

Optimalizace vstřikovacího procesu

Bc. Roman Zatloukal

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman ZATLOUKAL**
Osobní číslo: **T10556**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Optimalizace vstřikovacího procesu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literální rešerži na dané téma.
2. Popište pracovní zařízení a definujte vstupní parametry procesu.
3. Definujte daný problém vstřikovacího procesu.
4. Optimalizujte vstřikovací proces.
5. Vyhodnoťte a diskutujte získané výsledky.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Kamil Kyas

Ústav výrobního inženýrství

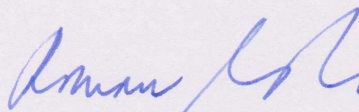
Datum zadání diplomové práce:

13. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2012

Ve Zlíně dne 2. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: ZATLOUKAL ROMAN

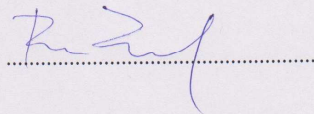
Obor: ŘÍZENÍ JAKOSTI

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 5. 5. 2012



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdálečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídá k větší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je odstranit vzhledové a funkční vady výrobku, které jsou způsobeny nerovnoměrným plněním dutiny formy při vstřikování, zvážit možnosti řešení problému a zvolit to, které bude ekonomicky a technologicky nejvhodnější.

Klíčová slova: vstřikování plastů, vstřikovací stroj, vstřikovací forma.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to remove the visual and functional product defects that are caused by the uneven performance of the mold cavity during injection molding, to consider the possibility of solving the problem and choose one that is economically and technologically most acceptable.

Keywords: injection moulding, injection moulding machine, injection mould.

Chtěl bych poděkovat Ing. Kvasovi za jeho pečlivé vedení mé diplomové práce a za jeho postřehy k ní. Také bych chtěl poděkovat celému týmu pedagogů Fakulty technologické za předané vědomosti a cenné rady nejen do budoucí praxe, ale i do života.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 PLASTY	13
1.1 TEORIE PLASTŮ	13
1.2 HISTORIE PLASTŮ	16
1.3 VÝROBA PLASTŮ	19
1.4 ÚPRAVA PLASTŮ PRO ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÍ	19
1.4.1 Aditiva formující zpracovatelnost tavenin	20
1.4.2 Přísady formující vlastnosti plastových výrobků	20
1.5 ZÁKLADNÍ PLASTY POUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ	22
1.5.1 Polyethylén, PE	22
1.5.2 Polypropylén, PP	22
1.5.3 Polystyrén, PS	23
1.5.4 Terpolymer akrylonitril-butadien-styren, ABS	23
1.5.5 Polyamid 6 a 66, PA 6, PA 66	24
1.5.6 Polymethylmethakrylát, PMMA	25
1.5.7 Polyoxymethylén, POM	25
1.5.8 Polyethyléntereftalát, PET	26
2 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	28
2.1 TECHNOLOGICKÝ SLED VÝROBY VSTŘIKOVÁNÍM	28
2.2 STROJE, FORMY A ZAŘÍZENÍ PRO TECHNOLOGII VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	29
2.2.1 Vstřikovací jednotka	31
2.2.2 Uzavírací jednotka	32
2.2.3 Pohon stroje.....	33
2.2.4 Řídící systémy	33
2.3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	34
2.3.1 Vtokový systém.....	35
• Formy se studenou vtokovou soustavou	36
• Formy s vyhřívanou vtokovou soustavou	37
2.3.2 Temperační systém formy	38
2.3.3 Odformování výstřiku (vyhazování)	39
2.4 PERIFERIE VSTŘIKOVACÍHO STROJE	40
3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS A JEHO TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY	42
3.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	43
3.1.1 Fáze plastikační	44
3.1.2 Fáze plnění	44
3.1.3 Fáze dotlaková	45
3.1.4 Fáze ochlazovací	45
3.2 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ	46
3.2.1 Teplota taveniny (T_T)	46
3.2.2 Teplota formy (T_F)	47
3.2.3 Vstřikovací tlak a dotlak	47
3.2.4 Protitlak	48

3.2.5	Tlak ve formě (p_F)	48
3.2.6	Vstřikovací rychlost (v_s).....	48
3.2.7	Doba plnění (t_v)	48
3.2.8	Doba dotlaku (t_d)	48
3.2.9	Doba chlazení bez tlaku (t_{ch}).....	48
3.2.10	Doba ochlazování (t_{och})	49
4	ZÁSADY PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ A JEJICH VADY	50
4.1	KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	50
4.1.1	Volba materiálu	50
4.1.2	Dělicí rovina.....	50
4.1.3	Umístění vtoku	51
4.1.4	Tloušťka stěny.....	51
4.1.5	Úkosy	51
4.1.6	Zaoblení.....	51
4.1.7	Žebrování	52
4.1.8	Okraje a obruby výrobku	52
4.2	VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	52
4.2.1	Přetoky, otřepy	53
4.2.2	Neúplné výstřiky	53
4.2.3	Propadliny, staženiny, lunkry, zvlnění povrchu.....	54
4.2.4	Studené spoje	55
4.2.5	Místní spálení materiálu v důsledku komprese vzduchu (dieseľefekt)	55
4.2.6	Šmouhy, šlíry, změna barvy.....	56
4.2.7	Tmavé body na povrchu vstřiku.....	56
4.2.8	Sřibření, mikrotrhlinky, napět'ové trhlinky	56
4.2.9	Jemně rýhovaný povrch (vzhled pomerančové kůry, gramofonové desky)	56
4.2.10	Stopy po vyhazovačích	56
4.2.11	Deformace výstřiku při vyhazování z formy	56
II	PRAKTICKÁ ČÁST	57
5	POPIS PROCESU	58
5.1	VÝROBEK	59
5.2	ZKOUŠKY A MĚŘENÍ VÝROBKU	59
5.3	MATERIÁL.....	62
5.4	STROJ	64
5.5	VSTŘIKOVACÍ FORMA	65
5.6	PERIFERIE.....	68
6	DEFINICE PROBLÉMU	71
7	OPTIMALIZACE VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	72
7.1	POKUS O ODSTRANĚNÍ PROBLÉMU POMOCÍ PARAMETRŮ VSTŘIKOVÁNÍ.....	73
7.2	ODSTRANĚNÍ PROBLÉMU POMOCÍ ÚPRAVY FORMY	76
8	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	79
9	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	82
	ZÁVĚR	84
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	85

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87
SEZNAM OBRÁZKŮ	91
SEZNAM TABULEK.....	94
SEZNAM PŘÍLOH.....	95

ÚVOD

Použití plastů jako materiálů zažívá v posledních desetiletích velký rozmach. V nejrůznějších aplikacích (od jednoduchých výrobků jako jsou nejrůznější nádoby, až po konstrukčně složité, mechanicky namáhané a velmi přesné výrobky jako jsou například rámy střelných zbraní) nahrazují konvenční materiály jako železo a dřevo tam, kde to jejich stále se zdokonalující konstrukční vlastnosti dovolují. Oproti konvenčním materiálům mají velkou výhodu v tom, že jejich zpracovatelské teploty jsou několikrát nižší, což s sebou nese velkou úsporu energie, další nespornou výhodou je jejich snadná recyklovatelnost, nízká hmotnost výrobků a jejich esteticky kvalitní povrch.

Pro výrobu různě složitých prostorových výrobků se používá převážně technologie vstřikování. Při této metodě je vstupní surovina ve formě granulí polymeru přeměněna vstřikovacím strojem na taveninu, která je poté vstříknuta určitou rychlostí a za určitého tlaku do dutiny formy, kde vyplní její prostor, ochladí se a opět se změní na pevný materiál.

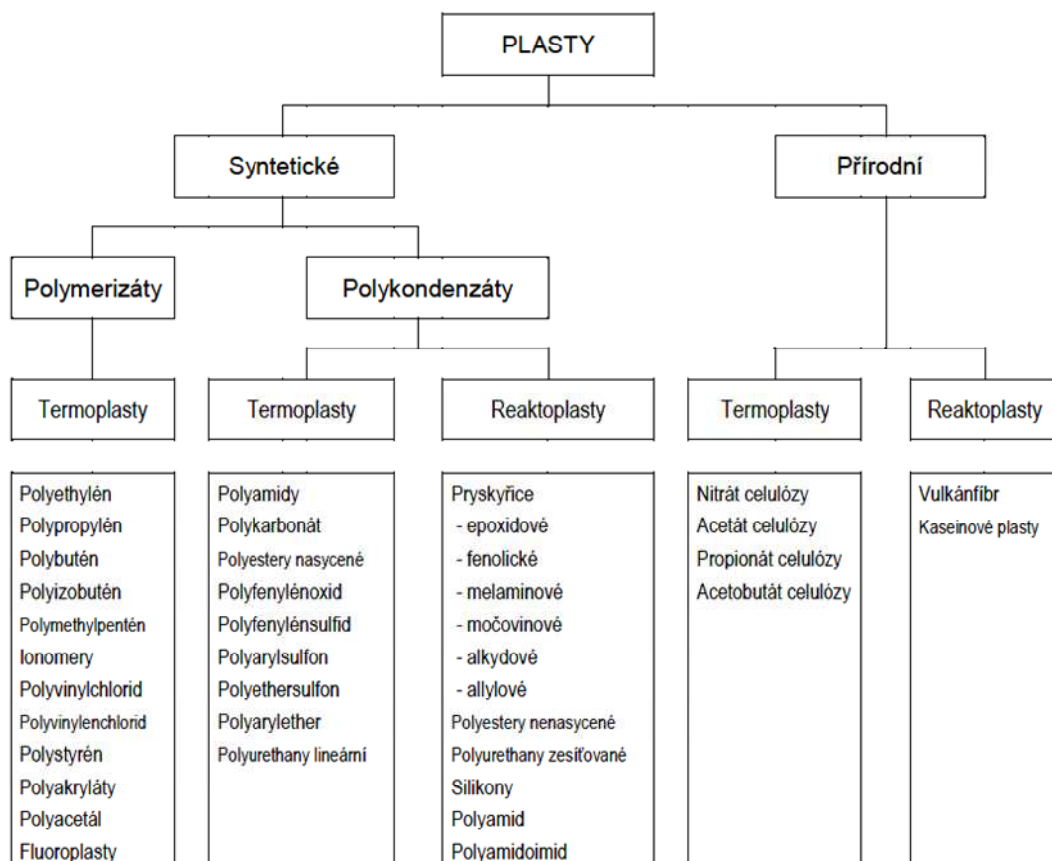
I. TEORETICKÁ ČÁST

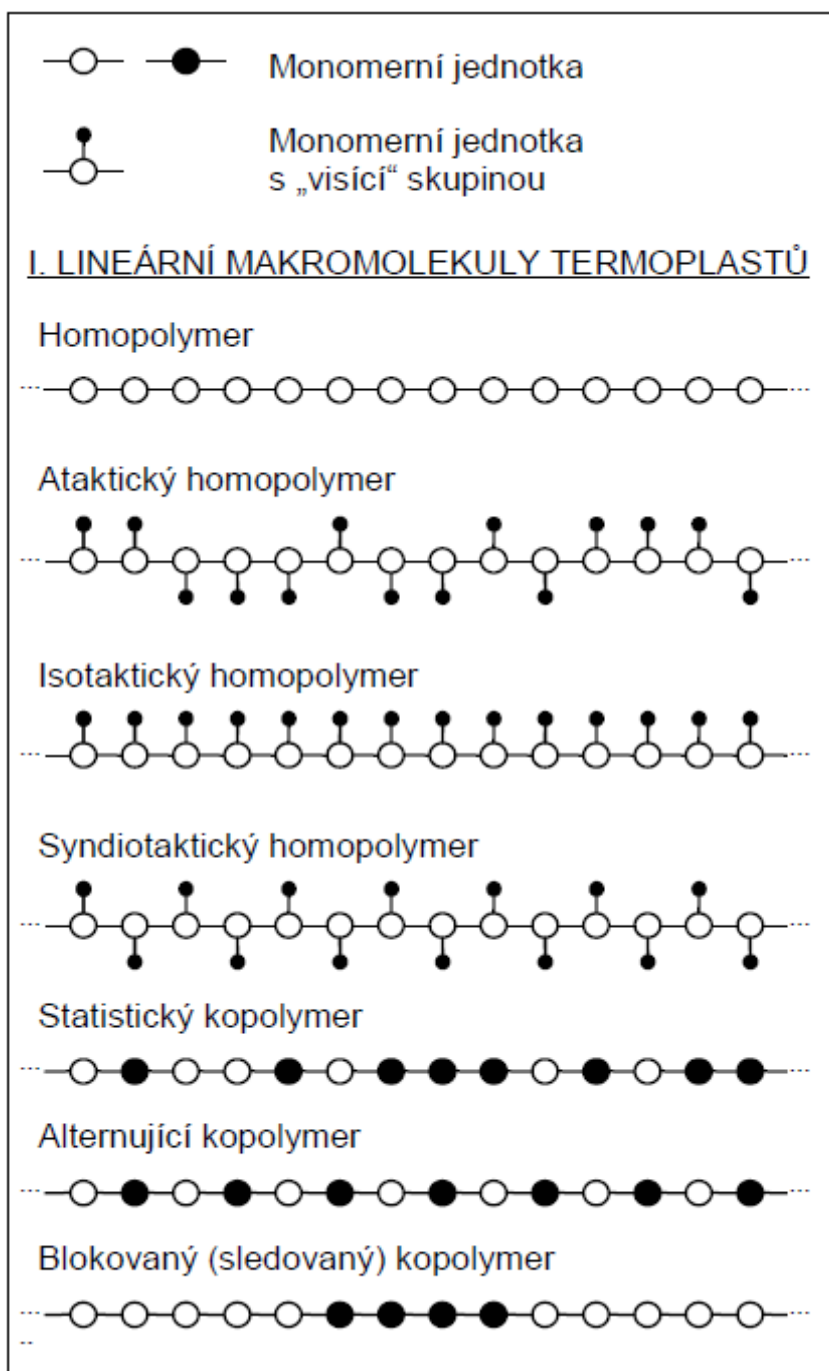
1 PLASTY

1.1 Teorie plastů

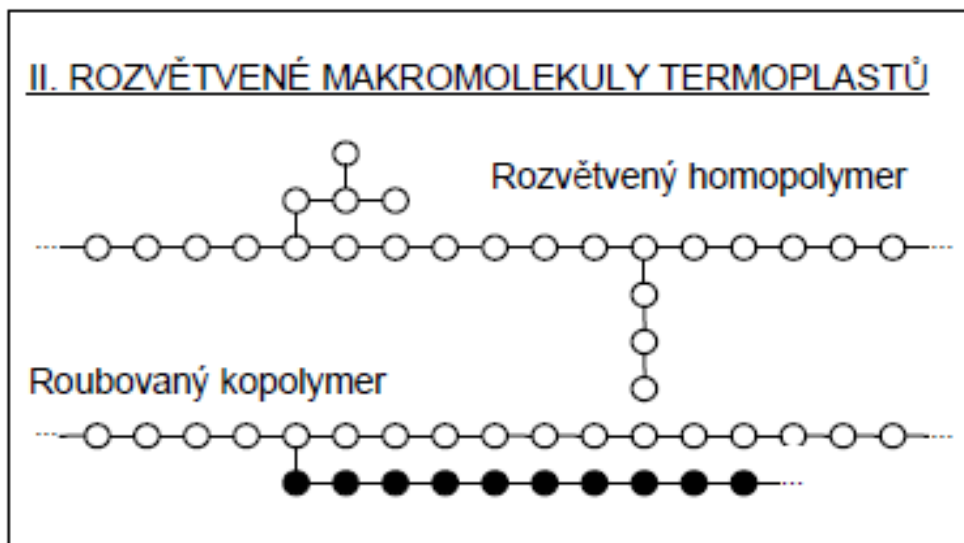
Plasty jsou materiály, jejichž základem jsou makromolekulární látky – polymery. Polymery dle svého vzniku dělíme na přírodní (bílkoviny, polysacharidy, kaučuky, přírodní pryskyřice) nebo syntetické (termoplasty, reaktoplasty, syntetické elastomery aj.) V kombinaci s dalšími látkami vznikají vícekomponentní materiály (blendy, polymerní kompozity). Polymer je makromolekula, v níž jsou chemickými vazbami vzájemně pospojovány jednoduché látky zvané mery (monomery). Jednotka, která vzniká z molekuly monomeru, se nazývá monomerní jednotka (nebo také stavební, či strukturní jednotka). Mezinárodní nomenklatura zavedla termín konstituční jednotka, což je opakující se skupina atomů v řetězci polymerní molekuly (makromolekuly). Podle struktury makromolekul dělíme polymery na lineární, rozvětvené a síťované. Pro polymery připravované z bifunkčních monomerů je typické, že jsou jejich monomerní jednotky spojeny do lineárních řetězců. V některých případech jsou řetězce ve skutečnosti mírně rozvětvené v důsledku nepravidelnosti polymeračního procesu. Trojrozměrná síťovaná struktura může vzniknout buď v procesu přípravy polymeru anebo dodatečným spojením hotových lineárních řetězců prostřednictvím příčných vazeb. Velikost makromolekul charakterizuje jejich molární hmotnost M nebo polymerační stupeň P , mezi nimiž platí vztah $M = PM_0$, kde M_0 je molární hmotnost monomeru. Průmyslově vyráběné polymery jsou látky značně polydisperzní, což znamená, že obsahují polymerhomology o různých délkách řetězce. Pro jejich charakterizaci se proto uvádí střední molární hmotnost \bar{M} , jejich distribuce se vyjadřuje distribuční křivkou. Polymerní látky, zejména lineární a málo rozvětvené, jsou schopné částečné krystalizace a to buď z velmi zředěných roztoků anebo z taveniny. Druhý způsob je z praktického hlediska důležitější. Všechny polymery ve formě taveniny jsou prakticky amorfni. Při ochlazování dochází k částečnému uspořádání makromolekul a tvorbě tzv. nemolekulární krystalické struktury. Obsah krystalické fáze, velikost a rozložení sferolitů závisí na chemické struktuře polymeru, délce a větvení řetězce. Makromolekuly příliš větvené nebo s prostorově velkými substituenty nebo síťované (reaktoplasty po vytvrzení) zůstávají i po ochlazení amorfni. Pro tyto plasty je charakteristické malé smrštění při tváření (0,2-0,8%), transparentnost a použitelnost do teploty T_g (tzv. teplota skelného přechodu). Druhou skupinou polymerů tvoří plasty semikrystalické, u nichž při ochlazování taveniny dochází k menšímu nebo většímu

uspořádání řetězců do formy svazků, lamel, fibril až sferolitů. Podle typu polymeru se obsah krystalického podílu pohybuje až do 90%. Pro semikrystalické polymery je typické větší smrštění (1 až 3,5%), neprůhlednost a tepelná odolnost vysoko nad T_g a v inertním prostředí až k bodu tání krystalického podílu. Z hlediska výše popsaných charakteristik polymeru určuje tedy základní vlastnosti plastu, kromě chemické struktury, molární hmotnost, distribuce molárních hmotností a linearita řetězce. Aby byl polymer prakticky použitelný z pevnostního hlediska, musí mít určitou střední molární hmotnost \bar{M} . Při stejném charakteru makromolekuly (linearitě) klesá s rostoucí molární hmotností stupeň krystalinity a hustota, klesá tuhost a tok za studena (creep), vzrůstá houževnatost, pevnost a odolnost proti korozi za napětí. Polymery s širokou distribuční křivkou mají lepší tekutost a menší citlivost k tlaku a teplotě při tváření a tvarování. Polymery s úzkou distribuční křivkou mají větší pevnost, větší odolnost k toku za studena a užší teplotní rozsah zpracování. Linearita u polymerů umožňuje snadnější krystalizaci, a proto mají lineární polymery proti rozvětveným větší hustotu, tuhost, tvrdost, pevnost a odolnost k toku za studena, nižší tažnost, propustnost plynů, par a kapalin a vyšší tvarovou stálost za tepla. [4]

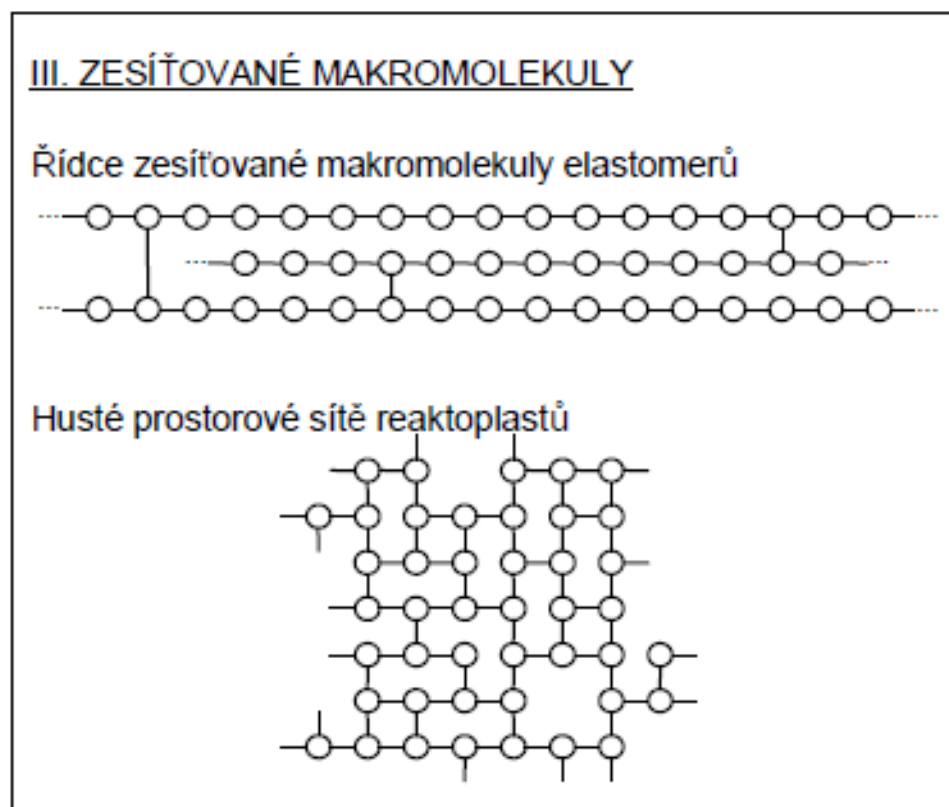




Obr. 2 Struktury lineárních polymerů. [10]



Obr. 3 Struktury rozvětvených polymerů [10]



Obr. 4 Struktury zesíťovaných polymerů. [10]

1.2 Historie plastů

I když rozvoj syntetických polymerů nastal až ve dvacátém století, některé polymerní materiály byly známy a využívány už mnohem dříve. Původně šlo o přírodní polymery vhodně modifikované. Již ve dvanáctém století byl v Anglii založen cech zpracovatelů rohoviny, dokázali ji vyválcovat do poloprůhledných desek, které dále využili při výrobě

výplní oken nebo luceren. Od roku 1496 je v Evropě znám také kaučuk, kdy jej z Nového světa přivezl Kryštof Kolumbus. Využíval se v podobě kostiček na gumování písma, nebo po rozpuštění v terpentinu jako lepidlo. Později se také dokonce osvědčil při výrobě nepromokavých pláštů. V roce 1844 přišel Charles Goodyear na výrobu pryže a o několik let později si nechal John Boyd Dunlop patentovat první pneumatiku.



Obr. 5 Kaučukovník, způsob odběru latexu.[15]

Prvním opravdovým plastem byl celuloid, vynalezli jej bratři Hyattovi, když se v polovině devatenáctého století pokusili při výrobě kulečnickových koulí nahradit slonovinu jiným materiálem. To potom také o několik let později umožnilo rozvoj filmového průmyslu a kinematografie. První čistě syntetický materiál připravil v roce 1907 americký chemik s belgickými kořeny Leo Baekeland. Byl na svůj objev patřičně hrdý a pojmenoval ho po sobě Bakelite. Dnes tento plast patří do velké skupiny reaktoplastů. Bakelit velmi rychle našel využití hlavně v elektrotechnice, ale jeho vůbec první pozoruhodná aplikace byl knoflík rychlostní páky luxusního Rolls-Royce z roku 1917, kde nahradil původní dřevěnou rukojeť. Ve třicátých letech dvacátého století, po dokončení harvardské

univerzity v Bostonu, byl u zrodu dalších materiálů Wallace H. Carothers. Mezi jeho objevy patřily chloroprénový kaučuk (neoprén), polyestery a také polyamidy, zejména polyamid 66 nazývaný nylon. O pár let později jeho bývalí spolupracovníci přišli na výrobu polyethylénu. V šedesátých a sedmdesátých letech byly na mnoha místech na světě vybudovány velké výrobní kapacity velkotonážních (komoditních) polymerů, jako je vysokohustotní i nízkohustotní polyethylén, polypropylén, polyvinylchlorid a polystyrénové plasty včetně kopolymeru ABS. Nákladné investice do těchto výrob vytvořili „ekonomickou setrvačnost“. V jejím důsledku přední světoví výrobci velice váhali se zavedením nových typů polymerních materiálů, i když byly výzkumem a vývojem připraveny podklady pro výrobní technologii. Tato nechuť k inovacím byla zřejmá zejména na počátku osmdesátých let, kdy konkurence jednotlivých výrobců stlačila ceny komoditních plastů. V tomto období byl kladen největší důraz na polymerní směsi, které umožnily přípravu nových materiálů jednoduchou kombinací vhodných složek.



Obr. 6 Pistole Glock 19 Standard měla jako jedna z prvních zbraní rám vyrobený z polymeru, úspora hmotnosti 87%. [15]

Polymerní kompatibilizátory při vhodné chemické struktuře zlepšují jak dispergaci složek, tak mezifázovou adhezi. Umožňují připravit směs uspokojivých vlastností téměř z libovolné kombinace výchozích polymerů. V současné době se v průmyslu využívá metallocenových katalyzátorů. Tyto katalyzátory umožňují velmi precizní budování struktury polymerního řetězce, velmi citlivé řízení distribuce délek makromolekul i syntézu dosud netušených polymerů. Řízením struktury makromolekul se u některých komoditních plastů téměř podařilo dosáhnout požadovaných kombinací užitných

vlastností. Chemici se tak zase o krůček přiblížili své dávné touze – získávat materiály šité na míru potřebám aplikací. To pozorujeme v obalové technice, automobilovém průmyslu, elektrotechnice i medicíně aplikacích. [1]

1.3 Výroba plastů

Syntetické polymery vznikají polyreakcemi, což je chemický proces, při němž přecházejí monomerní jednotky na makromolekulární látky – polymery. Rozeznáváme tři základní typy polyreakcí:

- Polymerace - molekuly monomeru se slučují ve větší celky, aniž při reakci vzniká vedlejší produkt. Růstová reakce probíhá velmi rychle za přímé tvorby finálního polymeru (řetězová reakce, obvykle exotermní). Základní způsoby polymerace jsou radikálová nebo iontová. Podle technologického způsobu provedení rozeznáváme polymeraci blokovou, roztokovou, suspenzní, emulzní a další. Polymerací se připravují např. polyolefiny, styrenové polymery, polyakryláty, PVC a jiné.
- Polyadice - reakce, při níž dochází ke spojování sloučenin s několikanásobnými vazbami adičními reakcemi se sloučeninami s vhodnými funkčními skupinami. Příklad polyadice je např. syntéza lineárních polyurethanů z diolů a diizokyanátů, syntéza epoxidových pryskyřic atd.
- Polykondenzace - makromolekuly vznikají z jednoduchých molekul obsahujících minimálně dvě reaktivní skupiny za současného odštěpování nízkomolekulárních produktů např. vody, amoniaku, kyseliny chlorovodíkové atd. Příklad polykondenzace je výroba polyamidu 6,6, polykarbonátů, nenasycených polyesterů, fenolformaldehydových pryskyřic aj.

