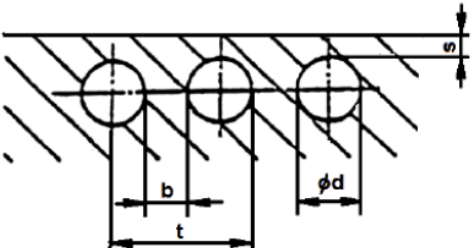
[Moulding guide](#)

Příloha 3 - Doporučené hodnoty pro volbu temperančních kanálek [37]

Doporučené průměry kanálek:

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

Doporučené vzdálenosti temperančních kanálek od dutiny formy:

	$\varnothing d$ [mm]	6	8	10	12	14	16	18	20	
	s [mm]	4	6	8	12	15	20	25	30	
	t [mm]	10	14	17	20	24	27	30	34	
	b [mm]	4	5	7	8	10	11	12	14	

Příloha 4 - Ceny vstřikovacích strojů Arburg a jednotlivých typů plastů [18]

Cena vstřikovacích strojů Arburg řady S:

	Typové označení	Cena dle rozsahu výbavy
1	Allrounder 170 S	33 000 - 38 000 €
2	Allrounder 270 S	40 000 - 46 000 €
3	Allrounder 370 S	50 000 - 57 000 €
4	Allrounder 470 S	62 000 - 70 000 €
5	Allrounder 520 S	80 000 - 90 000 €
6	Allrounder 570 S	98 000 - 112 000 €
7	Allrounder 630 S	120 000 - 140 000 €
8	Allrounder 720 S	150 000 - 175 000 €
9	Allrounder 820 S	190 000 - 220 000 €
10	Allrounder 920 S	230 000 - 270 000 €

Ceny některých typů technických plastů:

	Typové označení	Cena dle rozsahu výbavy
1	PE	0,9 € / kg
2	PP	1,0 € / kg
3	PS	0,9 € / kg
4	ABS	1,2 € / kg
5	PA 6	2,2 - 2,5 € / kg
6	PA 6.6	3,0 - 3,5 € / kg
7	PBT	2,4 - 2,5 € / kg
8	POM	2,5 - 2,6 € / kg

Príloha 5 - Parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S [18]

Maschinentyp		470 S	470 S	470 S
EUROMAP-Größenangabe ¹⁾		800-170 1000-170 1100-170	800-290 1000-290 1100-290	1000-400 1100-400
Schließeinheit				
Schließkraft	max. kN	800 1000 1100	800 1000 1100	1000 1100
Zufahrkraft	max. kN	50	50	50
Öffnungskraft / erhöht	max. kN	34/ 255	34/ 255	34/ 255
Öffnungsweg	max. mm	500	500	500
Werkzeugeinbauhöhe	min. mm	250	250	250
Abstand zwischen den Aufspannplatten	max. mm	750	750	750
Lichter Säulenabstand	mm	470 x 470	470 x 470	470 x 470
Werkzeugaufspannplatten (b x h)	mm	637 x 637	637 x 637	637 x 637
Gewicht bew. Wkz.-Hälfte	max. kg	760	760	760
Auswerferkraft	max. kN	40	40	40
Auswerferweg	max. mm	175	175	175
Hydraulik, Antrieb, Sonstiges				
Antriebsleistung der Hydraulikpumpe	kW	15 18,5 18,5	15 18,5 18,5	18,5 22
Trockenlaufzeit bei Öffnungshub ³⁾	s-mm	2,3 (1,8)-329 2,1 (1,8)-329 1,8-329	2,3 (1,8)-329 2,1 (1,8)-329 1,8-329	2,1 (1,8)-329 1,8-329
Installierte Gesamtleistung ²⁾	kW	26,1 29,6 29,6	23,9 27,4 27,4	30,4 33,9
Farbe: Kunststoffbeschichtung Struktur lichtgrau / mintgrün / rapsgelb				
Schaltschrank				
Sicherheitsvorschrift		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Steckdosenkombination (1 Schuko, 1 Cekon)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Spritzeinheit				
		170	290	400
Schneckendurchmesser	mm	25 / 30 / 35	30 / 35 / 40	35 / 40 / 45
Wirksame Schneckenlänge	L/D	24 / 20 / 17	23,3 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18
Schneckenweg	max. mm	120	150	160
Rechnerisches Hubvolumen	max. cm ³	59 / 85 / 115	106 / 144 / 188	154 / 201 / 254
Schussgewicht	max. g PS	54 / 77 / 105	97 / 132 / 172	141 / 184 / 232
Materialdurchsatz ⁴⁾	max. kg/h PS	10 / 13,5 / 16	17 / 20,5 / 24,5	25 / 29 / 35
	max. kg/h PA 6.6	5 / 7 / 8	8,5 / 10,5 / 12,5	12,5 / 15 / 17,5
Spritzdruck ³⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580
Einspritzstrom ³⁾	max. cm ³ /s	94 / 136 / 186 120 / 172 / 236 120 / 172 / 236	102 / 140 / 182 130 / 178 / 232 130 / 178 / 232	128 / 168 / 212 128 / 168 / 212
	max. cm ³ /s	216 / 312 / 424	316 / 430 / 562	492 / 642 / 814
Staudruck positiv / negativ	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 160
Schneckenumfangsgeschwindigkeit	max. m/min	49 / 59 / 69 63 / 75 / 80 63 / 75 / 80	46 / 54 / 62 59 / 69 / 79 59 / 69 / 79	47 / 53 / 60 47 / 53 / 60
	max. Nm	210 / 250 / 290	320 / 380 / 430	480 / 550 / 610
Düsenanlagekraft	max. kN	50	60	60
Düsenabhebeweg	max. mm	210	240	300
Installierte Zylinderheizleistung / Heizzonen	kW	8,8 / 4	5,8 / 4	8,8 / 4
Installierte Düsenheizleistung	kW	0,6	0,6	0,6
Inhalt Granulatbehälter	l	50	50	50
Horizontale Einspritzposition	max. mm	170	170	170
Maße und Gewichte der Basismaschine				
Ölfüllung	l	175	175	175
Nettogewicht	kg	4500	4550	4750
Elektrischer Anschluss (Vorsicherung) ²⁾	A	80 80 80	80 80 80	80 100

