

Problematika výroby elektrotechnické součástky

Bc. Tomáš Fiala

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. Tomáš FIALA**
Osobní číslo: **T10748**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Problematika výroby elektrotechnické součástky**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Proveďte rozbor stávajícího řešení a navrhnete úpravy.
3. Zkonstruuje vstřikovací formu a ověřte ji analýzami.
4. Vyhodnoťte zjištěné skutečnosti.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Štěpán Šanda

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

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 obhajoby ¹⁾;
- 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. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 § 60 ³⁾ 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

.....

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 nevdělečně 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 užít 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 výtěžku 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 přihlédne k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tématem této diplomové práce je návrh formy pro díl sestavy stykače, konkrétně komory. Nová forma je navržena tak, aby omezila rizika, která jsou diskutována u současné formy. Zejména se jedná o deformace a přetoky výrobku. V teoretické části jsou stručně popsány polymery, jejich vnitřní struktura a rozdělení, detailněji je popsána metoda vstřikování plastů a s ní související výrobní prostředky, formy a stroje. Závěr teoretické části představuje plasty v elektrotechnických aplikacích, jejich vlastnosti a zkoušení spolu s příklady nejpoužívanějších typů plastů. V praktické části je popsán stykač, jeho jednotlivé části, funkce a materiál, ze kterého je vyráběn. Je zde diskutována současná forma a rizika použitého konceptu s ohledem na kvalitu výrobku. Z možných způsobů nového řešení byla vybrána ta nejvhodnější varianta a byla navržena forma, která by měla maximálně omezit kvalitativní nedostatky současného řešení. Obě formy jsou v závěru práce porovnány tokovými analýzami a vyhodnoceny s ohledem na kvalitu výrobku a ekonomiku výroby.

Klíčová slova: Polymery, Elektrotechnika, Vstřikování, Vstřikovací forma.

ABSTRACT

The topic of this thesis is a design of an injection mold for one part of a contactor assembly, specifically the arc shield. New mold is designed to eliminate all risks discussed in the current mold solution. It is mainly about the deformations and flashes of the product. There are briefly described the polymers, their structure and breakdown in the theoretical part of this thesis, there is also an injection molding technology more deeply described in this part and the means of production associated with this technology. The conclusion of the theoretical part introduces the plastic materials in the electric applications, their properties and the testing together with the most used types of plastic materials and the examples of the applications. There is a contactor described in the practical part of this thesis, its function, parts and material, which it is made from. It is discussed the current mold in this section, the risks of the used mold concept in a scope of the part quality. There were chosen the best option from the possible ones in this part of thesis and the new tool was designed to eliminate as much as possible the quality deficiencies of the current solution. Both of the tools are compared together at the end of this thesis by the mold flow analysis and the results were evaluated with regard to part quality and production efficiency.

Keywords: Polymers, Electronic, Electric, Injection molding, Injection mold.

MOTTO:

Vzdělání nám otevírá mnoho dveří.

PODĚKOVÁNÍ:

Mé poděkování patří v první řadě vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Štěpánovi Šandovi, a to nejenom za skvělou spolupráci, pomoc a rady během psaní této diplomové práce, ale i za jeho přednášky, přístup a snahu předat nám co nejvíc informací. Rád bych touto cestou poděkoval i panu doc. Miroslavu Maňasovi, za jeho přístup k nám studentům a velkou podporu. Chci poděkovat také své ženě Jitce a synům Jakobovi a Štěpánkovi, za jejich bezbřehou trpělivost a podporu. Za totéž děkuji i svým rodičům a sourozencům. Zvláštní dík patří bratrovi Františkovi, který mi poskytl ve Zlíně zázemí. Poděkování bych chtěl věnovat i svému vedoucímu panu Ing. Jiřímu Kálalovi z firmy Schneider-Electric, za jeho toleranci k mému studiu a podporu, kterou mi na všech „frontách“ poskytl. Nakonec chci poděkovat svým spolužákům za skvělou partu, kterou se nám povedlo vytvořit a za čas strávený spolu. Byl pro mě velkým přínosem.

Vám všem velké díky.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 NADMOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLYMERŮ (MORFOLOGIE).....	14
1.1.1 Amorfnní struktura.....	14
1.1.2 Krystalická struktura.....	14
1.2 ELASTOMERY.....	15
1.3 PLASTY.....	16
1.3.1 Reaktoplasty.....	16
1.3.2 Termoplasty.....	17
2 ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ VSTŘIKOVÁNÍM	20
2.1 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ.....	20
2.2 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	21
2.2.1 Stavba formy.....	22
2.2.2 Vtokový systém.....	23
2.2.3 Temperační systém.....	26
2.2.4 Vyhazovací systém.....	30
2.2.5 Posuvné čelisti.....	31
2.2.6 Materiály forem.....	32
2.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	33
2.4 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	34
2.4.1 Vstřikovací jednotka.....	34
2.4.2 Zavírací jednotka.....	36
2.4.3 Rám stroje.....	38
3 PLASTY V ELEKTROTECHNICE	39
3.1 POLYMERY PRO ELEKTROTECHNICKÉ APLIKACE.....	39
3.1.1 Typické vlastnosti polymerů pro elektrotechnické aplikace.....	39
3.1.2 Důležité testovací metody.....	42
3.1.3 Běžně používané materiály pro elektrotechnické aplikace.....	44
3.1.4 Modifikace polymerů.....	48
4 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	51
II PRAKTICKÁ ČÁST	52
5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	53
6 STYKAČ	54
6.1 POPIS STYKAČE.....	54
6.2 MATERIÁL KOMORY STYKAČE.....	56
7 VOLBA KONCEPTU FORMY	57
7.1 ANALÝZA SOUČASNÉ FORMY.....	57
7.2 ANALÝZA SOUČÁSTKY – UMÍSTĚNÍ VTOKU.....	58
7.3 VARIANTY ŘEŠENÍ.....	59
7.3.1 Násobnost formy.....	59
7.3.2 Zaformování výrobku.....	59

7.3.3	Formování bočních otvorů a záporných úhlů.....	60
7.3.4	Vtoková soustava	60
8	FORMA.....	65
8.1	RÁM FORMY	65
8.2	DUTINA FORMY	68
8.3	VTKOVÝ SYSTÉM	69
8.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	69
8.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	71
8.6	ODVZDUŠNĚNÍ.....	73
9	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	74
10	TOKOVÉ ANALÝZY.....	75
10.1	UMÍSTĚNÍ VTKOVÉHO ÚSTÍ.....	75
10.2	POROVNÁNÍ ANALÝZ SOUČASNÉ A NOVÉ FORMY.....	76
10.2.1	Analýza plnění	76
10.2.2	Analýza chlazení výstřiku	77
10.2.3	Analýza deformací	79
11	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	83
12	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	84
	ZÁVĚR	86
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	87
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ	93
	SEZNAM TABULEK.....	96
	SEZNAM PŘÍLOH.....	97

ÚVOD

Plasty byly již od svého počátku v 19. století velmi inovační a kreativní. První umělá hmota vznikla jako výsledek pokusů profesora Alexandera Parkese už v roce 1850. Byla tvrdá, pružná a průsvitná hmota byla pojmenována parkesin. Téměř o dvacet let později tuto novinku zdokonalil Američan John Hyatt a vyrobil z ní např. kulečnickové koule. Hmotě se začalo říkat celuloid. V roce 1904 pak Belgičan Leo Baekeland vynalezl, na rozdíl od celuloidu, nehořlavý bakelit. [1]

V následujících desetiletích pak plasty stále markantněji odhalovaly svůj enormní inovační potenciál. Díky novým variantám a modifikacím i díky stálému zlepšování techniky zpracování vznikalo stále více a více nových profilových vlastností přizpůsobených určitým aplikacím a způsobu použití.[1]

Rozvoj plastů nemá v materiálové historii obdoby. Je srovnatelný snad jen s dynamikou výroby oceli v období první průmyslové revoluce devatenáctého století. Dnes polymerní materiály představují nejvýznamnější segment výroby a spotřeby podle objemu mezi všemi technickými materiály. V současnosti není srovnatelný obor, pokud se týká novinek v materiálech, technologiích zpracování i finálních výrobků. [1]

Ruku v ruce s vývojem plastů jde i vývoj jejich zpracovatelských technologií. Vyvíjí se stále lepší a přesnější metody, které přinášejí úsporu materiálů, zrychlení výroby, lepší kontrolu procesů a tím zvyšují kvalitu výrobků a efektivitu výroby.

Tato práce se zabývá návrhem vstřikovací formy tak, aby se co nejvíce potlačily defekty výrobku, které jsou přítomny ve stávající výrobě. Současná forma je podrobena rozboru a na základě zjištěných skutečností je zkonstruována forma nová. Oba koncepty jsou mezi sebou porovnány pomocí tokových analýz. Snahou je, alespoň v teoretické rovině, ověřit nové řešení nástroje a ukázat tak smysluplnost nasazení softwarových simulací při řešení podobných úkolů.

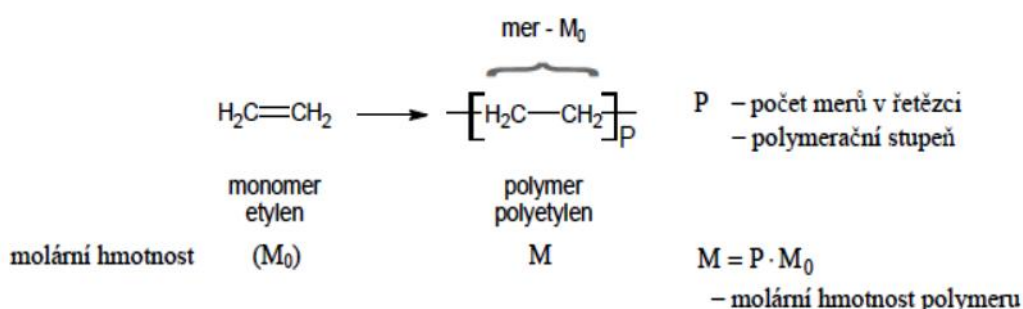
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymery jsou látky vyznačující se tím, že jejich základními jednotkami jsou extrémně velké molekuly – makromolekuly. Význam slova polymer: poly = mnoho; meros = část; monos = jediný; oligo = několik. [2]

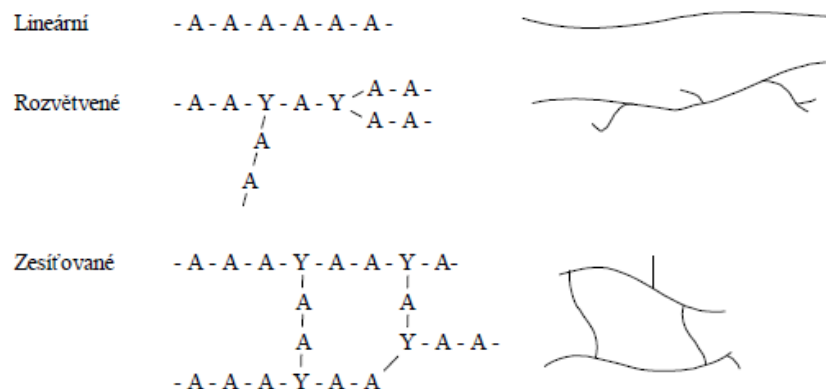
Makromolekuly

Makromolekuly vznikají spojením velkého počtu opakujících se částí – *merů*. Mery jsou zůstatky ze spojujících se výchozích molekul – monomerů. Malé množství spojených merů se označuje jako – *oligomer*, velké množství pak jako – *polymer*. [2]



Obr. 1. Příklad polymeru – polyetylen a určení molární hmotnosti. [2]

Vlastnosti polymerů jsou dány jejich vnitřní strukturou a způsobem propojení makromolekul. Makromolekuly mohou být v nejjednodušším případě lineární, obecněji rozvětvené a ve speciálních případech zesíťované, viz obrázek 2, kde A je dvoufunkční jednotka (monomer) a Y je trojfunkční jednotka.[2]



Obr. 2. Stavba a skladba makromolekul.[2]

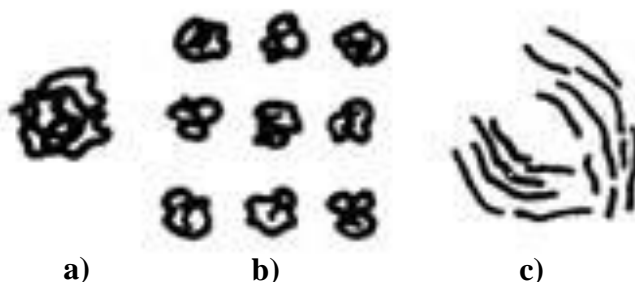
Dalšími variantami makromolekul jsou, za použití dvou druhů jednotek (monomerů) A a B, kopolymery s uspořádáním zobrazeným na obrázku 3. [2]

1.1 Nadmolekulární struktura polymerů (morfologie)

Nadmolekulární struktura (stupeň uspořádanosti makromolekul) může být popsána jako amorfní nebo krystalická. [5]

1.1.1 Amorfní struktura

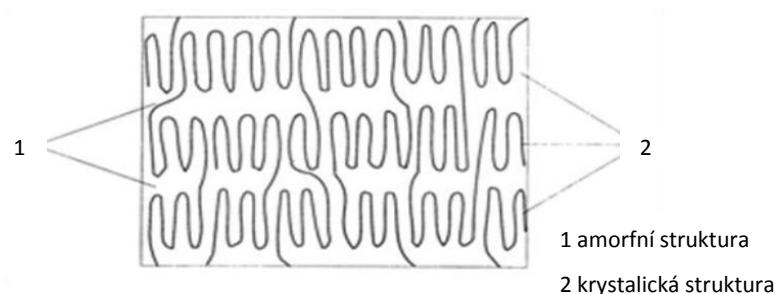
Amorfní strukturou rozumíme strukturu bez jakékoliv uspořádanosti (struktura chaotická). Základním morfologickým útvarem této struktury jsou globuly (neboli klubíčka) o velikosti 10 až 30 nm, které jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. [5]



Obr. 6. Nadmolekulární struktura amorfních plastů: a) globula, b) uspořádání globul, c) svazek. [5]

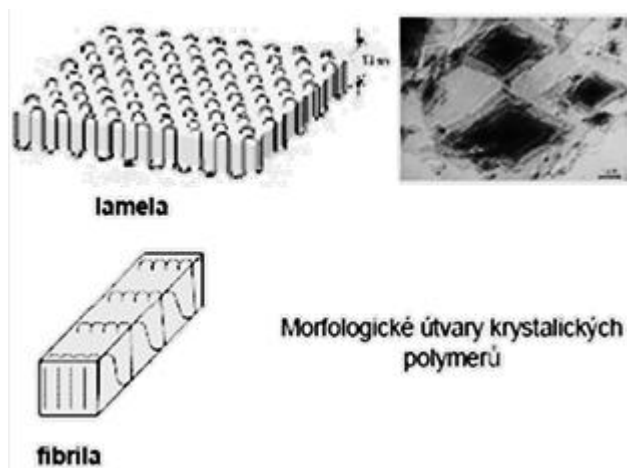
1.1.2 Krystalická struktura

Krystalická struktura vykazuje, na rozdíl od amorfní, určitou uspořádanost, kdy jsou úseky makromolekul uloženy těsně vedle sebe. Tyto úseky v běžných podmínkách nevyplňují celý objem polymeru, ale jsou obklopena neuspořádanými (amorfními) částmi makromolekul. Nemluvíme tedy o krystalických polymerech, ale o polymerech semikrystalických.

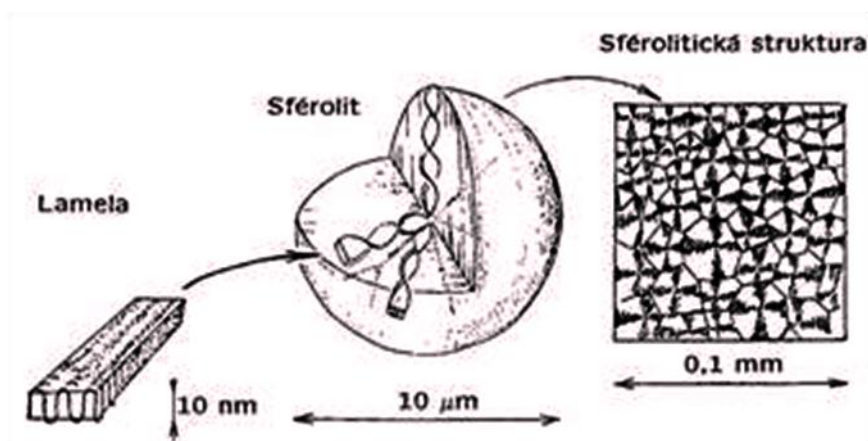


Obr. 7. Uspořádání makromolekul v semikrystalické struktuře. [6]

Míru uspořádanosti ve struktuře vyjadřujeme tzv. stupněm krystalinity. Stupeň krystalinity udává relativní podíl krystalických oblastí ve hmotě. [5] Základním morfologickým útvarem jsou tzv. lamely, fibrily. Fibrily jsou vláknité útvary, které vznikají při smykovém namáhání krystalizujícího polymeru. [7] U reálných výrobků se při tuhnutí z tavenin polymerů vytvářejí útvary, nazývané sférolity. Jedná se o shluky lamel, které vychází ze společného centra a rozrůstají se na všechny strany, často jsou vrtulovitě stočené. [5]



Obr. 8. Morfologické útvary krystalických polymerů. [7]



Obr. 9. Sférolitická struktura semikrystalických termoplastů. [5]

1.2 Elastomery

Eleastomer je vysoce elastický polymer, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Nejpočetnějším zástupcem elastomerů jsou kaučuky. [4]

Makromolekuly tvoří amorfni strukturu a jsou spojeny přičnými chemickými vazbami s velmi malou koncentrací (Obr. 10), a právě ta propůjčuje elastomerům jejich elastické vlastnosti. K vytvoření přičných vazeb dochází reakcí lineárních nebo rozvětvených polymerů při zpracování. U kaučukové směsi dochází k zesíťování po přimíchání síry, tento proces se nazývá vulkanizace. Díky chemickým vazbám mezi molekulami, nelze elastomery po vulkanizaci opětovně zpracovávat. Elastomery jsou nerozpustné a bobtnají.



Elastomery (řídce zesíťované)

Obr. 10. Makromolekulární struktura elastomerů. [6]

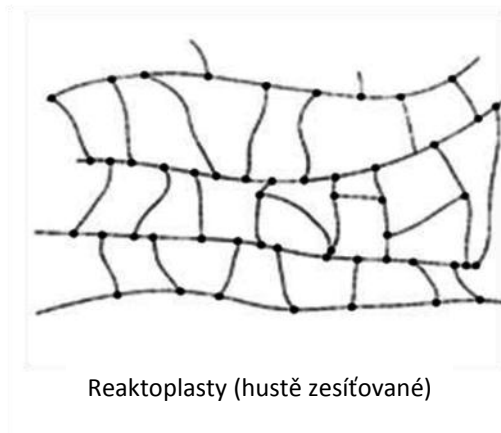
1.3 Plasty

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými (odtud název) a tvarovatelnými. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu vratná (opakovatelná), nazýváme je termoplasty. Pokud jde o změnu nevratnou (neopakovatelnou, trvalou), protože je výsledkem chemické reakce (často probíhající za zvýšené teploty), mluvíme o reaktoplastech.[4] Lineární makromolekuly vytváří, na rozdíl od rozvětvených makromolekul, uspořádanější nadmolekulární strukturu a zesíťované makromolekuly strukturu neuspořádanou. Termoplasty tak mohou mít amorfni nebo semikrystalickou nadmolekulární strukturu, zatímco reaktoplasty pouze strukturu amorfni. [5]

1.3.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty vytvářejí během zpracování, stejně jako elastomery, přičné chemické vazby mezi makromolekulami (vytvrzování) a jsou také opakovatelně nezpracovatelné. Na rozdíl od elastomerů, ale koncentrace těchto vazeb tvoří velmi hustou síť a proto jsou reaktoplas-

ty pevné, křehké a chemicky odolné. Typickými zástupci reaktoplastů jsou polyestery nebo fenolformaldehydové pryskyřice.



Obr. 11. Makromolekulární struktura reaktoplastů. [6]

1.3.2 Termoplasty

Termoplasty jsou houževnaté a rozpustné. Mají molekuly zesíťovány fyzikálními vazbami, které nejsou tak pevné jako chemické, a proto můžeme termoplasty opakovaně zpracovávat (dají se opakovaně tavit). Podle povahy vazeb dále dělíme termoplasty na amorfní a semikrystalické. Vnitřní struktura termoplastů ovlivňuje nejen výsledné fyzikální a mechanické vlastnosti a jejich závislost na teplotě - termodynamické vlastnosti, která je obecně u plastů mnohem větší než u ostatních konstrukčních materiálů.

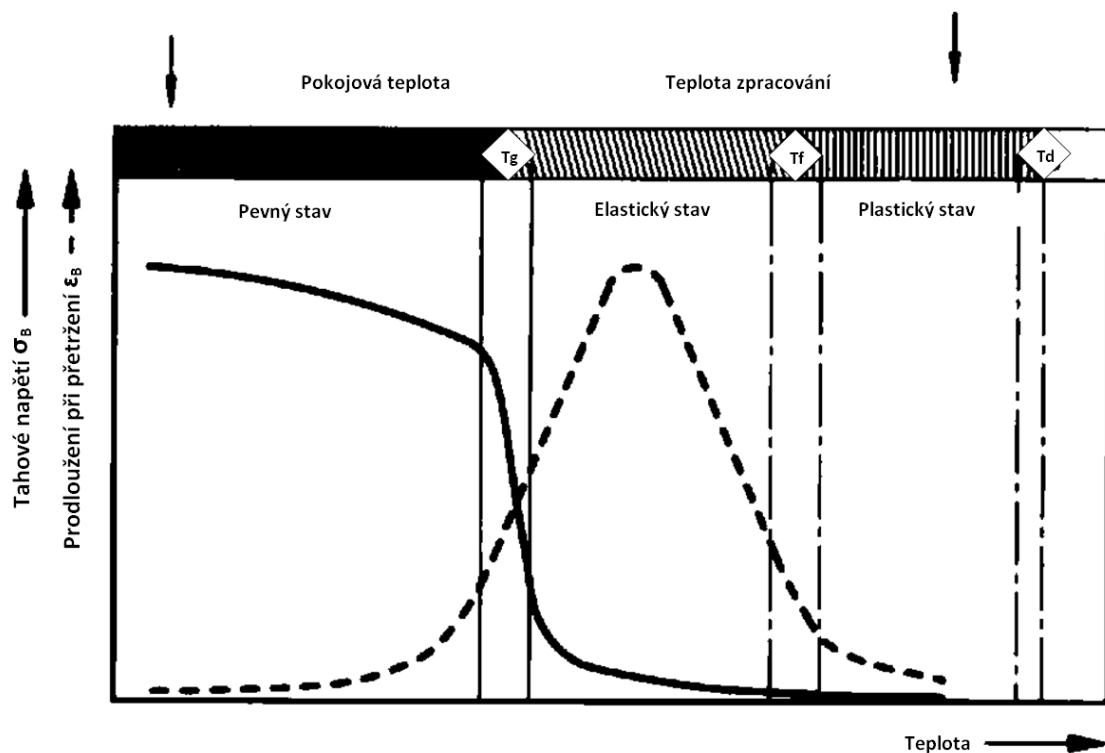
Změny vlastností probíhají v určitých teplotních oblastech rychleji nebo skokově, tyto oblasti se nazývají přechodové s přechodovými teplotami T_g , T_f a T_m . [4] Kde T_g je teplota skelného přechodu, T_f teplota viskózního toku a T_m je teplota tání.