V případě, že se do polyreakce zapojí pouze jeden typ stavební jednotky, dochází k tvorbě homopolymeru (etylén→polyetylén), při účasti dvou různých monomerů vzniká kopolymer (např. styrenakrylonitrilový-SAN), při účasti tří monomerů terpolymer (např. akrylonitril-butadien-styrenový-ABS) atd. [4]

1.4 Úprava plastů pro zpracování a použití

Základní polymer nelze obvykle dobře zpracovávat a aplikovat na náročné výrobky, vyžadující funkční spolehlivost, životnost a splňující estetické požadavky. Z těchto důvodů je třeba polymer upravit vhodnými přísadami (aditivy). [4]

1.4.1 Aditiva formující zpracovatelnost tavenin

K bezproblémovému zpracování polymerů je nutno zajistit:

- stabilitu taveniny - po dobu, kdy tavenina setrvává v plastifikačním válci, používají se tepelné či termooxidační stabilizátory specifického složení pro jednotlivé druhy polymerů.
- zlepšení tokových vlastností taveniny - zaručují dobrou stékavost taveniny, bezporuchovou plastikaci ve šneku vstřikovacího či vytlačovacího stroje, nelepivost taveniny a snadné vyjímání výstřiků z formy. Používají se tzv. vnitřní maziva, která se aplikují přímo do hmoty při granulaci nebo též na povrch granulí v množství 0,002 do 2 hmotnostních % podle typu. Jako maziva se nejvíc používají vyšší mastné kyseliny a jejich soli, alifatické alkoholy a jejich estery s mastnými kyselinami, alifatické monoaminy, tuky, vyšší parafíny a další.
- u semikrystalických polymerů dosažení rovnoměrné, jemně krystalické struktury výstřiků - používá se tzv. nukleačních činidel v obsahu 0,1 až 2 hmotnostních %, což jsou např. aktivní saze, oxidy, hydroxidy, siřičky nebo soli kovů, jako TiO_2 a další. [4]

1.4.2 Přísady formující vlastnosti plastových výrobků

Z hlediska aplikace polymerů se používají následující druhy přísad:

- stabilizátory - termooxidační stabilizátory zvyšují hranici teploty a doby použití, tj. odolnost k termooxidačnímu stárnutí. UV stabilizátory zvyšují odolnost k atmosférickému stárnutí a prodlužují životnost plastových výrobků.
- barviva, pigmenty a optická zjasňovadla - používají se jak anorganické pigmenty, u nichž je velmi dobrá tepelná odolnost, tak organická barviva. Anorganické pigmenty působí též jako nukleační činidla. Většina barviv se aplikuje ve formě koncentrátů. Optická zjasňovadla se používají do přírodních a světle barevných typů plastů.
- retardéry hoření - používají se ke snížení či zamezení hořlavosti plastů. Používají se hlavně organické halogenderiváty v kombinaci s oxidy Sb, Sn, Pb, Cu, Fe, Zn, halogenidy Zn, Pb, melanin a jeho deriváty a další. Přispívá též zvýšený obsah částicových nebo vláknitých plniv anorganického původu (skleněné kuličky,

kaolin, mastek). Většina uvedených retardérů je účinná až při vyšších koncentracích a mají tak vliv na další užité vlastnosti.

- plastifikátory - účelem plastikace je snížení tuhosti a tvrdosti, zvýšení ohebnosti, tažnosti a houževnatosti základního polymeru. Používání plastifikátoru nese s sebou i negativní jevy, jako je např. migrace na povrch, zvýšený creep nebo zhoršení tvarové stálosti. Výběr plastifikátoru závisí na chemické struktuře polymeru.
- plniva částicová a destičková - do této skupiny patří celá řada minerálních plniv různé velikosti a tvaru částic, které mají obecně za účinek zvýšení viskozity taveniny, zvýšení tvrdosti, tuhosti a tepelné odolnosti a zmenšení smrštění. Speciální typy zvyšují kluzné vlastnosti, další snižují povrchový i vnitřní izolační odpor či zvyšují tepelnou vodivost. Jsou využívány četné druhy částicových plniv od nízkých obsahů do velmi vysokých (1-95 hmotnostních %), např. skleněné mikrokuličky, kaolin, mastek, mikromletý křemen, vápenec, čedič, perlit, živec a další minerály, koks, saze, aerosil, slída, oxidy kovů, sírany, sirníky, práškové kovy a slitiny, polymerní prášky a další. Velikost částic plniv se pohybuje od desítek mikronů až do desítky mikrometru, tvar je kulovitý nebo destičkový. Plnivo může působit zároveň jako pigment, retardér hoření a pokud je velikost částic plniva řádově stejná jako velikost sferolitů, nebo menší, působí též jako nukleační činidlo.
- vyztužující plniva - podstatně zvyšují pevnost, tuhost, tvarovou stálost a odolnost k toku za studena, snižují ohebnost, tažnost, smrštění a kluzné vlastnosti (s výjimkou C-vláken). Vyztužující plniva mají vláknitou strukturu a používají se nejvíce ve formě sekaných pramenců vláken nebo ve formě rohože a tkaniny. Z hlediska tvářecích technologií jsou zatím neúčinnější relativně krátká sekaná vlákna (0,2 až 8 mm). Nejvíce se používá skleněných vláken s různou apretací, odpovídající chemické struktuře polymerní matrice. Mezi další vláknitá plniva, používaná pro vyztužení polymerů, patří např. minerální vlna (čedič, walastonit), azbestová vlákna (již jen ojediněle), uhlíková či grafitová vlákna, vlákna z titanitů alkalických kovů, vláknité monokrystaly kovů, oxidy kovů a karbidů, vlákna aromatických polyamidů a další.
- polymerní modifikátory - jsou polymerní sloučeniny, vytvářející se základním polymerem směsí, slitiny či blendy. Mají za účel výrazně modifikovat vlastnosti

základního polymeru. Pro lepší mísitelnost se používá k zvýšení kompatibility další složka, která je schopna komunikovat s oběma polymery směsí. Příprava polymerních směsí, v nichž je minoritní složka dokonale rozptýlena v matici a někdy dokonce propojena chemickou vazbou reaktivních skupin, je nový trend výroby nových konstrukčních plastů. Jako příklad lze uvést superhouževnaté polyamidy, připravené smísením taveniny PA s modifikátory na bázi EPDM, EPM, ionomerů, akrylátových kopolymerů, blokových kopolyamidů a dalších látek. [4]

1.5 Základní plasty používané pro vstřikování

1.5.1 Polyethylén, PE

Semikrystalický plast, poměrně měkký, houževnatý, při nárazu nepraská, mechanické vlastnosti si nemění až do -40°C , vykazuje dobré elektrické i dielektrické vlastnosti, vodu nepřijímá, zdravotně nezávadný. Se zvyšující se hustotou stoupá pevnost, tuhost a tvrdost, houževnatost se naopak snižuje. Odolává kyselinám, zásadám, alkoholu, polárním rozpouštědlům, vodě a oleji, v omezené míře odolává aromatickým a chlorovaným uhlovodíkům a za určitých okolností tenzoaktivním látkám. PE-LD se používá na členité a tenkostěnné drobné, málo mechanicky namáhané součásti, kde se využívá tvarové poddajnosti PE, např. uzávěry skleněných lahví, převlečená víčka, nádobky na léky v podobě tablet, pístky injekčních stříkaček na jedno použití, potrubní spojky a tvarovky. PE-HD na středně namáhané výrobky, např. přepravky na zeleninu nebo pečivo, manipulační bedny, kbelíky, dětské vaničky, tvarovky a spojky potrubí atd. PE se dá poměrně snadno zapálit, po oddálení plamene hoří světlým plamenem s modrým středem, odkapává, zapáchá po parafínu (jako svíčka po zhasnutí). Je lehčí než voda, zkoušený vzorek hmoty plave. Dá se rýpnout nehtem. Zpracovatelnost je velmi dobrá v širokém rozmezí teplot i tlaků. Index toku taveniny se udává pro teplotu 190°C a zatížení 21,2 N. Barvitelnost je možná v široké škále odstínů, hmota však není průhledná, ale jen průsvitná. [1]

1.5.2 Polypropylén, PP

Semikrystalický plast podobající se PE, ale ve stovnění s ním je tvrdší a vykazuje vyšší pevnost i tuhost (má vyšší modul pružnosti), při pokojové teplotě je houževnatý, odolává vyšším teplotám ($T_m = 165^{\circ}\text{C}$), ale při teplotách nižších než 0°C křehne. Je to výborný elektrický izolant a rovněž dielektrické vlastnosti jsou velmi dobré. Plyny a páry

nepropouští, je zdravotně nezávadný. Odolává kyselinám, louhům, alkoholům, olejům, benzínu. Omezeně odolává aromatickým a chlorovaným uhlovodíkům. Plast není zcela průhledný, i když mléčné zakalení je menší než u PE. Používá se na hromadně vyráběné středně namáhané výrobky, např. krabice na potraviny, umyvadla, dřezy, hračky, turistické nádoby, součásti vysavačů, sanitární pomůcky, např. pouzdra injekčních stříkaček, nádoby autobaterií, oběžná kola ventilátorů, tělesa čerpadel, potrubní spojky a tvarovky pro vyšší teplotu. PP/GF na výstřiky vystavené většímu namáhání, např. rotory čerpadel, teplovzdušné ventilátory, součásti myček nádobí a praček, kryty a hubice teplovzdušného topení v automobilech. Po zapálení hoří světlým plamenem s namodralým středem, na rozdíl od PE však vzhledem k vyšší teplotě tání neodkapává. Zapáchá po parafínu, ale jeho zápach je oproti PE ostřejší. Je lehčí než voda, vzorek hmoty na vodě plave. Nehtem se rýpat nedá. Zpracovatelnost polypropylénu je velmi dobrá, index toku taveniny je udáván pro 230 °C a 21,2 N. Dá se barvit v široké škále odstínů. [1]

1.5.3 Polystyrén, PS

Je to tvrdý, tuhý, křehký a čirý plast, bez chuti a zápachu, má velmi dobré elektrické vlastnosti, nepatrnou nasákavost, dobrou tvarovou stálost. Odolává kyselinám, louhům, alkoholům, tukům, olejům a roztokům solí, neodolává chlorovaným, alifatickým a aromatickým uhlovodíkům, benzin vyvolává korozi za napětí. Používá se na krabice na potraviny, bonboniéry, kořenky, misky na ovoce, vložky do ledniček, krabičky na léky, kryty svítidel a jejich díly, hračky, bižuterie, kostry cívek a transformátorů pro elektrotechniku, hřebeny, kartáče, kelímky na kosmetiku. Po zapálení hoří svítivým žlutým plamenem se silným vývinem sazí, dým zapáchá sladce po monomerním styrenu (po květinách). Při nárazu vydává typický kovový zvuk. Je-li namáhán na ohyb, praská křehkým lomem. Zpracovatelnost je velmi dobrá, index toku taveniny ITT je uváděn pro teplotu taveniny 200 °C a zatížení 50 N. Přírodní je zcela čirý a dodává se v široké barevné škále buď jako průhledný nebo neprůhledný. [1]

1.5.4 Terpolymer akrylonitril-butadien-styren, ABS

Vyrábí se mnoho typů lišících se tuhostí a teplotní odolností. Dosahuje toho různým poměrem kopolymerujících složek. Je tuhý, pevný a přitom houževnatý, a to i při snížené teplotě. Speciální typy lze používat až do -40 °C. Dobře tlumí rázy a vibrace. Teplotní odolnost a tvarová stálost za tepla je lepší než u PS a SAN, stejně jako odolnost proti korozi a napětí. Snáší střídání teplot. Elektroizolační a dielektrické vlastnosti jsou horší, je

mírně navlhavý. Jen málo se nabíjí statickou elektřinou. Odolnost proti povětrnosti je omezená, je zdravotně nezávadný, speciální typy lze galvanicky pokovovat. Je hořlavý. Odolává kyselinám, zásadám, olejům, tukům, některým uhlovodíkům, neodolává však chlorovaným a aromatickým uhlovodíkům, esterům a ketonům. Používá se na kryty domácích elektrospotřebičů, tělesa a sluchátka telefonních přístrojů, tělesa kapesních kalkulaček, mikrofonů a budíků, podstavce svítidel, tělesa kráječů chleba a kuchyňských vah, hračky, např. modely aut, zbraní, ochranné sportovní přilby, rukojeti náradí, kryty řetězů a blatníky jízdních kol, kryty sekaček na trávu, dětské sedačky, mřížky chladičů a topení automobilů, ozdobné mřížky, tělesa reflektorů, přenosné skříňky na náradí, koupelnové armatury určené pro galvanické chromování, kryty vysavačů a vysoušečů vlasů. Identifikace je stejná jako u PS. Hoří za vývinu sazí, zápach je méně aromatický, některé typy jsou samozhášivé. Zpracovatelnost je dobrá, ale horší než u PS. ITT se uvádí pro teplotu 200 °C a zatížení 212 N. Je dodáván v široké barevné stupnici, ale je neprůhledný. Při namáhání na ohyb buď nepraskne, nebo praská houževnatým lomem. [1]

1.5.5 Polyamid 6 a 66, PA 6, PA 66

PA jsou semikrystalické plasty s krystalickým podílem do 40 %. Jsou silně polární, a proto i silně navlhavé. V dokonale suchém stavu jsou navlhavé, tuhé, ale křehké, teprve po nabytí rovnovážné vlhkosti (2 až 3 %) se stanou velmi houževnaté a tažné s výraznou mezí kluzu a také odolné proti otěru. Mají nízký součinitel tření, a to i za sucha. Houževnatost ztrácejí při teplotě pod -20 °C. Elektrické vlastnosti jsou podprůměrné. Odolávají většině organických rozpouštědel (alifatickým, aromatickým i chlorovaným uhlovodíkům, esterům, ketonům), tukům, olejům a slabým zásadám, neodolávají kyselinám (kyselině solné, sírové, mravenčí, octové aj.), silným zásadám a fenolům, peroxidu vodíku, ozonu, UV záření a povětrnosti. Zdravotně jsou nezávadné. Vyrábí se z nich např. kluzná ložiska a ložiskové klece, ozubená kola, kladky a jejich závěsy, řemenice, ozubené převody přístrojů, drobné strojní součásti, např. excentry, vačky, přítlačné válečky textilních strojů, tělesa lamp pro horníky, těsnící prvky, uzávěry benzinových nádrží automobilů, kování k oknům, plastové šrouby a vruty, ze spotřebního zboží struhadla a sítko. PA/GF na kryty a tělesa elektrických přístrojů, jako jsou vrtačky, pily, brusky apod., na součásti textilních strojů. Jsou hořlavé, hoří v plameni, za tvorby bublin, tavenina odkapává a táhne vlákno, po oddálení z plamene zhasne. Plamen je modrý se žlutým okrajem, zplodiny hoření páchnou po spálené rohovině nebo spálených vlasech. Zpracovatelnost je velice dobrá, tavenina se vyznačuje vysokou tekutostí, ale tuhne velmi rychle v úzkém teplotním

rozmezí. Index toku se vzhledem k nízké viskozitě tavenin většinou neuvádí, někdy se tekutost udává jako tzv. viskozitní index (označovaný VI) měřený podle ISO R 307. Nižší VI značí nižší viskozitu taveniny, a tedy vyšší tekutost. Barvitelnost hmoty je dobrá, výrobky jsou neprůhledné, pouze je-li stěna tenká, jsou průsvitné. [1]

1.5.6 Polymethylmethakrylát, PMMA

Je to amorfní plast, pevný, tuhý, relativně křehký, čirý, má vysoký lesk a výborné optické vlastnosti. Dobře odolává povětrnosti, slabým kyselinám a silným louhům, chlorovaným uhlovodíkům. Vykazuje značný sklon ke korozi za napětí. Mírně navlhá. Elektroizolační vlastnosti jsou dobré, dielektrické však nikoliv. Zdravotně je nezávadný. Používá se na kryty svítidel, průhledné kryty přístrojů a zadních světel automobilů, ozdobné regulační knoflíky radiopřijímačů, sklíčka náramkových hodinek, olejoznaky, součásti hudebních nástrojů, bižuterní výrobky, pouzdra telefonních přístrojů, díly měřících a optických přístrojů. Po zapálení hoří svítivým, mírně praskajícím plamenem, při tom se škvaří, zplodiny hoření mají nasládlé ovocnou vůni po monomeru. Otavený zbytek je zpěněný. Zpracovatelnost je poměrně obtížná kvůli špatné tekutosti a nebezpečí rozkladu při vyšší teplotě. Index toku taveniny se měří při teplotě 230 °C a zatížení 38 N. Výstřiky mohou být průhledné i neprůhledné v široké barevné škále. [1]

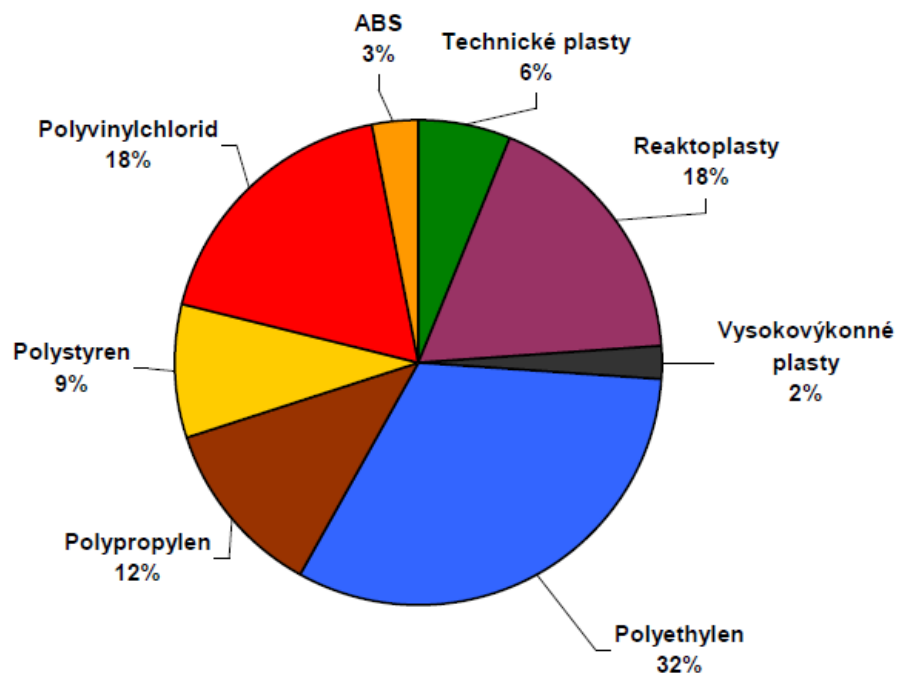
1.5.7 Polyoxymethylén, POM

Je to semikrystalický termoplast s vysokým stupněm krystalinity, nad 70 %. Je velmi tuhý a pevný, přitom však houževnatý. Rázovou houževnatost si podržuje až do teploty -40 °C. Má výbornou odolnost proti otěru a nízký koeficient tření i za sucha. Trvale odolává teplotám až do 95 °C, ve vodě však jen do 65 °C, protože vykazuje jistou náchylnost k hydrolyze při vyšších teplotách. Elektroizolační i dielektrické vlastnosti jsou dobré. Navlhavost je zanedbatelná. Odolává slabým kyselinám a zásadám, alkoholům, olejům a organickým rozpouštědlům, neodolává silným kyselinám, oxidačním činidlům a horké vodě. Je zdravotně nezávadný. Používá se na páčky, vačky, bubínky číselníků, ozubená kola, kluzná ložiska, pružiny kliky a součásti zámků dveří a nábytku, vodící lišty, drobné součásti kancelářských strojů a počítačů, pružné spojovací kolíky a nýty, západky, plováky karburátorů, uzávěry benzinových nádrží, nádržky kapesních zapalovačů, spojky a šroubení pneumatikových rozvodů, tělesa filtrů, součásti mechanismu hodin a budíků, součásti koupelnových armatur. POM/GF na tělesa odstředivých membránových čerpadel, součásti lyžařského vázání, mechanismy textilních strojů. Hoří zvolna slabě namodralým

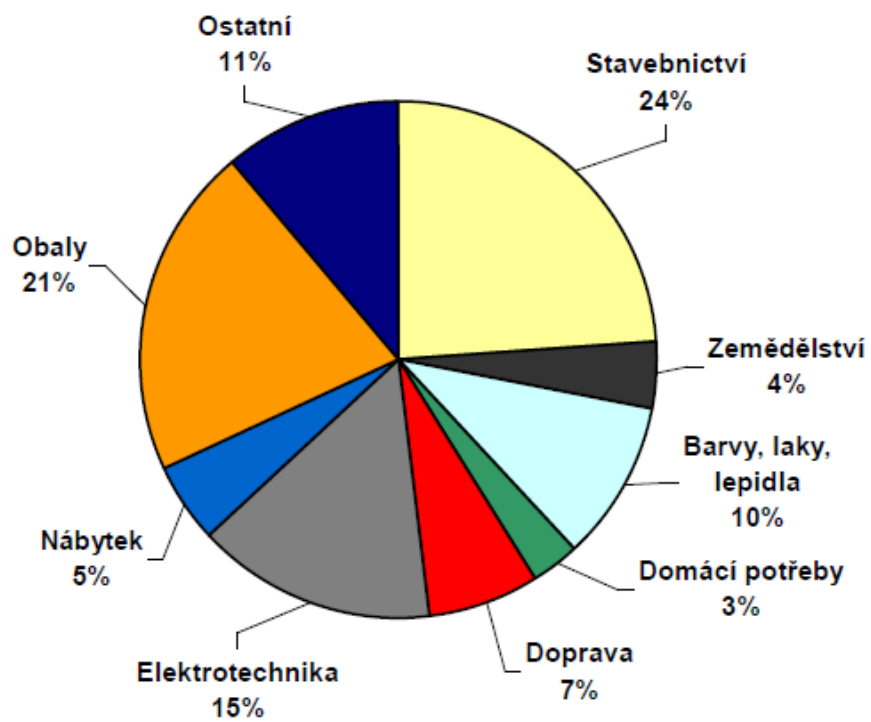
plamenem, odkapává, přičemž kapky hoří. Zplodiny páchnou ostře po formaldehydu. Zpracovatelnost je středně dobrá. POM má nižší tekutost a při zpracování hrozí nebezpečí degradace při vyšších teplotách. V důsledku vysoké krystalinity jsou výrobky vždy neprůhledné, barvitelnost hmoty je dobrá. Index toku taveniny se měří při teplotě 190 °C a zatížení 21,2 N. [1]

1.5.8 Polyethyltereftalát, PET

Může být buď amorfní nebo semikrystalický. Semikrystalický má větší hustotu a vyšší tuhost a pevnost, ale menší vrubovou houževnatost než amorfní a je neprůhledný. Obecně se PET vyznačuje vysokou pevností, tuhostí, tvrdostí a odolností proti opotřebením, nízkým koeficientem tření a vynikající rozměrovou přesností. Elektrické vlastnosti jsou dobré. Odolává alkoholům, olejům, alifatickým uhlovodíkům (benzinu) a zředěným kyselinám, neodolává silným kyselinám a zásadám, chlorovaným uhlovodíkům a benzolu. Ve vodě nad 60 °C podléhá hydrolyze. Navlhavost je nízká. Teplotní odolnost semikrystalického PET je 110 °C, amorfního jen 60 °C. Semikrystalický PET se používá na přesná ozubená kola pro měřicí a regulační přístroje, kluzná ložiska, třecí kotouče s velkou otěruvzdorností, kladky, součásti čerpadel, rukojeti, rozměrově přesné elektroizolační součásti, držáky kontaktů, tělesa stykačů, průchodky, cívky, tělesa rozdělovačů automobilů. Amorfní PET na tenkostěnné průhledné výstřiky, např. kontrolní kryty, nádobky na šroubení, v poslední době na výrobu předlisků, z nichž se vyfukováním vyrábějí láhve na pitnou vodu a různé nápoje. PET/GF na tělesa kuchyňských strojů, součásti kancelářských strojů, objímky žárovek, tlačítka spínačů. Hoří svítivým, čadivým plamenem, tavenina odkapává, zápach je nasládlý, medový. Ohořelý zbytek je otavený a zhnědlý. Zpracovatelnost je obtížná, protože tavenina je citlivá na přehřátí. Barvitelnost je dobrá. Má-li se získat semikrystalický PET, je nutno vstříkovat taveninu do forem teplých 130 – 140 °C, amorfní PET se získá vstříkováním do forem o teplotě 30 až 40 °C. Semikrystalický je neprůhledný, amorfní je čirý a průhledný. [1]



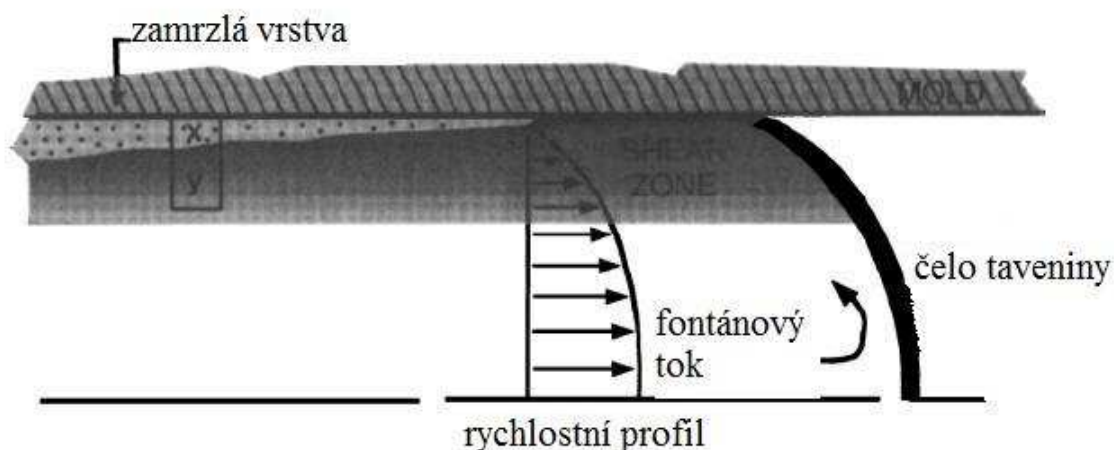
Graf 1 Spotřeba plastů. [1]