Příloha 6 – Nákupní seznam normálií firmy HASCO [12]

New order-06. May. 2012

Item	Order no.	EDV-NR	Designation	Quantity	Item price (Euro)	Total (Euro)
1	K 16/396X446X 27/1.1730	96113	Clamping plate	2	226,72	453,44
2	K 20/396X446X 66/1.1730	283584	Cavity plate	1	395,91	395,91
3	K 20/396X446X 66/1.2085	355984	Cavity plate	1	791,79	791,79
4	K 20/396X446X 76/1.2085	355992	Cavity plate	1	898,94	898,94
5	K 30/396X446X 56/1.1730	2011716	Back-up plate	1	347,54	347,54
6	K 45/396X446X 76/1.1730	2012336	Riser	2	154,70	309,40
7	K 65/396X446X 17/1.1730	2012948	Ejector retainer plate	1	108,07	108,07
8	K 75/396X446X 22/1.1730	2013471	Ejector base plate	1	126,36	126,36
9	Z 1212/396X446X8,5	2006291	Thermal insulating sheet	2	97,29	194,58
10	Z 710/16	2028086	Lifting eye bolt	1	2,78	2,78
11	Z 060/25X25	2037564	Locating unit	4	84,38	337,52
12	Z 00 / 66/ 30X135	286494	Locating guide pillar	4	32,07	128,28
13	Z 10 / 76/30	57169	Locating guide bush	4	23,94	95,76
14	Z 20 /42X140	58637	Centring sleeve	4	14,54	58,16
15	Z 180/40X100X 63/1.2343	296902	Slide	2	161,44	322,88
16	Z 183/63/79X63	297399	Locking heel	2	217,04	434,08
17	Z 1831/79X 6X 63	74055	Pressure plate	2	37,53	75,06
18	Z 1832/17X 6X 63	73814	Pressure plate	2	28,66	57,32
19	Z 185W/25X32X100	73245	Guide strip	4	107,45	429,80
20	Z 186W/25X5X 50	73369	Guide rail	4	36,67	146,68
21	Z 01 /12X140	53511	Guide pillar	2	4,65	9,30
22	Z 40 / 6 X200	63940	Ejector pin	2	5,02	10,04
23	Z 40 / 4 X200	63720	Ejector pin	10	4,12	41,20
24	Z 44 /1,5X200	66605	Ejector pin	12	10,69	128,28
25	Z 55 /28X3	68896	Seating washer	4	2,41	9,64
26	Z1087/10	2008746	Signal housing	1	43,22	43,22
27	Z 98 / 7,5/1,5	71706	O-ring	10	0,69	6,90
28	Z 87 / 9/ 8X0,75	71242	Hose nipple	4	0,47	1,88
29	Z 87 / 5/ 5X0,5	2007630	Hose nipple	2	0,83	1,66
30	Z 10 / 27/32	56790	Locating guide bush	1	11,55	11,55
Total						5978,02
20% VAT						1195,60
Sum total						7173,62

Comments:

Es gelten die [Hasco-Liefer- und Zahlungsbedingungen](#).