Pro každý polymer je charakteristická tzv. termomechanická křivka, která udává teplotní závislost deformace (resp. napětí) vznikající působením konstantní vnější síly (způsobující konstantní deformaci). [8]

Amorfní termoplasty

Jak bylo uvedeno výše, tak makromolekuly amorfních plastů zaujímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Amorfní termoplasty jsou tvrdé, křehké, mají vysokou pevnost a modul pružnosti. Podle propustnosti světla jsou průhledné až čiré. Tepelné smrštění při zpracování je, s ohledem na vnitřní neuspořádanou strukturu, mnohem menší než u semikrystalických plastů. [5]

Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesklenní T_g . Pod teplotou T_g se amorfní polymer nachází ve sklovitém stavu a modul pružnosti se mění skokově asi o tři řády. Konkrétní hodnota T_g je přímo závislá na velikosti makromolekulárních sil – čím větší jsou makromolekulární síly, tím vyšší je teplota T_g . [4] Mezi teplotou T_g a T_f se amorfní plast nachází v kaučukovitém stavu a nad T_f , ve stavu plastickém, kdy dochází při působení vnější síly k viskóznímu toku. [8] Nad teplotou T_f leží zpracovatelská oblast amorfního plastu (mluvíme-li o vstřikování). Dalším zvyšováním teploty plastu dojde k jeho degradaci – rozpadu makromolekul, teplota T_d .



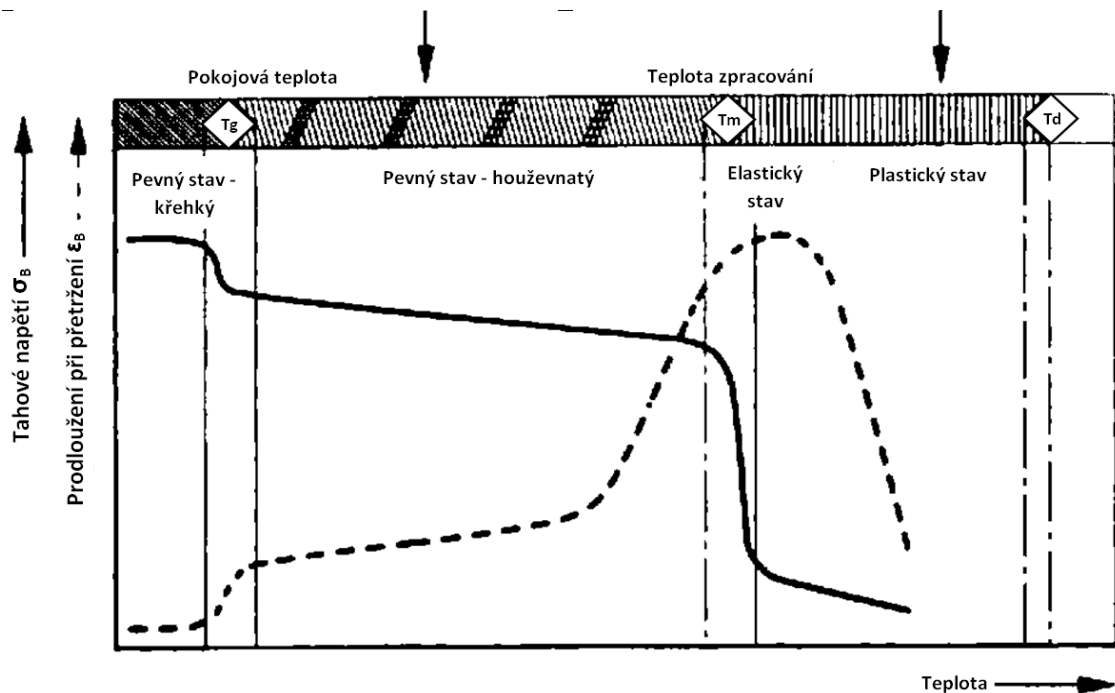
Obr. 12. Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu. [9]

Semikrystalické termoplasty

Krystalické (semikrystalické) plasty vykazují určitý stupeň uspořádanosti vnitřní struktury makromolekul. Stupeň krystalinity se pohybuje se od 40 do 90 %. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené a jejich typickými vlastnostmi je houževnatost, pevnost a modul pružnosti rostou se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m . [5]

Pod teplotou T_m je krystalická struktura již uspořádána a změny vlastností jsou ovlivňovány hlavně amorfním podílem vnitřní struktury plastu (vysoce krystalické polymery nevykazují kaučukovitou oblast) a proto dochází ke skokové změně vlastností až v oblasti tep-

loty tání T_m , kdy přechází do kaučkovitého stavu i krystalický podíl. U semikrystalického polymeru se pod T_g nachází amorfni podíl ve sklovitém stavu (čím nižší stupeň krystalinity, tím jsou změny vlastností při T_g více patrné), mezi T_g a T_m je amorfni podíl v polymeru v kaučkovitém stavu. [8]



Obr. 13. Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu. [9]

Plasty mají v dnešní době stále širší uplatnění a jsou hojně využívány jako náhrada za kovy. Zde jsou výhodou hlavně menší měrná hmotnost a relativně jednoduché zpracování do konečné podoby výrobku. Jejich mechanické vlastnosti jsou ale mnohem horší a především závislost těchto vlastností na teplotě a chování při dlouhodobém zatížení, kdy dochází k postupnému uvolňování napětí a tečení materiálu - creep, sťažují implementaci plastů. Nejen zmírnění všech těchto nedostatků, ale i modifikace fyzikálních vlastností se provádí různými způsoby od přidávání plniv nebo aditiv do základního materiálu až po dodatečné úpravy už hotových výrobků, jako je například ozařování.

2 ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ VSTŘIKOVÁNÍM

Existuje mnoho způsobů zpracování polymerů, které můžeme rozdělit podle technologie.

Tvářecí technologie - ohřátý materiál se tváří nad teplotou T_f (T_m), jde o velké přemísťování částic. Patří sem: lisování, přetlačování, vstřikování, vytlačování, válcování apod. [9]

Tvarovací technologie - je proces, při kterém dochází k malému přemísťování částic při teplotách nad T_g nebo pod T_m . Patří sem: ohýbání, protahování folii, desek, profilů, trubek apod. [9]

Doplňkové technologie - slouží k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (míchání a hnětení, sušení, granulace, předehřev, atd.), a nebo naopak k úpravě finálních výrobků (po-tiskování, natírání, atd.) a také recyklace. [10]

2.1 Vstřikování plastů

Vstřikování plastů je cyklický tvářecí proces, při kterém se materiál v plastickém stavu, nad teplotou T_m – semikrystalické nebo T_f - amorfni plasty, vstřikuje vysokou rychlostí do uzavřené, temperované dutiny formy. [9] Touto technologií je možno zpracovávat termoplasty, reaktoplasty ale i elastomery.

Cyklický proces znamená, že žádný výrobek (výstřik) není zcela stejný a každý cyklus je ovlivněn mnoha faktory, které mají vliv na výsledek. Faktory nejvíce ovlivňující vstřikovací proces jsou vstřikovací stroj, použitý plast a vstřikovací forma. Do procesu dále zasahují i okolní podmínky, jako teplota nebo vlhkost vzduchu. Aby bylo možné vyrábět kvalitní produkty, je nezbytné udržet udržitelné procesní parametry (nastavení stroje, teplota formy aj.) v předepsaných a ověřených mezích. Parametry, které ovlivnit nelze, je snahou z procesu odstranit nebo omezit jejich vliv.

Během procesu vstřikování je forma upnuta v pracovním prostoru vstřikovacího stroje a po uzavření je do ní vpraven plast, připravený ve vstřikovací jednotce. Potom se forma otevře a hotový výrobek je vyhozen z formy. Celý tento proces se opakuje až do vyrobení požadovaného množství výrobků.

Výrobek má, ve většině případů, už finální podobu a není potřeba ho nikterak upravovat pro montáž nebo jiné použití. Výrobní časy cyklů se pohybují v řádu sekund až desítek minut, výstřiky mají hmotnost od desetin gramu až po kilogramy a lze vyrobit i několik dílů (i desítek) najednou v závislosti na násobnosti formy. Jedná se tedy o velmi produk-

tivní způsob výroby. Postupem času bylo vyvinuto mnoho technik vstřikování plastů, které rozšiřují možnosti této technologie, např. multikomponentní vstřikování, sendvičové vstřikování, intervalové vstřikování, RIM - reakční vstřikování, MUCELL – napěňování plastů plynem, CIM - vstřikování s dolisováním nebo, velmi rozšířená technologie, overmolding – zastříkávání, proces, při kterém je do formy nejprve vložen díl (část výrobku) a ten je potom obstříknut plastem. Tímto způsobem se vyrábí například nářadí, kde se do formy vloží nejdříve funkční kovová část a rukojeť je vyrobena obstříknutím. Hojně používané je také zastříkávání závitových kovových vložek.

2.2 Vstřikovací forma

Vstřikovací forma je výrobní nástroj pro vstřikování plastů. Jedná se o složité zařízení, na kterém ve velké míře závisí kvalita výsledného produktu. [6]

Základními úkoly formy jsou rozvod taveniny, tvarování a chlazení materiálu (nebo vytváření aktivačního tepla pro termosety a termoplasty), tuhnutí taveniny a vyhazování výrobků. Všechny tyto funkce je možno plnit pomocí následujících funkčních celků:[11]

- vtokový systém a systém rozvodných kanálů;
- dutina formy (odvzdušnění);
- systémy tepelné výměny (chlazení, topení);
- vyhazovací systém;
- systémy vodících a polohovacích prvků;
- systém upínání formy na vstřikovací stroj;
- rozložení zavírací síly;
- přenos pohybů.

Z ekonomického hlediska je důležité, aby byl výrobní cyklus co nejkratší. Z pohledu kvality je nutné zabezpečit, aby nebyl výrobek nebo forma žádným způsobem poškozen během vyhazování z formy. To bývá problém zejména u složitých výrobků.[11]

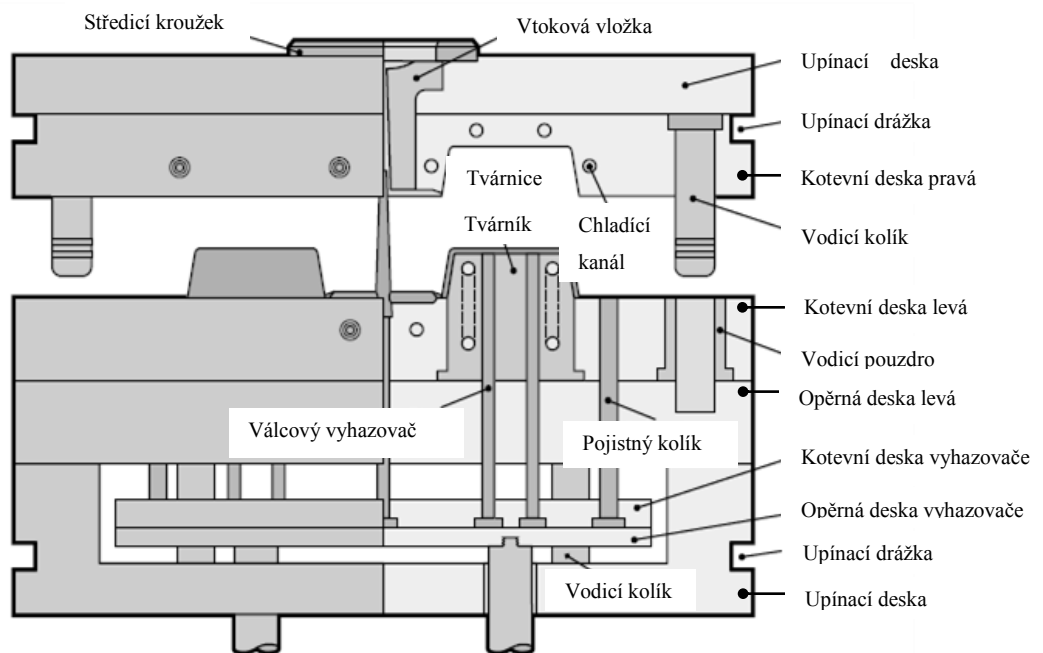
Konstrukce formy by měla zajistit: [12]

- vysokou přesnost a požadovanou jakost dutiny formy a všech funkčních dílů;

- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí i celků formy pro zachycení tlaků vznikajících při vstřikování;
- správnou funkci formy, vhodný vtokový, temperační a vyhazovací systém, vhodné odvzdušnění, temperování apod.;
- optimální životnost zaručenou konstrukcí, materiálem i výrobou.

2.2.1 Stavba formy

Forma je složena z mnoha částí. Základem jsou desky smontované dohromady a vycentrované středícími prvky. Tyto desky vytvářejí rám formy. Rám nese ostatní funkční části. [6] Existuje velké množství konstrukčních řešení forem. Všechny typy obsahují dvě základní části: tvárník a tvárnice. Tvárník formuje hlavní vnitřní tvary dílu a tvárnice tvaruje hlavní externí tvary. U běžných typů forem je tvárník na pohyblivé části a tvárnice na pevné části formy. Plocha, kde se stýkají pohyblivá a pevná část formy, se nazývá dělicí rovina. Při otevření formy se tvárník a tvárnice oddělí, tak je možno díl vyjmout.[6]



Obr. 14. Popis dvoudeskové formy.[10]

Vstřikovací formy lze podle provedení rozdělit do následujících skupin: [11]

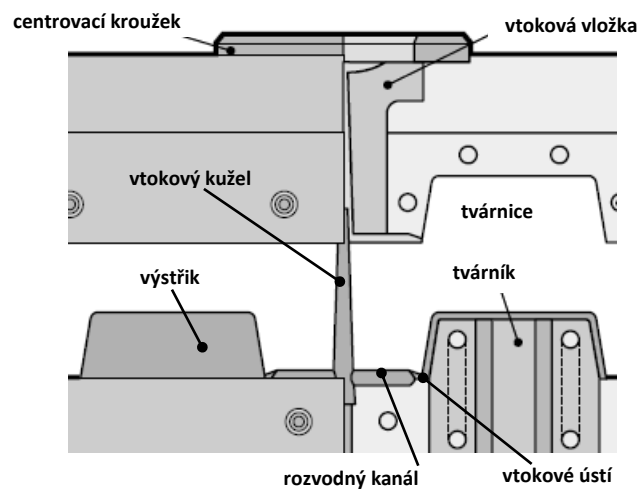
- podle konstrukce vstřikovacích strojů na formy s vtokem kolmo na dělicí rovinu nebo s vtokem do dělicí roviny;
- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné;

- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na formy dvoudeskové, třideskové, etážové, čelistové a vytáčeční;
- podle způsobu vyhazování výstřiků na formy s mechanickým vyhazováním, s pneumatickým vyhazováním, se stírací deskou, s kombinovaným vyhazováním;
- podle použitého vtokového systému na formy se studeným vtokovým systémem (SVS) a s vytápěným vtokovým systémem (VVS)

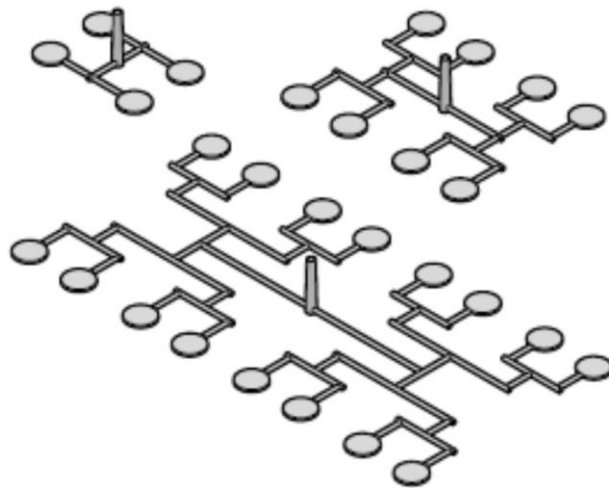
Příklady základních konstrukčních řešení vstříkovacích forem jsou zobrazeny v příloze P I a P II.

2.2.2 Vtokový systém

Vtokový systém umožňuje vstup taveniny do uzavřené formy, spojuje trysku vstříkovací jednotky a tvarové dutiny formy. [12] Musí zajišťovat správné rovnoměrné naplnění dutiny formy, snadné odtržení, nebo oddělení od výstřiku, snadné vyhození vtokového zbytku a objem vtokové soustavy omezit na minimum. [12] Tavenina je vstříknuta vstříkovací jednotkou, skrze vtokovou vložku, do uzavřené formy, kde ji systém rozvodných kanálů rozvádí k jednotlivým tvarovým dutinám. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoků za stejného tlaku a současně. [13] Plast vtéká do tvarové dutiny vtokovým ústím. Po zatuhnutí taveniny jsou vtokový kužel a rozvodný systém spolu s výstřikem vyhozeny z formy a jsou od výstřiku odděleny přímo při vyhození nebo později při následném zpracování.

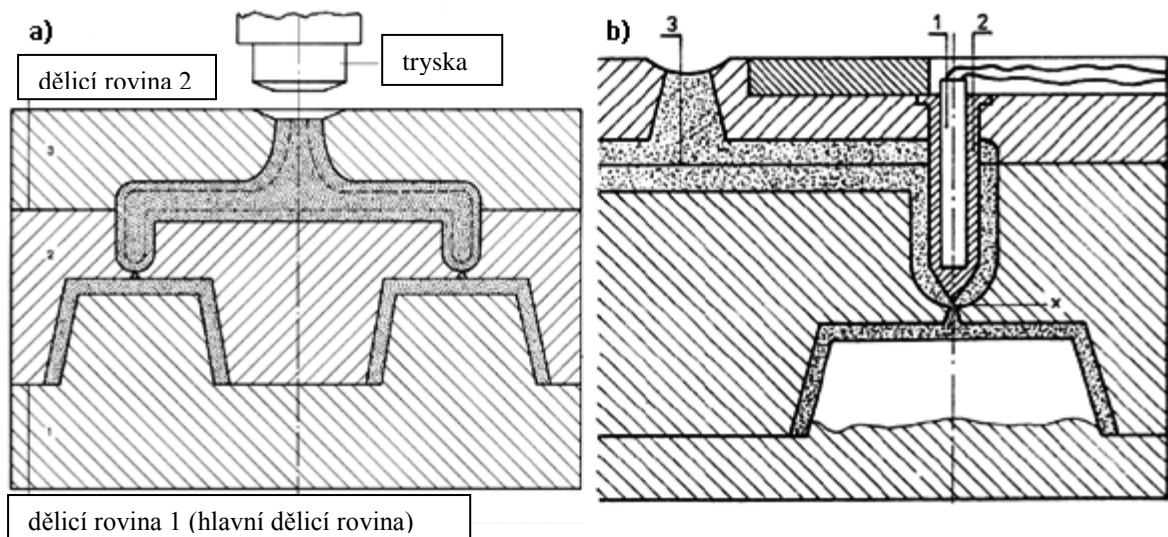


Obr. 15. Popis studeného vtokového systému. [10]

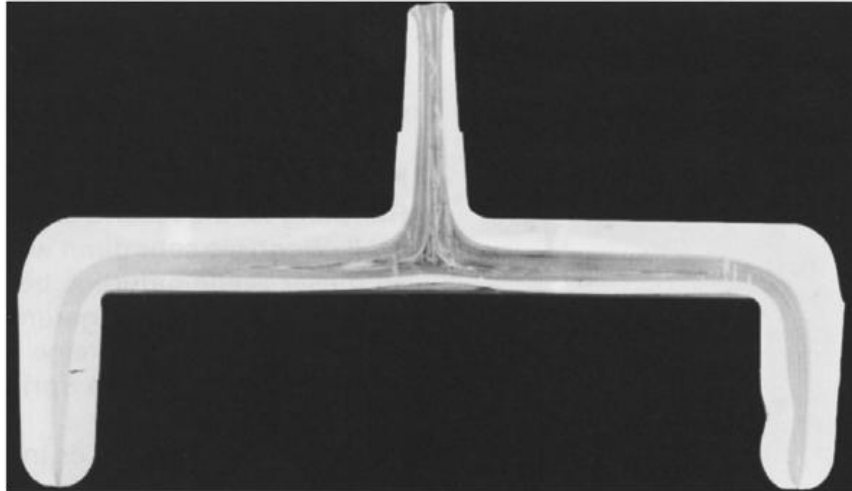


Obr. 16. Vyvážený vtokový systém. [10]

Zbytek vtokové soustavy je redukován nebo úplně odstraněn při použití izolovaných vtokových systémů nebo horkých vtokových systémů. V těchto případech je plast v rozvodných kanálech udržován neustále v tekutém stavu. První způsob, izolovaný vtokový systém, využívá faktu, že plast je velmi dobrý tepelný izolant a při kontaktu s povrchem formy ztuhne pouze určitá vrstva, zatímco střed zůstává tekutý. Izolované vtokové soustavy vyžadují třídeskový systém forem. Rozlišujeme dva typy, první s izolovanými rozváděcími kanály (Obr. 17a) a druhý s dotápnými vtoky (Obr. 17b).

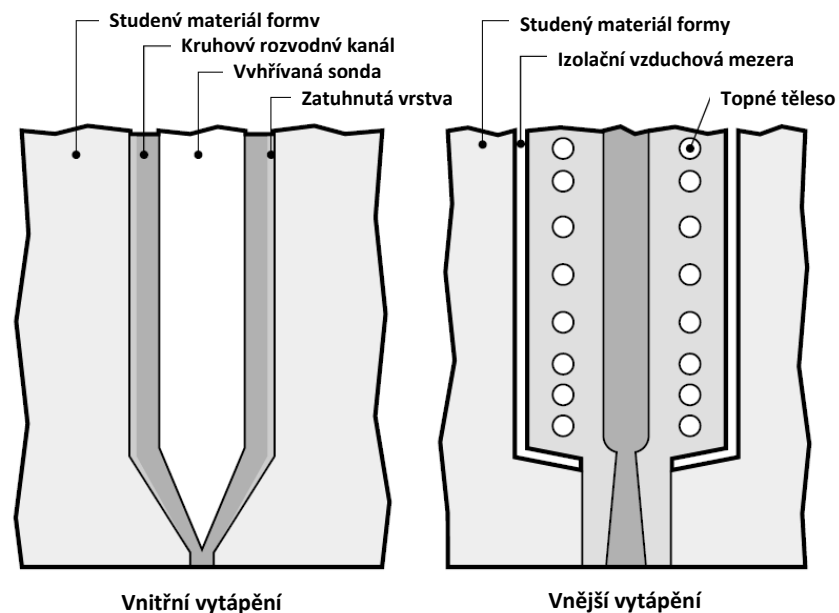


Obr. 17. Izolovaný rozváděcí kanál a dotápný vtok – 1) topná patrona, 2) předkomůrka topení 3) izolovaný rozváděcí kanál. [14]

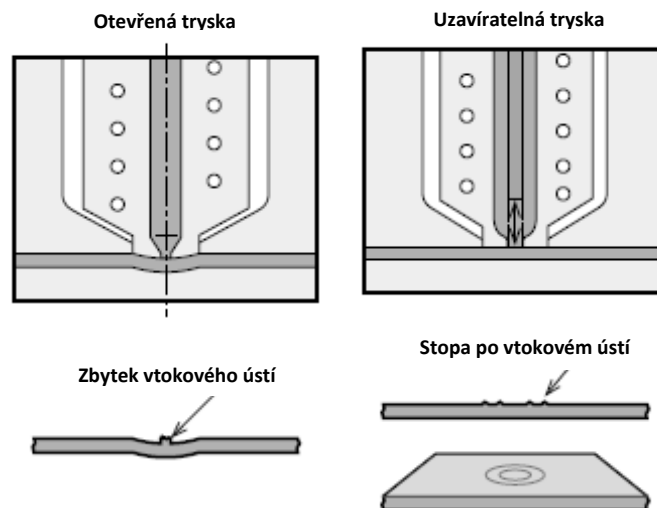


Obr. 18. Řez izolovaným rozváděcím kanálem po výměně barvy. [14]

Druhým způsobem, který udržuje taveninu v rozvodných kanálech v tekutém stavu, jsou horké vtoky. I zde rozlišujeme několik způsobů provedení a to buď podle způsobu vytápění kanálů – vnitřní a vnější, nebo podle provedení trysky – otevřená a uzavřená. Každé z těchto provedení má své výhody a nevýhody a při volbě vhodného řešení je nutné rozhodovat podle aktuálních podmínek.