Graf 2 Spotřeba plastů podle aplikací. [1]

2 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém se zpracovávaný materiál v roztaveném stavu tlakem vstříkuje do tvarové dutiny formy. Při vstřikování termoplastů je teplota taveniny vyšší než teplota formy, v níž se roztavený materiál chladí a ztuhne. Při vstřikování reaktoplastů je tomu naopak, teplota formy je vyšší než teplota taveniny a materiál se v ní nejen formuje, ale i vytvrzuje chemickou reakcí a vytváří tak tuhý výstřik, který lze snadno vyjmout s formy. Podle odhadů se technologií vstřikování zpracovává asi 20% vyráběných plastů, z čehož převážná většina připadá na termoplasty. Vstřikovat lze téměř všechny druhy termoplastů, reaktoplastů i elastomerů. Objem výstřiků závisí od zpracovatelského zařízení a zahrnuje rozsáhlou škálu tvarových součástí, dílů a výrobků od miniaturních (1 g) až po velkogramážní či velkorozměrové (50 kg). [4]



Obr. 7 Fontánový tok při vstřikování plastů. [2]

2.1 Technologický sled výroby vstřikováním

Technologický sled výroby plastových výstřiků lze obvykle rozdělit na několik základních operací. První fází jsou tzv. přípravné práce. Ty zahrnují převzetí materiálu ze skladu, jeho kontrolu, úpravu a dopravu ke vstřikovacímu stroji. Mezi úpravy většinou patří sušení. To závisí na kvalitě materiálu a druhu použitého polymeru obecně (např. polyamidy jsou velmi navlhavé a vyžadují proto vždy sušení před zpracováním). Sušení je prováděno v sušičkách, což jsou zařízení, které pomocí cirkulace horkého vzduchu materiál zbaví vlhkosti. Sušičky mohou být umístěny buďto přímo na násypce stroje (u menších strojů, kde není příliš velký odběr granulátu), nebo v oddělených sušičkách (velké stroje, které mají velký odběr granulátu – velké výstřiky). Materiál je ke strojům dopravován buďto

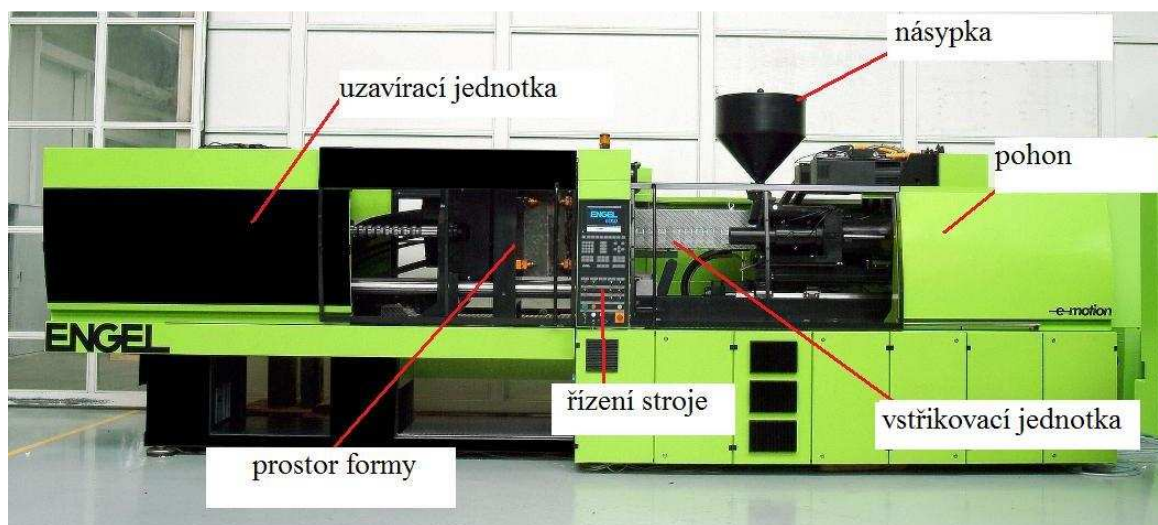
individuálně, nebo z centrálních zásobníků. V prvním případě je materiál dopravován ke stroji, kde většinou obsluha stroje nebo seřizovač dosypává do násypky, případně sušičky, tento model je vhodný pro menší výroby. V druhém případě jsou na dílně centrální velkokapacitní sušičky, ze kterých jsou vstřikovací stroje zásobovány potrubním systémem, pomocí pneumatiky. Další činností procesu je samotné vstřikování na vstřikovacím stroji do formy. Před zahájením výroby provede seřizovač seřízení stroje na požadované (předepsané) parametry. Seřízení probíhá buďto ručně, anebo nahráním parametrů z diskety či harddisku. Ve většině případů je nutné dotřízení, protože nikdy není proces ideální a podmínky jsou vždy trochu jiné (materiál, chlazení – vodní kámen, atd.). Vstřikování probíhá buď plně automaticky, nebo poloautomaticky. U plně automatického vstřikování, pokud se výstřiky nenechávají padat do prostoru pod strojem, je nutné, aby byl stroj vybaven i robotem, který odebírá výstřiky, popř. vkládá do formy inserty. U poloautomatického vstřikování, vkládá inserty obsluha. Následuje kontrola, případně dodatečné opracování výstřiku (oddělení vtokového systému, leštění, zavrtávání šroubů, atd.), zabalení zboží a expedice.

[2,4]

2.2 Stroje, formy a zařízení pro technologii vstřikování plastů

Vstřikovací stroj a další zařízení, která rozšiřují jeho funkční schopnosti, tvoří jeden z dílčích prvků, uplatňujících se v technologickém procesu vstřikování plastů. Komplex stroje s perifériemi umožňuje realizovat cyklický reprodukovatelný, automatizovaný technologický proces. Vstřikovací stroj je základním stavebním prvkem vstřikovny plastů. Rozdělení vstřikovacích strojů lze provést z několika hledisek, přičemž základním je rozdělení podle materiálu na stroje pro vstřikování termoplastů, stroje pro vstřikování reaktoplastů a stroje pro vstřikování pryží. Z hlediska způsobu plastikace se stroje dělí na stroje se šnekovou plastikační jednotkou a na stroje s pístovou plastikací. Podle způsobu vyvození uzavírací síly známe stroje s uzavírací jednotkou plně hydraulickou, mechanicko-hydraulickou a kombinovanou. Poloha vstřikovací a uzavírací jednotky dělí stroje na stroje se vstřikem kolmo na dělicí rovinu formy a na stroje se vstřikem do dělicí roviny formy, přičemž existuje celá škála uspořádání uzavírací a vstřikovací jednotky, a to jak v polohách horizontálních, tak i v polohách vertikálních, resp. v jejich kombinacích. Kromě hydraulických, případně u malých strojů pneumatických pohonů, se vyrábějí i stroje s plně elektrickým pohonem, případně kombinací. Je tedy zřejmé, že mezi základní části

vstřikovacího stroje patří vstřikovací a uzavírací jednotka, přičemž k nim přistupuje pohon a řízení stroje.



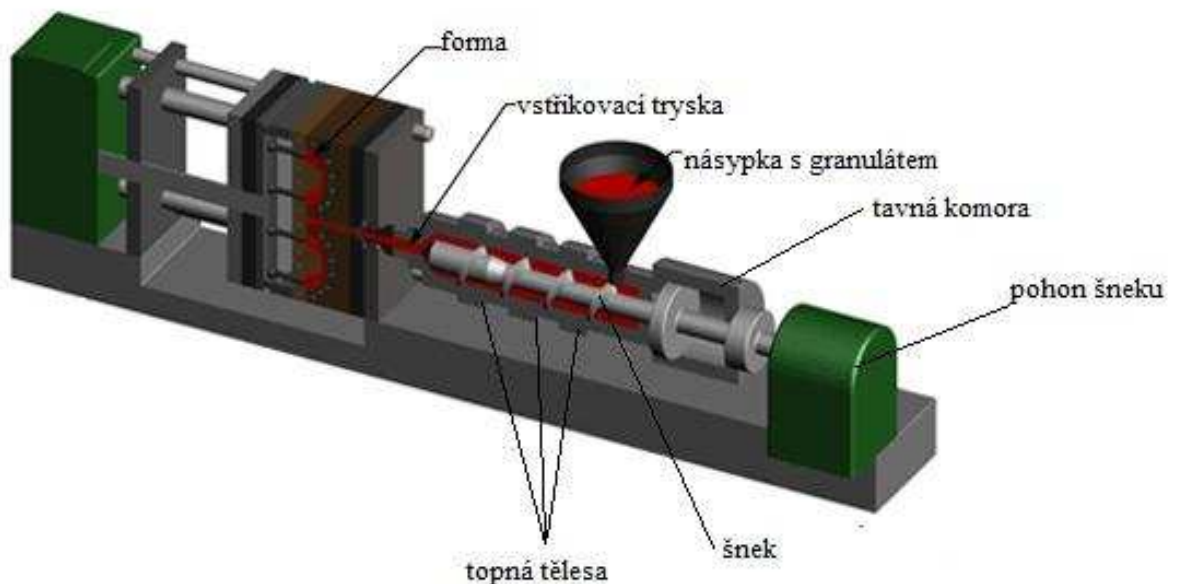
Obr. 8 Vstřikovací stroj Engel. [13]

V oblasti vstřikování termoplastů se prosazují pružné výrobní systémy. Pružný výrobní systém je možno definovat jako určité sestavení výrobního stroje nebo výrobních strojů s periferními a manipulačními jednotkami, kde je pružnost dána řízením technologického procesu, možnými změnami hmotných toků materiálu mezi jednotlivými pracovišti a mezioperační dopravou. Je tedy možno říci, že pružná automatizace je charakterizována poměrně rychlým a snadným přechodem od výroby jedné součásti na další, zajišťuje tedy snadné přizpůsobení výrobního zařízení změnám výrobního programu, umožňuje automatizovat výrobu i v malých výrobních dávkách, aniž je nutno provádět nákladné změny. Periferní zařízení tedy pomáhají vytvářet pružné výrobní systémy a mezi zařízení používaná v současné době je možno zahrnout zařízení pro automatickou výměnu forem a vstřikovacích jednotek, automatizovaný sklad forem a vstřikovacích jednotek s jejich předehřevem na pracovní teplotu, manipulátory, průmyslové roboty, pásové dopravníky, zařízení pro separaci vtokových zbytků, sušárny granulátu, sušící násypky, násypky s automatickou dopravou granulátu, dopravní systémy pro dopravu granulátu ze skladu do násypky vstřikovacího stroje, barvicí zařízení, dávkovací zařízení (např. pro dávkování nadouvaděl), zařízení pro míchání granulátu, zásobníky granulátu, separační magnety do násypky, chladiče vody pro chladicí okruh vstřikovny, temperační agregáty pro temperaci forem, zařízení pro kontrolu vypadnutí výstřiků, zařízení pro ofuk dělicí roviny, zařízení pro odvápnění chladících okruhů formy, zařízení pro recyklaci vtokových zbytků, zařízení pro kontrolu kvality výstřiků, zařízení pro opracování výstřiků, zařízení pro paletizaci,

zařízení pro potisk a zařízení pro balení výrobků. Zařízení jsou vybavena vlastními řídicími systémy, přičemž stále stoupá počet řídicích systémů s volně programovatelnými automaty s interface pro možnost napojení na řídicí systém vstřikovacího stroje nebo na nadřazený výpočetní řídicí systém. [4]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka má dvě hlavní funkce a to tzv. plastikaci (převedení granulátu na tekutý stav) a samotné vstřikování tekutého plastu do formy. Hlavní části vstřikovací jednotky jsou násypka, tavná komora s elektrickým odporovým topením, šnek se zpětným uzávěrem, vstřikovací tryska, pohon pro radiální pohyb šneku a hydraulické válce pro axiální pohyb šneku a celé vstřikovací jednotky. Do tavného válce je zpracováván granulát dávkován z násypky radiálním pohybem šneku. Natavovaný materiál je homogenizován a posouván po profilu šneku a hromadí se před jeho čelem, současně odtlačuje šnek do předem definované zadní polohy (velikost dávky). Radiální pohyb šneku je realizován hydraulicky, u starších strojů elektromotorem s řízením otáček. U nejmodernějších strojů je realizován elektromotorem s frekvenčním měničem.



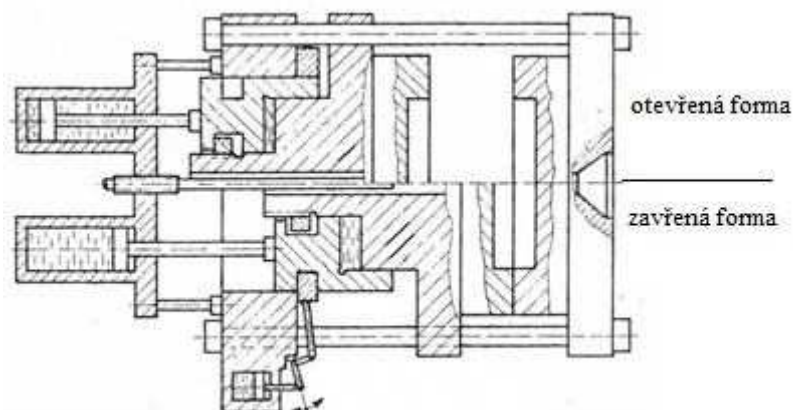
Obr. 9 Schéma vstřikovací jednotky. [14]

Topení tavné komory je obvykle rozděleno do tří až pěti pásem, přičemž tryska má své vlastní topení. Část tepelné energie, potřebné pro roztavení granulátu, vzniká přeměnou mechanické energie v důsledku tření mezi materiálem a vnitřní stěnou válce. Tavná

komora je zakončena vstřikovací tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku stroje s formou a zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Vstřikovací tryska musí mít menší průměr otvoru i menší poloměr kulové dosedací plochy než vtoková vložka formy. Pro přesnou funkci vstřikovací jednotky má zásadní důležitost zpětný závěr šneku, což je válcová trubka určité délky, nasazená za špičku šneku před jeho šroubovici. Při plastikaci umožňuje tavenině polymeru protékat vybráním ve špičce šneku před jeho čelo, při vstřiku naopak dosedne svým čelem do sedla šneku a nedovolí tavenině zpětný tok závity šneku. Hlavním parametrem vstřikovací jednotky je tzv. plastikační objem, čili maximální objem dávky, kterou je plastikační jednotka schopna připravit na jeden vstřikovací cyklus. [4]

2.2.2 Uzavírací jednotka

Funkcí uzavírací jednotky je zajistit uzavírací a otevírací pohyb formy a požadovanou uzavírací sílu. Hlavní částí uzavírací jednotky jsou upínací desky (pevná a pohyblivá), opěrná deska (drží reakci uzávěru). Vodící sloupky, po nichž se pohyblivá upínací deska pohybuje, uzavírací mechanismus a vyhazovací mechanismus. Uzavírací mechanismus může být hydraulický, hydraulicko-mechanický nebo kombinovaný, případně s elektrickým pohonem. Uzavírací a otevírací pohyby a přidržovací síla jsou u uzavírací hydraulické jednotky vyvozovány tlakem hydraulické jednotky vyvozovány tlakem hydraulické kapaliny nejčastěji v diferenciálním hydraulickém válci.



Obr. 10 Hydraulický zavírací systém. [2]

U menších strojů je zajištění proti pootevření formy provedeno přímo v hydraulickém okruhu (zpětné ventily), u větších je závorována pístní tyč uzávěru, přičemž ovládání

závory je mechanické, hydraulické nebo pneumatické. Výhodou těchto závěrů je možnost jejich snadného programování (rychlost, síly) a možnost nastavení hloubky formy. Druhou nejčastěji používanou uzavírací jednotkou je hydraulicko-mechanická. Zaručuje dostatečnou tuhost i o něco větší rychlost uzavírání a otevírání než jednotka hydraulická. Je konstruována jako kloubový mechanismus ovládaný hydraulickým válcem. Hlavním sledovaným parametrem při výběru optimálního stroje pro danou výrobu je tzv. uzavírací síla – maximální síla, kterou je stroj schopen vyvinout na uzavření formy, do které je vstřikovávána tavenina. [4]

2.2.3 Pohon stroje

Pohon vstřikovacích strojů je obvykle hydraulický, u malých strojů se někdy používá pneumatický a v posledních letech se můžeme setkat s plně elektrickým pohonem. Hydraulické systémy vstřikovacích strojů od různých světových výrobců se v současné době ustálily a prakticky všechny používají vysoce integrované hydraulické systémy se sedlovými ventily pro regulaci tlaku a škrtkovými clonkami pro regulaci množství průtoku hydraulické kapaliny. Integrované hydraulické systémy tvoří s proporcionálními rozvaděči a číslicovými bloky zařízení pro řízení průtoku a tlaku hydraulické kapaliny. Samozřejmostí jsou číslicově nastavované hodnoty tlaků a průtoků, předehřev hydraulického oleje na pracovní teplotu, dokonalá regulace teploty hydraulického oleje, jeho 100% filtrace a čištění. K minimalizaci příkonu pro provoz vstřikovacího stroje se používají regulační čerpadla nebo sériově řízená čerpadla s konstantním dopravovaným množstvím o různém výkonu nebo čerpadla s konstantním výkonem v kombinaci s akumulátory, které umožňují okamžitý odběr požadovaného výkonu. Takto pojatá hydraulika plně umožňuje využít k řízení strojů různé systémy s volně programovatelnými automaty – mikroprocesory. Spojení moderní hydrauliky s mikroprocesorovým řídicím systémem zajišťuje vysoký stupeň reprodukovatelnosti technologických parametrů cyklu a širokou škálu řídicích programů. [4]

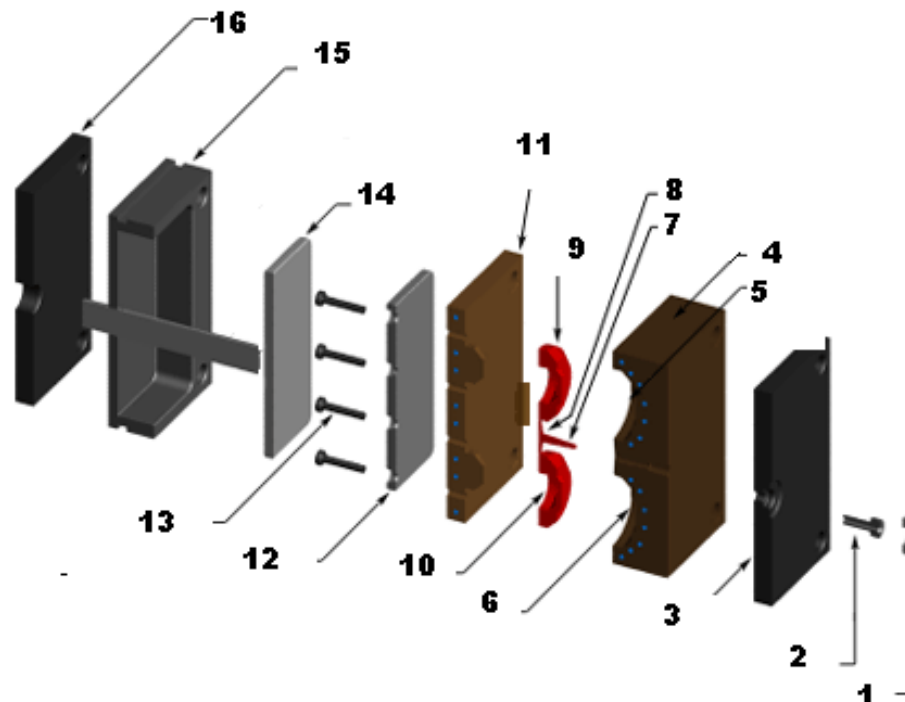
2.2.4 Řídicí systémy

Zavedení moderních hydraulických prvků podmínilo použití mikropočítačových systémů pro řídicí systémy vstřikovacích strojů. Programovány jsou síly, tlaky, dráhy, rychlosti, časy, teploty aj. Kromě regulace parametrů vstřikovacího cyklu systému umožňují sledování jejich skutečných hodnot na obrazovkách a jejich záznam. Řídicí jednotky jsou dále vybaveny různými typy diagnostických programů. Programování jednotlivých

parametrů je vesměs dialogové, tzn. uživatel stroje vyvolá stisknutím příslušného tlačítka na klávesnici řídicího systému požadovanou stránku programu a zde kurzorem označí řádek a provede příslušné zadání nebo jeho změnu. Programové stránky pro programování v dané oblasti obsahují kromě textových řádků, kde je vypsán text, podle něhož uživatel zadává příslušnou hodnotu parametru, dovolený rozptyl daného parametru i místa kde se zobrazuje okamžitá naměřená hodnota daného parametru. Stránky tedy slouží nejen k programování, ale i ke kontrole, přičemž obsah stránky je možné většinou vytisknout. Mimo řídicí systémy začínají výrobci do ovládacích prvků vstřikovacích strojů zabudovávat také tzv. optimalizační systémy pro kontrolu reprodukovatelnosti cyklu. [4]

2.3 Vstřikovací formy

Formy pro zpracování musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného plastu, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů vylisku a opotřebení činných částí nástroje. Nejdůležitější je však smrštění zpracovávaného materiálu. Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit dle násobnosti (jednonásobné, vícenásobné), způsobu zaformování a konstrukčního řešení (dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčekcí), konstrukce vstřikovacího stroje (vstřik kolmo na dělicí rovinu, vstřik do dělicí roviny). Vstřikovací forma se skládá z dílů, které vymezují tvarovou dutinu formy, z chladicího (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodicích částí. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. [4]



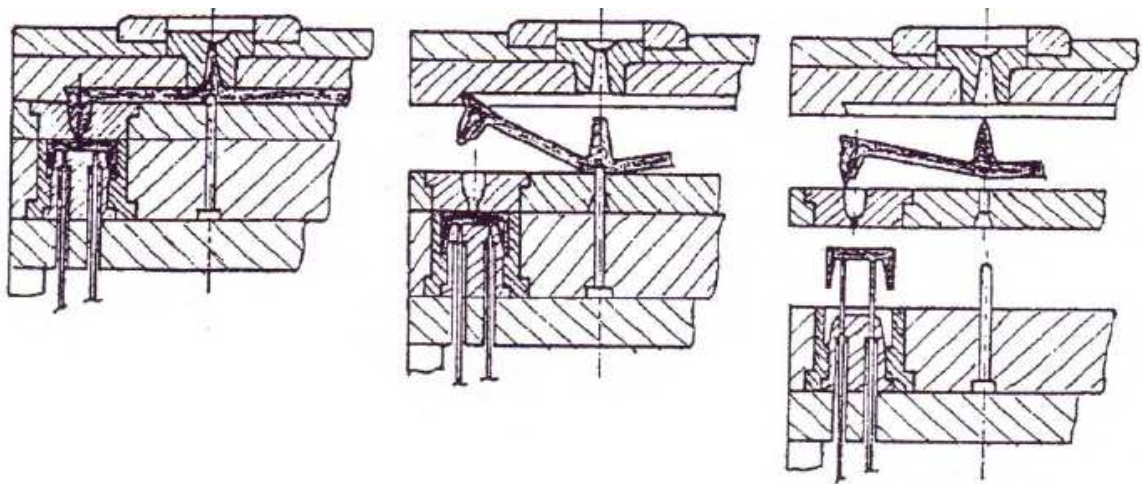
- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 1. středící kroužek | 9. výstřík A |
| 2. vtoková vložka | 10. výstřík B |
| 3. upínací deska - fixní | 11. tvarová deska - mobilní |
| 4. tvarová deska - fixní | 12. vyhazovací deska - kotevní |
| 5. kavita A | 13. vyhazovače |
| 6. kavita B | 14. vyhazovací deska - opěrná |
| 7. vtok | 15. box vyhazovačů |
| 8. rozváděcí kanál | 16. upínací deska - mobilní |

Obr. 11 Schéma vstříkovací formy. [14]

2.3.1 Vtokový systém

Kvalitu a jakost výstříku spolu s produktivitou výroby nejvíce ovlivňuje vtokový systém. Jde o systém kanálů a ústí vtoku, který musí zajišťovat správné naplnění dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení od výstříku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. Konstrukční řešení vtokového systému závisí na konkrétním tvaru výstříku a na násobnosti formy. Při vstříkování termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled, apod. Trajektorie vtoku

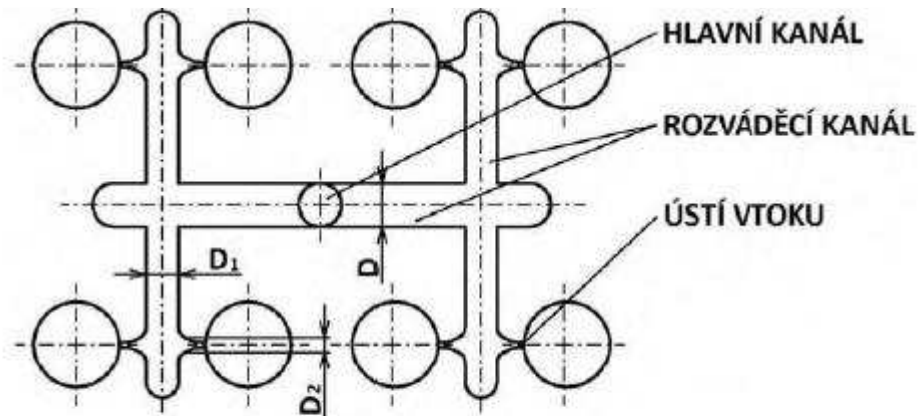
má být zásadně řešena tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát, co nejrychleji a pokud možno všude ve stejném čase. U vícenásobných vstřikovacích forem je nejdůležitějším požadavkem, aby všechny tvarové dutiny byly plněny současně a při stejných technologických podmínkách, což znamená při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. Pokud bude vstřikovací forma vícenásobná, tak umístění tvarových dutin je možné buď do hvězdy, nebo v řadě. Z hlediska plnění tvarových dutin je lepší uspořádání do hvězdy, protože k zaplnění dochází ve stejném čase a při stejném tlaku, kdežto u uspořádání v řadě se musí provést korekce ústí vtoku, tzn. změnit rozměry rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám. [1,4]



Obr. 12 Ukazka oddělení vtoku u třídeskové koncepce formy. [2]

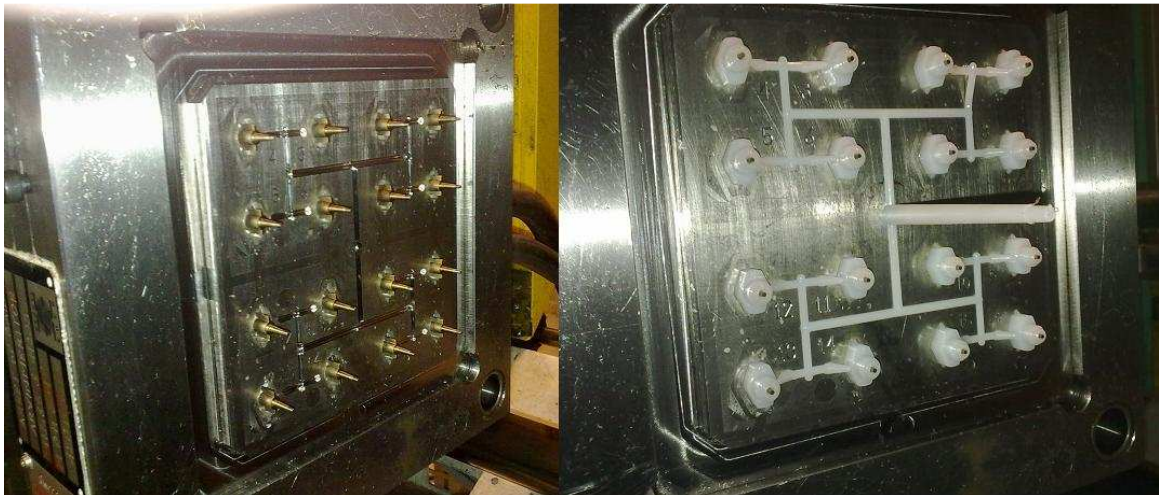
- **Formy se studenou vtokovou soustavou**

Její princip spočívá v tom, že při průtoku taveniny roste její viskozita na vnějším povrchu. Ztuhlá povrchová vrstva tak vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu, který je stále tekutý. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině i ve vtocích pokračuje postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Ve vtokových ústích dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a tím oddálení úplného ztuhnutí taveniny. V případě, že stroj není schopen překonat tlakové ztráty, dochází k poklesu rychlosti vstřiku a tím k celkovému ochlazení plastu. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. [1]



D - hlavní rozváděcí kanál
D1, D2 - vedlejší rozváděcí kanál

Obr. 13 Příklad řešení vtokového systému pro osminásobnou formu. [1]



Obr. 14 Ukázka vtokového systému před a po zastříknutí.

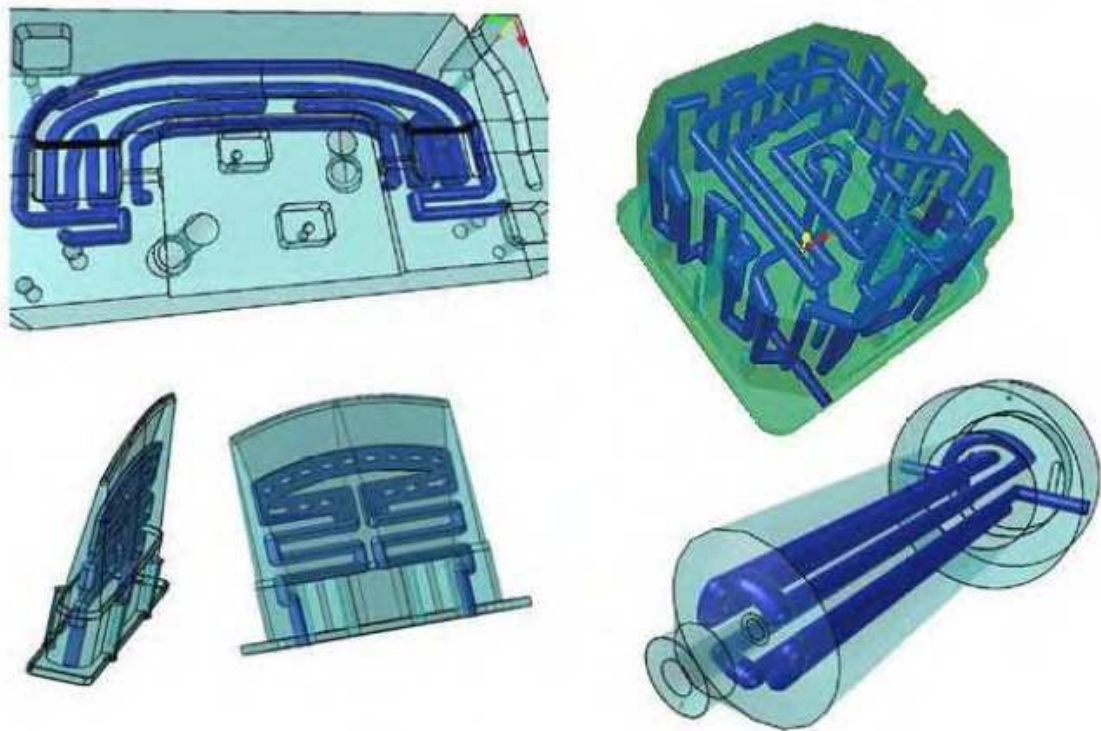
- **Formy s vyhřívanou vtokovou soustavou**

Je to metoda, při které nezůstává žádný vtokový zbytek. Děje se tak pomocí vyhřívaných vtokových soustav. Technologie je taková, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti vtoku až po jeho ústí v tekutém stavu. To dovoluje použít jen bodového vyústění s malým průřezem, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes to je možné částečně pracovat s dotlakem. Tyto formy jsou určeny především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Soustava rozvodu taveniny je značně tepelně i mechanicky namáhána, proto vyžaduje větší tuhost forem i větší přesnost její výroby. Tím samozřejmě vzroste jejich cena. Teplotu rozvodu taveniny řídí regulátor ovládaný tepelnými snímači. Formu vybavenou vyhřívanou vtokovou soustavou je vhodnější provozovat jen na

vstřikovacím stroji, který je v dobrém technickém stavu a s pečlivě seřízenými parametry. [1]

2.3.2 Temperační systém formy

Pro zajištění chlazení roztaveného plastu a udržení stejných procesních podmínek jsou vstřikovací formy vybaveny temperačním systémem. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části. Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Teplota tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstřikovacím cyklu se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobít znovu při stanovené teplotě. Proto je nutné přebytečné teplo odvést temperační soustavou formy. Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy (PC až 120 °C). V takovém případě jsou tepelné ztráty formy větší než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívát. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu. Jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiků. Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy se však záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace, způsobené anizotropií smrštění plastu. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů se volí tak, aby vzdálenost kanálů od funkční dutiny příliš nesnížila tuhost a pevnost stěn dutiny formy. Povrch temperačních kanálů slouží jako plocha pro přestup tepla z povrchu dutiny formy do temperačního média, případně naopak. Je proto vhodnější používat spíše více kanálů s menším průřezem a menší roztečí než kanály s větším průřezem a roztečí. Velikost průřezu kanálu se volí v závislosti na velikosti výstřiku, druhu plastu a rozměrů rámu formy. Nejčastěji se používá kruhový průřez kanálů. Nejčastějším aktivním médiem je voda, která proudí v temperačních kanálech uvnitř formy. Účinnost přestupu tepla je dána velikostí a kvalitou styčné plochy kanálu, způsobem proudění a také teplotním rozdílem média. Kvůli přestupu tepla je nutné udržovat temperační systém bez rzi a vodního kamene. [1,4,9]



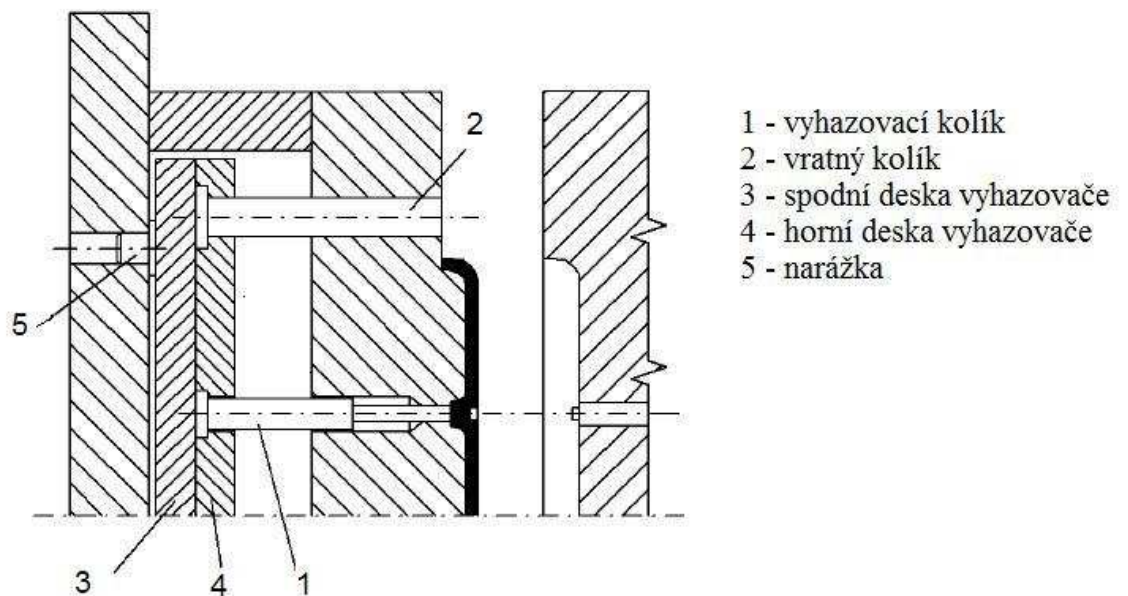
Obr. 15 Příklady temperančních systémů formy. [9]

2.3.3 Odformování výstřiku (vyhazování)

Pro správnou činnost vyhazovacího systému je třeba, aby měl výstřík hladký povrch a stěny měly úkosy minimálně $0^{\circ}30'$. Vyhazovací systém musí výstřík vysouvat rovnoměrně, aby se zamezilo přičení výstřiku a tím vzniku trvalých deformací nebo dokonce k poškození. Tvar, rozložení a umístění vyhazovačů je velmi rozmanitý a záleží na tvaru výstřiku. V některých případech lze vyhazovače využít i k výrobě funkčních dutin nebo jako části tvárníku. U hlubokých tvarů umožňují odvzdušnění. Ve většině případů zanechávají vyhazovače stopu na výstříku. V takových případech, pokud je tato stopa na závadu, se výstřík buď dodatečně opraví, nebo se vyhazovače umístí na stranu, kde stopa po jejich činnosti nebude vadit. Nejčastější způsob vyhazování výstřiků je mechanický princip buď pomocí vyhazovacích kolíků, nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků apod. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují.

- Vyhazovací kolíky - je to nejčastější a nejlevnější způsob díky své výrobní jednoduchosti a to se zaručenou funkčností. Používá se všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Vyhazovací kolíky jsou obvykle válcové. Jejich uložení ve formě bývá nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle požadované funkce a tekutosti plastu. Tímto uložení se získá dostatečná vůle, která zajistí odvzdušnění formy.

- Stírací deska - tento způsob vyhazování funguje na principu stírání výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Tento způsob vyhazování je vhodný u výstřiků, na kterých by stopa po vyhazovači vadila. Díky velké stykové ploše stopu nezanechá. Velká styková plocha způsobuje také minimální deformace výstřiku. Používá se zejména u tenkostěnných výstřiků, kde by hrozila velká deformace díky vyhazovači a tam, kde vyžadujeme velkou vyhazovací sílu. Jediné omezení pro použití je, aby výstřik na stírací desku dosedal v rovině případně v mírně zakřivené ploše. Speciálním případem je trubkový vyhazovač.
- Pneumatické vyhazování - je nejvhodnější pro tenkostěnné výstřiky větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování odvodu vzduchu, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování používané u větších výstřiků vyžaduje velký zdvih vyhazovače a tím také větší délku formy. Pneumatické vyhazování přivádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím je dosaženo rovnoměrného oddělení výstřiku od tvárníku, vyloučí se tím místní přetížení a nevzniknou stopy po vyhazovačích. Použití tohoto způsobu je omezeno pouze na některé tvary výstřiků. [1,2,4,]



Obr. 16 Schéma vykazování pomocí vyhazovacích kolíků. [1]

2.4 Periferie vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj sám o sobě je schopen pracovat v plně automatickém režimu, násypka zásobuje vstřikovací jednotku granulátem a hotové výstřiky padají po svém vyhození

z formy vyhazovači do připravené přepravky pod stroj. Ovšem pokud je forma řešena jako forma se studeným vtokovým systémem, dochází k tomu, že spolu s výstřiky padají do přepravky také vtoky. Ty se následně musejí od výstřiků separovat a podle druhu použitého plastu a s ohledem na jeho další zpracování buďto znovu zpracovat, anebo úplně vyhodit. Pokud je možno plast znovu zpracovat na ten samý výrobek, bývá u stroje většinou přítomen mlýn, který vtoky rozemele na malé částice, které se buďto automaticky pomocí pneumatického systému, nebo ručně přimíchávají do násypky s granulátem. Není-li mlýn přímo u stroje, bývá na dílně pracoviště tzv. drtírna, kde se vtoky a zmetky shromažďují, drtí a následně řádně označené dodávají na přípravu materiálů, kde se přimíchávají do originálního granulátu, tímto se sníží ztráty materiálu a náklady na nekvalitu. Dalším, v dnešní době již obvyklým, zařízením je manipulátor, který slouží k odebírání výstřiků z formy a případně k automatickému zakládání insertů do formy, někteří výrobci vstřikovacích strojů dodávají své stroje již s manipulátory. Na starší stroje je možné manipulátor dokoupit. Výhodou je větší produktivita a zkrácení doby cyklu a to hlavně u výstřiků, kde je nutno umístit do formy inserty. Nevýhodou jsou pořizovací náklady. Pokud je manipulátor součástí vstřikovacího stroje, je jeho součástí i dopravníkový pás, na který jsou výstřiky manipulátorem kladeny, výhodou je dostatečné ochlazení výstřiků před jejich zabalením. [2]



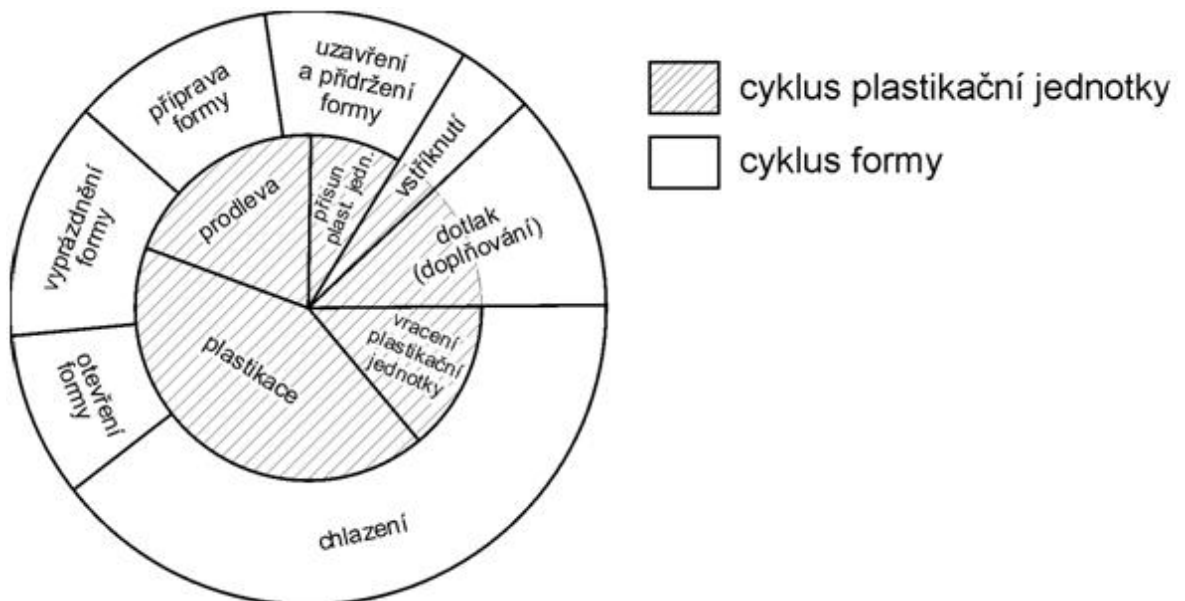
Obr. 17 Manipulátor Engel. [13]

3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS A JEHO TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY

Při vstřikování probíhá cyklický proces ohřívání termoplastu nad teplotu tání, tlakové vstřikování a ochlazování taveniny a výstřiku ve formě na teplotu vyjímání a mimo formu na teplotu okolí. Při zahřívání plastu se plynule mění jeho základní vlastnosti, polymer zvětšuje svůj objem za současného růstu lineárních rozměrů, pevnostní rozměry se snižují. Nad teplotou skelného přechodu T_g u amorfních termoplastů nebo teplotu tání krystalického podílu T_m u semikrystalických polymerů přechází plast do viskózně tekutého stavu, tj. do stavu taveniny. Zvyšujeme-li teplotu taveniny, klesá její viskozita. Je-li dodaná tepelná energie tak velká, že poruší chemické vazby polymeru, dochází k jeho degradaci, depolymeraci či destrukci plastu. Chování termoplastu při zahřívání lze demonstrovat teplotní závislostí fyzikálních, chemických či jiných vlastností. Polymery určené pro technologii vstřikování jsou látky polydisperzní, což znamená, že obsahují makromolekuly s různým polymeračním stupněm. Polydisperzita ovlivňuje oblast teplot tání polymeru. Polymery značně polydisperzní mají širokou plastikační oblast, kterou do jisté míry ovlivňuje též stupeň krystalického podílu. To znamená, že většina plastů, zejména amorfních a málo krystalických, netaje v pravém slova smyslu, ale pouze měkne, až se promění v silně viskózní taveninu. Pro velkou mezimolekulární soudržnost nemohou taveniny měnit polohu nebo tvar okamžitě, tavenina teče velmi pomalu, někdy pouze působením vnější síly. Při vstřikování plastů je důležitá znalost chování polymerů při teplotě nad T_f resp. T_m , což je v podstatě oblast tavenin. Ideální kapaliny charakterizuje Newtonův zákon, vyjadřující lineární závislost mezi tečným napětím τ v kapalině tekoucí určitým profilem a gradientem smykové rychlosti. Konstantou úměrnosti je tzv. dynamická viskozita η . Polymery v roztaveném stavu se však jako ideální kapaliny nechovají, tzn., že výše uvedená závislost není lineární. Taveniny polymerů vykazují odchylky od Newtonova zákona a je pro ně charakteristické, že se jejich viskozita mění s velikostí smykového napětí, popř. smykové rychlosti. Označujeme proto její hodnotu naměřenou při daném gradientu rychlosti jako tzv. zdánlivou viskozitu. Zdánlivá viskozita není konstanta, u většiny termoplastů klesá s rostoucí smykovou rychlostí (tzv. pseudoplastické systémy). Zvyšováním teploty se tedy viskozita plastu snižuje, pokles závisí na charakteru (chemické struktuře) polymeru. Čím je viskozita taveniny nižší, tím nižší může být i síla potřebná ke vstřikování. Vzhledem k omezené teplotní stabilitě nelze však teplotu zvyšovat neomezeně. Teplotní stabilita plastu je tak funkcí jak teploty, tak

času. Platí zásada, že čím rychleji je tavenina zpracována, tím vyšší teploty taveniny lze použít. O tepelné stabilitě taveniny za podmínek vstřikování nás informují tzv. degradační křivky, limitující dobu, po kterou lze taveninu určité teploty tepelně namáhat. Aby se předem zjistila vhodnost termoplastu ke vstřikování, měří se jeho tokové vlastnosti na speciálních přístrojích různé konstrukce. Základní informaci o tekutosti polymeru za smluvních podmínek stanovení poskytuje index toku taveniny (ITT). Index toku taveniny je množství taveniny v gramech (nebo cm^3) vytlačené za předepsaných podmínek (T, P) tryskou definovaného průměru v referenčním čase (10 minut). Proces vstřikování vystihují lépe tzv. tokové a viskozitní křivky, naměřené na kapilárních nebo rotačních viskozimetrech při vyšších smykových rychlostech. Toková křivka vyjadřuje závislost smykového napětí τ na smykové rychlosti $\dot{\gamma}$, viskozitní křivka závislosti viskozity η na smykové rychlosti $\dot{\gamma}$ a stanovují se pro konstantní teplotu taveniny. Pro určení reálných hodnot stékavosti taveniny do tvarové dutiny formy při vstřikování se používá různých modelových tvarů, např. přímého kanálu s různými průřezy, desky či kotouče o proměnné tloušťce, stupňovité desky či kotouče atd. Nejrozšířenějším způsobem hodnocení stékavosti je spirálová zkouška. Její podstatou je vstřikování taveniny do tvarové dutiny spirály definovaného průřezu a podmínek reálného procesu. Měří se délka spirály v závislosti na teplotě taveniny, vstřikovacím tlaku a teplotě formy. [4]

3.1 Vstřikovací cyklus

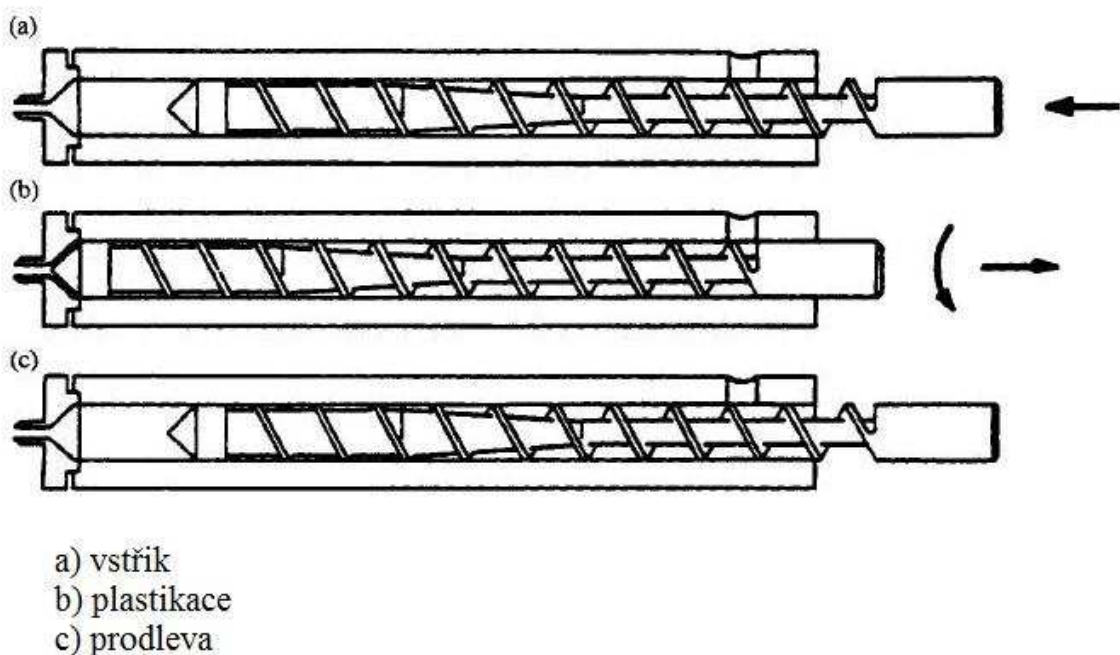


Obr. 18 Vstřikovací cyklus. [7]

Vstřikovací cyklus samotný se skládá z několika fází, jsou to plastikace, vstřik, dotlak a chlazení.