Obr. 19. Horké vtoky – princip vnitřního a vnějšího vytápění. [10]

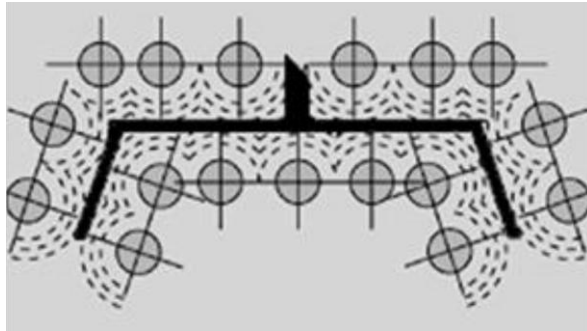


Obr. 20. Horké vtoky – uzavíratelná a otevřená tryska. [10]

2.2.3 Temperační systém

Dutina formy je během vstřikování plněna taveninou plastu, která je ve formě ochlazována na teplotu vhodnou k vyjmutí výstřiku. Temperační systém ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy, kvalitu výstřiku a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu (odvodem tepla z tvarových částí formy). [15] Teploty formy a výstřiku při odformování (vyhození z formy) jsou doporučené výrobcí materiálů a měly by se v průběhu vstřikovacího procesu dodržet. Nesprávné nebo nedostatečné chlazení formy má za následek defekty výrobků (deformace, vnitřní pnutí apod.) a nestabilitu vstřikovacího procesu.

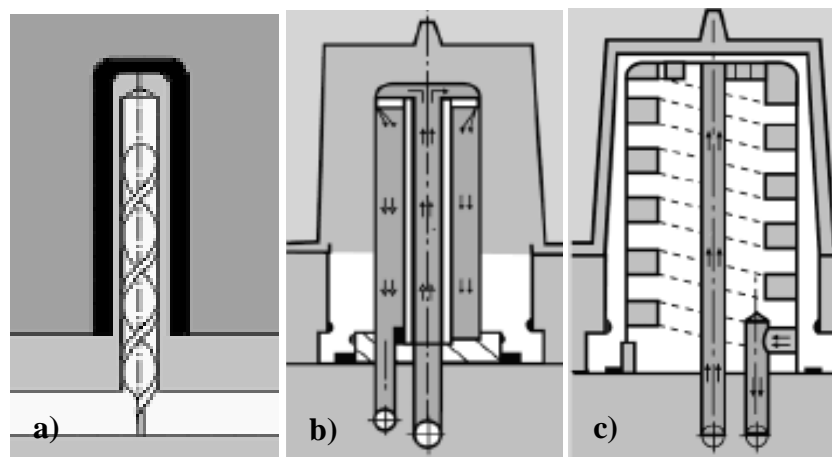
Temperační systém formy je běžně tvořen vrtanými kanály ve tvárníku, tvárnici a deskách formy. Vrtání je provedeno tak, aby procházelo co nejbližší povrchu dutiny formy a co možná nejvěrněji kopírovalo povrch dutiny (Obr. 21). Pomocí záslepek a propojek jsou potom z jednotlivých kanálů vytvořeny temperační okruhy, ve kterých cirkuluje temperační médium, nejčastěji voda nebo, v případě vysokých teplot, olej. Je zřejmé, že tento standardní systém je ze své podstaty výroby (vrtání) nedostačující, zejména u velmi členitých a tvarově komplikovaných výrobků je velmi obtížné nebo přímo nemožné temperační okruhy vytvořit. V takových případech se potom běžně využívá různých standardně dodávaných vložek, které jsou vkládány do vrtaných otvorů a umožňují lepší tepelnou výměnu.



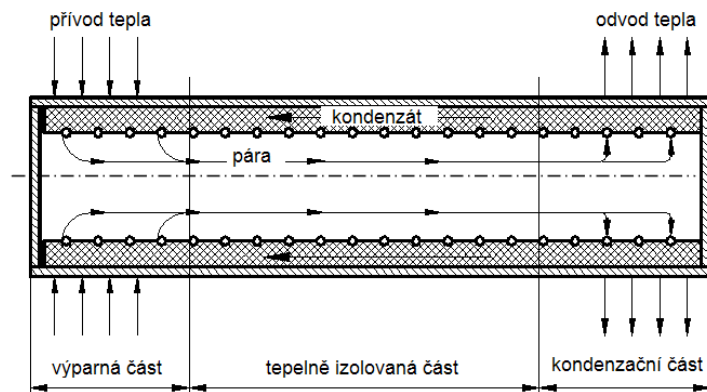
Obr. 21. Vhodné rozložení temperačních kanálů. [15]

Existuje několik druhů těchto vložek, liší se provedením a principem funkce. Jednoduché nebo spirálové přepážky a vložky (Obr. 22a, c), případně fontánkové vložky (Obr. 22b), usměrňují tok temperačního média a vedou ho do hloubky tvaru a zpět.

Vložky z vysoce tepelně vodivých materiálů pracují pasivně, jde především o slitiny Cu, Be nebo Co. Jeden konec vložky je umístěn v ohřivaném tvaru (v některých případech jsou tvary vyrobeny přímo z těchto materiálů) a druhý v kanále chladicího okruhu, kde je omýván temperačním médiem. Méně využívaný je potom systém tepelných trubice. Jde o pasivní prvek – trubici fungující na principu tepelného výměníku (Obr. 23). Trubice je naplněna teplotnosným médiem (čpavek, freon, methylalkohol, voda), jeden její konec je umístěn v blízkosti povrchu dutiny a druhý v temperačním kanálu formy. Teplotnosné médium proudí v kapalném stavu pod vnějším pláštěm trubice od chladnějšího konce, omývaném v temperačním okruhu formy, k teplému konci, kde dojde k odpaření média a odebrání tepla z dutiny. Teplotnosné médium v plynném stavu proudí zpět vnitřní dutinou trubice a kondenzuje v kapalinu po ochlazení v chladnějším konci trubice. [15]



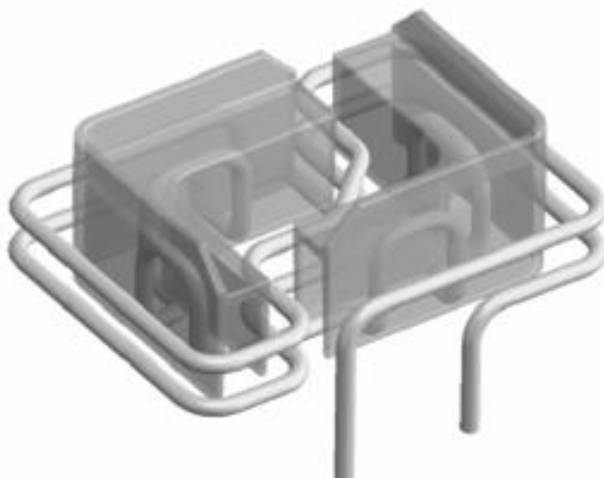
Obr. 22. Příklady řešení temperance tvárníků.[15]



Obr. 23. Schéma a princip tepelné trubice.[15]

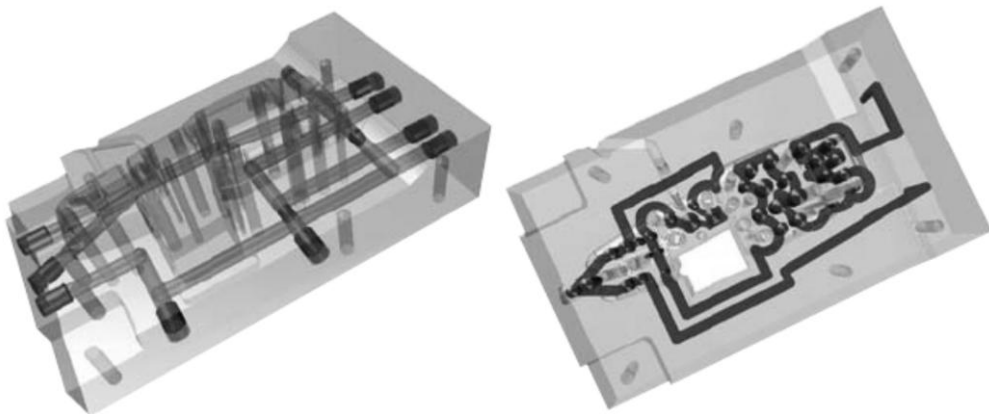
Výše zmíněná řešení mají svá omezení a to jak tvarová, tak i rozměrová. Byly proto vyvinuty nové metody výroby temperačních kanálů, které dokážou velmi přesně kopírovat povrch dutiny a tím zajistit rovnoměrné teplotní pole formy. Jde o technologie DMLS (Direct Metal Laser Sintering) a 4D Integrat.

DMLS je technologie založená na postupném tavení velmi jemných vrstev kovového prášku pomocí laserového paprsku. 3D CAD model výrobku je nejprve „rozřezán“ na jednotlivé vrstvy, díl je pak stavěn vrstvu po vrstvě. Energie laserového paprsku lokálně taví kovový prášek pouze v konturách řezu, který je definován průnikem dané roviny (vrstvy) tělesem (3D CAD modelem) výrobku. V průběhu stavby dílu je nezbytná fixace správné polohy dílu pomocí podpůrné struktury, která je ukotvena k základní ocelové platformě. Podpůrné prvky jsou stavěny vrstva po vrstvě zároveň s výrobkem. Minimální tloušťka vrstvy je 20 mikronů. Laser důkladně taví kov ve formě prášku a tím je zajištěno dokonalé spojení jednotlivých vrstev.[16]

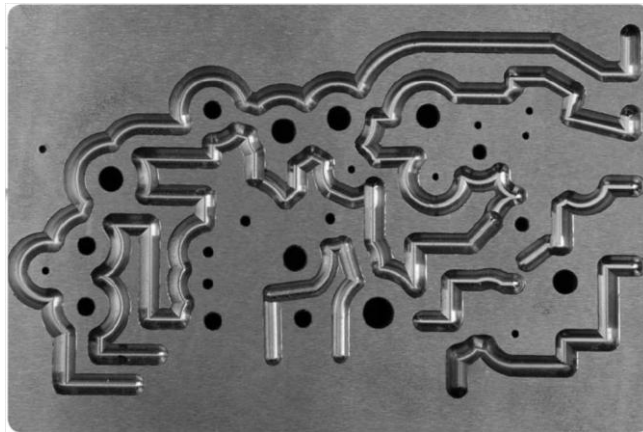


Obr. 24. Konformní chlazení vinuté podél kontury dílu.[16]

4D Integrat je systém vyvinutý firmou GWK a na rozdíl od DMLS jsou tvary tvořeny několika vrstvami ocelových desek, ve kterých jsou vyfrézovány chladicí kanály včetně spojovacích otvorů. Tyto desky jsou následně skládány na sebe. Jako mezivrstva se používá speciální pojivo v podobě kovové folie. Desky jsou spojeny za vysoké teploty ve vakuových komorách. Tímto způsobem jsou vyrobeny polotovary tvárníků a tvárnic v hrubých konturách budoucího výrobku, s již vytvořenými chladicími okruhy a finální tvar získávají až u výrobce formy. U technologie DMLS mají tvarové vložky konečnou podobu a provádí se u nich jen finální povrchové úpravy, odpadá tak proces obrábění.



Obr. 25. Příklad standardních chladicích okruhů a 4D integrat (vpravo).[17]



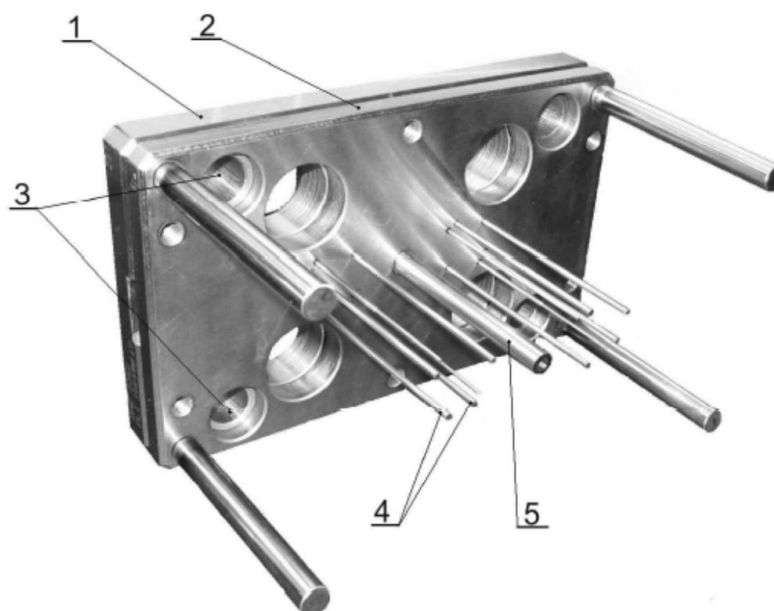
Obr. 26. Ocelová deska s vyfrézovanými chladicími kanály – 4D integrat.[17]

Obě výše zmíněné technologie mají velký potenciál využití ve výrobě vstřikovacích forem. Díky konformnímu chlazení lze redukovat čas chlazení až o 50 %, to znamená velmi rychlou návratnost investice.

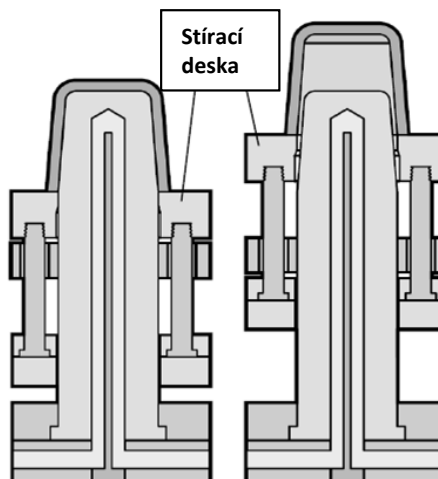
2.2.4 Vyhazovací systém

Výstřiky z termoplastických hmot se při ochlazování smršťují a pevně ulpívají na stěnách tvarových částí vstřikovacích forem. K jejich vyhození a vyhození vtokového zbytku ven z formy slouží vyhazovací systém. [18] Je to systém kolíků různých průměrů a průřezů, trubek a jiných speciálně tvarovaných prvků usazených v kotevní a opěrné vyhazovací desce. Obecně se tyto elementy nazývají vyhazovače a bývají zpravidla umístěny v pohyblivé části formy, kde jsou pomocí táhla mechanicky spojeny s vyhazovacím systémem vstřikovacího stroje.

Po otevření formy, jsou vyhazovače vysunuty z profilu dutiny a výstřik je z formy vytlačen. Vyhazovací systém může mít i samostatný pohon, zde se uplatňují jak hydraulické, pneumatické nebo mechanické a elektrické mechanismy popřípadě jejich kombinace. Speciálními jsou potom vytáčeční mechanismy, používané zejména k formování a odformování vnitřních nebo vnějších závitů. Pro vyhazování velkoplošných výrobků se používá stíracích desek, které působí tlakem po obvodu výstřiku. V některých případech je nezbytné eliminovat podtlak vzniklý mezi výstřikem a dutinou formy, k tomuto účelu jsou tvarové vložky vybaveny vzduchovými ventily, kterými se pod výstřik vhání vzduch během odformování.



Obr. 27. Vyhazovací systém formy - 1) opěrná deska, 2) kotevní deska, 3) vodící pouzdra, 4) válcové vyhazovače, 5) trubkový vyhazovač. [18]

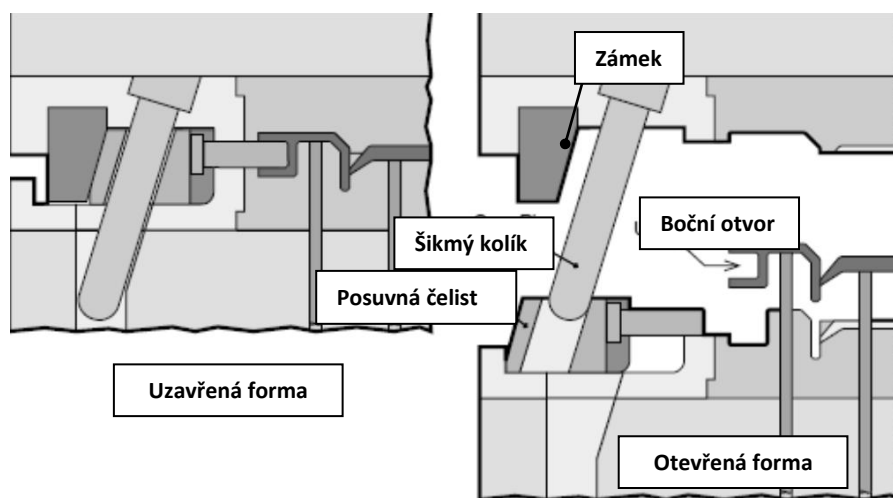


Obr. 28. Princip funkce stírací desky. [10]

2.2.5 Posuvné čelisti

V případech, kdy to vyžaduje tvar výrobku, např. výrobky s bočními otvory, výstupky nebo různými zhloubeními, které leží kolmo nebo pod úhlem k ose formy, je nevyhnutelné použít posuvné čelisti tzv. šíbrý. Čelisti, které někdy tvoří další přidavné dělicí roviny, jsou zpravidla ukotveny v pohyblivé části formy a k jejich ovládnutí se používá mechanických (šikmých nebo lomených kolíků), pneumatických nebo hydraulických prvků (tahačů). [19]

Šikmé kolíky vysouvají boční čelisti současně s otevíráním formy bez zpoždění. Uzavřená poloha čelisti se zajišťuje zámky a otevřená poloha pružinou nebo pružinou s kuličkou. Lomené kolíky pracují shodně při otevírání a zavírání formy, ale s určitým zpožděním, daným tvarem kolíku. [19]



Obr. 29. Znáznornění funkce bočních čelistí. [10]

2.2.6 Materiály forem

Cena každé vstřikovací formy je z určité části odvozena od ceny materiálu, ze kterého je vyrobena. Žádná forma není vyrobena pouze z jednoho druhu materiálu. Jednotlivé části formy jsou různě namáhány na tlak, opotřebení a podle druhu vstřikovaného plastu také na korozi. Na konstrukční části formy (to jsou např. různé rozpěrky, opěrné a kotevní desky) jsou kladeny jiné nároky, než na části funkční (tvarové vložky, vodící trny, vyhazovače, atd.). Důležitými faktory při volbě materiálu je druh vstřikovaného polymeru, velikost a složitost výrobku, odolnost proti opotřebení a korozi, počet vyráběných kusů, obrobitelnost, požadované fyzikální a mechanické vlastnosti a samozřejmě také jeho cena. Pro výrobu tvarových dutin a mechanicky namáhaných částí formy se často používá ocel nástrojová, cementační nebo legovaná. [18] Příklady ocelí pro výrobu různých součástí forem jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1. Rozdělení ocelí při výrobě součástí formy. [20]

Rozdělení ocelí - místo použití	
Použití	Materiál
Desky (rám formy) Dorazy Táhla Podpůrné elementy Středící elementy	11 373, 11 375, 11 500, 11 600, 11 700, 12 020, 12 050, 12 060
Tvarové vložky Tvarové desky Vtokové vložky Vyhazovače	14 340, 15 230, 15 330, 15 340, 17 029, 19 083, 19 191, 19 312, 19 314, 19 421, 19 436, 19 437, 19 452, 19 486, 19 487, 19 550, 19 572, 19 573, 19 574, 19 581, 19 642, 19 662, 19 663, 19 665, 19 652, 19 732, 19 786
Vodící a kluzné elementy	14 220, 14 221
Spojovací elementy	11 109, 11 600
Izolační desky	PA + 30% skla, syntetická pryskyřice, sklotextit

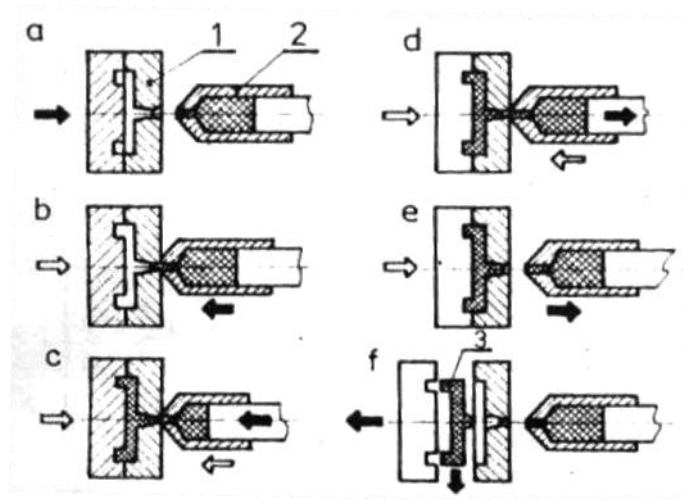
Kromě ocelí, které jsou základním materiálem stavby forem, se při výrobě forem používají i jiné materiály jako je hliník, dural, měď, mosaz a nejrůznější izolační a ochranné materiály. Slitiny mědi se pro svou velmi dobrou tepelnou vodivost, dobrou chemickou odolnost a kluzné vlastnosti hodí pro výrobu chladících trnů tenkých tvárníků, tvarových vložek, vytáčecích matic, vodících a středících pouzder apod. Podobně slitiny hliníku nacházejí uplatnění např. při výrobě forem pro strukturní pěny, chladících trnů, odlévaných bloků s měděnými trubkami, částí tvarových dutin, tvárníků a tvárníc pro formy malosériové vý-

roby a to zejména pro svou dobrou tepelnou vodivost, chemickou odolnost a korozivzdornost. [19]

Z hlediska životnosti formy je velmi důležité tepelné nebo chemicko-tepelné zpracování, povrchová úprava (leštěný povrch je odolnější vůči korozi) a v neposlední řadě také vlastní zacházení s formou. [18]

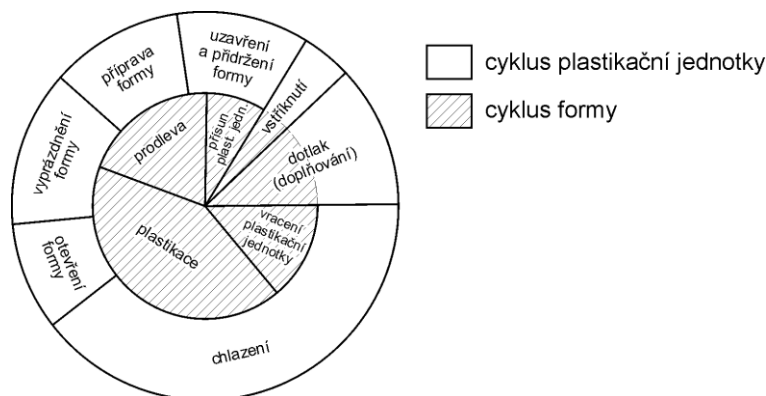
2.3 Vstřikovací cyklus

Tavenina je připravena v plastikační komoře vstřikovací jednotky a je vstříknuta do formy, kde zatuhne (případně zesítuje). Vstřikovací cyklus je znázorněn na Obr. 30. [21]



Obr. 30: Vstřikovací cyklus – 1) forma, 2) vstřikovací jednotka, 3) výstřik. [21]