3.1.1 Fáze plastikacní

Teplotní a viskozitní homogenita taveniny před šnekem je základním předpokladem pro rovnoměrné naplnění tvarové dutiny formy. Značná nehomogenita taveniny se projeví negativně na kvalitě výstřiku, zejména na kvalitě povrchu (tokové čáry, lesk, studené spoje), na rozložení orientace, pnutí a na tvorbě nemolekulární struktury. Teplota taveniny v dávce má rozhodující vliv na orientaci makromolekul. S růstem T_T orientace klesá a výstřik se stává z hlediska vlastností izotropní. Zároveň klesají některé mechanické vlastnosti (pevnost v tahu a vrubová houževnatost Charpy) ve směru toku taveniny. Zvyšuje se však pevnost studených spojů a snižuje se vnitřní pnutí. Výstřiky, zejména u semikrystalických polymerů, mají vyšší smrštění a menší dodatečné smrštění. [4]



Obr. 19 Fáze vstřikovací jednotky při vstřikovacím cyklu. [2]

3.1.2 Fáze plnění

Rychlost vstřikování, resp. plnění formy, má vliv především na povrchové defekty výstřiku (tokové čáry, vrásnění, povrch pomerančové kůry)- Rychlost plnění je proto potřeba spolu s teplotou taveniny optimalizovat tak, aby na povrchu nevznikala příliš vysoká smyková

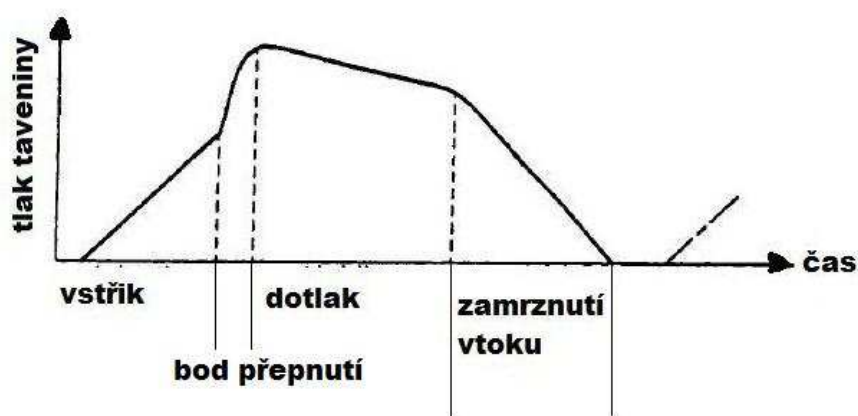
napětí. Jako vhodná se ukázala kombinace vyšší T_T a nižší v_s . Při nízké vstřikovací rychlosti se však čelo taveniny více ochlazuje, což podporuje růst orientace makromolekul a anizotropie vlastností. Efekt je podobný jako při snižování teploty taveniny. S klesající v_s roste pevnost a houževnatost (Charpy) ve směru toku taveniny, klesá lesk a od určité optimální rychlosti se snižuje pevnost studených spojů. [4]

3.1.3 Fáze dotlaková

Dotlaková fáze ovlivňuje především hmotnost výstřiku, jeho smrštění a dosmrštění. Má též výrazný vliv na vnitřní pnutí. Se zvyšujícím se dotlakem a dobou dotlaku hmotnost výstřiku vzrůstá, smrštění klesá, dodatečné smrštění (zejména při zvýšené teplotě) vzrůstá a zvyšuje se též vnitřní pnutí, což se projeví vyšším stupněm narušení při expozici v tenzoaktivním prostředí. [4]

3.1.4 Fáze ochlazovací

U vstřikování tavenin plastů je rychlost ochlazování v intervalu nad T_g či nad T_m určující pro relaxační jevy, které ovlivňují výsledný stupeň rozložení orientace, event. orientačního pnutí, v intervalu pod T_g či T_m určuje zejména složku tepelného pnutí a krystalickou strukturu u semikrystalických plastů. Obecně platí, že čím je ochlazování výstřiku pomalejší, tím je u semikrystalických plastů obsah krystalického podílu a velikost sferolitů větší. S rostoucím obsahem krystalického podílu vzrůstá smrštění, specifická hmotnost, tuhost, tvrdost a pevnost výstřiků, klesá dodatečné smrštění, tažnost, propustnost a navlhavost. Teplota formy má též velký vliv na povrchový lesk. Zatímco u amorfních termoplastů s rostoucí T_F lesk vzrůstá, u semikrystalických mírně klesá nebo se nemění (závisí na charakteru povrchové vrstvy). [4]



Graf 3 Graf závislosti tlaku taveniny na čase při vstřikování. [2]

3.2 Technologické parametry vstřikování

Technologické parametry vstřikování jsou souborem veličin (teplot, tlaků, sil, časů, rychlostí, poloh atd.) nezbytných k definici procesu vstřikování plastového výstřiku na konkrétním vstřikovacím stroji a formě. Z hlediska řízení a regulace procesu se rozeznávají parametry nastavené a parametry měřené. Při vstřikování termoplastů se uplatňují menší či větší vlivy jednotlivých technologických parametrů na stav a vlastnosti výstřiků. Sledovaným parametrům se pak přisuzuje větší či menší významnost se zřetelem na kvalitu plastového výrobku. Často se musí posuzovat celý soubor parametrů najednou, neboť se vzájemně mezi sebou ovlivňují, často protichůdně. Například zvýšení teploty taveniny a formy znamená zvýšení doby dotlaku a chlazení a může působit i na snížení tlaku a dotlaku. [4]

3.2.1 Teplota taveniny (T_T)

Teplota taveniny je teplota naměřená před vstupem roztaveného plastu do vtokové soustavy a tvarové dutiny formy. Na této hodnotě závisí viskozita taveniny a též nepřímo ovlivňuje většinu ostatních parametrů. Někdy je údaj zaměňován tzv. teplotou vstřikování, což je teplota předního pásma plastikačního válce nebo teplota trysky. Hodnoty T_T jsou určeny plastikací fází vstřikovacího cyklu a nastavenými či regulovanými teplotami jednotlivých pásem tavného válce a trysky. Na taveninu jsou kladeny požadavky termické i viskozitní homogenity, kterou lze dosáhnout vhodnou volbou radiální rychlosti šneku otáčkami n a odporem na šneku tzv. protitlakem p_p . Volba teploty taveniny závisí na zpracovávaném plastu, požadované viskozitě nebo stékovosti (s ohledem na tvar a rozměry výstřiku) a ostatních technologických parametrech, zejména T_f , v_s , p_v , p_d , t_d , t_{ch} . [4]

Tab. 1 Požadované teploty taveniny a formy pro jednotlivé plasty. [1]

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

3.2.2 Teplota formy (T_F)

Teplota formy je neméně důležitý parametr, neboť zejména u semikrystalických polymerů ovlivňuje strukturu a výsledné vlastnosti výstřiku a spolu s T_T určuje dobu ochlazování výstřiku a délku vstřikovacího cyklu. Údaj T_F se vztahuje na povrch formy při otevření a po vyjmutí výstřiku. Měří se na stejném místě tvarové dutiny formy a u obou jejích polovin (tvárnice, tvárník). Průběh teploty formy se během vstřikovacího cyklu mění (od maxima po výstřiku po minimum před uzavřením formy), a proto je uvedená hodnota pouze informativní. Používá se k výpočtu doby chlazení a k nastavení průtoku a teploty temperanční kapaliny. T_F se měří např. dotykovým teploměrem a plošně zabroušeným čidlem. Průběh teploty formy během vstřikovacího cyklu se měří termoelektrickým teploměrem, jehož měrný konec je zahlouben do vzdálenosti cca 1 mm pod povrchem tvarové dutiny formy. [4]

3.2.3 Vstřikovací tlak a dotlak

Vstřikovací tlak a dotlak jsou definovány jako tlak na čele šneku ve fázi plnění a dotlaku. Reálný vstřikovací tlak a dotlak lze změřit ve vstřikovacím válci tenzometrickým nebo piezoelektrickým tlakoměrem. Zatímco vstřikovací tlak je důležitý pro dosažení potřebné

vstřikovací rychlosti, dotlak má značný vliv na rozměry a kvalitu výstřiku. Měřených hodnot lze využít při přepínání vstřikovacího tlaku na dotlak (tlak přepínací). [4]

3.2.4 Protitlak

Protitlak vzniká jako důsledek zmenšeného průměru výtokové větve z hlavního hydraulického válce při plastikaci. Měří se tedy hydraulický tlak v hlavním válci. Protitlak má velký vliv na homogenitu taveniny. [4]

3.2.5 Tlak ve formě (p_F)

Tlak ve formě dává nejpřesnější obraz o stavu taveniny při plnění a doplňování formy a informuje nás o tlakových ztrátách v trysce, vtokové soustavě a v tvarové dutině formy. Měří se tenzometrickými nebo piezoelektrickými tlakoměry. [4]

3.2.6 Vstřikovací rychlost (v_s)

Vstřikovací rychlost je definována jako rychlost axiálního pohybu šneku při plnění tvarové dutiny formy. Vyjadřuje se derivací polohy šneku podle času. Informace o poloze šneku se zjišťuje prostřednictvím snímače polohy. Snímač polohy je obvykle potenciometrický, odporový nebo ultrazvukový. Někdy je výhodnější použít objemové rychlosti vstřikování (objem taveniny prošlý tryskou za jednotku času). Objemová vstřikovací rychlost závisí na průměru šneku, z jehož plochy (řezu) a polohy (dávky) se vypočítá příslušný objem taveniny. [4]

3.2.7 Doba plnění (t_v)

Doba plnění je časový interval začínající pokynem (signálem) pro axiální pohyb šneku vpřed a končící signálem pro přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak. [4]

3.2.8 Doba dotlaku (t_d)

Doba dotlaku je časový interval působení dotlaku začínající časem přepnutí t_z a končící signálem k vypnutí dotlaku. [4]

3.2.9 Doba chlazení bez tlaku (t_{ch})

Doba chlazení bez tlaku je časový interval od ukončení doplňování k signálu pro otevření formy. [4]

3.2.10 Doba ochlazování (t_{och})

Doba ochlazování zahrnuje t_v a celý interval t_d a t_{ch} . Lze ji vypočítat (je-li tloušťka stěny výstřiku $d \leq 4 \text{ mm}$) pomocí vzorce:

$$t_{och} = \frac{d^2}{\pi^2 a} \ln \left(\frac{4 T_T - T_F}{\pi \bar{T} - T_F} \right) \quad \text{kde}$$

d = tloušťka stěny (mm)

a = součinitel teplotní vodivosti ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

T_T = teplota taveniny ($^{\circ}\text{C}$)

T_F = teplota formy ($^{\circ}\text{C}$)

\bar{T} = průměrná teplota výstřiku při vyhození ($^{\circ}\text{C}$)

[4]

4 ZÁSADY PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ A JEJICH VADY

Tvarová a funkční rozmanitost vstřikovaných výrobků neustále roste, při jejich návrhu je nutné brát ohled na mnoho aspektů. Při volbě materiálu je nutno zvážit, jak bude výrobek namáhán (staticky, dynamicky, opakovaně), jakým klimatickým podmínkám bude vystaven (vlhkost, sluneční světlo, teplota), jaké jsou kladeny nároky na vzhled výrobku (kvalita povrchu, barva), jde-li o funkční část (součásti větších celků – např. ozubená kola, vačky), jaká má být životnost výrobku, jeho sériovost atd. Po zvážení všech těchto aspektů se zvolí vhodný materiál, vhodné konstrukční řešení výrobku, vhodná forma (jednoduchá nebo vícenásobná, vyhřívaný vtokový systém atd.). [1,11]

4.1 Konstrukce vstřikovaných výrobků

Při konstrukci výrobku je nutno dodržet jeho funkčnost a jeho technologičnost. Funkčností se rozumí, aby výrobek splňoval veškeré požadavky, které jsou od něj žádány (pevnost, barva, tvarová stálost). Technologičnost výrobku znamená dodržení plynulého plnění při vstřikování – aby se nikde materiál nehromadil, nebo naopak nevznikaly bubliny a propadliny. [1,11]

4.1.1 Volba materiálu

Při volbě materiálu je nutné brát v úvahu jeho vlastnosti, cenu a zpracovatelnost. Dobře zpracovatelný materiál umožňuje vysoké využití jeho mechanických vlastností ve výrobku, dochází tím ke zvýšení kvality výsledného výrobku. Obtížně zpracovatelný materiál má zhoršenou tekutost a je náchylný k degradaci při přehřátí. Vlastnosti mnoha plastů se navzájem podobají, proto není vždy nutné zvolit pro navrhovaný výrobek jediný materiál. Účelnější je vybrat 2 až 4 alternativní materiály a ponechat definitivní rozhodnutí až po funkčních zkouškách prototypů. Z ekonomických a časových důvodů je důležité, aby se všechny vybrané alternativní materiály mohly vstřikovat do téže formy (musí mít přibližně stejné smrštění). Obecně platí, že tvar výrobku a jeho vlastnosti musí odpovídat použitému plasty a zvolené technologii. [11,12]

4.1.2 Dělicí rovina

Dělicí rovina je rovina, v níž dosedá jedna část formy na druhou a uzavírá tvarovou dutinu formy. Určení dělicí roviny se provádí při prvotním návrhu výrobku. Současně s určením

dělicí roviny je třeba uvažovat o optimálním umístění vtoků. Z výrobních důvodů má být dělicí rovina jednoduchá. Lomená nebo zaoblená dělicí plocha podstatně prodražuje výrobu formy. [11,12]

4.1.3 Umístění vtoku

Při navrhování umístění bodu vstřiku je nutné umístit jeho polohu vzhledem ke geometrii výrobku tak, aby v ideálním případě byla tvarová dutina vyplněna v jeden moment. U rozměrnějších výrobků je nutno umístit dva i více bodů vstřiku, protože než by čelo taveniny doteklo do nejvzdálenějších částí tvarové dutiny, byly by už vlastnosti taveniny na čele podstatně jiné, než v bodě vstřiku. Při konstrukci více vstřiků je nutné zvážit jejich umístění, aby k naplnění celého tvaru došlo ideálně současně, a aby materiál na čele taveniny byl schopný spojení se s čelem taveniny z vedlejšího vtoku – tzn., aby nedocházelo k vytváření tzv. studených spojů. [11,12]

4.1.4 Tloušťka stěny

Tloušťka stěny má být pokud možno malá, aby se omezila možnost vzniku povrchových propadlin, vnitřních staženin apod. S klesající tloušťkou výstřiku se snižuje spotřeba materiálu a zkracuje se doba chladnutí ve formě. Minimálně přípustná tloušťka stěny je určena požadovanou tuhostí, pevností a rozměrností výstřiku. Rovnoměrnost tloušťky stěny je podmínkou pro rovnoměrnou rychlost proudění taveniny, stejnou rychlost chlazení, stejné smrštění a minimální vnitřní pnutí. U výstřiků s různou tloušťkou stěny vzniká víření taveniny, nerovnoměrná orientace makromolekul a vnitřní pnutí. Pokud má výstřik rozdílnou tloušťku stěn, pak přechod musí být pozvolný nebo zaoblený, aby nevznikaly ostré kouty s vrubovým účinkem. [11,12]

4.1.5 Úkosy

Úkosy se na výstřiku provádějí z důvodu jeho snazšího vyjímání z formy. Volbu jejich velikosti ovlivňuje především smrštění, elasticita plastu, povrch stěn formy a automatizace výroby. Podkosy, s výjimkou technologických, komplikují konstrukci i funkci formy a proto je snaha se jim vyhnout. [11,12]

4.1.6 Zaoblení

Zaoblením hran, rohů a koutů se usnadní tok taveniny, zabrání se koncentraci napětí v těchto místech a sníží se i opotřebením formy, protože přechody s ostrými hranami

vyžadují vyšší vstřikovací tlaky. Rázová houževnatost součásti se tím zvýší téměř o 50%. Vnější rádius zaoblení stěny bývá o tloušťku stěny větší než vnitřní rádius, takže stěna je v celém poloměru zakřivení stejně tlustá. Někdy se z důvodu zesílení v místě zaoblení, společně se zvětšením vnitřního rádiusu, zvětšuje tloušťka stěny asi o jednu čtvrtinu. Minimální rádius zaoblení stěny má být asi jedna čtvrtina tloušťky stěny. V některých případech (spojování dvou stěn) by velký rádius znamenal nežádoucí hromadění materiálu, proto se používá minimální hodnota $R=0,25b$, kde b je tloušťka stěny. [11,12]

4.1.7 Žebrování

Žebra se používají k vyztužení výstřiků a umožňují tak použít tenké stěny. Žebra se dělí podle účinku, který plní na součásti, případně v dutině formy. Technická žebra zabezpečují pevnost a tuhost součásti. Technologická žebra umožňují optimální plnění dutiny formy, brání zborcení stěn a odstraňují předpokládaný vznik povrchových vad. Profil žebra musí mít určitý vztah k tloušťce stěny výstřiku, aby nenastaly nežádoucí deformace. Zásadně je vždy lepší volit větší počet menších žebor než malý počet větších žebor. [11,12]

4.1.8 Okraje a obruby výrobku

Okraje výrobku by neměly být zesílené kvůli hromadění materiálu, nerovnoměrnému smrštění a toku taveniny. Je-li potřeba, aby okraj byl tužší, je vhodné opatřit hranu výrobku přehybem. Pokud je požadavek na silnější stěnu na okraje výrobku, neměla by tato přesáhnout 1,2 násobek tloušťky stěny. [11,12]

4.2 Vady vstříkovaných výrobků

Pod pojmem vada výstřiku se rozumí defekt, kterým se liší vzhled, vlastnosti a rozměry výstřiku od předem stanoveného normálu. Celý soubor lze rozdělit na vady zjevné a skryté.

- Zjevné vady jsou takové, které lze postřehnout při vizuálním porovnání s referenčním vzorkem (tzv. master kus). Patří sem vady tvaru (nedostříknuté výrobky, propadliny, vrásnění, zvlnění, zborcení, přetoky, otřepy), vady povrchu (nedostatečný lesk, mat, povrchový zákal, stříbření, tokové čáry, čáry po smrštění, změna barvy aj.).
- Skryté vady jsou vady, které nelze (nebo lze těžko) postihnout vizuální kontrolou. Mají však vliv na vlastnosti výstřiků a zhoršují jeho kvalitativní ukazatele. Patří sem vnitřní pnutí (tepelné, z nerovnoměrné krystalizace, z přeplněné formy atd.),

studené spoje (v oblasti styku dvou proudů taveniny dochází k zdatelnému poklesu pevnosti), vakuové bubliny a lunkry, uzavřený vzduch nebo plyny.

Nejjednodušší odstranění závady je změnou jednoho či více technologických parametrů. Není-li možno závadu odstranit změnou parametrů, je nutno identifikovat závadu buď ve formě (obvykle vtoková tryska), vstřikovacím stroji, nebo na zpracovávaném plastu. [4]

4.2.1 Přetoky, otřepy

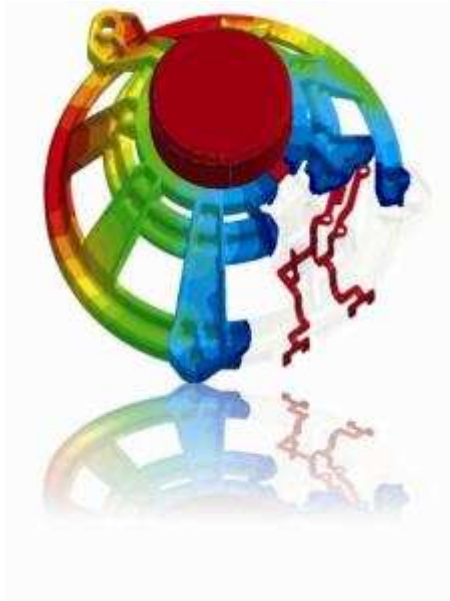
Přetoky a otřepy mohou být způsobené vysokým ITT taveniny, vysokým vstřikovacím tlakem, vysokou teplotou taveniny, vysokou teplotou formy, nízkou uzavírací silou, nedokonalým uzavíráním formy vlivem nepřesnosti v dělicí rovině, jejím znečištěním, opotřebením, nebo předimenzováním odvzdušnění. [4]



Obr. 20 Přetok. [5]

4.2.2 Neúplné výstřiky

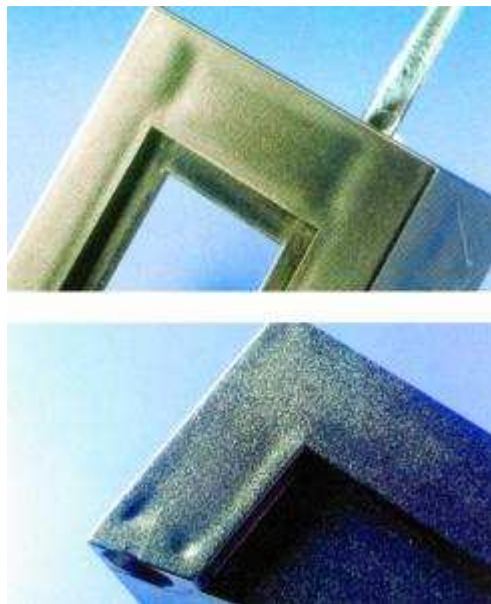
Neúplné výstřiky mohou být způsobeny příliš nízkým ITT, nízkým vstřikovacím tlakem, nízkým dotlakem, nízkou teplotou taveniny, nízkou teplotou formy, bodem přepnutí v nižší oblasti tlaku, netěsností uzávěru šneku, nedostatečným plastikačním výkonem, poddimenzovanou vtokovou soustavou, nestejnou délkou toku taveniny (u vícenásobných forem), nevhodně zvoleným polymerem nebo nevhodnou konstrukcí výstřiku. [4]



Obr. 21 Simulace nedotečení materiálu. [5]

4.2.3 Propadliny, staženiny, lunkry, zvlnění povrchu

Tyto vady mohou být způsobeny nízkou ITT, nízkým vstřikovacím tlakem, nízkým dotlakem, nízkou teplotou taveniny, nízkou teplotou formy, bodem přepnutí v nižší oblasti tlaku, netěsností uzávěru šneku, nedostatečným plastikačním výkonem. Dále může být vtoková soustava neúměrně dlouhá, tavenina může předčasně zamrznat na trysce nebo tvar výstřiku neodpovídá technologickým požadavkům. [4]



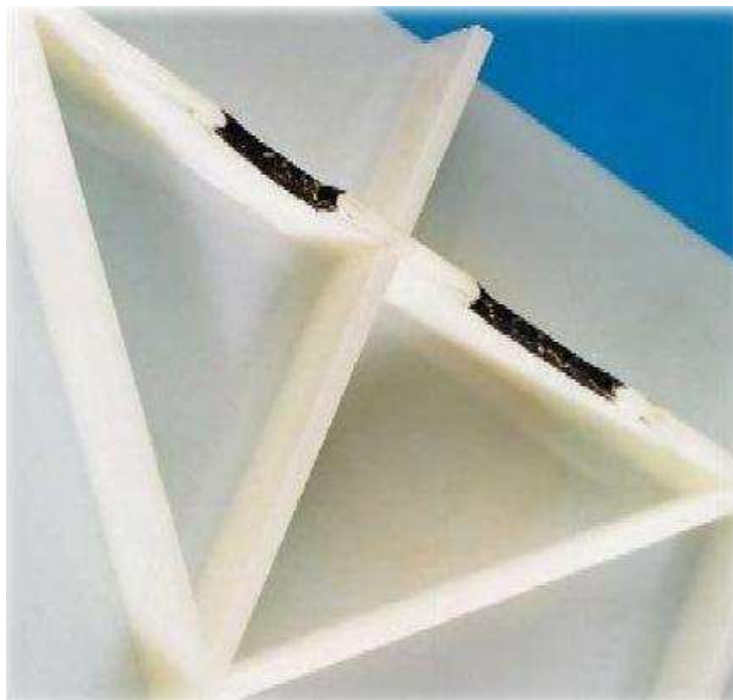
Obr. 22 Propadliny. [5]

4.2.4 Studené spoje

Studené spoje jsou místa, kde se setkávají toky tavenin, v tomto místě je materiál náchylný na prasknutí, protože čela tavenin už neměly v době spojení ideální vlastnosti, mohou být způsobené nízkou teplotou taveniny, nízkou teplotou formy, nízkou vstřikovací rychlostí, nehomogenitou materiálu – rozdílná tekutost (je lepší použít materiál s úzkým rozmezím ITT), nedostatečnou uzavírací silou, nevhodnou polohou ústí vtoku, nedostatečným odvzdušněním v místě střetu dvou proudů taveniny nebo použitím separátorů (zejména na bázi silikonového oleje). [4]

4.2.5 Místní spálení materiálu v důsledku komprese vzduchu (dieselefekt)

Tato vada spočívá ve výbuchu uzavřeného vzduchu (stejný princip na jakém pracuje Dieselův motor), bývá obvykle zapříčiněna příliš nízkou viskozitou taveniny, vysokou vstřikovací rychlostí, velkou dekompresí po plastikaci, nedostatečným odvzdušněním, nebo příliš velkou uzavírací silou. [4]



Obr. 23 Dieselův efekt. [9]

4.2.6 Šmouhy, šlíry, změna barvy

Bývají způsobené použitím termicky nestabilního materiálu nebo jeho aditiv, obsahem nečistot, nerovnoměrně rozptýleného barviva či pigmentu, vysokou teplotou, příliš dlouhou prodlevou v plastikačním válci, opotřebovanou plastikační jednotkou (tzv. mrtvé kouty), nebo poddimenzovaným vtokovým systémem. [4]

4.2.7 Tmavé body na povrchu vstříku

Příčinou je většinou znečištěný granulát (špatně vyčištěná násypka, či cesty), může být také důsledkem příliš vysokého protitlaku, který způsobí strhávání nečistot z mrtvých koutů. Další příčinou může být i zkorodovaná tryska, vtokový systém nebo i dutina formy. [4]

4.2.8 Stříbření, mikrotrhlky, napěťové trhlinky

Tato vada může nastat, pokud materiál obsahuje málo vnitřního maziva, je vlhký nebo je použito více regenerátu (více jak 50%). Vliv má také velké tepelné zatížení materiálu, dlouhá prodleva v tavicím válci, malý průměr vstřikovací trysky a poddimenzovaná vtoková soustava (zejména ústí vtoku). [4]

4.2.9 Jemně rýhovaný povrch (vzhled pomerančové kůry, gramofonové desky)

Tuto vadu vyvolává příliš velký odpor při plnění formy vyvolaný příliš nízkou teplotou formy nebo taveniny. Může ji způsobit i nedostatečný mísící účinek při plastikaci. [4]

4.2.10 Stopy po vyhazovačích

Stopy po vyhazovačích se můžou objevit, je-li teplota výstříku při vyhození příliš vysoká a výstřík tím pádem ještě příliš měkký pro vyhození. Další příčinou může být nevhodně navržené vyhazování výstříku – malá plocha vyhazovačů, nevhodně umístěné vyhazovače a jejich nedostatečný počet. [4]

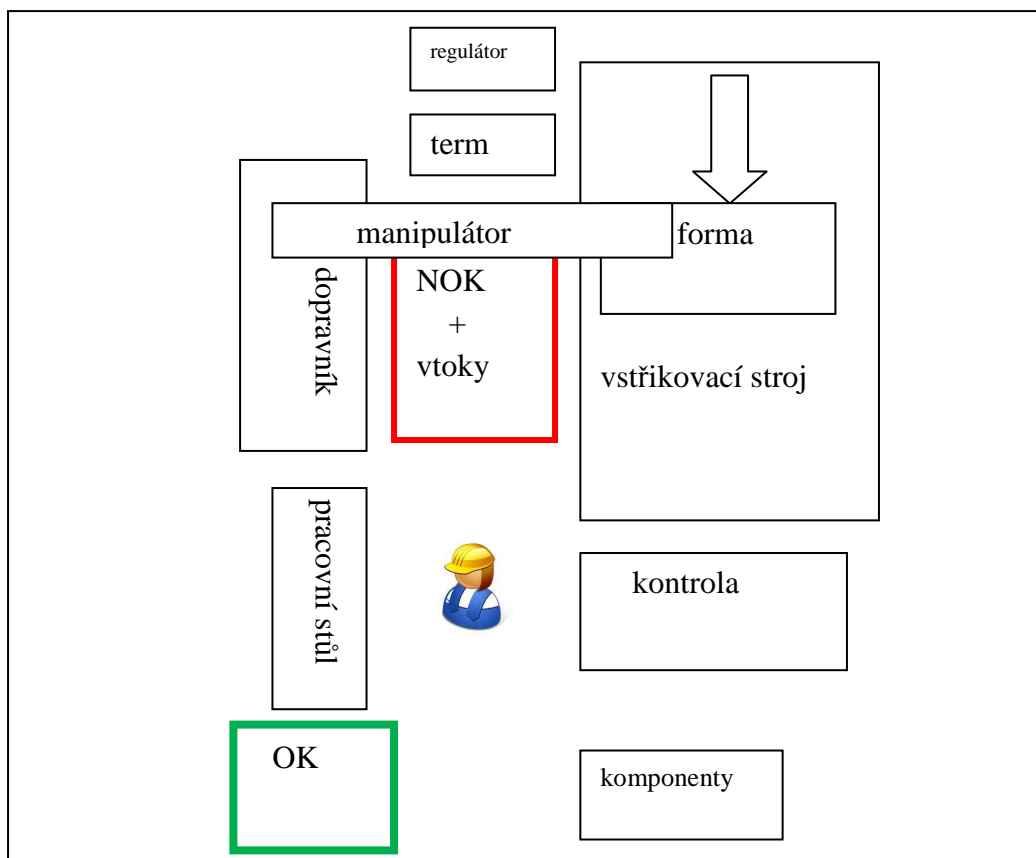
4.2.11 Deformace výstříku při vyhazování z formy

Při špatně navrženém tvaru výstříku (úkosy, podkosy, rozdílné tloušťky stěn) může nastat situace, kdy výrobek nelze vůbec, nebo špatně odformovat. Další příčinou můžou být i procesní parametry (příliš brzké vyjímání, nevhodně zvolený bod přepnutí, přeplněná forma, příliš nízká uzavírací síla). [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POPIS PROCESU

Jedná se o proces vstřikování, kdy je vstřikován výrobek, jenž se ve finální podobě sestavuje ze dvou výstřiků, které se v rámci snahy montáže už v rámci vstřikovacího procesu vstřikují současně do jedné formy, jenž je dvoukavitová. Přitom oba výstřiky jsou tvarově odlišné. Po vystříknutí výrobků se tyto 100% kontrolují na kompletnost výstřiku a kvalitu pohledové strany. V případě menších odstranitelných nedokonalostí povrchu (skvrny od vazelíny ze systému mazání formy) se kusy přešetří na kotouči metodou „broušení na plocho“, jehož povrch je tvořen nalepenou filcovou vrstvou. Potom se do spodního dílu vloží díl těsnění kolem zapalování a do horního se instalují dva plechové inserty, které fungují jako zámkové prvky pro smontování výrobku. Takto zkontrolovaný, opravený a inserty opatřený výrobek se v nesmontovaném stavu umístí do polyethylenového ochranného obalu a poté do přepravního boxu.



Obr. 24 Schéma uspořádání pracoviště.

5.1 Výrobek

Výrobek sloužil jako kryt zapalování a elektrických rozvodů osobního automobilu umístěný na hřídeli volantu. Jednalo se tedy o pohledový výrobek, u kterého byla jedna ze sledovaných kvalitativních parametrů absolutní bezchybnost, čistota a uniformita výstřiku. Výstřik byl v nesmontovaném stavu dodáván zákazníkovi, který z jednotlivých dodávaných dílů sestavoval celou soustavu řízení. Výrobek tedy tvořily dvě části – horní (upper) a spodní (lower), které po smontování tvořily celek – kryt zapalování, ovládacích páček, další elektroinstalace a hřídele volantu. Barva výrobku byla černá, byl použitý materiál s obsahem barviva, takže se nejednalo o nástřik povrchu ale o pigmentaci polymeru.



Obr. 25 Dvě části výrobku (vlevo horní, vpravo dolní), v pozadí těsnění zapalování.

5.2 Zkoušky a měření výrobku

Pro zajištění konstantní kvality byl v pravidelných intervalech podroben náhodně vybraný výrobek 100% kontrole operátorem během výrobního procesu, ta se soustředila především na úplnost výstřiku (jsou-li přítomny všechny háčky a kolíky) a povrch pohledové strany výrobku (zde se jednalo hlavně o stříbření, dále skvrny od vazelíny, hydraulického oleje, konzervačních prostředků a dalších látek, které se běžně mohou nacházet v prostoru formy a mít vliv na estetické vlastnosti pohledové části výstřiku). Další kontrolu prováděl pracovník kvality, který prováděl podrobnější zkoumání estetických vlastností v zařízení produkujícím UV záření a tzv. „denní světlo“ – simulující reálné prostředí, ve kterém se

bude výrobek používat, které umožňuje podrobnější hodnocení povrchu výrobku. Pracovník kontroly poté prováděl náměry kritických rozměrů, které byly důležité pro budoucí montáž v automobilu. Náměry se prováděly pomocí certifikovaného digitálního posuvného měřidla a pomocí certifikovaného měřicího přípravku, který simuloval pozdější montáž výrobku v automobilu a úchylkoměrů, který byl k tomuto přípravku přiřazený. Měřila se rozteč dvou otvorů na spodním dílu pomocí posuvného měřítka, rozteč otvoru pro hřídel volantu na horním dílu a po namontování obou dílů na montážní přípravek se měřila odchylka z pravé a levé strany. Frekvence měření byla 1 za 4 hodiny a zapisovala se do kontrolního plánu měření.

Tab. 2 Plán měření.

	kontrola	frekvence	způsob měření	kdo měří
1	vstřík kompletní, bez přetoků a ostrých hran	100 %	vizuálně	operátor
2	vstřík – kolíky a došedací plochy bez deformací a přetoků	100 %	vizuálně	operátor
3	vstřík – povrch bez stříbření, map a škrábanců	100 %	vizuálně	operátor
4	vstřík – otvory průchodné	100 %	vizuálně	operátor
5	vstřík – háček kompletní, bez deformací	100 %	vizuálně	operátor
6	vnější vzdálenost otvorů 131,95 – 132,45 mm (spodní díl)	1 x 4 hodiny	posuvné měřítko	animátor kvality
7	vzdálenost mezi dvěma osami 99,75 – 100,25 mm (horní díl)	1 x 4 hodiny	posuvné měřítko	animátor kvality
8	montážní zkouška – deformace vlevo a vpravo max. 1mm	1 x 4 hodiny	montážní přípravek, úchylkoměr	animátor kvality
9	kontrola lesku a barvy mezi díly povrch musí být na pohled stejný	1 x 4 hodiny	vizuálně	animátor kvality



Obr. 26 Demonstrace měření.

5.3 Materiál

Materiál pro výrobek byl určen dle výkresové dokumentace výrobku zákazníkem. Vzhledem k použití výrobku v automobilu, kde bude vystaven UV záření a velké teplotní zátěži (zima – léto) a k tomu, že se jednalo o pohledový výrobek, který musel splňovat i estetické vlastnosti a v neposlední řadě i bezpečnostní předpisy, byl jako materiál zvolen kopolymer ABS/PC (akrylonitril-butadien-styren/polykarbonát), který obsahoval UV stabilizátor a stabilizátor barevný. Obchodní název materiálu byl PULSETM 920 MG UV od firmy Styron. Specifikace materiálu jsou uvedeny v tabulce níže. Materiál ABS/PC je hydrofilní, takže před samotným vstřikováním byl vysušován v sušičce.



Obr. 27 Centrální sušička materiálů.



Obr. 28 Detail materiálu PULSETM 920 MG UV

Tab. 3 Vlastnosti materiálu.

STYRON PULSE 920 MG UV			
fyzikální vlastnosti	nominální hodnota	jednotka	testovací metoda
hustota	1130	kg/m ³	ISO 1183
hmotnostní tok taveniny			ISO 1133
230°C/3,8 kg	4	g/10 min	
260°C/5,0 kg	22	g/10 min	
objemový tok taveniny (260°C/5,0 kg)	15	cm ³ /10 min	ISO 1133
absorbce vody (nasyčená)	0,03	%	ISO 62
absorbce vody (vyvážená)	0,28	%	ISO 62
mechanické vlastnosti	nominální hodnota	jednotka	testovací metoda
modul pružnosti	2050	MPa	ISO 527-2/1
modul pružnosti	2050	MPa	ISO527-2
napětí v tahu (mez úměrnosti)	48	MPa	ISO 527-2/50
napětí v tahu (mez úměrnosti)	48	MPa	ISO 527-2
napětí v tahu (při přetržení)	45	MPa	ISO 527-2/50
deformace (mez úměrnosti)	4,6	%	ISO 527-2
deformace (při přetržení)	60	%	ISO 527-2/50
nominální deformace při přetržení	>50	%	ISO 527-2
ohybový modul (2 mm/min)	2100	MPa	ISO 178
ohybová pevnost (2 mm/min)	78	MPa	ISO 178
vrypové vlastnosti	nominální hodnota	jednotka	testovací metoda
Charpyho rázová vrubová pevnost			ISO 179
-40°C	5	kJ/m ²	
0°C	10	kJ/m ²	
23°C	22	kJ/m ²	
Charpyho rázová vrubová pevnost (23°C)	45	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpyho rázová vrubová pevnost (-30°C)	30	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpyho rázová pevnost (23°C)	bez lomu		ISO 179/1eU
Charpyho rázová pevnost (-30°C)	bez lomu		ISO 179/1eU
tepelné vlastnosti	nominální hodnota	jednotka	testovací metoda
teplota při deformaci při zatížení (1,8 Mpa)	102	°C	ISO 75-2
teplota měknutí dle Vicata	142	°C	ISO 306/A 120
teplota měknutí dle Vicata	122	°C	ISO 306/B50
teplota měknutí dle Vicata (50°C/h, B(50N))	128	°C	ISO 306
CLTE - tok (0-80°C)	0,00005	cm/cm/°C	ASTM D696
hořlavost	nominální hodnota	jednotka	testovací metoda
test horizontální hořlavosti	HB		ISO 1210
zpracovatelské vlastnosti	nominální hodnota	jednotka	
zpracovatelská teplota taveniny	250-290	°C	
teplota formy	50-90	°C	

5.4 Stroj

Stroj, na kterém proces probíhal, byl vyroben firmou Demag a měl označení ergotech 420/810. Uzavírací síla tohoto stroje byla 420 tun. Uzavírací síla byla vyvozována pomocí hydraulicko-mechanického systému. Bližší specifikace jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 4 Parametry stroje Demag 420/810 ergotech.

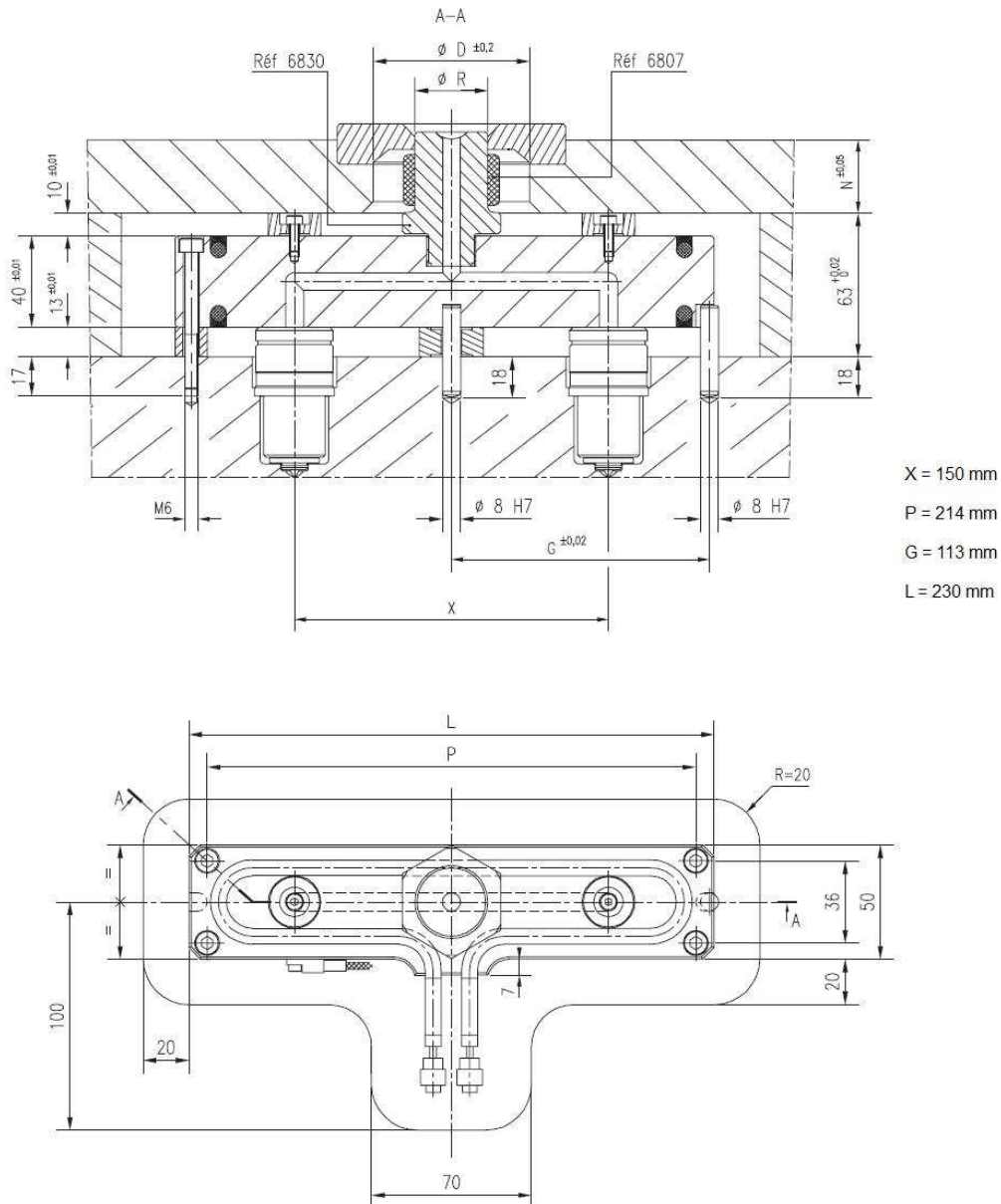
parametry vstřikovacího stroje Demag 420/810 ergotech		
parametr	nominální hodnota	veličina
uzavírací síla	4200	kN
uzamykací síla	4620	kN
max. zdvih při otevřené formě	710	mm
max. výška formy	820	mm
min. výška formy	380	mm
hmotnost stroje (bez oleje)	20700	kg
průměr šneku	50-70	mm
kompresní poměr	20	
vstřikovací tlak (do 400°C)		
Ø šneku 50 mm	2426	bar
Ø šneku 60 mm	1905	bar
Ø šneku 70 mm	1400	bar
max. hmotnost dávky (PS)		
Ø šneku 50 mm	480	g
Ø šneku 60 mm	690	g
Ø šneku 70 mm	940	g
rychlost plastikace (PS)		
Ø šneku 50 mm	49	g/s
Ø šneku 60 mm	76	g/s
Ø šneku 70 mm	78	g/s
max. zdvih šneku	270	mm
max. vzdálenost trysky od formy	620	mm



Obr. 29 Stroj Demag Ergotech 420/810.

5.5 Vstřikovací forma

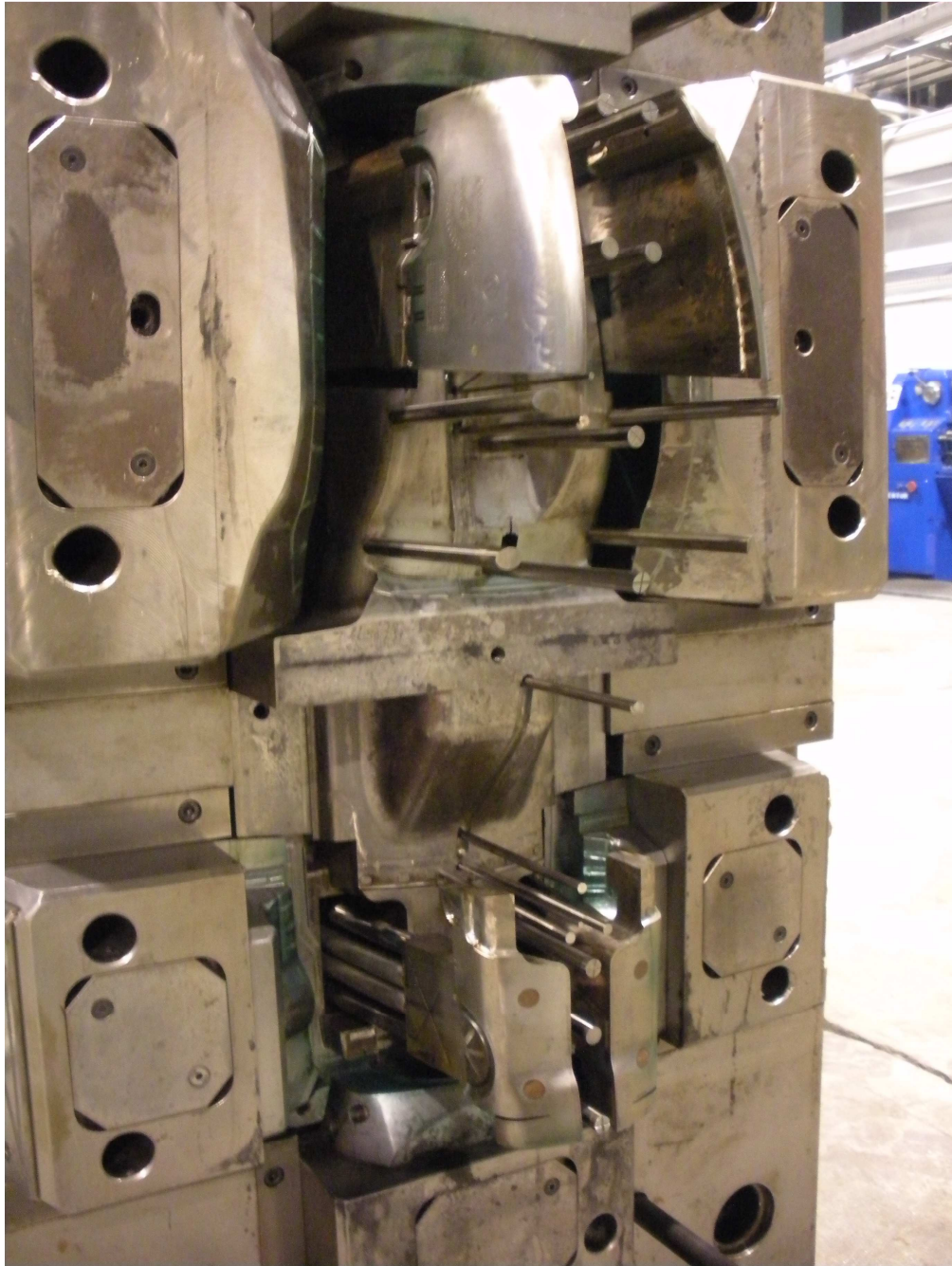
Vstřikovací forma pro výrobky byla dvoudeskové konstrukce s vyhřívanými toky. Při jednom vstřiku se vyrobily dvě rozdílné části – horní a spodní. Většina formy byla sestavena z katalogových dílů firmy Rabourdin. Vtoková vložka se rozvětvovala do dvou horkých vtoků, přívodní kanály do těchto vtoků byly vyhřívány vyhřívanou deskou, výkon vyhřívané vtokové soustavy byl 2070 W. Horké vtoky byly napájeny regulátory SISE o maximálním výkonu 26 kW. Teplotu vtokové soustavy formy bylo možno regulovat na třech místech – dva horké vtoky a vyhřívaná deska, která temperovala přívodní kanál k nim.



Obr. 30 Schéma 2 - bodových horkých vtoků Rabourdin série RP.

Vyhazování výstřiků bylo realizováno sadou vyhazovačů ukotvených ve vyhazovací desce. Bylo použito celkem 21 katalogových tyčových vyhazovačů o různých délkách a průměrech a dvou vyhazovačů sloužících jako přidržovače vtoku. Byly vyrobeny čtyři speciální tvarové vyhazovače. Chlazení formy bylo zajištěno vrtanými děrami o průměru 8 mm. Chladicí systém byl tvořen třemi okruhy. První okruh zajišťoval chlazení tvaru na fixní desce, druhý chlazení tvarové části loweru na mobilní desce a třetí chlazení tvarové části upperu na mobilní desce. Regulace teploty chladícího média formy byla zajištěna průtokovými regulátory teploty vody S.I.S.E. s maximálním průtokem 200 l/min a výkonem 36 kW. Teploty média byly nastaveny na 85°C pro tvárník fixní části a tvárník upperu na mobilní části a 60°C pro tvárník loweru na mobilní části. Pro vytvoření

potřebného tvaru dutiny formy bylo zapotřebí 6 pomocných dělících rovin (3 na každou kavitu), které byly při zavírání a otevírání formy naváděny 12 šikmými naváděcími kolíky o průměru 20 mm (každá rovina 2 kolíky). Pro zajištění textury povrchu výstřiku byl povrch tvárníků opracován pomocí metody pískování.



Obr. 31 Detail vyhazovačů a pomocných rovin – mobilní část.

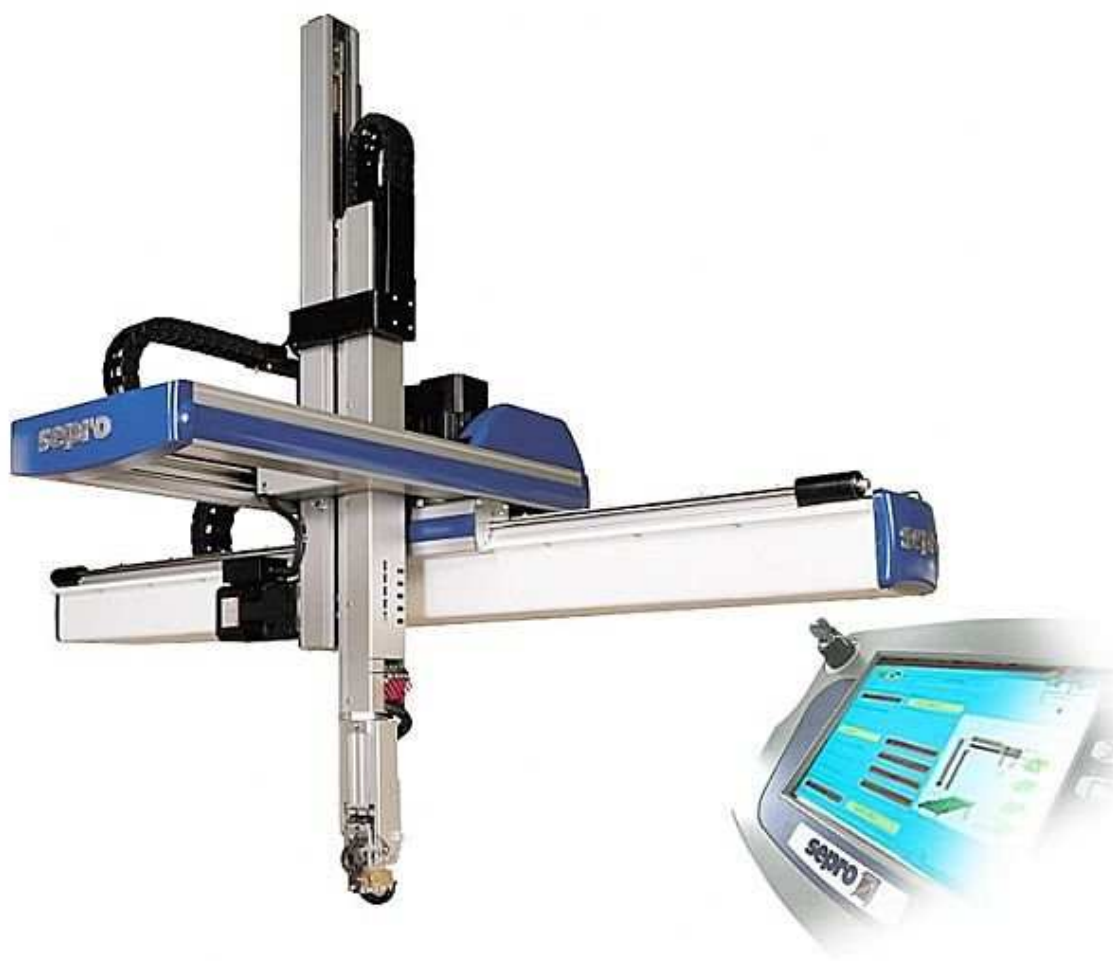


Obr. 32 Detail šikmých naváděcích kolíků pro pomocné roviny – fixní část.

5.6 Periferie

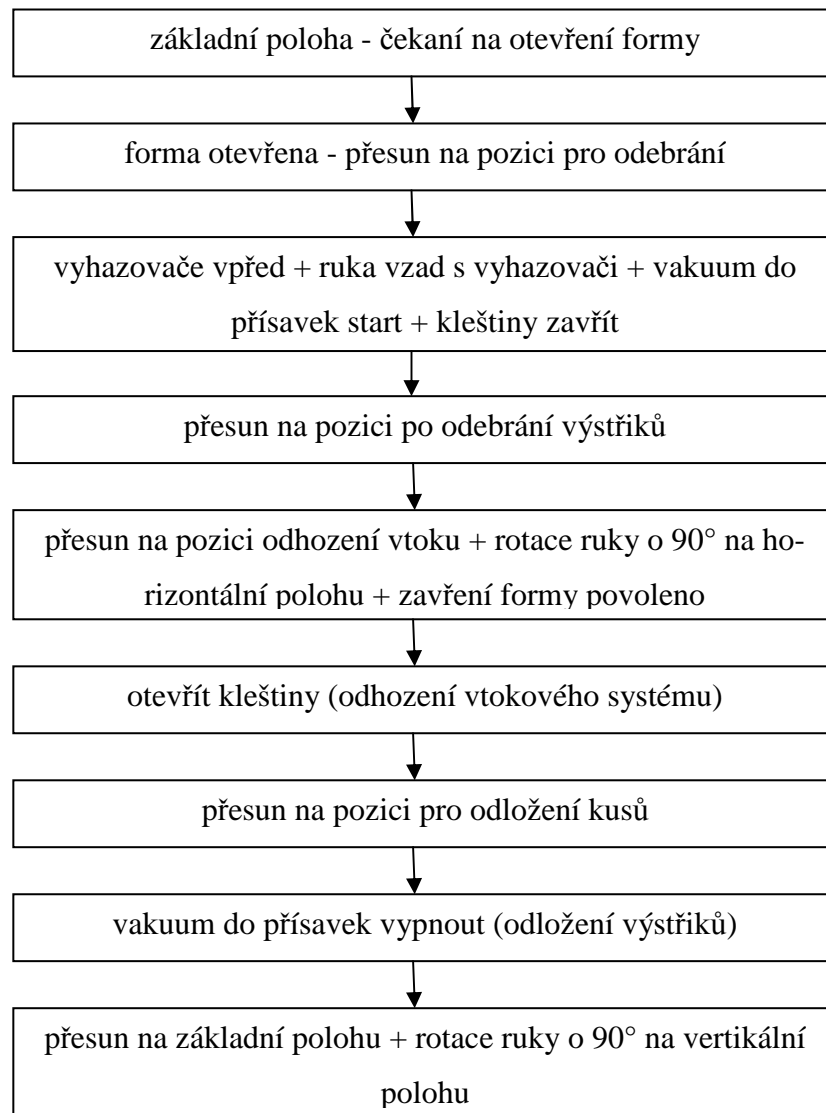
Kromě vstřikovacího stroje s nutným příslušenstvím pro daný proces (temperační regulační systém formy a regulátor horkých vtoků) byly u procesu přítomny další zařízení pro zajištění automatického procesu. Materiál byl sušen v automatické sušičce Moreto, která si podle potřeby přisávala nevysušený materiál z bedny. Násypka Moreto na stroji si automaticky přisávala vysušený materiál ze sušičky. Princip automatického doplňování fungoval tak, že jakmile hladina materiálu v násypce, či sušičce poklesla pod určitou hodnotu, aby se mohla zavřít klapka nad ní, sepnul se spínač, který inicioval nasávání

materiálu po určitý nastavitelný časový interval. Po vystříknutí vznikly dva kusy výrobku a vtoková soustava, ta se odkládala zvlášť do přepravky a poté se drtila v kladivovém mlýnu. Vzniklý recyklát se následně přimíchával do originálního materiálu v obsahu cca 10 %. Plně automatický chod procesu zajišťoval manipulátor Sepro P14349.