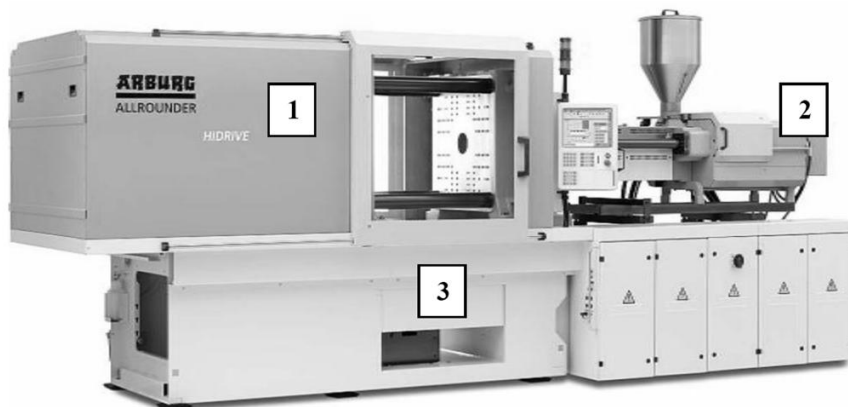
Nejdříve dojde k uzavření formy 1 (a), vstřikovací jednotka 2 je ve výchozí poloze. Vstřikovací jednotka 2 se poté přisune a dosedne na uzavřenou formu 1 (b). Po dosednutí nastává vstřikování taveniny – vstřikovací fáze. Po naplnění dutiny formy taveninou dochází k jejímu postupnému tuhnutí, aby se kompenzovalo smrštění, tlačí vstřikovací jednotka do dutiny formy plast, dokud plně nezatuhnou ústí vtoku (c) – fáze dotlaku. Ve formě pokračuje tuhnutí taveniny bez tlaku a zároveň probíhá dávkování materiálu (d) – fáze chlazení. Po nadávkování se odsune vstřikovací jednotka (e). Po ztuhnutí materiálu dojde k otevření formy a vyhození výstřiku 3 (f). Formy i vstřikovací jednotky jsou ve výchozí poloze a celý cyklus se může opakovat. [21]



Obr. 31. Vstřikovací cyklus při vstřikování plastů (u termo-
plastů odpadá příprava formy). [22]

2.4 Vstřikovací stroj

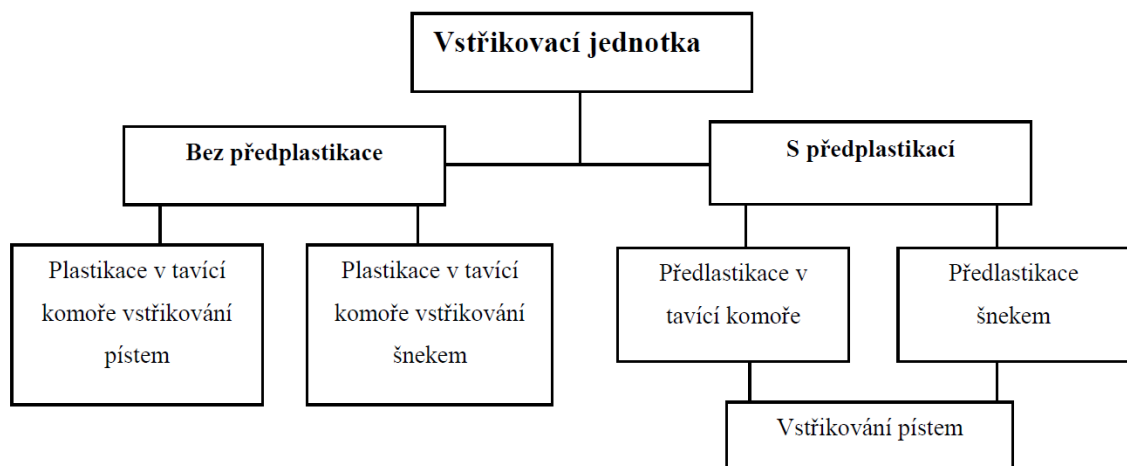
Celý vstřikovací cyklus realizují vstřikovací stroje. Musí tedy mít uzavírací jednotku ovládající formu (uzavírání, otevírání, vyhazování výstřiku) a vstřikovací jednotku zajišťující přípravu taveniny a její vstříknutí do uzavřené formy. [21] Na vstřikovacích strojích se zpracovávají plasty i elastomery. Základní konstrukční prvky vstřikovacího stroje jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obr. 32. Stroj na vstřikování plastů ARBURG – 1) zavírací jednotka, 2) vstřikovací jednotka, 3) rám stroje

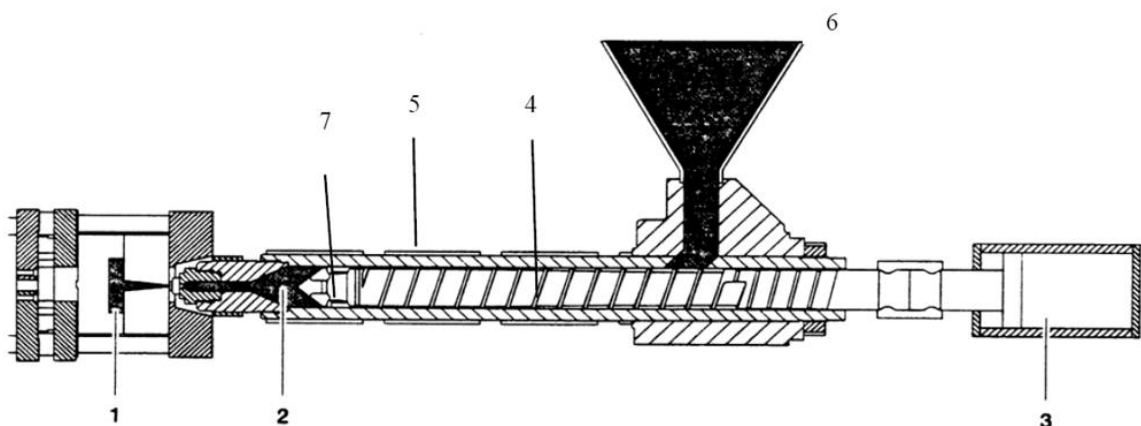
2.4.1 Vstřikovací jednotka

Dokonalou plastikaci (roztavení plastu) a homogenizaci taveniny zajišťuje vstřikovací jednotka, která zároveň musí být schopna vyvinout dostatečně vysoký vstřikovací tlak. Vstřikovací jednotky se obvykle dělí podle způsobu plastikace (Obr. 33). [21]



Obr. 33. Rozdělení vstřikovacích jednotek podle způsobu plastikace. [6]

Nejpoužívanějším typem vstřikovacích jednotek je v dnešní době vstřikovací jednotka s plastikací v tavicí komoře se vstřikováním šnekem. Popis takové jednotky je na následujícím obrázku.



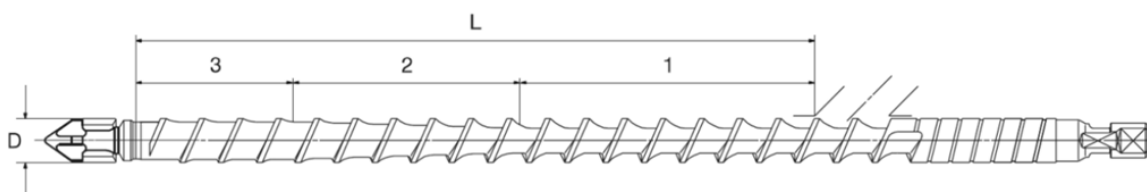
Obr. 34. Schéma vstřikovací jednotky - 1) výstřik 2) dávka materiálu 3) pohon 4) šnek 5) topné pásmo 6) násypka 7) špička. [13]

Hlavní části vstřikovací jednotky pro zpracování termoplastů: [6]

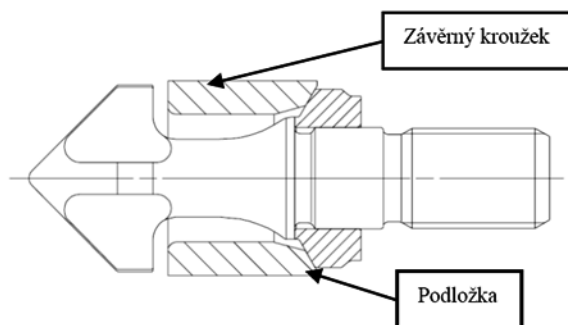
- plastikační komora - ocelový válec, ve kterém se pohybuje plastikační šnek. Válec je opatřen několika topnými pásmo. Na konci je komora vybavena tryskou, která se při vstřikování opírá o formu;
- plastikační šnek - šnek zakončený špičkou a závěrkou (kroužek a podložka);
- pohony - slouží k pohybu šneku, jak rotačnímu, tak posuvnému. Podle typu stroje mohou být pohony hydraulické, elektrické nebo kombinace obou zmiňovaných;

- topná pásma - udržují požadovanou teplotu plastikační komory, polymer tak zůstává tekutý, i když se šnek nepohybuje.

Před samotným vstříknutím polymeru do formy proběhne v plastikační komoře proces plastikace materiálu. Jedná se o převedení polymeru z tuhé do tekuté fáze. Do komory vstřikovací jednotky je vsypán materiál polymeru, většinou ve formě granulí. Šnek se otáčí a z dávkovací zóny dopravuje polymer dopředu. Výška závitů šneku se postupně snižuje, takže v kompresní zóně dochází díky jeho rotaci k vysokému frikčnímu tření, a to zvyšuje teplotu, čímž se taví polymer. Polymer se dále dostává přes výstupní zónu šneku před špičku, protéká mezerou mezi kroužkem závěrky a podložkou, šnek je přitom zároveň tlačěn polymerem vzad. V okamžiku vstříku, při pohybu šneku vpřed, se kroužek závěrky posune zpět a dosedne na podložku. Tím se vytvoří píst, kterým se polymer vystříkne ze vstřikovací jednotky.



Obr 35. Plastikační šnek – zóny 1) dávkovací, 2) kompresní a 3) výstupní. [13]

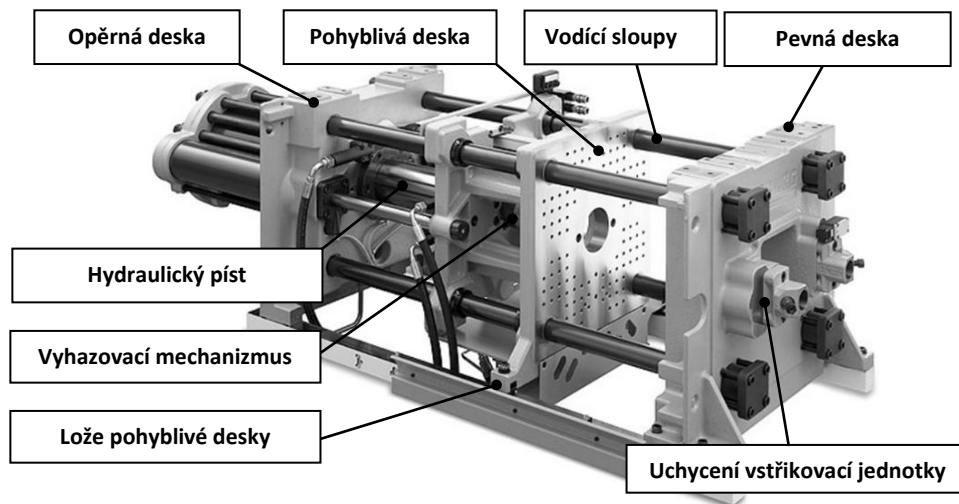


Obr 36. Špička plastikačního šneku se zpětnou uzávěrkou. [13]

2.4.2 Zavírací jednotka

Forma je upnuta v zavírací jednotce, ta slouží k zavírání a otvírání formy a díky svému mechanismu je schopna vyvinout přidržovací sílu. Nosná konstrukce zavírací jednotky je obvykle sloupová. Menší stroje mají dva a větší čtyři sloupy – tyče. Nosné sloupy spojují jednotlivé části zavírací jednotky a zároveň slouží k vedení pohyblivých částí. [21] Vyvažovací mechanismus je součástí zavírací jednotky.

Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotku na hydraulickou, hydraulicko-mechanickou a elektromechanickou. [21]



Obr. 37. Hydraulická zavírací jednotka strojů ARBURG typu C. [23]

Hlavní části zavírací jednotky (Obr. 37): [6]

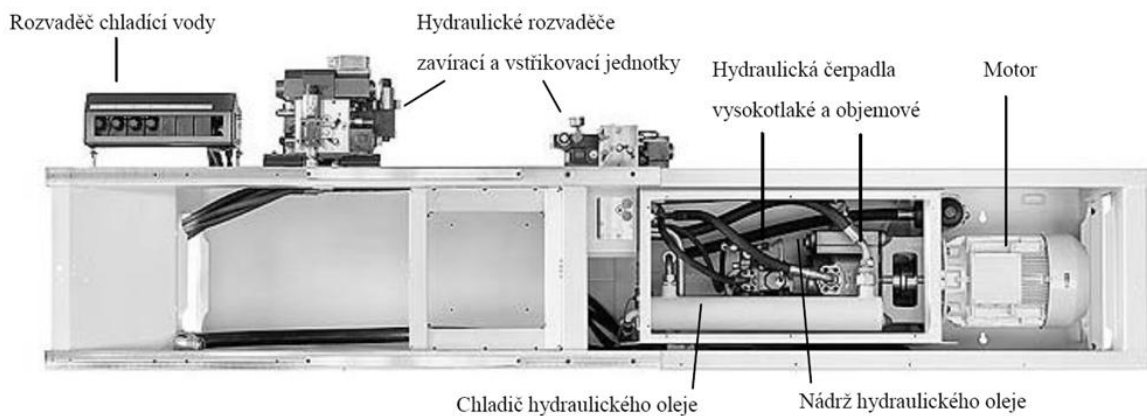
- Pevná deska - plní funkci hlavního nosného prvku zavírací jednotky. Z pravé strany je na ní uchycena vstřikovací jednotka a z levé strany je na ní upnuta pevná část formy. Do pevné desky jsou také přichyceny čtyři vodící sloupky (v případě sloupového systému zavírací jednotky). Celá pevná deska je přišroubována k rámu vstřikovacího stroje.
- Opěrná deska - je letmo uložena na rámu (je umožněn pohyb). S pevnou deskou je spojena pomocí vodících sloupků, které jsou k desce přichyceny stejným způsobem jako k desce pevné. Do opěrné desky jsou připevněny konce pístů (konec pístu - dle typu) nebo válce hydraulického pohonu zavírací jednotky, případně elektrický pohon a čepy kloubového mechanismu (u elektromechanických a hydraulicko-mechanických zavíracích jednotek).
- Vodící sloupy - vytvářejí rám zavírací jednotky společně s opěrnou a pevnou deskou. Mezi pevnou a opěrnou deskou se po vodících sloupcích nebo i ložích na rámu (podle velikosti zavírací jednotky) pohybuje pohyblivá deska.
- Pohyblivá deska - se pohybuje mezi opěrnou a pevnou deskou. Pohon zajišťuje píst hydraulického válce nebo kloubový mechanismus ovládaný elektricky nebo hydraulicky, dle zvoleného systému. Na této desce je zprava upnuta pohyblivá část formy a zleva druhý konec pohonu zavírací jednotky, který je schopen vyvinout

dostatečný tlak tak, aby udržel formu zavřenou během vstřikování. Je zde také umístěn vyhazovací mechanismus. Většinou se jedná o hydraulický píst, který je s vyhazovacím mechanismem formy spojen pomocí táhla.

Správná poloha formy je v zavírací jednotce zajištěna středícími kroužky.

2.4.3 Rám stroje

Nosným prvkem stroje je rám. Musí zajistit dostatečnou tuhost konstrukce, ale plní i jiné funkce (Obr. 38). V rámu stroje je umístěno hydraulické čerpadlo a nádrž hydraulického oleje, hydraulické rozvaděče a elektrické rozvaděče. Pod zavírací jednotkou je prostor pro umístění periférií, jako např. dopravník nebo třídící kladka. [6]

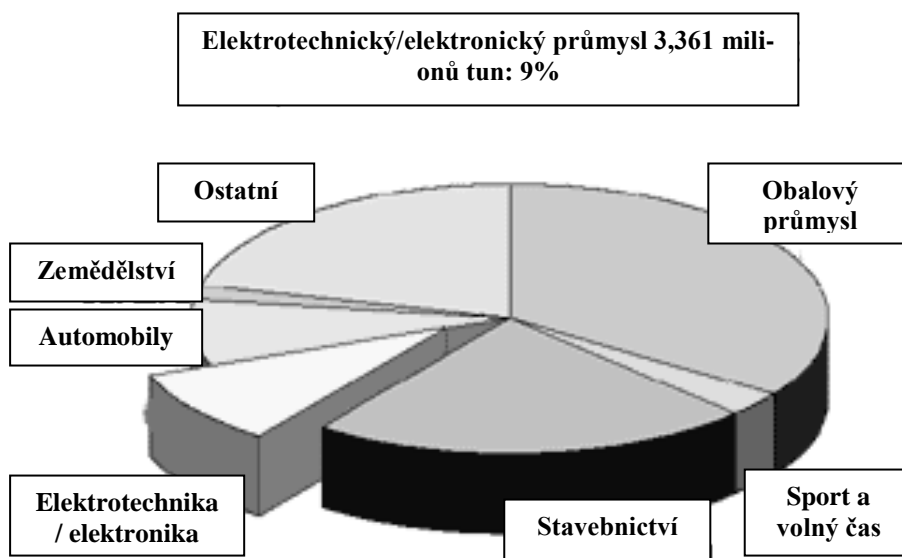


Obr. 38. Rám hydraulického vstřikovacího stroje. [23]

3 PLASTY V ELEKTROTECHNICE

Jak už bylo zmíněno v úvodu, plasty jsou velmi rychle se rozvíjející skupinou materiálů a jsou využívány ve všech odvětvích lidské činnosti. Elektrotechnický průmysl není výjimkou, naopak by se dal označit za průkopnické odvětví využití plastů. Zpočátku se plasty využívali pouze jako izolanty díky svým přirozeným elektrickým vlastnostem, ale dnes už se začínají objevovat, díky obrovskému rozvoji modifikací, plasty vodivé.

Denně se setkáváme s vypínači, kryty přístrojů, osvětlením, kabely nebo domovními rozvaděčovými skříněmi a jiným elektrickým vybavením domácnosti, které jsou vyrobeny z plastů, ale je celá řada dalších výrobků, které slouží k ovládnání a distribuci elektřiny, se kterými se běžně nesetkáváme. Mezi takové elektrotechnické součástky patří jističe, spínače, měniče, proudové ochrany nebo stykače a mnoho jiných. [24]



Obr. 39. Podíl elektrotechnického průmyslu na spotřebě plastů (1998). [24]

3.1 Polymery pro elektrotechnické aplikace

Pro plasty používané v elektrických aplikacích, včetně elektrické výbavy automobilů, jsou kromě mechanických vlastností rozhodujícím faktorem jejich elektrické vlastnosti. [25]

3.1.1 Typické vlastnosti polymerů pro elektrotechnické aplikace

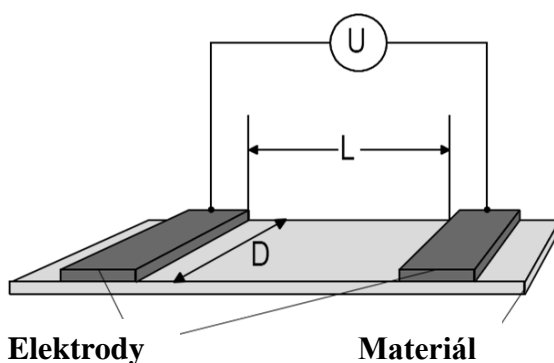
Pro elektrické aplikace jsou zásadní elektroizolační a další s nimi spojené vlastnosti plastů, které se ověřují testy. Většina technických plastů jsou dobré až výborné izolátory. [25]

Specifický izolační odpor

Specifický izolační odpor je odpor proti průchodu proudu skrze materiál. Obvykle se měří, podle normy IEC 60093, dvěma elektrodami umístěnými na protilehlých stranách vzorku. Vyjadřuje poměr mezi rozdílem potenciálů paralelně k probíhajícímu proudu a proudovou hustotou. V jednotkách SI specifický izolační odpor odpovídá odporu mezi protilehlými stranami krychle materiálu o hraně 1 m (Ωm). [26] Pro technické plasty je typická hodnota specifického izolačního odporu kolem $10^{13}\Omega\text{m}$. [25]

Povrchový izolační odpor

vyjadřuje odolnost povrchu plastu vůči vzniku a účinkům plazivých proudů, které mohou vznikat na povrchu izolátoru mezi vodivými částmi elektrické součástky nebo zařízení. Vznik plazivých proudů je usnadněn nečistotami nebo poruchami povrchu, ale především vlhkostí. Plazivé proudy vytvářejí, během průchodu po povrchu, malé výboje, které způsobují erozi povrchu materiálu. Povrchový izolační odpor se zkouší dvěma paralelně umístěnými elektrodami na povrchu vzorku ve vzdálenosti odpovídající délce kontaktu elektrod.



Obr. 40. Měření povrchového izolačního odporu. [27]

Izolační odpor je tedy podíl rozdílu potenciálů ve V/m a hodnoty elektrického proudu na jednotku délky elektrod A/m a výsledná hodnota je v ohmech (Ω). [26]

Dielektrická pevnost

Dielektrická pevnost je schopnost odolat působení velmi vysokého elektrického napětí, kdy může izolační odpor materiálu prudce poklesnout, elektrický proud potom začne vytvářet výboje, které propálí cestu skrz materiál. Hodnota dielektrické pevnosti udává velikost napětí na jednotku tloušťky materiálu V/m. [25] Vzorek testovaného materiálu je umístěn mezi dvě elektrody a napětí je zvyšováno z 50 % průrazného napětí až do průrazu

materiálu (propálení vzorku). Čím vyšší hodnota napětí, tím je materiál lepší izolant. [26] Typická hodnota dielektrické pevnosti technických plastů je na úrovni 30 000 V/m.