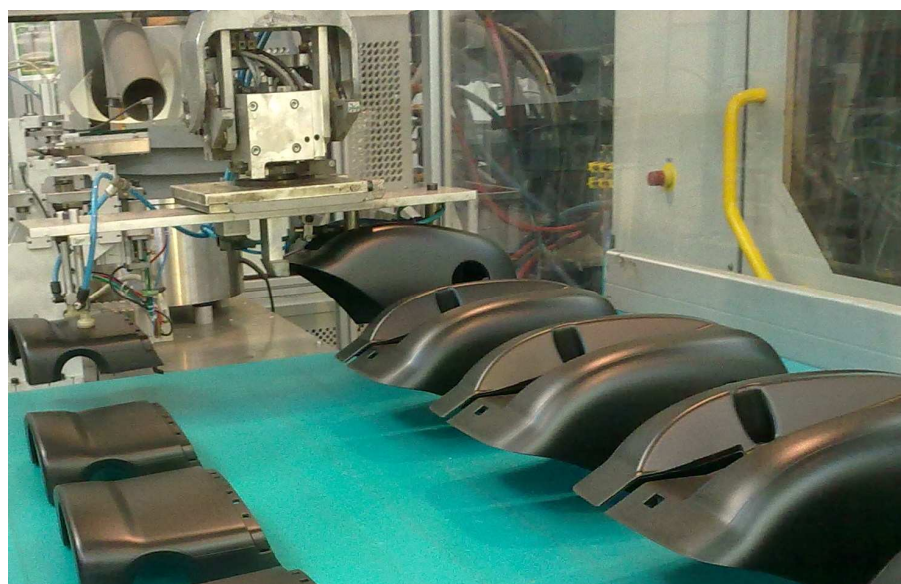


Obr. 33 Manipulátor Sepro [15].

K manipulátoru bylo vyrobeno zařízení - mechanická ruka, vyrobená na míru pro daný výrobek, byla sestavena z hliníkové desky, na které byly usazeny 2 + 2 přísavky kopírující povrch výrobků pro jeho odebrání a 2 kleštiny ovládané pneumatikou pro odebrání vtokové soustavy. Manipulátor kusy i s vtokovými systémy odebral, odhodil vtoky do připravené bedny a kusy kladl na pásový dopravník, který je dopravil k operátorovi ke kontrole a montáži.



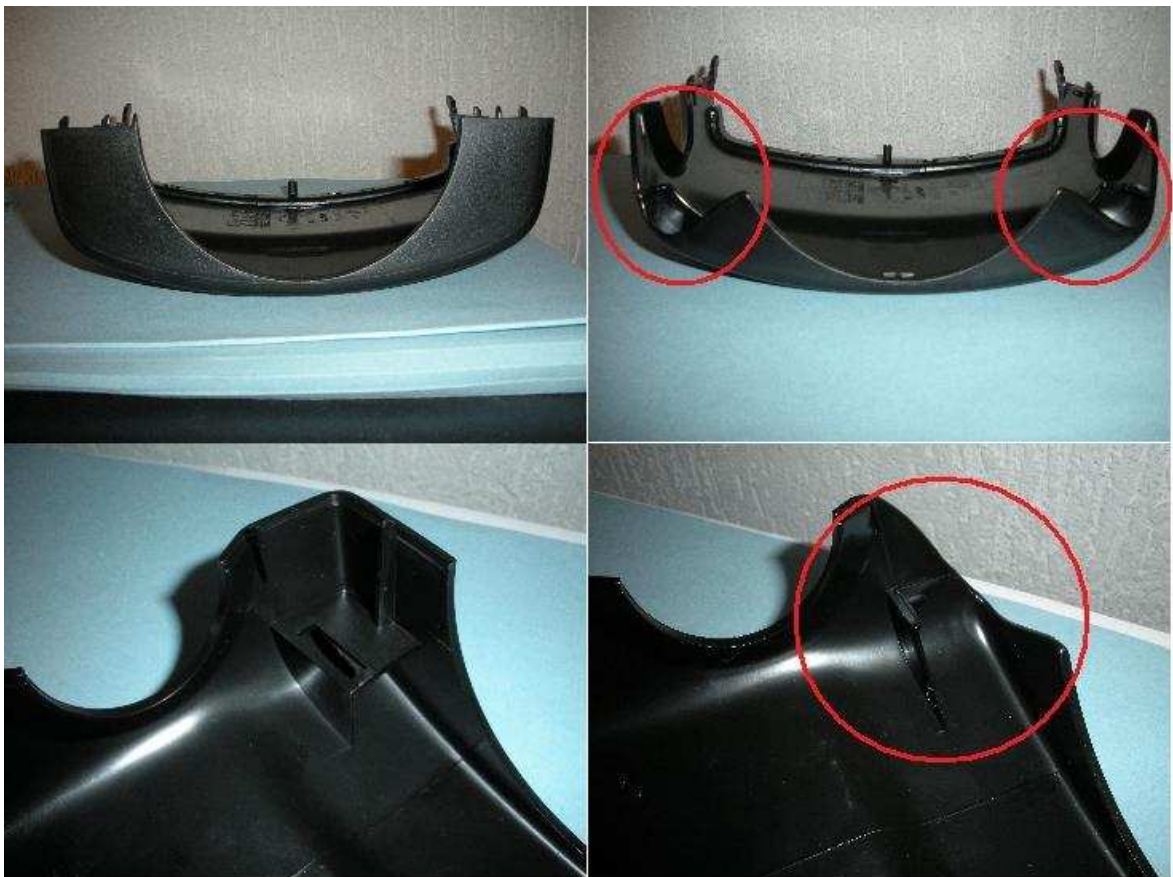
Obr. 34 Zjednodušené schéma řídicího programu manipulátoru.



Obr. 35 Způsob odkládání výstřiků na pás.

6 DEFINICE PROBLÉMU

Jak už bylo popsáno, forma byla tvořena 2 kavitami pro 2 jak tvarově, tak objemově rozdílné výstřiky. Aby se kavity zaplnily ve stejný čas, byl vtokový systém navržen tak, aby dráha vtokového systému k menší kavitě byla delší. Tím bylo zajištěno, že obě kavity se naplní za stejný čas. Problém nastal v okamžiku, kdy byl vystaven požadavek na zkrácení času jednoho cyklu z původních 50 s na 35 s. Změna vstřikovací rychlosti a snížení teploty formy ve snaze urychlit zaplnění kavit a jejich následné ochlazení způsobila problémy kvalitou vstřikovacího procesu. Tento problém spočíval v tom, že menší z kavit nebyla dostatečně naplněná a výstřik byl tím pádem nekompletní.



Obr. 36 Ukázka problému: vlevo dobrý kus, vpravo nedostříknutý kus.

7 OPTIMALIZACE VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Odstranění problému bylo možno provést dvěma způsoby, buď úpravou vstřikovacích parametrů, nebo mechanickou úpravou vtokové soustavy formy.

Tab. 5 Výchozí parametry vstřikovacího procesu.

Parametry vstřikování pro čas cyklu 37 s				
parametr	hodnota	veličina	hodnota	veličina
teplota pásem v tavící komoře				
1	240	°C		
2	270	°C		
3	280	°C		
4	285	°C		
tryska	275	°C		
teplota horkých vtoků				
1 (rozvodný kříž)	285	°C		
2 (vtok – upper)	285	°C		
3 (vtok – Lower)	275	°C		
plastifikace				
objem dávky	440	ccm		
rychlost dávkování	301	ccm/s		
protitlak	35	bar		
profil vstřiku				
A = objem, B = rychlost	A		B	
1	440	ccm	65	ccm/s
2	330	ccm	62	ccm/s
3	200	ccm	181	ccm/s
4	150	ccm	119	ccm/s
5	40	ccm	100	ccm/s
objem při přepnutí	50	ccm		
profil dotlaku				
A = čas, B = tlak	A		B	
1	0	s	710	bar
2	6	s	710	bar
3	10	s	0	bar
uzavírací síla	4200	kN		
teplota vody na vstupu do formy	85	°C		
čas chlazení	10	s		

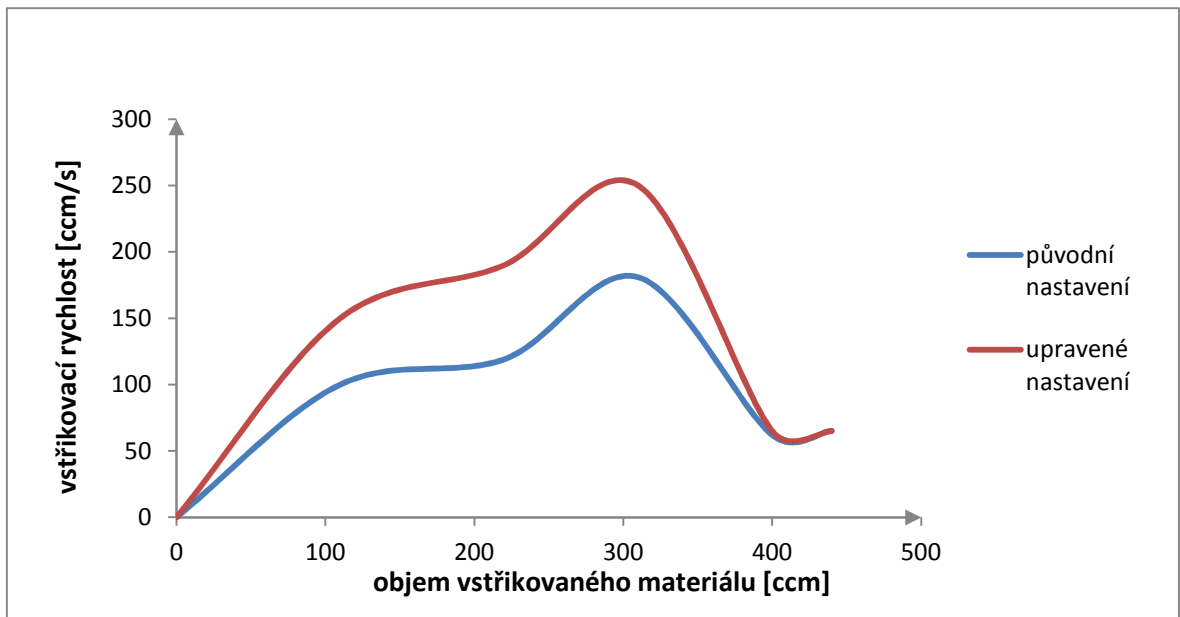
7.1 Pokus o odstranění problému pomocí parametrů vstřikování

Jednou z variant, jak odstranit problém, bylo pokusit se upravit vstřikovací parametry, tak aby obě kavity byly kompletně zaplněny. V rámci parametrických úprav byly dvě cesty, kterými bylo možno se vydat. První z nich spočívala ve zvýšení vstřikovací rychlosti taveniny, což mělo mít za následek, že tavenina bude mít díky vyššímu smykovému tření nižší viskozitu a tím pádem lepší zatékavost a současně díky větší rychlosti bude mít tavenina víc času vyplnit požadovaný objem, než začne zamrzat.

Tab. 6 Upravené parametry vstřikovacího procesu – úprava vstřikovací rychlosti.

Parametry vstřikování pro čas cyklu 37 s - upravená vstřikovací rychlost				
parametr	hodnota	veličina	hodnota	veličina
teplota pásem v tavící komoře				
1	240	°C		
2	270	°C		
3	280	°C		
4	285	°C		
tryska	275	°C		
teplota horkých vtoků				
1 (rozvodný kříž)	285	°C		
2 (vtok - upper)	285	°C		
3 (vtok - lower)	275	°C		
plastifikace				
objem dávky	440	ccm		
rychlost dávkování	301	ccm/s		
protitlak	35	bar		
profil vstřiku				
A = objem, B = rychlost	A		B	
1	440	ccm	65	ccm/s
2	330	ccm	65	ccm/s
3	200	ccm	250	ccm/s
4	150	ccm	190	ccm/s
5	40	ccm	150	ccm/s
objem při přepnutí	80	ccm		
profil dotlaku				
A = čas, B = tlak	A		B	
1	0	s	710	bar
2	6	s	710	bar
3	10	s	0	bar
uzavírací síla	4200	kN		
teplota vody na vstupu do formy	85	°C		
čas chlazení	10	s		

Toto řešení se nakonec ukázalo jako nedostačující. Kavita, která byla před změnou parametrů nedostříknutá, už sice byla kompletní, avšak vyskytl se problém s přeplněnou větší kavitou. Výstřiky z větší kavitě byly v důsledku zvýšeného vstřikovacího tlaku a nižší viskozity přeplněné, což způsobovalo přetoky v místech dosedacích ploch tvárníků formy a navíc se v důsledku přeplnění objevily problémy při vyhazování výstřiku.



Graf 4 Průběh vstřikovacích rychlostí

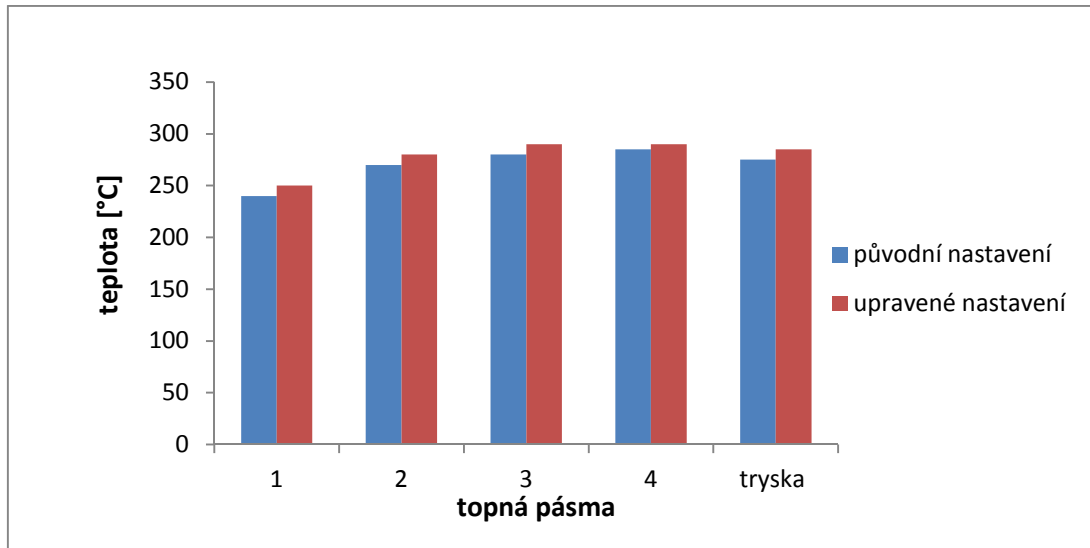


Obr. 37 Přetok v důsledku přeplnění kavitě spodního dílu.

Druhou variantou řešení byla možnost zvýšit teplotu taveniny, čímž by se docílilo snížení její viskozity, přičemž by vstřikovací rychlosti a tlak zůstaly původní. Toto řešení vyřešilo úplnost menší kavity, na výstřicích však bylo vidět, že materiál je již hodně tepelně namáhán. Povrch výstřiku měl místy nažloutlý charakter, který nás informoval o této skutečnosti.

Tab. 7 Upravené parametry vstřikovacího procesu – teplota taveniny.

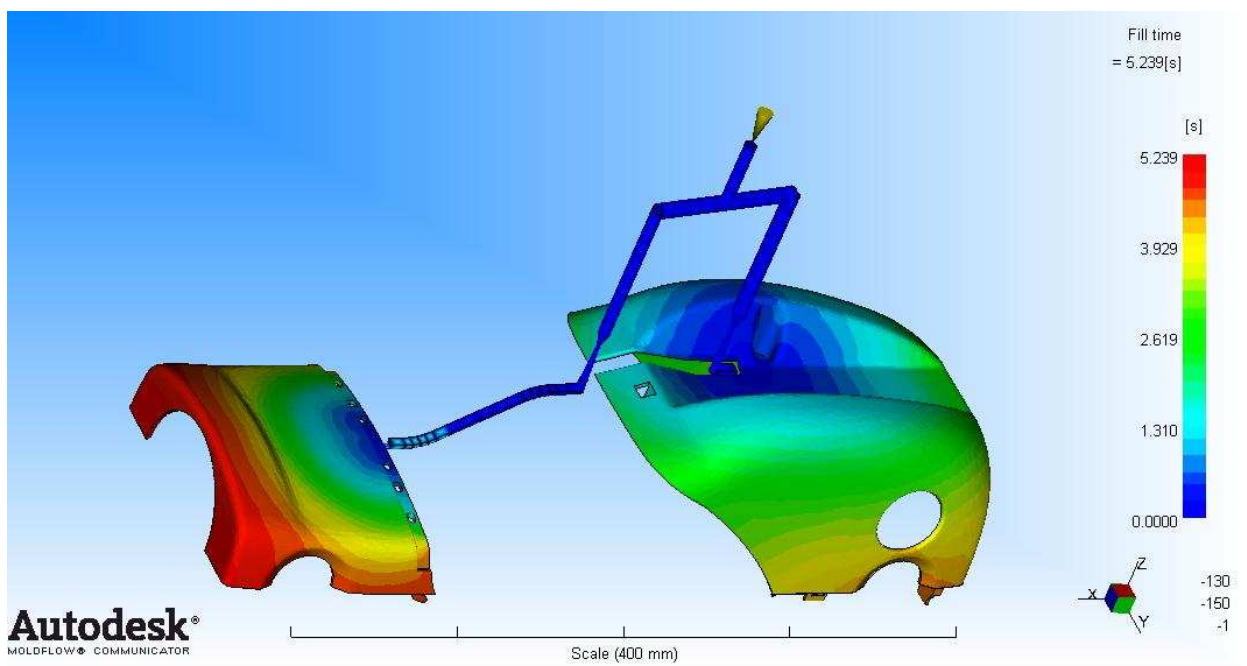
Parametry vstřikování pro čas cyklu 37 s - upravená teplota taveniny				
parametr	hodnota	veličina	hodnota	veličina
teplota pásem v tavící komoře				
1	250	°C		
2	280	°C		
3	290	°C		
4	290	°C		
tryska	285	°C		
teplota horkých vtoků				
1 (rozvodný kříž)	290	°C		
2 (vtok – upper)	290	°C		
3 (vtok – Lower)	285	°C		
plastifikace				
objem dávky	440	ccm		
rychlost dávkování	301	ccm/s		
protitlak	35	bar		
profil vstřiku				
A = objem, B = rychlost	A		B	
1	440	ccm	65	ccm/s
2	330	ccm	62	ccm/s
3	200	ccm	181	ccm/s
4	150	ccm	119	ccm/s
5	40	ccm	100	ccm/s
objem při přepnutí	50	ccm		
profil dotlaku				
A = čas, B = tlak	A		B	
1	0	s	710	bar
2	6	s	710	bar
3	10	s	0	bar
uzavírací síla	4200	kN		
teplota vody na vstupu do formy	85	°C		
čas chlazení	10	s		



Graf 5 Porovnání nastavení teplot

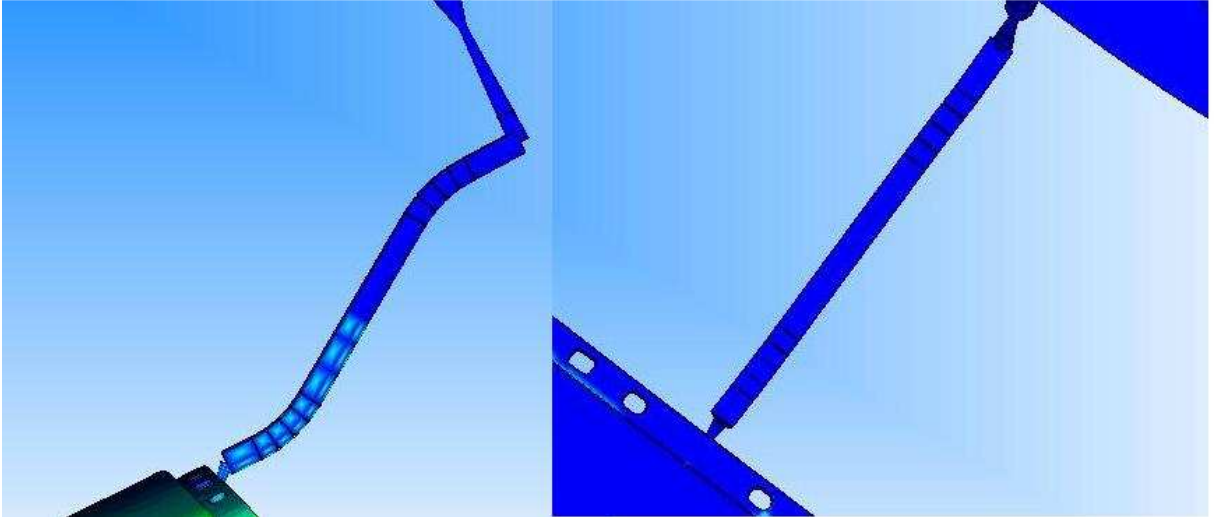
7.2 Odstranění problému pomocí úpravy formy

Pro odstranění problému s nekompletním výstřikem bylo tedy nutno provést mechanický zásah na formě. Přesněji tedy vybalancovat vtokový systém tak, aby při daných podmínkách byl schopen vyplnit obě kavity polymerní taveninou ve stejném čase. Aby bylo možné určit, jak má budoucí upravená vtoková soustava vypadat, byla provedena toková analýza v programu Autodesk Mold Flow. Nejdříve byla vygenerována analýza původního stavu, aby bylo zřejmé, k jakému problému u vtokového systému dochází.

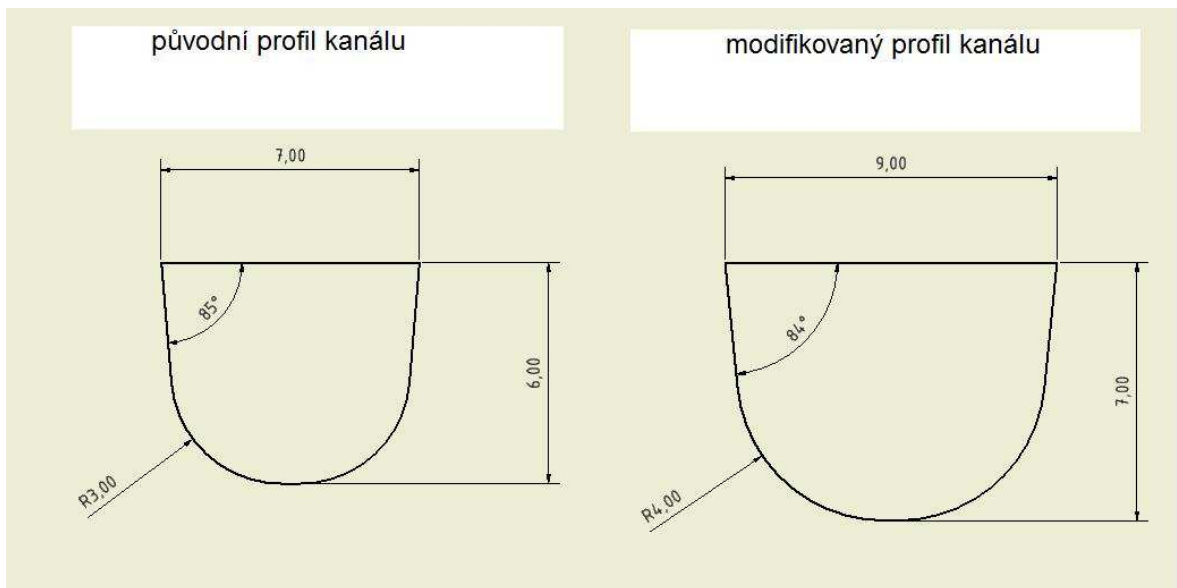


Obr. 38 Na tokové analýze je zřejmé nerovnoměrné zaplňování kavit.

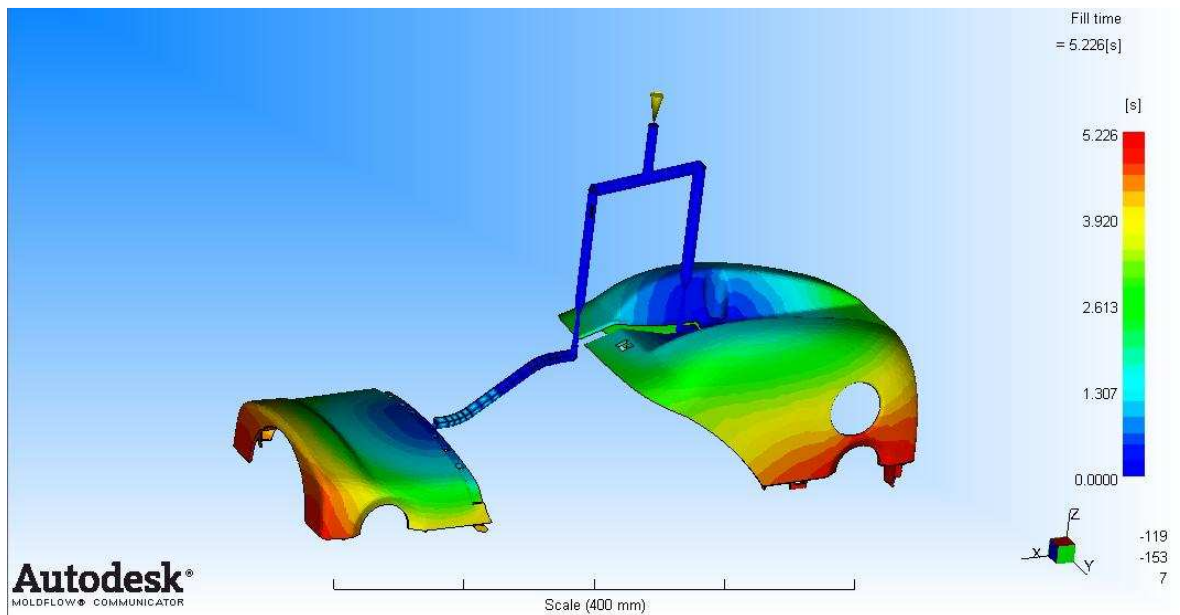
Po provedení tokové analýzy bylo zřejmé, že vtokový kanál plnící menší kavitu má příliš malý profil a tím pádem umožňuje příliš nižší průtok taveniny, než je k rovnoměrnému naplnění kavit potřeba. Byly proto provedeny nové analýzy s upraveným profilem rozváděcího kanálu. Profil původního kanálu měl šířku 7 mm a hloubku 6 mm. Nejlepší výsledky tokové analýzy byly dosaženy s modifikovaným vtokovým kanálem, který měl profil odpovídající šířce 9 mm a hloubce 7 mm.



Obr. 39 Detail rozvodového kanálu, který bylo třeba modifikovat.



Obr. 40 Profil rozváděcího kanálu před a po modifikaci.



Obr. 41 Toková analýza po úpravě vtokového kanálu – obě kavity se plní rovnoměrně.