Odolnost proti elektrickému oblouku

Odolnost proti elektrickému oblouku daného materiálu vyjadřuje jeho schopnost vzdorovat účinkům elektrického oblouku vzniklého za provozu přístroje, v němž materiál slouží jako izolant. V principu se sleduje vedení proudu elektrickým obloukem vytvořeným mezi dvěma uhlíkovými elektrodami, které leží na zkušebním vzorku a posouzení, jak se zkoušený materiál účastní trvale či přechodně na vedení proudu a jak se v důsledku toho změní. Vedením proudu po povrchu izolantu světelný oblouk zmizí a nahradí ho vodivý a žhavý povrch izolantu. Po ochlazení se elektrody zpětně přiloží na vypálený můstek a zjišťuje se jeho vodivost. Zkušební těleso se položí naplocho a elektrody se postaví tak, aby se dotýkaly horní plochy a sebe navzájem. Jakmile dojde k vytvoření oblouku, tak se jedna elektroda odsouvá definovanou rychlostí (1mm s^{-1}), dokud oblouk nepohasne. Po ochladnutí se změří tato vzdálenost a vyzkouší se vodivost můstku. Podle účinku elektrického oblouku se rozlišuje 6 stupňů odolnosti proti oblouku. [28]

Odolnost proti elektrickému oblouku je úzce spojena s povrchovým izolačním odporem. Pod účinkem elektrického oblouku (například při zkratu) by plast neměl vytvořit vodivý cestu a měl by se pokud možno odpařit tak, aby oblouk zhasl. [25]

Dielektrická konstanta ϵ

Dielektrická konstanta je poměr kapacity kondenzátoru s testovaným materiálem jako dielektrikem a kondenzátorem s vakuem jako dielektrikem. Pro materiály, které mají být používány jako izolanty, by měla být hodnota dielektrické konstanty malá, naopak materiály pro použití v kondenzátorech by měly mít tuto hodnotu vysokou. [26]

Ztrátový činitel t_g

Ztrátový činitel je poměr ztracené energie v testovaném materiálu k energii aplikované. [26] Ztrátový úhel je tangens úhlu fázového posunu proudu oproti napětí kondenzátoru zkoušeného materiálu od 90° , to znamená fázového posunu proudu v kondenzátoru s ideálním bezztrátovým dielektrikem. [28]

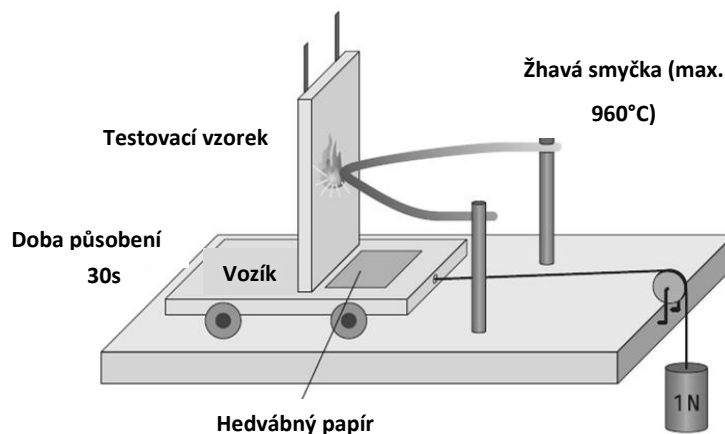
Dalšími nezbytnými zkouškami plastů pro elektrotechnické aplikace (přístrojů pro rozvod a ovládání elektrického proudu) jsou testy zkoumající jejich chování při hoření. Testy se provádí na vzorcích nebo přímo na výrobcích a zjišťuje se hořlavost, šíření plamene – sa-

mozhášivost, příspěvek tepelné energie, odolnost proti nadměrnému teplu a ohni, odolnost proti abnormálnímu teplu a ohni a vývoj zplodin hoření – plynů a kouře. Společným rysem všech testů je specifikace zdroje zapálení a způsob, jakým je vzorek tomuto zdroji vystaven. [29]

3.1.2 Důležité testovací metody

Zkouška žhavou smyčkou (IEC 60695)

V tomto testu simuluje žhavý odporový drát přehřátý nebo rozžhavený kovový díl. Drát se zahřeje na předepsanou testovací teplotu mezi 650 až 960°C a je tlačěn proti vzorku materiálu. Zaznamenává se čas, kdy se vzorek vznítí, jak dlouho hoří a jestli hořící materiál odpadáva ze vzorku (Obr. 41). [29]

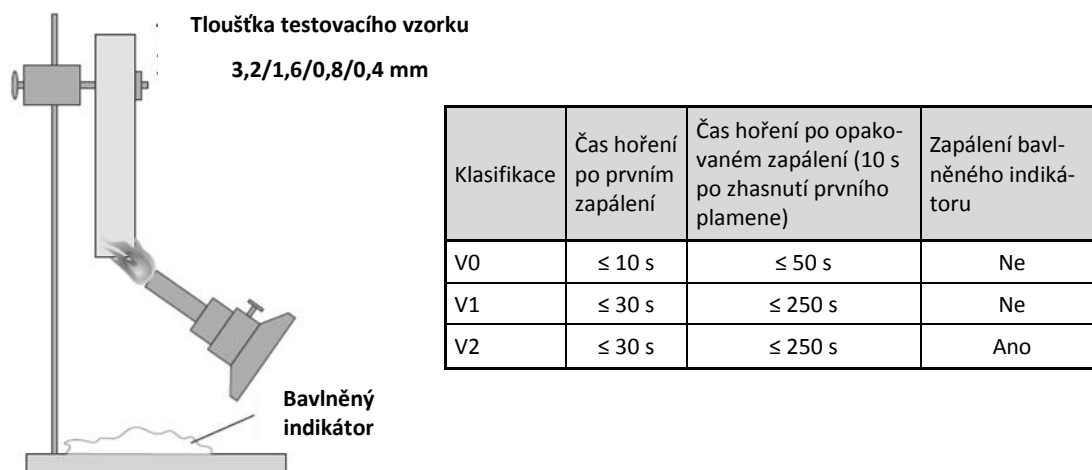


Obr. 41. Test žhavým drátem. [29]

Zkouška hořlavosti plastů (UL 94)

Zkouška hořlavosti je dalším mimořádně důležitým testem při zkoušení materiálů. Zdrojem zapálení je plamen hořáku, do kterého je vzorek dvakrát na krátký čas vložen. Následně je měřen čas hoření a jsou vyhodnocovány odkapávající hořící části pomocí bavlněného indikátoru umístěného pod vzorkem. Výsledkem testu je klasifikace hořlavosti V (vertikální) a HB (horizontální). [29]

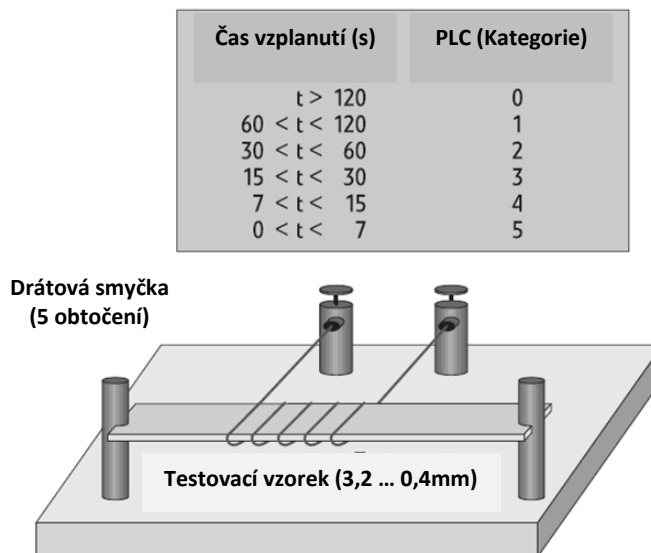
Zkouška hořlavosti by se měla vždy vyhodnocovat ve spojení se zkouškou žhavým drátem (HWI – Hot Wire Ignition) a zkouškou vzplanutí elektrickým obloukem (HAI – High current Arc Ignition), kombinace výsledků určuje vhodnost, či nevhodnost plastu pro použití.



Obr. 42. Zkouška hořlavosti plastů podle metody UL 94. [29]

Zkouška žhavým drátem

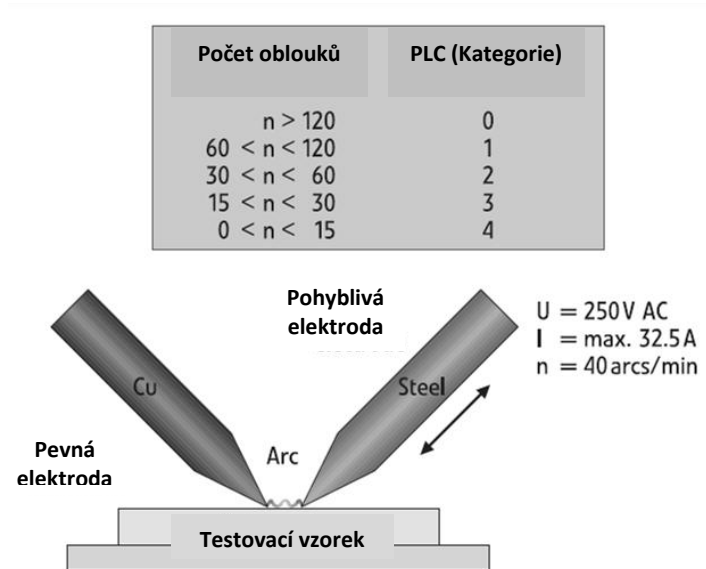
Zkouška žhavým drátem simuluje vzplanutí, které může nastat při přehřátí vodiče protékajícího elektrickým proudem. Odporový drát, který je zahříván procházejícím elektrickým proudem, je obtočen okolo horizontálně uloženého vzorku plastu. Hodnotícím kritériem je čas, za který vzorek vzplane, viz Obr. 43. [29]



Obr. 43. Test vzplanutí horkým drátem. [29]

Zkouška vzplanutí elektrickým obloukem

Tato zkouška podrobuje testovací vzorek pravidelně se opakujícímu elektrickému oblouku mezi dvěma elektrodami (Obr. 44). Počítá se, kolik oblouků proběhne, než se vzorek vznítí. Klasifikace je ve stupních 0 až 4, kdy 0 je nejlepší hodnocení.



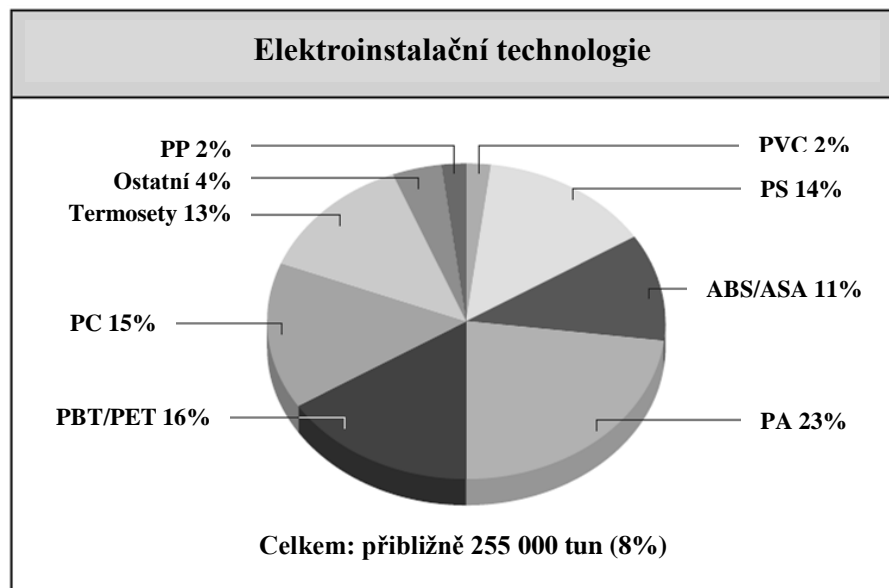
Obr. 44. Zkouška vzplanutí elektrickým obloukem. [29]

Chování různých technických plastů při hoření je velmi rozdílné a z běžných vlastností je těžké usuzovat, jak se bude při hoření plast chovat.

V tomto nám může napovědět další kritérium LOI – Low Oxygen Index, které udává obsah kyslíku ve vzduchu, při kterém plast přestává hořet. Například PA a PBT mají index LOI okolo 24 a v obou případech je vhodné použití retardérů hoření, které zvýší LOI index. POM je s LOI 15 relativně hořlavý a proto se používá pro funkční díly se speciálními požadavky na dynamické namáhání, ale ne pod elektrickým proudem. POM s retardanty hoření má mnoho procesních a aplikačních nevýhod, takže se na trhu neuplatnil. Naproti tomu PES má hodnotu LOI mezi 30 a 38 a je nehořlavý v normální atmosféře, může být tedy běžně používán bez dodatečné ochrany proti hoření. [29]

3.1.3 Běžně používané materiály pro elektrotechnické aplikace

V předcházející kapitole byly uvedeny zkoušky, které musí splnit plasty aplikované elektrotechnice. Některé typy plastů tato kritéria splňují už v základním složení, u jiných musí být použito přídavných látek, vylepšujících jejich vlastnosti – aditiva. Nejpoužívanější typy plastů v elektrotechnice jsou zobrazeny na Obr. 45.

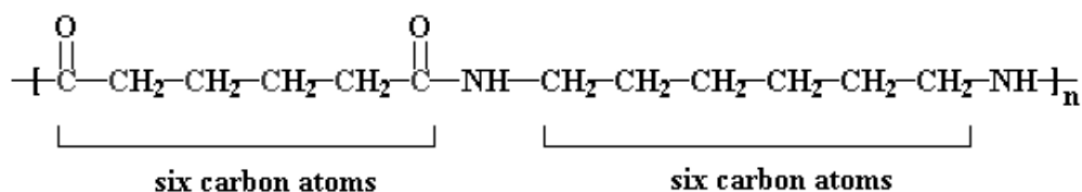


Obr. 45. Spotřeba plastů v elektrotechnickém průmyslu v západní Evropě v roce 2000. [29]

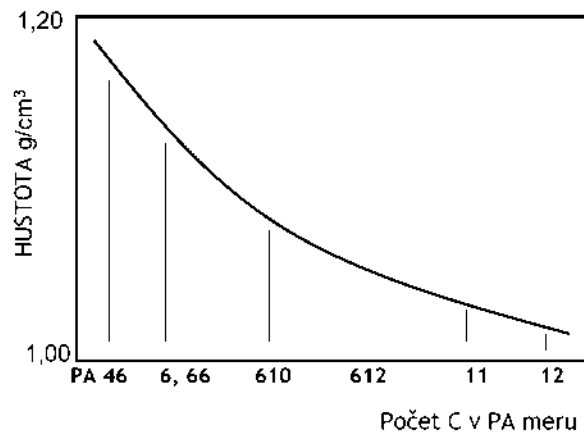
Polyamidy PA

Jsou lineární termoplastické polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny -CONH-. Existuje několik typů, které se rozlišují podle počtu atomů uhlíku v meru. Známe PA 6, PA 66, PA 46, PA 69, PA 610, PA11, PA12 a PA612. Vlastnosti PA se mění podle výchozích monomerů. Jsou z 30 až 50 % krystalické a neprůhledné, jejich vlastnosti, krystalická struktura, bod tání, teplota skelného přechodu aj. jsou ovlivněny vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami. Typickou vlastností polyamidů je vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a nasákavost. Například PA 66 má hustotu 1,14 g/cm³, krystalinitu - kolem 50 %, modul pružnosti E = 3000 MPa, pevnost 70 MPa, T_m = 254°C a je použitelný od -30°C do +120°C. Nepropouští tuky, oleje, kyslík a CO₂.

Polární charakter PA a nasákavost omezují vznik elektrostatického náboje. Polyamidy mají velmi malou viskozitu taveniny a lze je zpracovat všemi technologiemi pro zpracování termoplastů. [30]



Obr. 46. Stavba meru PA 66. [30]



Obr. 47. Vliv počtu atomů uhlíku v meru PA na hustotu. [30]

Polyamidy nacházejí široké uplatnění v mnoha oblastech průmyslu díky svým vlastnostem. Typické jsou aplikace v automobilovém, strojním, elektrotechnickém a elektronickém průmyslu, ve zdravotnictví, v potřebách pro domácnost, v obalové technice apod.

Akrylonitril butadien styren ABS

Je neprůhledný amorfnní termoplast, kopolymer styrenu, akrylonitrilu a butadienu (45 až 70 % S, 10 až 30 % AN, 15 až 50 % B) s hustotou $1,05 \text{ g/cm}^3$, pevností 31 až 45 MPa, modulem pružnosti $E = 2000 \text{ MPa}$ a rázovou houževnatostí $> 70 \text{ kJ/m}^2$. Teplotní rozsah použití od -40 do 80°C (110°C). Při plnění skelným vláknem je hustota $1,36 \text{ g/cm}^3$, pevnost 123 MPa, $E = 7100 \text{ MPa}$ a houževnatost 59 kJ/m^2 . ABS je odolný vůči chemikáliím, tvrdý, lesklý a levný konstrukční materiál, povrch je možno pokovovat. Málo odolný proti povětrnostním vlivům - změny barvy, žloutnutí a zhoršování houževnatosti (vlasové trhlinky). Zpracovává se vstřikováním, válcováním, vytlačováním, tvarováním, vyfukováním. Lze jej lepit, svařovat, galvanicky pokovovat i vstřikovat s nadouvadly. [30] Typickou aplikací jsou kryty elektronických přístrojů.

Polykarbonát PC

Patří mezi amorfnní termoplasty. Je transparentní (propustnost světla 85 %) plast s hustotou 1,2 až $1,5 \text{ g/cm}^3$, modulem pružnosti 2200-2450 MPa a pevností 65 až 70 MPa. PC má vynikající vrubovou rázovou houževnatost (vyšší než Zn či Al), T_g kolem 145 až 150°C ; dobrá rozměrová stabilita až do 140°C (od -150°C), dobré elektroizolační vlastnosti a odolnost vůči UV. Je samozhášivý. Zpracovává se vstřikováním a vytlačováním (nutnost sušení), litím folií z roztoku metylenchloridu (MAKROFOL), třískovým opracováním,

svařováním horkým vzduchem a tepelným tvarováním. Často se používá ve formě slitin (blendů) s termoplasty, zvláště s ABS. Uplatnění nachází například v součástech automobilů (kryty svítilen, automobilové světla, ukazatele směru, signálních světla), elektrotechnice (směsi s ABS) nebo součástech strojů jako části čerpadel, ventilů, pneumatických rozvodů, ovládací tlačítka, rukojeti ručních obráběcích strojů, vrtačky, brusky. [30]

Polybutylentereftalát PBT

Je semikrystalický termoplastický polymer pro konstrukční aplikace s hustotou $1,35 \text{ g/cm}^3$, modulem pružnosti 2300 MPa a pevností 60 MPa. PBT má velmi vysokou rázovou houževnatost, $T_m = 230^\circ\text{C}$, T_g okolo 40°C (použití pod napětím do 70°C), tvarovou stálost za tepla od -30 až do $+165^\circ\text{C}$ (do 100°C dlouhodobě), je odolný vůči oděru a rozměrově stabilní. Malá absorpce vody (sklon k hydrolyze). Zpracovává se vstřikováním a využívá se například na konstrukční technické díly nebo elektrotechnické součástky. [30]

Polyvinylchlorid PVC

Je amorfní termoplast s mírně větvenými molekulami. Jeho struktura obsahuje malé množství krystalického podílu. PVC existuje ve dvou variantách měkčený a tvrdý PVC. [30]

Tvrdý PVC – tPVC, má hustotu $1,36 \text{ g/cm}^3$, pevnost 35 MPa, modul pružnosti 2 500 MPa, $T_g \sim 80^\circ\text{C}$; teploty použití (-5 až 85°C). Je velmi odolný vůči vodě, kyselinám, zásadám i organickým chemikáliím. Je málo propustný pro vodní páry a kyslík. tPVC má vysokou tvrdost, odolnost proti oděru a mechanickou pevnost, dobré elektroizolační vlastnosti, vysoký lesk a čírost. Je samozhášivý. Zpracovává se vytlačováním, vstřikováním, válcováním, lisováním nebo tepelným tvarováním. Výroba z tPVC je velmi obtížná z důvodu nízké teplotní odolnosti a špatných tokových vlastností taveniny (nutnost použít maziva, stabilizátory, změkčovadla). [30]

Používá se na výrobu trubek a armatur na odpadní vodu, profily ve stavebnictví (okna), v nábytkářství fólie a desky, lahve na kosmetiku a čisticí prostředky. [30]

Měkčený PVC – mPVC, obsahuje změkčovadlo (olejovitá organická kapalina), která proniká mezi molekuly PVC a tak snižuje soudržnost (kohezi) mezi makromolekulárními řetězci. mPVC je ohebný, ohebnost závisí na množství změkčovadla. V elektrotechnice se používá především na izolace vodičů. [30]

3.1.4 Modifikace polymerů

Modifikací polymerů se rozumí přidávání přísad do polymerů a tím upravování jejich zpracovatelských i užitných vlastností. Jsou to např.: stabilizátory, změkčovadla, maziva, barviva, plniva, nadouvadla, síťovací činidla, antistatické přísady. Polymery tvoří s přísadami směsi – různě homogenní. [22]

Pro elektrotechnické aplikace mají největší význam přísady, které zvyšují tepelnou odolnost a snižují hořlavost plastů, případně přísady s antistatickými účinky. Ve velké míře se využívá i přísad zlepšujících mechanické vlastnosti plastů.

Stabilizátory

Zvyšují odolnost proti účinku tepla, nebo světla popřípadě obou. Jsou různého složení podle druhu polymeru. Například pro PVC se používají kovová mýdla (stearát Pb), epoxidové sloučeniny, estery aminokyselin, organokovové sloučeniny, aj. Pro PP substituované fenoly, stíněné aminy atd., saze, antioxidanty (absorpce radikálů). [22]

Mezi stabilizátory patří: [22]

- retardéry hoření – látky absorbující tepelnou energii, po rozkladu zabraňují přístupu O₂, obsahují Cl, Br, F, Sb, P, Ba, N apod.;
- zhášiva – látky absorbující světelná kvanta přechodem do vybuzeného stavu a uvolněním tepelné energie; sloučeniny: Ni, Mn a Co.

Změkčovadla

Jsou látky, které vykazují změkčující účinek v polymerech: [22]

- snižují modul pružnosti;
- zvyšují deformaci;
- zvyšují rázovou houževnatost;
- snižují tvrdost.

Maziva

Maziva usnadňují zpracování polymerů a dělíme je na: [22]

- vnitřní: zlepšují tokové vlastnosti v celém průřezu toku;
- vnější: zlepšují pohyb na stěnách nástroje (skluz). Např.: mastné kyseliny, PE apod.

Barviva

Barviva upravují barevný vzhled výrobku. Barviva dělíme na: [22]

- pigmenty – nerozpustná barviva (rozpustná mají sklon k migraci);
- anorganická – TiO_2 , ultramarín, chromová zeleň, železná žluť i červeň, kadmiová červeň. (jsou stálejší, mají však nižší vybarvovací mohutnost);
- organická – ftalocyaninová, indantrenová, azobarviva.

Plniva

Plniva jsou přísady upravující tvrdost, modul pružnosti a snižují cenu. Plniva dělíme podle struktury na:

- prášková – kaolín, křída, těživec, mikromletý vápenec, dřevěná, moučka, mletá břídllice;
- vláknitá – skleněná stříž, C-mikrovlákna, bavlna, azbest, wiskery;
- útržková – papír, textil (pro fenolické lisovací hmoty);
- partikulární – skleněné kuličky, zrna písku.

Nadouvadla

Nadouvadly označujeme látky, které se při teplotě zpracování rozkládají za vzniku velkého množství plynných zplodin. Slouží při výrobě lehčených hmot. Jsou to: nitrozsloučeniny, azoslučeniny, azidy, hydrazidy, aminy, hybridy aj. [22]

Síťovací činidla

Síťovací činidla reagují při teplotě zpracování s polymerem za vzniku příčných vazeb mezi makromolekulami polymeru. Jsou to: [22]

- pro plasty: peroxidy, silany;
- pro kaučuky: síra a její sloučeniny, peroxidy, oxidy.

Antistatická činidla

Jsou to iontové hydrofilní sloučeniny, nebo látky s vysokým dipolmomentem, snižující zejména povrchový elektrický odpor výrobků z plastů a tím výskyt elektrostatického náboje na povrchu výrobku. Jejich provedení je ve formě: [22]

- vodivé přísady – saze, grafit, práškové kovy;
- vodivé povlaky – pokovení, vodivé nátěry.

4 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byla stručně popsána stavba a struktura polymerů a jejich rozdělení. Dále byly zmíněny způsoby zpracování polymerů. Další kapitola byla zaměřena, s ohledem na praktickou část diplomové práce, na zpracování termoplastů vstřikováním. Spolu s formami na vstřikování plastů, jejich rozdělením a jednotlivými částmi, byl detailněji popsán i vstřikovací stroj a celý vstřikovací cyklus.

Poslední kapitola popisuje termoplasty využívané v elektrotechnických aplikacích, požadované vlastnosti a testování. Detailně byly popsány některé z nejpoužívanějších typů plastů včetně různých typů modifikací, zvyšující užité vlastnosti polymerních materiálů, které jsou v elektrotechnice hojně využívány.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je navrhnout vstřikovací formu pro součást sestavy stykače se změněným vtokovým a temperačním systémem tvarových vložek dutiny formy oproti stávající formě. Cílem je eliminovat defekty výrobku, které není možno při současném konceptu formy odstranit. Vhodnost zvoleného konceptu nové formy bude ověřena tokovými analýzami a výsledky budou porovnány s analýzou současné formy.

Jednotlivé kroky diplomové práce:

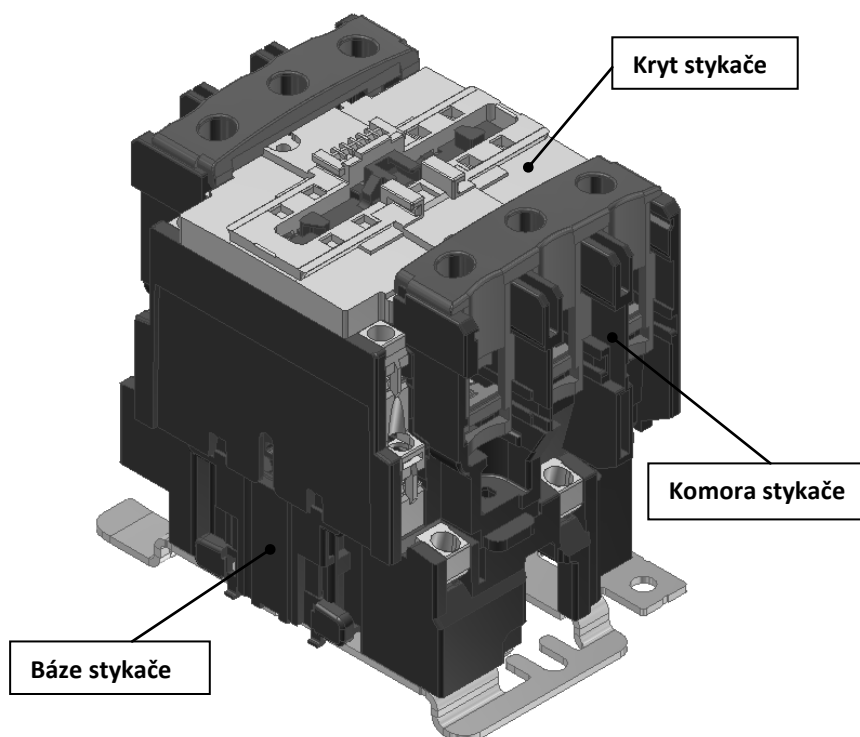
- volba vhodného řešení vstřikovací formy;
- vytvoření 3D modelu nové vstřikovací formy;
- vytvoření 3D modelu tvarových vložek dutiny formy se změněnou temperací;
- porovnání výsledků tokových analýz původní a nové formy;
- ekonomické zhodnocení nového řešení.

6 STYKAČ

Stykače jsou spínací přístroje určené pro časté spínání obvodů. Prakticky se jedná o mechanický zesilovač. Malou energií lze dálkově ovládat spínací přístroj (stykač), který ovládá spotřebič. [31] Stykače umožňují spínat velké proudy, podle provedení až v řádech tisíců ampér.

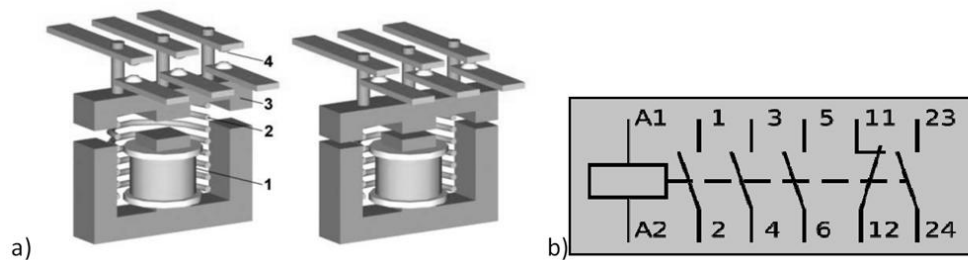
6.1 Popis stykače

Stykač se skládá z několika částí, báze, komory a krytu. Báze obsahuje cívku elektromagnetu, která přitahuje kotvu umístěnou v komoře stykače. Kotva je spojena s hlavními (silovými) a pracovními (pomocnými) pohyblivými kontakty. V komoře jsou dále umístěny pevné kontakty, na jejichž svorky je z jedné strany připojen přívod silového proudu a na druhé straně je připojen spotřebič. Kolem hlavních (silových) kontaktů je zhášecí hřeben, který slouží k zhášení případného oblouku mezi kontakty. Stykač má dvě polohy, klidovou (vypnuto) a pracovní (zapnuto). Celá sestava je sešroubována dohromady a je připevněna na plechovou podložku. Díky této podložce je možno stykač nasadit na lištu v elektrickém rozvaděči.



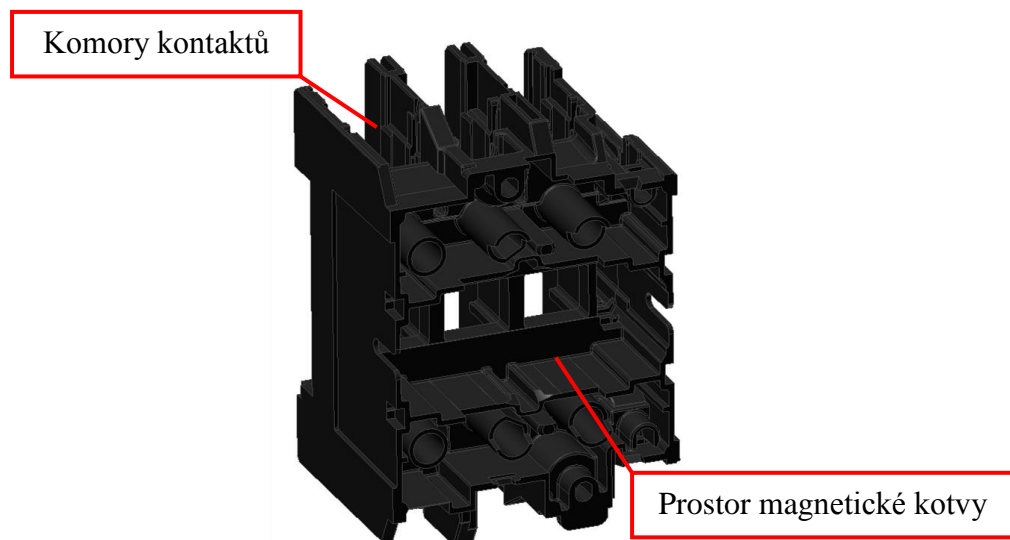
Obr. 48: Hlavní části stykače Schneider Electric LCI D80.

Stykač je spínán ovládacím střídavým nebo stejnosměrným napětím, obvykle 12 nebo 24V. Toto napětí je přivedeno na svorky cívky elektromagnetu, která průchodem elektrického proudu vytvoří magnetické pole a to přitáhne kotvu vyrobenou z magneticky vodivého materiálu. S kotvou spojené pohyblivé kontakty jsou přitaženy na kontakty pevné a tak je zajištěno uzavření elektrického obvodu, do kterého je stykač vřazen. Obvod je sepnut tak dlouho, dokud je na cívku elektromagnetu připojeno ovládací napětí.



Obr. 49: a) stykač - princip funkce 1) proudová cívka, 2) pružina, 3) magnetický obvod 4) silové kontakty; b) stykač – elektrické schéma, čísla svorek: A1, A2 – proudová cívka, 1 až 6 – silové kontakty, 11,12,23,24 – pomocné kontakty. [32]

Předmětem diplomové práce je návrh formy pro komoru stykače. Tento díl je velmi tvarově a rozměrově náročný. Komora je nosičem pevných kontaktů, které jsou při montáži vtlačeny do prolisů na bocích, a zároveň se ve středu pohybuje kotva elektromagnetu s pohyblivými kontakty. Je proto velmi důležité, aby tato součást byla velice přesná a nedocházelo tak k případnému blokování pohyblivých částí nebo nepřesnostem v poloze částí pevných.



Obr. 50: 3D model komory stykače.

6.2 Materiál komory stykače

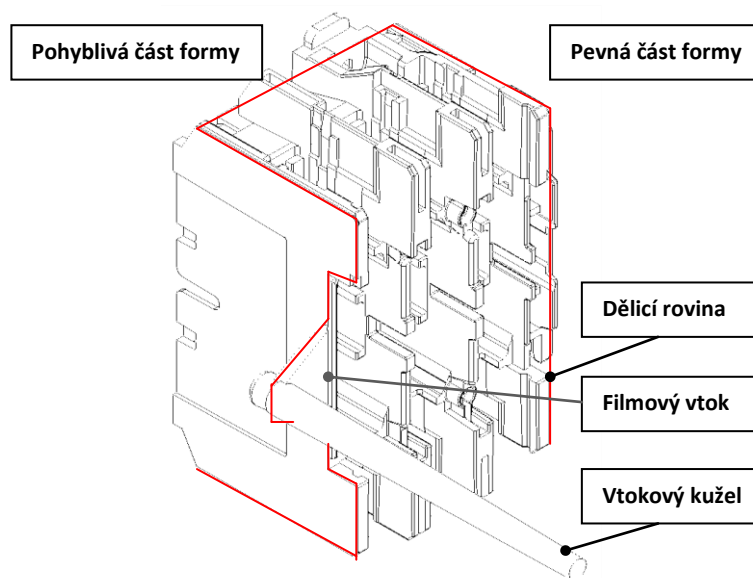
Komora je vyrobena z PA66 plněného z 25 % skleněnými vlákny. Materiál vyniká velmi vysokou houževnatostí a pevností spolu s vynikajícími elektrickými vlastnostmi. [33] Retardéry hoření, které materiál obsahuje, jsou na bázi červeného fosforu. Aditiva obsahující fosfor jsou nejčastěji aktivní v kondenzované fázi, ovlivňují pyrolýzu a formování uhlékatého zbytku. V kondenzované fázi se tvoří fosforečné a jí příbuzné kyseliny, které působí jako chladič díky endotermní reakci. Vytvářejí tenký sklovitý potah, který slouží jako bariéra, snižující vývoj hořlavých plynů, přenos tepla a omezující přístup kyslíku. V plynné fázi zastaví proces radikálové oxidace uhlíku na oxid uhelnatý a tím se brání silně exotermické reakci na oxid uhličitý. [34] Produktový list je v příloze PIII.

7 VOLBA KONCEPTU FORMY

Při volbě konceptu formy bylo vycházeno z analýzy současné formy. Návrh nové formy musí v maximální možné míře omezit defekty výrobku vycházející ze současného konceptu.

7.1 Analýza současné formy

Komora stykače se v současné době vyrábí ve dvoudeskové systému vstřikovací formy. Záporné úhly a otvory ze strany kontaktů jsou odformovány bočními čelistmi. Dutina formy je plněna filmovým vtokem ústícím do boční stěny. Zaformování výrobku je znázorněno na následujícím obrázku.

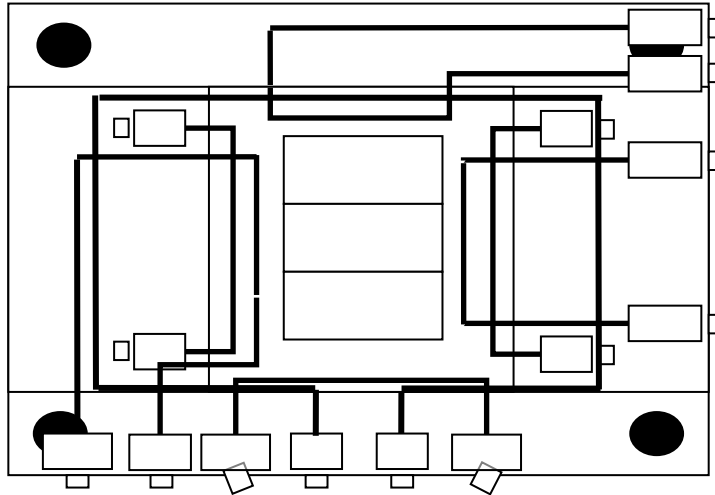


Obr. 51: Komora stykače s vtokovou soustavou – zaformování.

Temperace formy je řešena kanály, které jsou vrtány v opěrných deskách pevné i pohyblivé části formy, bočních čelistech, tvarových vložkách pevné části a vnějších tvarových vložkách pohyblivé části formy. Vnitřní tvarové vložky pohyblivé části formy nejsou temperovány, viz schéma na Obr. 52.

Z pohledu konstrukce formy je největším rizikem nedostatečná temperace vnitřních tvarových vložek pohyblivé části formy a vzhledem k materiálu výrobku i umístění vtokového ústí. Oba tyto prvky pravděpodobně vedou k deformacím zapříčiněným v prvním případě nerovnoměrným chladnutím materiálu v dutině formy, kdy jsou studené vnější stěny deformovány stahujícím se, pomalu chladnoucím středem výstřiku. V druhém případě jde o

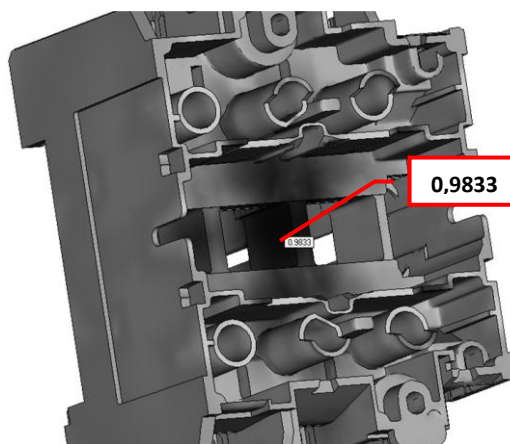
riziko deformací spojené s orientací skleněných vláken, která jsou orientována ve směru toku. Zde se materiál smršťuje rozdílně v podélném (menší smrštění) a příčném (větší smrštění) směru vzhledem ke směru toku. Nová forma by měla tato rizika omezit.



Obr. 52: Schématické znázornění temperačních okruhů pohyblivé části současné formy komory stykače.

7.2 Analýza součástky – umístění vtoku

V důsledku použití materiálu plněného skleněnými vlákny je pozice vtokového ústí kritickým parametrem při návrhu formy. [35] Je nutno zajistit co nejrovnoměrnější orientaci skleněných vláken. Model výrobku byl proto analyzován softwarem Autodesk® MoldFlow®, konkrétně analýzou Gate Location analysis. Tato analýza navrhuje nejvhodnější pozici vtokového ústí na základě kritérií, jakými jsou geometrie výrobku, odpor proti tečení materiálu, tloušťka stěny a proveditelnost odformování. [36] Pozice nejvhodnějšího umístění vtokového ústí navržená analýzou je zobrazena na následujícím obrázku.



Obr. 53: Vhodnost umístění vtokového ústí.

7.3 Varianty řešení

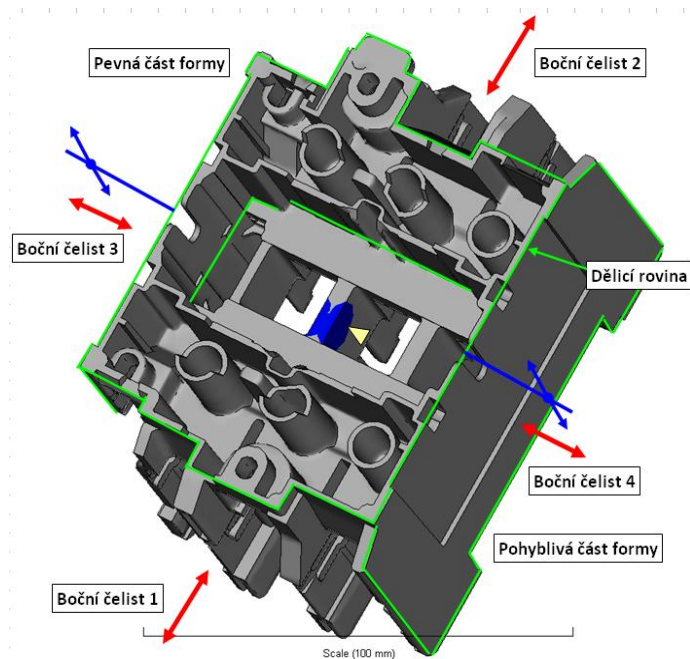
Rizika zjištěná analýzou původní formy a současné požadavky na kapacitu nástroje jsou určující pro výběr z možných variant konceptu formy.

7.3.1 Násobnost formy

Násobnost formy byla vypočtena s ohledem na požadovanou roční kapacitu nástroje 400 000 kusů a odhadované délky cyklu 40 s. Čas cyklu byl odhadnut na základě zkušeností s výrobou podobných výrobků a byl konzultován s procesními specialisty firmy Schneider Electric. Při roční hodinové dotaci výroby 5 400 hodin (5 dní v týdnu, 3 směny), 85 % výrobního času (15 % rezervováno na údržbu a manipulaci s nástrojem) a 3 % kalkulované zmetkovitosti, jsme došli k závěru, že kapacitně bude dostačující jednonásobná forma. Výpočet je uveden v příloze PIV.

7.3.2 Zaformování výrobku

Bylo voleno na základě zkušeností se současnou formou a navrženým ideálním umístěním vtokového ústí (kapitola 7.2). Výsledek analýzy byl vyhodnocen jako relevantní vzhledem ke geometrii a komplikovanému tvaru výrobku. Proto bylo rozhodnuto, přiblížit se v konečném konceptu formy, ideálnímu umístění vtokového ústí co nejvíce.



Obr. 54: Navrhované zaformování komory stykače.

Pozice výrobku ve formě byla na základě výše uvedených skutečností otočena o 180° oproti původní formě viz obrázek 54. Vtokové ústí se přesune z boku vnější stěny výrobku do stěny střední přepážky s možností dvou ústí vtoku (druhé do protilehlého žebra).

7.3.3 Formování bočních otvorů a záporných úhlů

Boční otvory a záporné úhly budou odformovány pomocí bočních čelistí, stejným způsobem jako u stávající formy. Boční čelisti budou, na rozdíl od původního nástroje, tvarovat také boky výrobku. Zde se vycházelo z předpokladu snadnější temperace menšího objemu materiálu čelistí a požadavku nulového úkosu bočních stěn výrobku.

7.3.4 Vtoková soustava

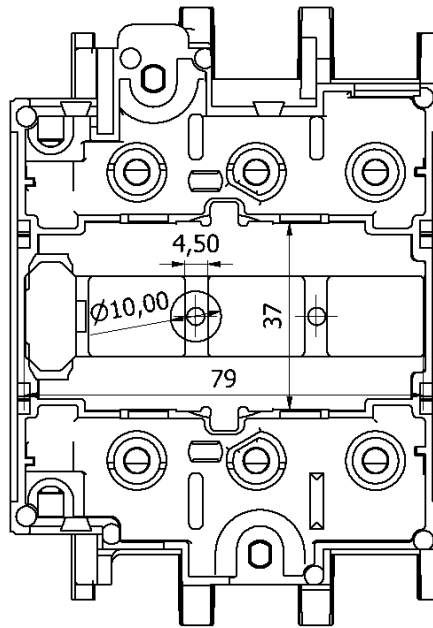
Při volbě vhodného vtokového systému byla určujícím prvkem zvolená poloha vtokového ústí. Nová forma by zároveň měla přinést úsporu materiálu, a proto bylo primárním cílem implementovat technologii omezující vznik vtokového zbytku, v našem případě VVS – vytápěný vtokový systém, konkrétně horká tryska. Hlavní výhodou samostatné horké trysky je výroba bez zbytku vtokové soustavy. Tím zároveň odpadá oddělování vtokového ústí, podobně jako u třídeskového systému forem. Prostor pro horkou trysku je ale mnohem menší. Nevýhodou horké trysky je vyšší cena formy (rozdíl není příliš velký v porovnání s třídeskovým systémem). [37]

Uvažovány byly následující možnosti.

Samostatná horká tryska s výměnnou špičkou 4 mm – ústí vtoku do horní plochy střední přepážky

Při použití horké trysky by v našem případě byla tryska zaústěna do horní plochy středního žebra. Toto řešení by s sebou neslo riziko volného toku (jetting), i když velmi malé neboť dráha tečení do protější stěny by byla krátká. Mnohem závažnější problém, hovořící proti tomuto řešení je nedostatek prostoru v okolí horké trysky pro temperační kanály. Průměr trysky je 32 mm (Moldmaster DECI série) a volný prostor, který máme k dispozici je 36 mm x 79 mm. Dalším faktorem diskvalifikujícím toto řešení je fakt, že není možné opírat špičku horké trysky přímo o stěnu dutiny formy. Tuto podmínku by nebylo možno splnit, protože šířka žebra je 4,5 mm a průměr špičky 10 mm. Zde by špička přesahovala 5,5 mm šířku přepážky a při uzavření formy by se dotýkala protější stěny dutiny formy (Obr 55).

Pro naši aplikaci není toto řešení vhodné.



Obr 55: Znázornění průměru špičky horké trysky a tloušťky přepážky.

Samostatná horká tryska s prodlouženou výměnnou špičkou 40 mm - ústí vtoku do horní plochy střední přepážky

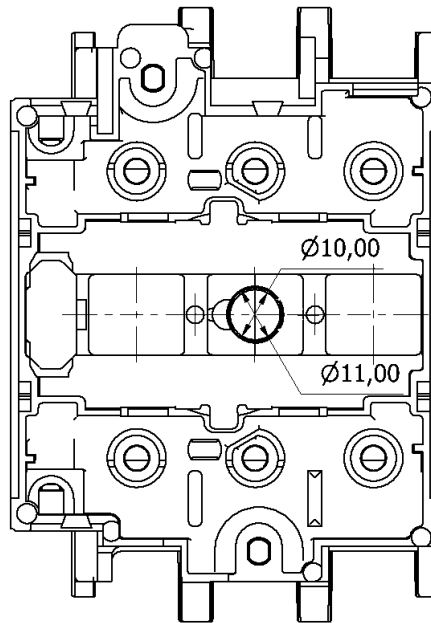
Tato varianta řeší nedostatek prostoru pro temperaci horké trysky a špičky, vzdálenost 40 mm od horní plochy středního žebra je dostačující (hloubka profilu výrobku je 26,5 mm). Toto řešení ale neodstraní problém s přesahem trysky a tím její kontakt se stěnou dutiny formy. Další nevýhodou je vznik vtokového zbytku (délka prodloužené špičky), který by se velmi špatně odstraňoval, případný ořep by mohl omezovat rozsah zdvihu pohyblivých částí stykače a to není přípustné.

Pro naši aplikaci není toto řešení vhodné.

Samostatná horká tryska s prodlouženou výměnnou špičkou 40 mm v kombinaci se studeným rozvodným kanálem - ústí vtoku do boční stěny střední přepážky

Prodloužená špička umožňuje temperaci horké trysky i samotné špičky. Přesunutím špičky do prostoru mezi přepážkami a vstříkáním do studeného rozvodného systému ústícího do boku střední přepážky odpadá riziko omezení zdvihu pohyblivých částí stykače. Je ale nutné vytvořit samostatné vyhazování zbytku vtokové soustavy a zajistit spolehlivé oddělení vtokového ústí od výstřiku. Problém styku trysky se stěnou dutiny formy se dá řešit lokálním zvětšením plochy studeného rozvodného kanálu, viz Obr. 56.

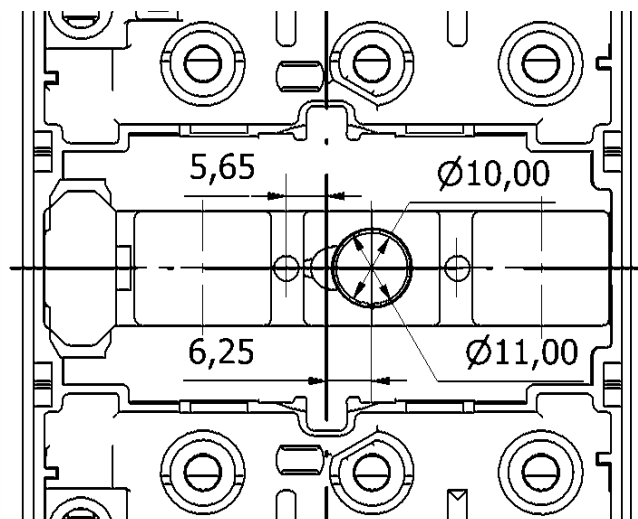
Pro naši aplikaci je toto řešení vhodné a použitelné.