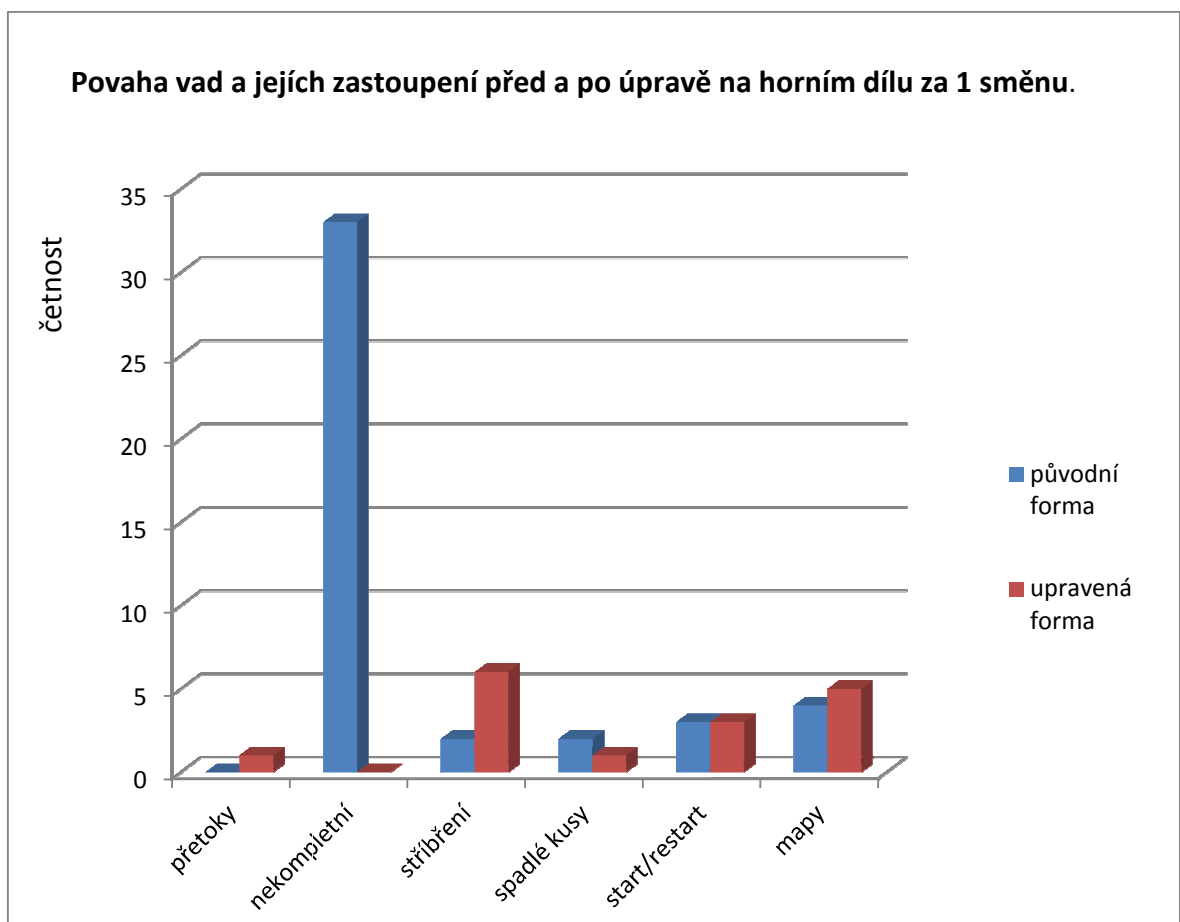
Po vypracování tokové analýzy bylo zřejmé, že vstřikovací proces je možné optimalizovat jednoduchým a nenákladným zásahem na formě. Zásah spočíval v rozšíření a prohloubení vtokového kanálu, což umožnilo větší průtok taveniny a tím pádem rychlejší zaplnění kavity. Zásah bylo díky jeho nenáročnosti možno provést přímo na oddělení Údržby forem. Po této úpravě se již problém s nedostříknutým upperem nevyskytoval.



Obr. 42 Detail upravovaného rozváděcího kanálu.

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

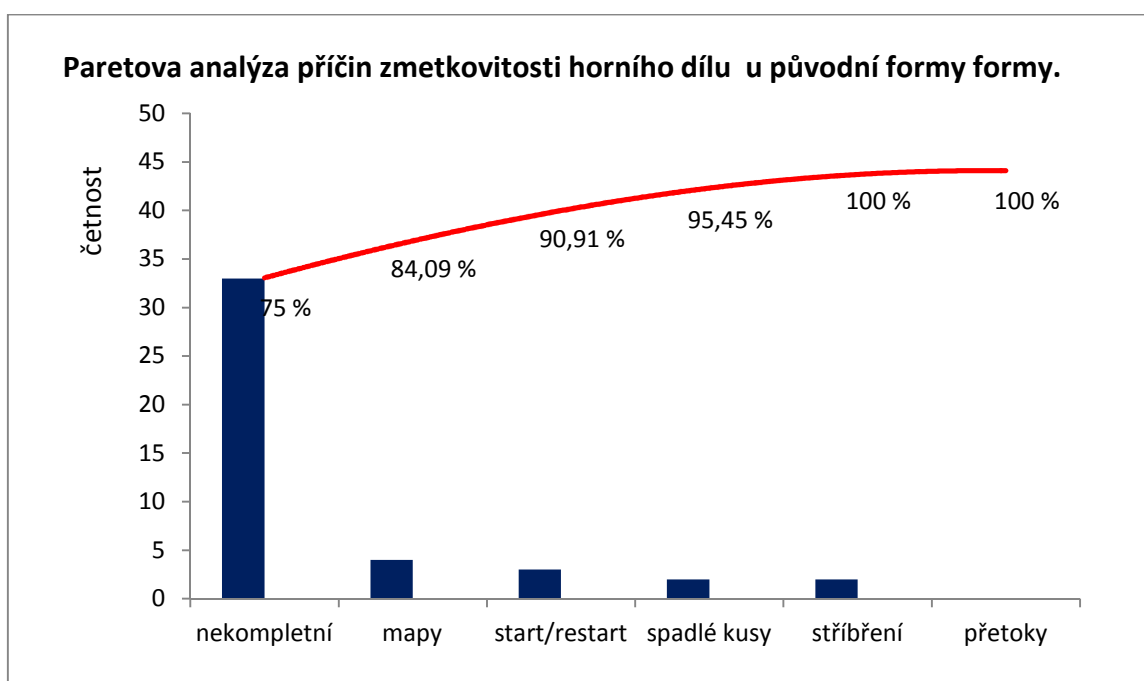
Ve snaze zkrátit vstřikovací proces výrobku, byly učiněny zásahy do parametrů procesu. Při aplikaci nových parametrů se ovšem ukázalo, že forma není na tyto hodnoty navržena a není schopna stabilně kvalitní produkce. Při zkoušce parametrů, kdy byla sledována výroba jedné směny, bylo zaznamenáno, že zmetkovitost u horního dílu činila neakceptovatelných 5,42 %. Největší podíl zmetků a to 75 % tvořila vada „nekompletní díl“. Tuto vadu bylo třeba odstranit, což se po pokusech o odstranění pomocí změny parametrů nepodařilo a bylo nutné provést úpravu ve tvarové dutině formy. Jak už bylo zmíněno, jednalo se o lehkou avšak důležitou úpravu profilu rozváděcího kanálu u spodního dílu. Tato úprava nevyžadovala žádné zvláštní technologické zařízení a postupy, na které by nebylo oddělení údržby forem vybaveno, takže byla provedena přímo ve výrobním podniku. Díky tomu byly náklady na úpravu formy zahrnuty do běžné údržby formy a nebylo třeba s nimi dále kalkulovat.



Graf 6 Zastoupení vad u horního dílu před a po úpravě formy.

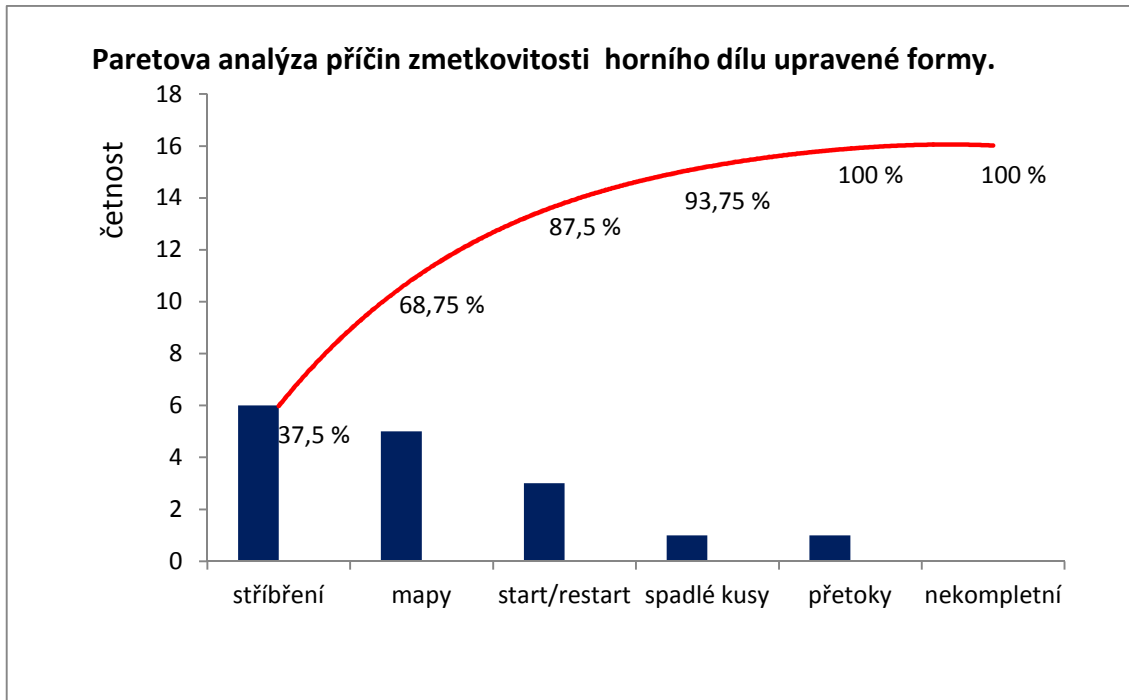
Tab. 8 Data sledování produkce jedné směny u původní a upravené formy.

výrobek	celkem kusy	dobré kusy	přetoky	nekompletní	stříbření	spadlé kusy	start/restart	mapy	celkem zmetků	zmetkovitost	přidaná hodnota	náklady na nekalitu
lower původní	812	797	2	0	6	2	3	2	15	1,85 %	326,8 €	4,50 €
upper původní	812	768	0	33	2	2	3	4	44	5,42 %	583,7 €	26,40 €
lower po úpravě	821	806	1	0	7	1	3	3	15	1,83 %	330,5 €	4,50 €
upper po úpravě	821	805	1	0	6	1	3	5	16	1,95 %	611,8 €	9,60 €



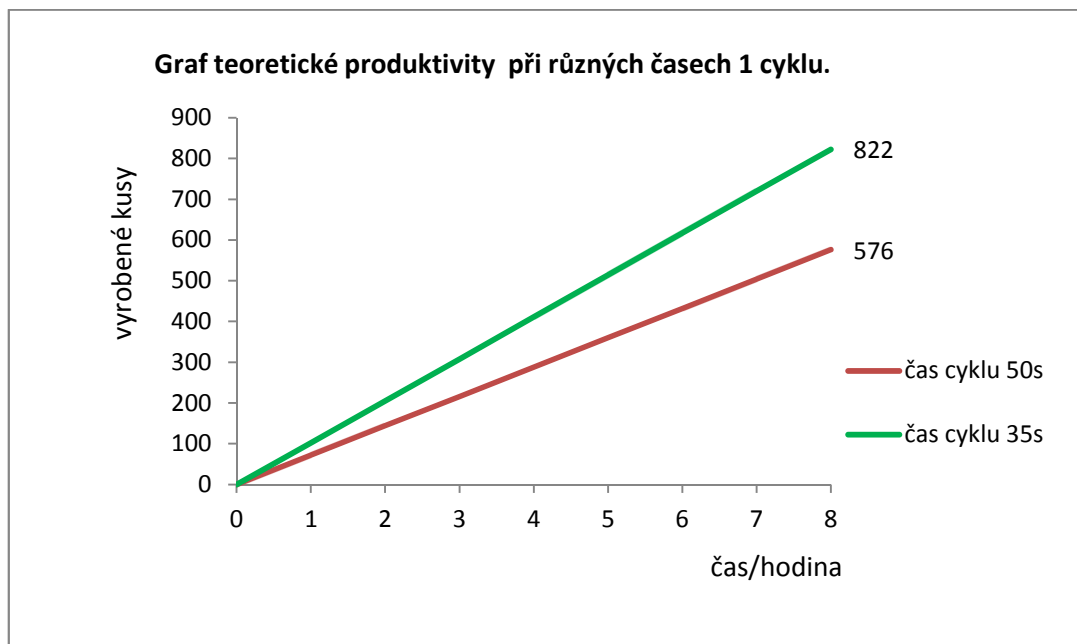
Graf 7 Paretova analýza zmetkovitosti horního dílu původní formy.

Po úpravě profilu vtokového kanálu spodního dílu byla provedena další zkouška, která zaznamenávala charakter vad a jejich četnost. Z pozorování vyplynulo, že se úpravou rozváděcího kanálu podařilo vadu „nekompletní díl“ eliminovat a celková zmetkovitost horního dílu tím klesla z neakceptovatelných 5,42 % na přijatelných 1,95 %. Z tohoto počtu vad nebyla vada „nekompletní díl“ zastoupena ani jednou.



Graf 8 Paretova analýza příčin zmetkovitosti u upravené formy.

Snížením času cyklu z 50 s na 35 s se zvýšila produktivita procesu o cca 43 %. Teoretická výrobnost za jednu směnu vzrostla z 576 kusů na 823 kusů. Teoretická přidaná hodnota vyrobených výrobků za jednu směnu při hodnotě 1,17 € za kus (0,41 € za spodní a 0,76 € za horní díl) se zvýšila o 288,82 € z původních 673,92 € na 962,74 €.



Graf 9 Produktivita před a po úpravě času cyklu.

9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Začátek praktické části je věnován popisu výrobku a jeho funkce, také bylo popsáno rozvržení pracoviště a bylo definováno, jak má z hlediska kvality výrobek vypadat a jak se toto kontroluje. Byl popsán materiál, ze kterého se výrobek vyrábí a byly uvedeny jeho fyzikální, mechanické, zpracovatelské a další vlastnosti. V rámci popisu strojního vybavení byl popsán vstřikovací stroj, na kterém proces probíhal, vstřikovací forma a další periferie.

Poté byl definován problém nerovnoměrného plnění kavit, který nastal v důsledku zkrácení vstřikovacího cyklu z 50 na 35 s. Aby mohl být vstřikovací cyklus takto zkrácen, muselo být pochopitelně vstřikováno do chladnější formy, což s sebou neslo problém onoho nerovnoměrného plnění kavit a tím pádem nekompletního naplnění jedné z nich, potažmo nedostříknutým výrobkem.

Celkem byly navrženy 3 možnosti, jak problém odstranit. První možnost uvažovala zvýšení vstřikovacích rychlostí, což mělo za následek zvýšení smykového tření, které způsobilo nižší viskozitu a tím pádem lepší stékavost taveniny, toto řešení sice odstranilo problém s nedostříknutým menším dílem, avšak způsobilo přeplnění dílu druhého, což se na pohled projevovalo přetoky a ostrými hranami, proto bylo od tohoto řešení upuštěno.

Druhá varianta řešila problém zvýšením teploty taveniny, což snížilo její viskozitu, bez nutnosti použít vyšší rychlost a tlak vstřiku. Toto řešení vyřešilo problém plnění kavit, ovšem kvůli použitým teplotám blízko horního limitu zpracovatelských teplot, byl už materiál tepelně natolik namáhán, že se to projevovalo lehkou degradací materiálu, což nebylo akceptovatelné jak z hlediska estetického, tak mechanického.

První dvě varianty se pokoušely odstranit problém pouze změnou procesních parametrů, bez nutnosti mechanického zásahu, třetí varianta se soustředila na úpravu vtokového systému tak, aby byl co nejlépe vyvážen a tím pádem docházelo k rovnoměrnějšímu plnění dutiny formy. Za tímto účelem byla provedena toková analýza v programu Autodesk Moldflow, která u originálního vtokového systému potvrdila problém nerovnoměrného plnění. Byla navržena změna profilu vtokového kanálu k větší části tak, aby se část plnila pomaleji a menší díl tak měl více času pro naplnění. Tato jednoduchá úprava, která byla proveditelná přímo ve výrobním podniku za pomoci běžných technologií, byla poté provedena fyzicky.

Zkušební provoz sledoval výrobu jedné směny a byl porovnán s výsledky jedné směny před úpravou. Zmetkovitost klesla z nepřijatelných 5,42 % na přípustných 1,95 %. Výrobnost se zkrácením cyklu z 50 s na 35 s zvýšila z 576 kusů za směnu na 822 kusů za směnu – tedy o 43 %.

ZÁVĚR

Úkolem praktické části bylo vyřešit problém s nerovnoměrným plněním dutiny dvoukavitové formy. Problém se projevil po zkrácení vstřikovacího cyklu při vstřikování do chladnější formy.

Byl proveden mechanický zásah na tvarové části vstřikovací formy, který pomocí změny profilu rozváděcího kanálu plnicího větší část výrobku, umožnil rovnoměrnější zaplnění obou dutin

Po úpravě formy bylo provedeno porovnání zmetkovitosti a zastoupení vad před a po úpravě, které prokázalo vhodnost úpravy vtokového kanálu spodního dílu. Tato úprava umožnila zvýšení výrobnosti o 43% z 576 ks/směna na 822ks/směna. Přitom tato úprava byla finančně velmi nenáročná avšak velice efektivní.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KREBS, Josef; SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi; praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů. 5. aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7*
- [2] ROSATO, Dominick V., Donald V. ROSATO a Marlene G. ROSATO. *Injection molding handbook. 3. Boston: Kluwer academic publishers, 2000. ISBN 0-7923-8619-1.*
- [3] HARPER, Charles A. a Edward M. PETRIE. *Plastics materials and processes: a concise encyclopedia. 2. Hoboken, New Jersey: A John Willey and sons, inc., 2003. ISBN 0-471-45603-9.*
- [4] NEUHÄUSL, E., ZEMAN, I.: *Vstřikování plastů-teorie a praxe: Základní kurs. Interní dokument fy PLAST FORM SERVICE, s.r.o., Praha, 2006.*
- [5] MM průmyslové spektrum: vady výstřiků. [online]. [cit. 2012-02-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/>
- [6] DVOŘÁK, Z. *Zpracovatelské procesy gumárenské – pro konstrukční směry, [Skripta], 1. vyd. Zlín:Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2009. 130 p. ISBN není*
- [7] STOKLASA, K. *Zpracovatelské inženýrství I – Základy gumárenské a plastikářské technologie, [Skripta], 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2007. 107 p. ISBN není*
- [8] MAŇAS, M.; HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení - Gumárenské a plastikářské stroje II, 1. vyd. Brno:VUT, 1990. 199 p. ISBN není*
- [9] LENFERD, P. Katedra tváření plastů – Skripta. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů. [Online] Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní – Katedra strojírenské technologie – Oddělení tváření kovů a plastů. 2008. http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm.*
- [10] PTÁČEK, L; a kolektiv : *Nauka o materiálu II. 2. opravené a rozšířené vyd. Brno: CERM s.r.o., 2002. ISBN 80-7204-248-3.*
- [11] KALOUC, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním, Praha: SNTL, 1986. 232 p. ISBN není*

- [12] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*, 2. vyd. Brno:UNIPLAST, 1999. 134 p. ISBN není.
- [13] ENGEL. [Online] [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: <http://www.engelglobal.com>
- [14] CUSTOM PART. [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z:
<http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>
- [15] GOOGLE IMAGES. [online]. Dostupné z:
<http://www.google.cz/imghp?hl=en&tab=wi>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

\bar{M}	Molární hmotnost.
T_g	Teplota skelného přechodu.
ABS	Akrylonitril-butadien-styren.
PVC	Polyvinylchlorid.
SAN	Styren-akrylonitril.
TiO_2	Oxid titaničitý.
UV	Ultrafialové (záření).
Sb	Antimon.
Sn	Cín.
Pb	Olovo.
Cu	Měď.
Fe	Železo.
Zn	Zinek.
C-vlákna	Uhlíková vlákna.
PA	Polyamid.
PA6	Polyamid 6.
PA66	Polyamid 66.
EPDM	Etylén-propylén-dien monomer.
EPM	Etylén-propylen monomer.
PE	Polyetylén.
LD-PE	Nízkohustotní polyetylén.
HD-PE	Vysokohustotní polyethylém.
N	Newton.
PP	Polypropylén.

T_m	Teplota tání.
PP/GF	Polypropylen plněný sklenými vlákny.
PS	Polystyrén.
$^{\circ}\text{C}$	Stupeň Celsia.
ITT	Index toku taveniny.
PA/GF	Polyamid plněný skelnými vlákny.
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci.
VI	Viskózní index.
POM	Polyoxymethylen.
POM/GF	Polyoxymethylen plněný sklenými vlákny.
PET	Polyethylentereftalát.
PET/GF	Polyethylentereftalát plněný sklenými vlákny.
PC	Polykarbonát.
T_f	Teplota formy.
T_T	Teplota taveniny.
τ	Smykové napětí.
η	Dynamická viskozita.
cm^3	Centimetr krychlový.
T	Teplota.
P	Tlak.
γ	Smyková rychlost.
v_s	Vstřikovací rychlost.
PMMA	Polymethyl-metakrylát.
PSU	Polysulfon.
PAEK	Polyakryl-eter-keon.

LCP	Polymer s tekutými krystaly (liquid crystal polymer).
P_v	Vstřikovací tlak.
P_f	Tlak ve formě.
t_v	Čas plnění.
t_d	Čas dotlaku.
$t_{och.}$	Čas chlazení.
R	Rádus.
ABS/PC	Akrylonitril-butadien-styren/polykarbonát kopolymer.
kg	kilogram.
m^3	Metr krychlový.
min	Minuta.
cm^3	Centimetr krychlový.
MPa	Megapascal.
KJ	KiloJoule.
m^2	Metr čtvereční.
kN	Kilonewton.
bar	Bar.
s	Sekunda.
kW	Kilowatt.
l	Litr.
ccm	Centimetr krychlový (cubic centimeter).
€	Euro.
a	Součinitel teplotní vodivosti.
\bar{T}	Průměrná teplota výstřiku po vyhození.
ks/směna	kusů za směnu

π Pí (Ludolfovo číslo).

d Tloušťka stěny.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Základní rozdělení plastů. [1]</i>	14
<i>Obr. 2 Struktury lineárních polymerů. [10]</i>	15
<i>Obr. 3 Struktury rozvětvených polymerů [10]</i>	16
<i>Obr. 4 Struktury zesíťovaných polymerů. [10]</i>	16
<i>Obr. 5 Kaučukovník, způsob odběru latexu.[15]</i>	17
<i>Obr. 6 Pistole Glock 19 Standard měla jako jedna z prvních zbraní rám vyrobený z polymeru, úspora hmotnosti 87%. [15]</i>	18
<i>Obr. 7 Fontánový tok při vstřikování plastů. [2]</i>	28
<i>Obr. 8 Vstřikovací stroj Engel. [13]</i>	30
<i>Obr. 9 Schéma vstřikovací jednotky. [14]</i>	31
<i>Obr. 10 Hydraulický zavírací systém. [2]</i>	32
<i>Obr. 11 Schéma vstřikovací formy. [14]</i>	35
<i>Obr. 12 Ukazka oddělení vtoku u třídeskové koncepce formy. [2]</i>	36
<i>Obr. 13 Příklad řešení vtokového systému pro osminásobnou formu. [1]</i>	37
<i>Obr. 14 Ukázka vtokového systému před a po zastříknutí.</i>	37
<i>Obr. 15 Příklady temperančních systémů formy. [9]</i>	39
<i>Obr. 16 Schéma vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků. [1]</i>	40
<i>Obr. 17 Manipulátor Engel. [13]</i>	41
<i>Obr. 18 Vstřikovací cyklus. [7]</i>	43
<i>Obr. 19 Fáze vstřikovací jednotky při vstřikovacím cyklu. [2]</i>	44
<i>Obr. 20 Přetok. [5]</i>	53
<i>Obr. 21 Simulace nedotečení materiálu. [5]</i>	54
<i>Obr. 22 Propadliny. [5]</i>	54
<i>Obr. 23 Dieselův efekt. [9]</i>	55
<i>Obr. 24 Schéma uspořádání pracoviště.</i>	58
<i>Obr. 25 Dvě části výrobku (vlevo horní, vpravo dolní), v pozadí těsnění zapalování.</i>	59
<i>Obr. 26 Demonstrace měření.</i>	61
<i>Obr. 27 Centrální sušička materiálů.</i>	62
<i>Obr. 28 Detail materiálu PULSETM 920 MG UV</i>	62
<i>Obr. 29 Stroj Demag Ergotech 420/810.</i>	65
<i>Obr. 30 Schéma 2 - bodových horkých vtoků Rabourdin série RP.</i>	66
<i>Obr. 31 Detail vyhazovačů a pomocných rovin – mobilní část.</i>	67

<i>Obr. 32 Detail šikmých naváděcích kolíků pro pomocné roviny – fixní část.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 33 Manipulátor Sepro [15].</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 34 Zjednodušené schéma řídicího programu manipulátoru.</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 35 Způsob odkládání výstřiků na pás.</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 36 Ukázka problému: vlevo dobrý kus, vpravo nedostříknutý kus.</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 37 Přetok v důsledku přeplnění kavity spodního dílu.</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 38 Na tokové analýze je zřejmé nerovnoměrné zaplňování kavit.</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 39 Detail rozvodového kanálu, který bylo třeba modifikovat.</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 40 Profil rozváděcího kanálu před a po modifikaci.</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 41 Toková analýza po úpravě vtokového kanálu – obě kavity se plní rovnoměrně.</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 42 Detail upravovaného rozváděcího kanálu.</i>	<i>78</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1 Spotřeba plastů. [1]</i>	27
<i>Graf 2 Spotřeba plastů podle aplikací. [1]</i>	27
<i>Graf 3 Graf závislosti tlaku taveniny na čase při vstřikování. [2]</i>	45
<i>Graf 4 Průběh vstřikovacích rychlostí</i>	74
<i>Graf 5 Porovnání nastavení teplot</i>	76
<i>Graf 6 Zastoupení vad u horního dílu před a po úpravě formy</i>	79
<i>Graf 7 Paretova analýza zmetkovitosti horního dílu původní formy</i>	80
<i>Graf 8 Paretova analýza příčin zmetkovitosti u upravené formy</i>	81
<i>Graf 9 Produktivita před a po úpravě času cyklu</i>	81

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Požadované teploty taveniny a formy pro jednotlivé plasty. [1]</i>	47
<i>Tab. 2 Plán měření</i>	60
<i>Tab. 3 Vlastnosti materiálu</i>	63
<i>Tab. 4 Parametry stroje Demag 420/810 ergotech</i>	64
<i>Tab. 5 Výchozí parametry vstřikovacího procesu</i>	72
<i>Tab. 6 Upravené parametry vstřikovacího procesu – úprava vstřikovací rychlosti</i>	73
<i>Tab. 7 Upravené parametry vstřikovacího procesu – teplota taveniny</i>	75
<i>Tab. 9 Data sledování produkce jedné směny u původní a upravené formy</i>	80

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Toková analýza před úpravou formy.
- P II Toková analýza po úpravě formy.
- P III CD-ROM disk.