Obr. 56: Řešení s vtokovým ústím
do boční stěny střední přepážky.

U této varianty se nabízí použití vtokové vložky místo horké trysky, zde by ale došlo ke značnému zvětšení vtokového zbytku.

Nevýhodou výše zmíněných řešení je nutnost vyosení formy vzhledem k ose souměrnosti uzavírací jednotky vstřikovacího stroje z důvodu polohy geometrického středu výrobku, který leží nesouměrně mezi přepážkami (Obr. 57).



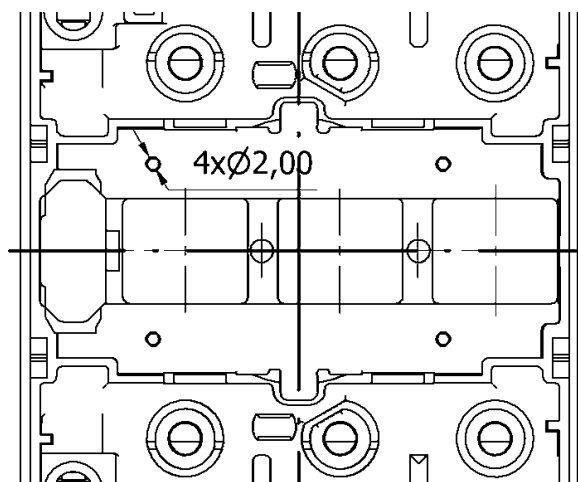
Obr. 57: Posunutí od geometrického
středu výrobku u zamýšlených variant
vtokových soustav.

Třideskový systém formy – ústí vtoku do horní plochy vnitřního profilu

Řešení vtokové soustavy za pomoci třideskového systému formy by umožnilo vycentrovat formu vůči uzavírací jednotce stroje. Podmínkou by bylo více vtokových ústí. Pro tuto variantu hovoří i automatické oddělování vtokové soustavy při otevírání formy.

Nevýhodou je naopak větší vtokový zbytek a mnohem větší zástavbová výška formy. Dalším omezujícím faktorem je poměrně náročný provoz formy ve výrobě a riziko při vyhozování vtokového zbytku, kdy se poměrně často u tohoto typu forem stává, že vtoková soustava zůstane po vyhození mezi deskami formy. Dochází tak k přerušování cyklu a nestabilitě výroby. Možným rizikem je i prodloužení pracovního cyklu vzhledem k vyšším zdvihům uzavírací jednotky a nižším rychlostem v porovnání s dvoudeskovou formou.

Pro naši aplikaci není toto řešení vhodné.



Obr. 58: Možná poloha vtokových ústí u třideskového řešení formy.

Zvolené řešení vtokové soustavy

Po uvážení nabízených řešení by byla pro naši aplikaci nejvhodnější varianta s horkou tryskou a prodlouženou špičkou v kombinaci se studeným vtokovým systémem ústícím do boční stěny střední přepážky. Vzhledem k omezené nabídce prodloužených horkých trysek, kdy je nabízena maximální délka prodloužené špičky 40 mm, byla zvolena alternativa se studenou vtokovou vložkou.

Výhodou tohoto řešení je jednoduchá dvoudesková konstrukce a malý zbytek vtokové soustavy. U této varianty se předpokládá snadná obsluha a údržba formy a dodržení odhadovaného času cyklu v porovnání s třideskovým systémem.

Nevýhodou je vyosení formy v zavírací jednotce stroje. Toto vyosení by ale nemělo mít větší vliv na kvalitu výstřiku a životnost formy vzhledem k malé vzdálenosti od geometrického středu výrobku, která činí 6,25 mm.

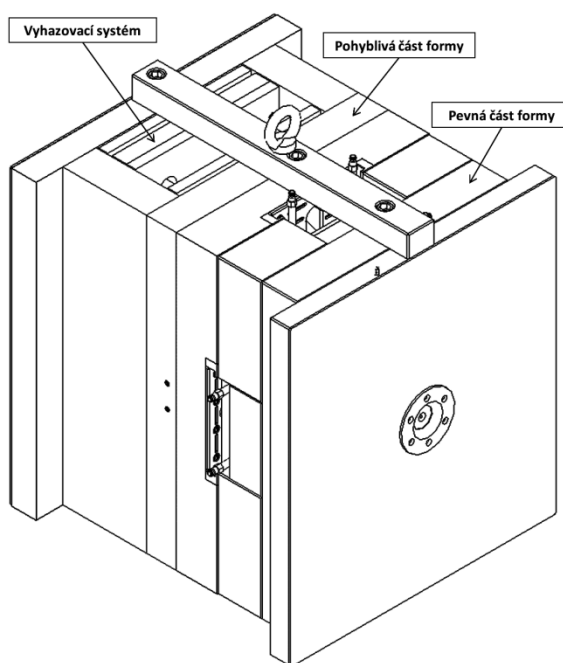
8 FORMA

Nová forma byla navržena s cílem, co nejvíce omezit veškerá rizika zmíněná výše. To znamená, umístění vtoku tak, aby se minimalizoval vliv orientace skleněných vláken a nerovnoměrnosti teplotního pole formy na deformaci výrobku.

Výsledný návrh vychází ze závěrů kapitoly 7, kde se posuzovala vhodnost různých variant řešení. Nová forma je jednotisková, dvoudesková se studenou vtokovou soustavou.

8.1 Rám formy

S ohledem na co největší spolehlivost výrobního procesu a jednoduchost obsluhy byl zvolen dvoudeskový systém formy klasické konstrukce, skládající se z pevné a pohyblivé části, kde vyhazovací systém je umístěn v pohyblivé části. Maximální rozměry formy jsou 496x 546x524 mm



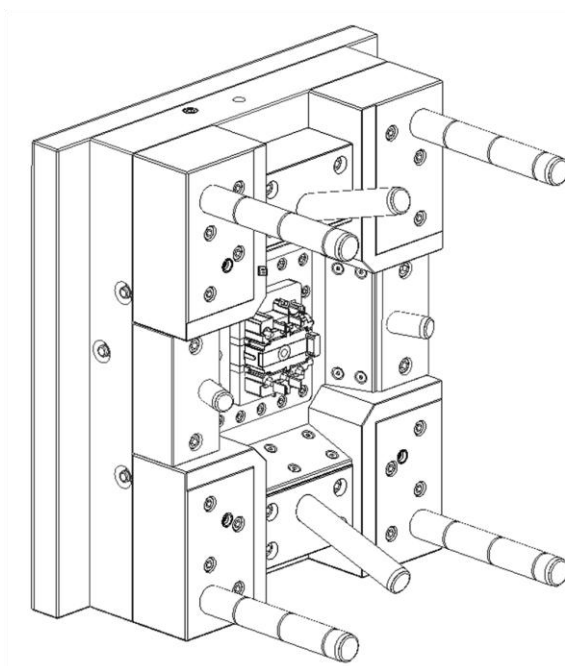
Obr. 59: Navržená forma – celkový pohled.

Obě upínací desky jsou vybaveny středícími kroužky ($\varnothing 100$ mm), pro přesné usazení formy v uzavírací jednotce. Středící kroužky jsou v našem případě velmi důležité, protože je forma vyosena o 6,2 mm doleva od středové osy zavírací jednotky.

Pevná část formy se skládá ze dvou desek, upínací (496x546x36 mm) a kotevní (396x546x66 mm). Pro výrobu všech desek byly zvoleny normálie firmy Hasco, materiál 1.2312. Na upínací desce je přišroubována deska izolační. V kotevní desce je zasazen upí-

nací rámeček, který dotahuje tvarové vložky dutiny formy na kotevní desku. Dále jsou na kotevní desce přišroubovány distanční bloky, kterými prochází vodicí kolíky. Přesná montáž bloků je jištěna kolíky.

Dalšími prvky připevněnými na kotevní desce jsou čtyři zámky bočních čelistí, kterými prochází šikmé kolíky vedení bočních čelistí. Delší vodicí kolíky (30x300 mm) jsou umístěny pod úhlem 72° a zajišťují úplnou dráhu otevření vertikálních bočních čelistí (47 mm), které formují otvory pro kontakty. Kratší kolíky (24x180 mm) jsou uloženy pod stejným úhlem, jako kolíky delší a vedou boční čelisti formující boky výstřiku. Dráha otevření čelistí je v tomto případě 13 mm. Všechny zámky bočních čelistí jsou opět jištěny kolíky proti posunutí při montáži a jsou doplněny o kluzné desky snižující opotřebení zámků v důsledku pohybu čelistí.

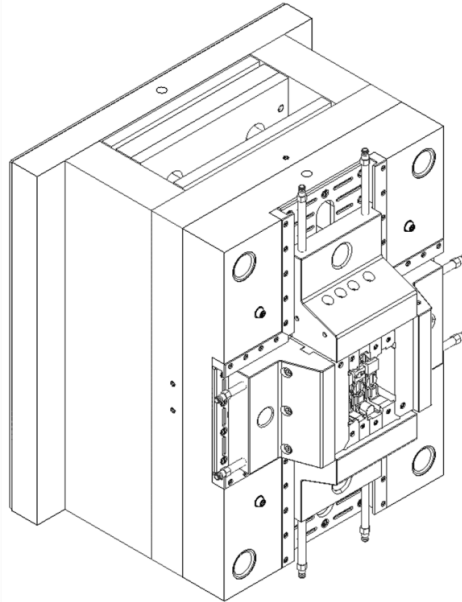


Obr. 60: Pevná část formy – celkový pohled.

Pohyblivá část formy je tvořena upínací (496x546x46 mm), kotevní (396x546x76 mm) a opěrnou (396x546x56 mm) deskou. Prostor pro vyhazovací systém je mezi opěrnou a upínací deskou zajištěn pomocí distančních desek (396x546x136 mm). Snížení prohýbání opěrné desky během vstřikovacího procesu zajišťují dva opěrné sloupky Ø 90 mm, umístěné symetricky mezi upínací a opěrnou deskou. Mezi opěrnou a upínací deskou jsou usazeny i vodicí sloupky vyhazovacího systému formy.

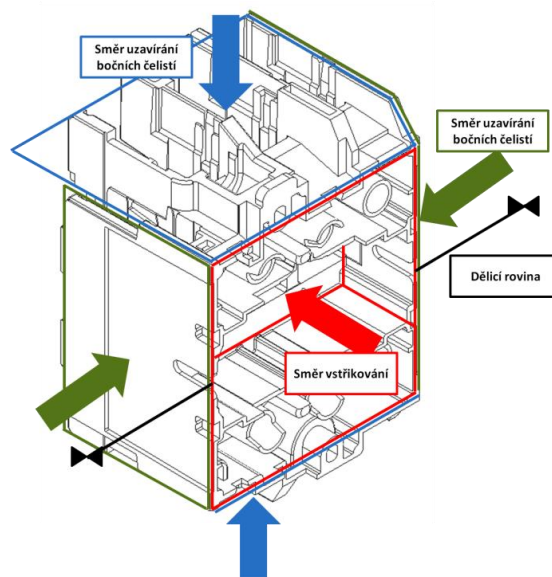
Do kotevní desky je vložen upínací rámeček tvarových vložek dutiny formy, podobně jako u pevné části. Vedení pohyblivých čelistí v kotevní desce je zajištěno profilovými lištami.

Boční čelisti se pohybují po kluzných deskách s drážkami na povrchu pro lepší držení maziva. Proti posunutí jsou horizontální čelisti v otevřené poloze zajištěny pružinou s kuličkou, vertikální čelisti jistí pružiny dvě.



Obr 61: Pohyblivá část formy – celkový pohled.

Středění obou částí formy je zajištěno vodícími a středícími prvky. Jako vodících prvků bylo použito čtyř kolíků ukotvených v pevné části a vodících pouzder zasazených v pohyblivé část formy. Při uzavření formy je zabezpečena přesná vzájemná poloha obou částí čtyřmi kuželovými kolíky v pohyblivé a pouzdry v pevné polovině.



Obr. 62: Zaformování výstřiku ve formě

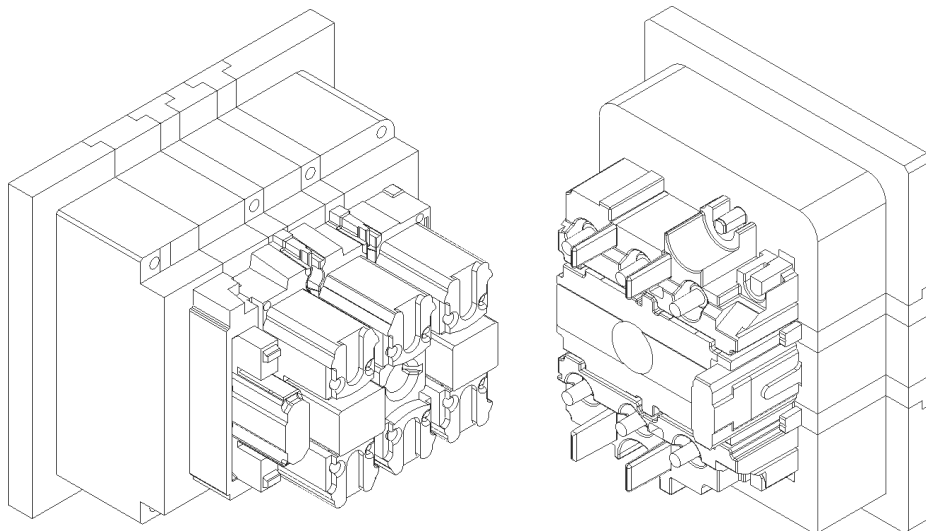
Zaformování výrobku je zřejmé z Obr. 62, i zde byl zachován prvotní návrh. Hlavní dělicí rovina je tvořena pevnou a pohyblivou částí formy a vedlejší dělicí roviny určují boční čelisti a pohyblivá část formy.

8.2 Dutina formy

Dutinu formy tvoří tvarové vložky pohyblivé a pevné části formy a tvarové vložky bočních čelistí. Vložky pohyblivé části formy tvarují komory kontaktů výstřiku, vložky pevné části potom vytváří dutinu pro pohyb magnetické kotvy. Tvarové vložky umístěné na vertikálních bočních čelistech dosedají na tvarové vložky pohyblivé části formy a formují tak otvory a drážky kontaktů. Horizontální boční čelisti dávají tvar bokům výstřiku.

Tvarové vložky horizontálních čelistí jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu, ostatní tvarové vložky se skládají z několika segmentů. Dělení jednotlivých segmentů odpovídá členitosti výstřiku na straně umístění kontaktů i na straně pohybu magnetické kotvy výrobku. Materiálem dutiny formy byla zvolena ocel UDDEHOLM STAVAX[®] ESR.

Vnitřní stěny ze strany kontaktů jsou navrženy s úkosem $0,5^\circ$, vnější stěny a stěny vnitřní prostoru magnetické kotvy jsou bez úkosů (předepsáno výkresem). Tento fakt by neměl činit potíže při odformování, vzhledem k povrchové úpravě formy (leštění) a poměrně malé ploše v porovnání se stranou kontaktů. Celá dutina je navržena větší o 0,5%, tak aby se kompenzovalo objemové smrštění materiálu.



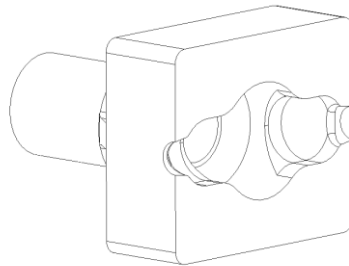
Obr. 63: Tvarové vložky pohyblivé a pevné části formy.

8.3 Vtokový systém

Ve formě je použit studený vtokový systém, skládající se z vtokové vložky a oddělovače vtoku.

Použitá vtoková vložka je vyrobená podle normy firmy Hasco. Vstupní průměr otvoru vložky je 4 mm a úkos vtokového kužele činí $0,5^\circ$, délka celé vložky je ale 138 mm. Rádius vtokové vložky je 15,5 mm. Konec vtokové vložky byl přizpůsoben tvaru dutiny formy a přímo dosedá na oddělovač vtoku.

Oddělovačem vtoku je tvarová vložka našroubovaná na trubkový vyhazovač. Dutina této vložky plní účel zároveň rozvodných kanálů, vtokových ústí a přidržovače vtoku. K oddělení vtoků dojde při pohybu trubkového vyhazovače, kdy se posune i celá tvarová vložka oddělovače vtoku a ústí vtoku tvarové vložky odstříhnou vtoky od výstřiku. Uvnitř trubkového vyhazovače se pohybuje tvarovaný vyhazovač vtoku – přidržovač. Jednotlivé fáze odstřížení a vyhození vtoku jsou zobrazeny v příloze PVII.



Obr. 64: Oddělovač vtoku.

8.4 Vyhazovací systém

Ve formě byl upřednostněn návrh temperačních kanálů a umístění vtoku. Díky tomu se musel vyhazovací systém přizpůsobit rozmístění těchto konstrukčních prvků.

Vyhazovací systém je dvoustupňový a sestává ze čtyř desek a trubkových, plochých a válcových vyhazovačů. Pro zlepšení účinnosti vyhazovačů je použito i stíracích elementů. Některé vyhazovače jsou použity jako tvarové kolíky v dutině formy, další jsou rozmístěny po obvodu výstřiku. Stírací elementy působí napříč přes žebra výstřiku. Součástí vyhazovacího systému je i oddělovač vtoku spolu s vyhazovačem.

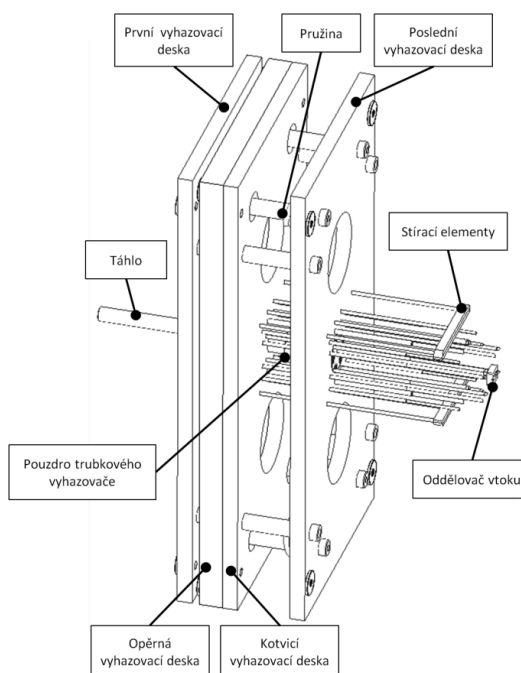
Desky vyhazovačů se pohybují mezi upínací a opěrnou deskou pohyblivé části formy a jsou vedeny celkem osmi vodícími sloupky. Pořadí desek směrem od upínací desky formy je vidět na následujícím obrázku. První a poslední deska jsou rozepřeny pružinami mezi

maticí táhla vyhazovače a pouzdem trubkového oddělovače – vyhazovače vtoku. Mezi těmito deskami se pohybuje kotevní deska s opěrnou deskou. Jejich pohyb je omezen první deskou a pouzdem vyhazovače vtoku. Vyhazovací mechanismus vstřikovacího stroje uvádí do pohybu – tlačí první desku vyhazovačů táhlem přes opěrnou matici. Pohyb zpět je zajištěn poslední deskou, která je tažena táhlem, kdy se pohyb přenáší přes pouzdro trubkového vyhazovače – oddělovače vtoku, ten je do desky přišroubován.

Stírací elementy jsou ukotveny do první vyhazovací desky, následují tak její pohyb. Tyto elementy jsou ve tvarových vložkách dutiny formy umístěny až pod vložkami bočních čelistí a nejsou přímo v kontaktu s výstřikem. Na výstřik zatlačí až po dráze zhruba 5 mm v okamžiku, kdy první deska vyhazovačů narazí na desku opěrnou, do té doby se stírací elementy pohybují spolu s trubkovým oddělovačem vtoku a přidržovačem vtoku (viz příloha P VII).

Oddělovač vtoku je ukotven do poslední vyhazovací desky, která je aktivována první deskou přes čtyři pružiny. Svůj pohyb končí v okamžiku, kdy se poslední deska opře o opěrnou desku formy. První deska v tu chvíli začne stlačovat pružiny a zároveň před sebou tlačí opěrnou a kotevní desku vyhazovačů, ve kterých jsou uchyceny ostatní vyhazovače.

Celkové vysunutí vyhazovačů odpovídá stlačení pružin 34 mm. K oddělení vtoků je zapotřebí síly 1000 N, tu dosáhnou pružiny na dráze 3,9 mm, výpočet je v příloze P IV. tomto okamžiku dojde k ustřižení. Dráha oddělovače vtoku je 5 mm.

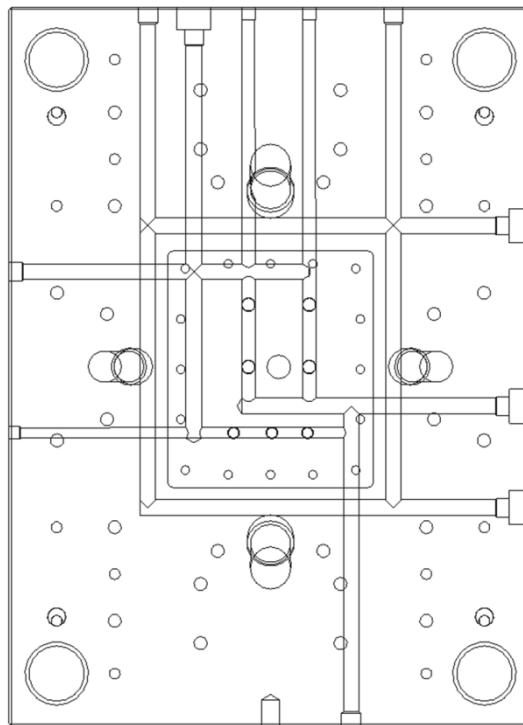


Obr. 65: Vyhazovací systém formy.

8.5 Temperační systém

Temperační systém formy je tvořen několika samostatnými okruhy v pevné i pohyblivé části. Boční čelisti mají také samostatné okruhy.

Pevná část formy, zde jsou temperovány tvarové vložky a kotevní deska. Temperační okruhy jsou vrtány v kotevní desce. Pro temperaci kotevní desky je určen samostatný temperační okruh vedoucí okolo dutiny pro tvarové vložky. Tři tvarové vložky dutiny formy jsou temperovány pomocí přepážek, které procházejí z druhého temperačního kanálu v kotevní desce až do tvarových vložek. Vložka s otvorem pro vtokovou vložku a horní vložka jsou temperovány dvěma přepážkami šířky 10 mm a spodní vložka potom třemi přepážkami šířky 8 mm. Do vložek se temperační medium dostává přívodními otvory, které jsou utěsněny „O“ kroužky na straně tvarových vložek. Přepážky jsou našroubovány v kotevní desce. Průměr přívodních a odvodních kanálů je 12 mm, tak aby byla zajištěna dostatečná průtočnost. Přívod a odvod samostatných větví temperace tvarových vložek je zapojen paralelně.

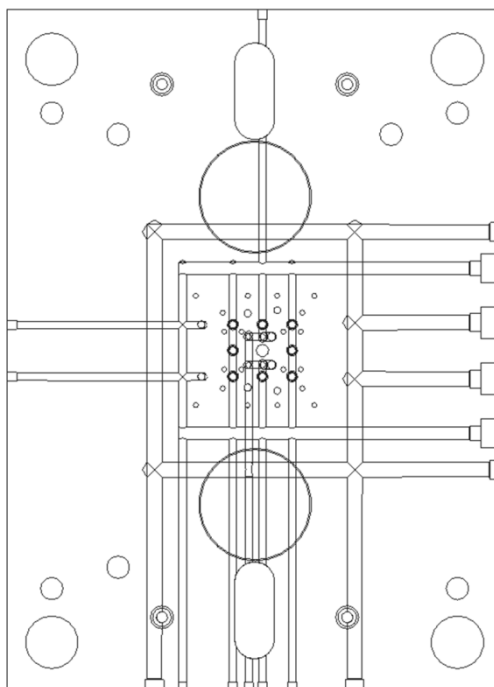


Obr. 66: Temperační kanály kotevní desky pevné části formy.

Pohyblivá část formy má vrtané kanály v kotevní a opěrné desce. V kotevní desce je pouze jeden okruh pro temperování kotevní desky. Do opěrné desky jsou vyvrtány dva temperač-

ní okruhy. Okruh pro temperaci samotné desky je vrtaný kanály průměru 12 mm a vede okolo dutiny pro tvarové vložky. Druhý okruh je umístěn nad temperací desky. Přívod a odvod temperačního media je zajištěn kanály o průměru 10 mm a přivádí respektive odvádí temperační médium paralelně do jednotlivých větví temperace tvarových vložek.

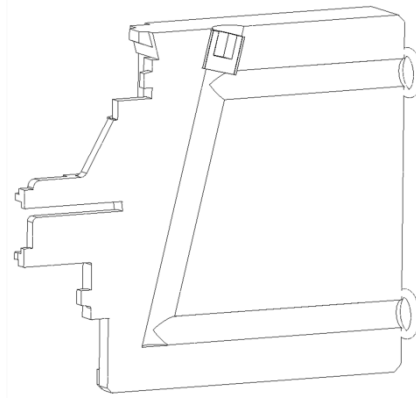
Tvarové vložky jsou, podobně jako u pevné části formy, temperovány pomocí přepážek, v tomto případě ale šířky 6 mm. U jedné krajní vložky byl použit klasický vrtaný okruh. Temperační médium je přiváděno přepážkami z temperačních kanálů v opěrné desce skrz otvory v desce kotevní, ty jsou opět utěsněny „O“ kroužky na straně tvarových vložek a kotevní desky. Přepážky jsou šroubovány do opěrné desky.



Obr. 67: Temperační kanály opěrné desky pohyblivé části formy.

Boční čelisti jsou temperovány pomocí vrtaných kanálů, ty jsou zapojeny v sérii skrz kanály vrtané v jezdcích. Přívody a odvody temperačního media jsou zajištěny trubkami. Trubky jsou našroubovány do jezdců a přesahují obrys formy i při zavřených čelistech, nemělo by tak dojít k poškození přívodních hadic.

Správný směr toku temperačního media je realizován zásepky uvnitř kanálů. Těsnící zátky zabraňují unikání případných průsaků mimo temperační okruhy a zároveň brání vnikání nečistot do kanálů z vnějšku.



Obr. 68: Temperační kanál tvarové vložky boční čelisti – řez.

8.6 Odvzdušnění

Ve formě nebyla provedena žádná speciální opatření pro odvzdušnění formy. Přirozený odvod vzduchu by měl být zajištěn okolo vyhazovačů a bočních čelistí. Ventilaci dutiny formy podporuje i stavba dutiny samotné, kdy je dutina rozčleněna do mnoha vložek a vzduch může během vstřikování unikat spárami mezi těmito vložkami.

9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vstřikovací stroj volíme na základě potřebné uzavírací síly, která se počítá z plochy výstřiku, včetně vtokového systému, v rovině kolmé na směr vstřikování a materiálového indexu, který udává potřebnou zavírací sílu na cm^2 daného polymeru. [38] Můžeme také vycházet z požadovaného vstřikovaného množství. Vstřikovací jednotka by měla být využita v optimálním případě na 80%. [20] V našem případě je dostatečná zavírací síla 120 tun (1200 kN), dle zkušeností se současnou výrobou. Limitující je kapacita vstřikovací jednotky a velikost formy.

Z pohledu velikosti uzavírací jednotky musíme volit stroj s minimální vzdáleností mezi sloupky 496 mm, případně můžeme volit bez sloupkový stroj, maximální výškou formy nad 524 mm a dráhou otevření nad 750 mm. Vybíráme-li ze strojů firmy Arburg, v úvahu přichází stroje řady 520 a výš. Z nabídky firmy Engel přichází v úvahu stroje od velikosti uzavírací jednotky VC 120.

Z pohledu vstřikovací kapacity, by měl být objem vstřikovací jednotky minimálně 329 cm^3 , výpočet je uveden v příloze P V. Nejmenší možnou vstřikovací jednotkou je u firmy Engel velikost 650 s průměrem šneku 50 mm. U firmy Arburg je nejmenší možná vstřikovací jednotka velikosti 800 s průměrem šneku 50 mm.

Vycházíme-li z aktuálního výrobního programu firem Arburg a Engel, pak by v našem případě mohly být vhodné stroje pro výrobu komory stykače Arburg 520S 1500 – 800 nebo Engel VC 650 / 120 s průměry šneku 50 mm (maximální objem vstřikovací jednotky – 392 cm^3), případně stroje jiné značky odpovídajících parametrů.

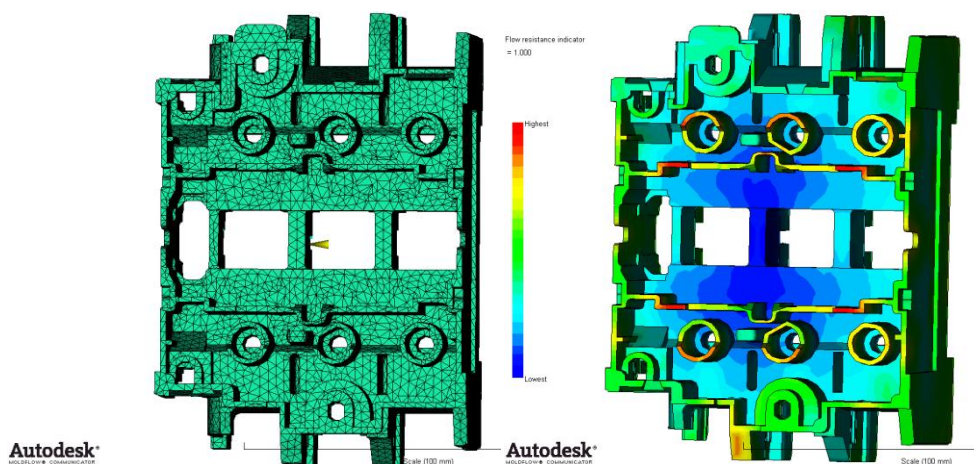
10 TOKOVÉ ANALÝZY

Tokové analýzy byly použity hned ze dvou důvodů. Prvním důvodem bylo zjištění příčin deformací komory stykače při současné výrobě a druhým důvodem bylo ověření návrhu nové formy z pohledu deformací výrobku. Porovnání obou analýz by mělo dát jasnou odpověď, zda došlo ke zlepšení či nikoliv. Pro tokové analýzy byl použit software Autodesk[®] MoldFlow[®], pro zobrazení výsledků potom Autodesk[®] MoldFlow Communicator[®].

Jak bylo zmíněno v kapitole 7, při posuzování příčin deformací jsme vycházeli z předpokladu, že ke změně tvaru výrobku dochází především díky nerovnoměrnému chlazení dutiny formy anebo díky nevhodnému umístění vtokového ústí. Proto byla, před započítím konstrukce nové formy, nejprve určena ideální pozice vtokového ústí.

10.1 Umístění vtokového ústí

Nejvhodnější umístění vtokového ústí určuje analýza Gate Location. Výstupem této analýzy je určení nejvhodnějšího umístění vtokového ústí a to z ohledem na geometrii výrobku a zvolený materiál. Výsledek Best Gate location umístí kužel vtokového ústí přímo do nejdělnějšího místa. Další výsledek Gating suitability zobrazuje místa na výrobku podle jejich vhodnosti pro umístění vtokového ústí a Flow resistance indicator doplňuje analýzu vykreslením míst podle jejich odporu proti toku materiálu.



Obr. 69: Výsledek Best Gate Location (vlevo) a Gating suitability (vpravo).

Jak je vidět na obrázku 69, umístění doporučeného vtokového ústí odpovídá i nejmenšímu odporu proti tečení materiálu a je vhodné pro náš výrobek. Výsledek této analýzy byl již zapracován do konstrukce nové formy (viz kapitola 7) a bude ověřen dalšími analýzami.

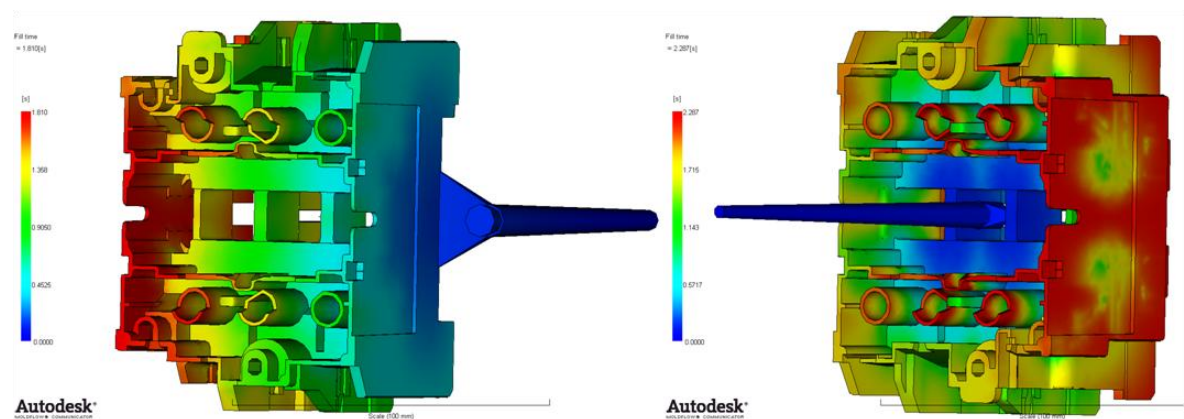
10.2 Porovnání analýz současné a nové formy

Analýzy existující a nové formy mají především objasnit příčiny deformací komory stykače, budou zde tedy představeny výsledky vztahující se k této oblasti.

Procesní podmínky analýzy a specifikace stroje byly u stávající formy nastaveny přesně podle současných výrobních podmínek, včetně temperačních okruhů a teploty a tlaku temperačního média (procesní parametry jsou uvedeny v příloze DVD), u formy nové byl nastaven čas otevření formy na 5 s a rampa dotlaku na 80 % plnicího tlaku po dobu 10 s, ostatní parametry byly ponechány na automatickém nastavení. Při zpracování výsledků byla potom největší pozornost zaměřena na výsledky plnění dutiny formy, teploty a deformace výrobku.

10.2.1 Analýza plnění

Z výsledku analýzy plnění současné formy je možno určit jeden z hlavních problémů – příčin deformací komory. Dutina formy je plněna z boku filmovým vtokem a postupně je dosaženo kompletního zaplnění v čase 1,8 s. Je zřejmé, že plnění probíhá postupně od vtokového ústí. Rozdíl v čase naplnění na obou stranách výstřiku činí 1,8 s, u nové formy je tento rozdíl 0,6 s. To znamená mnohem menší rozdíl v čase tuhnutí polymeru ve vnějších stěnách výstřiku. V případě původní formy není orientace skleněných vláken obsažených v materiálu konformní, to znamená různé deformace v různých místech výstřiku. Lze naopak předpokládat, že u formy nové bude orientace vláken a tuhnutí materiálu na obou stranách výstřiku velmi podobné.



Obr. 70: Čas plnění stávající formy (vlevo) a nové formy (vpravo).

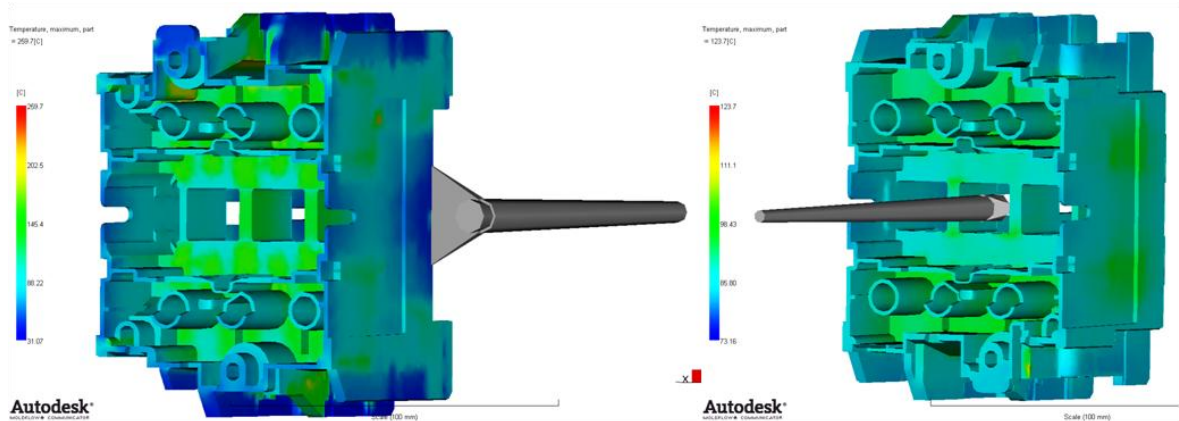
Jak je vidět z obrázku 70, čas naplnění dutiny formy je u nového řešení o 0,4 s delší. Tento údaj není, vzhledem k automatickému nastavení vstřikovacího procesu, zásadní. Nejdůleži-

tějším ukazatelem je rovnoměrnější plnění dutiny. Optimalizací parametrů výrobního procesu ho jistě bude možno korigovat.

Z výsledku lze usuzovat, že zvolené umístění vtokového ústí je vyhovující.

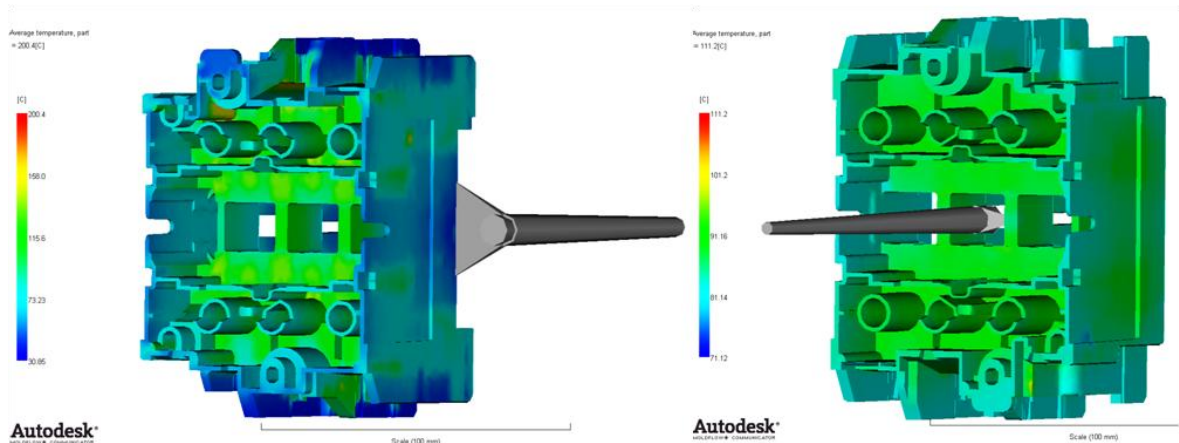
10.2.2 Analýza chlazení výstřiku

Maximální teplota dílu udává maximální teplotu částí výstřiku na základě průměrné teploty povrchu formy během vstřikovacího cyklu do konce času chlazení. Na následujícím obrázku je vidět nejenom rozdíl mezi maximálními teplotami výstřiků ze stávající (259,7°C) a nově navržené formy (123,7°C), ale i rozdíl teplot mezi jednotlivými částmi výstřiku. Kdy konkrétně u současné formy činí rozdíl nejteplejšího a nejstudenějšího místa přibližně 230°C. Naproti tomu u nové formy je rozdíl přibližně 50°C.



Obrázek 71: Maximální teplota dílu původní formy (vlevo) a nové formy (vpravo).

Tento výsledek ukazuje na mnohem lepší rozložení teplotního pole nové formy než u formy stávající.

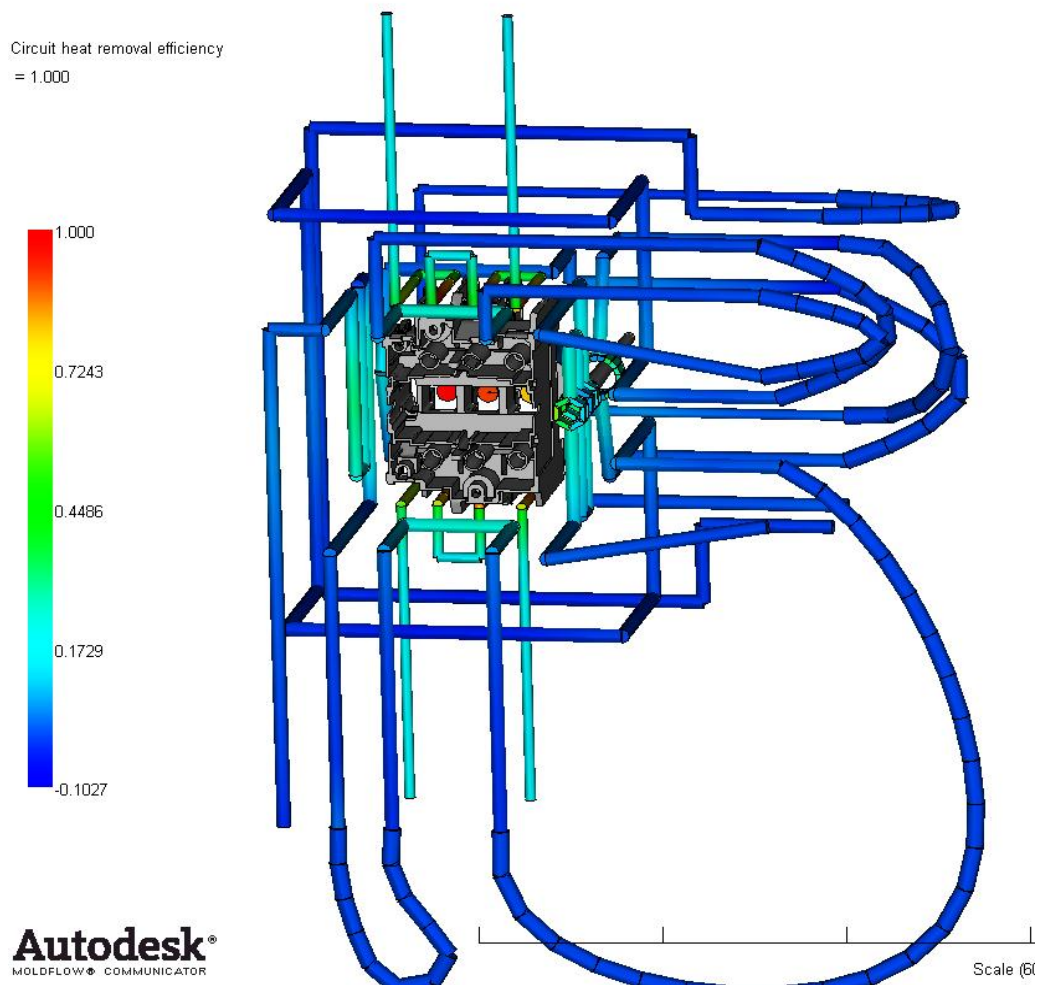


Obr. 72: Průměrná teplota dílu původní formy (vlevo) a nové formy (vpravo).

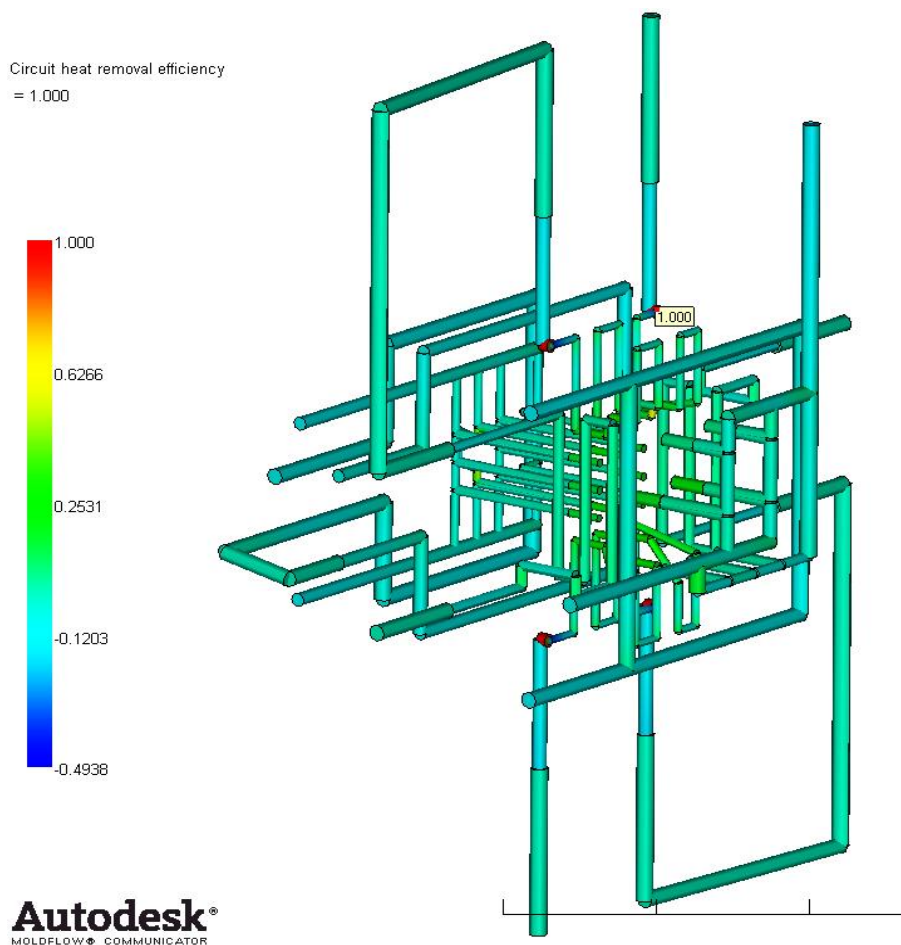
Průměrná teplota dílu udává průměrnou teplotu napříč tloušťky stěn výstřiku v průběhu vstřikovacího cyklu až do konce času chlazení. I na tomto výsledku je vidět velký rozdíl mezi novou formou, kdy maximální průměrná teplota nepřekročí 112°C a rozdíl mezi nejnížší a nejvyšší teplotou je přibližně 40°C, a formou původní s maximální průměrnou teplotou výstřiku okolo 200°C a teplotním rozdílem bezmála 170°C (viz obrázek 72).

Rozdíl teplot mezi jednotlivými částmi výstřiku je velmi zásadní faktor ovlivňující výsledné deformace dílu.

Efektivita odstraňování tepla temperačním okruhem vypovídá o způsobu, jakým temperační okruhy ovlivňují odvod tepla z těla formy. Kladné číslo svědčí o odebrání a záporné o předávání tepla do nástroje. Číslo jedna značí nejvyšší efektivitu a ostatní výsledky jsou zobrazeny v poměru k této nejvyšší hodnotě.



Obrázek 73: Efektivita odstraňování tepla v původní formě.



Obr. 74: Efektivita odstraňování tepla v nové formě.

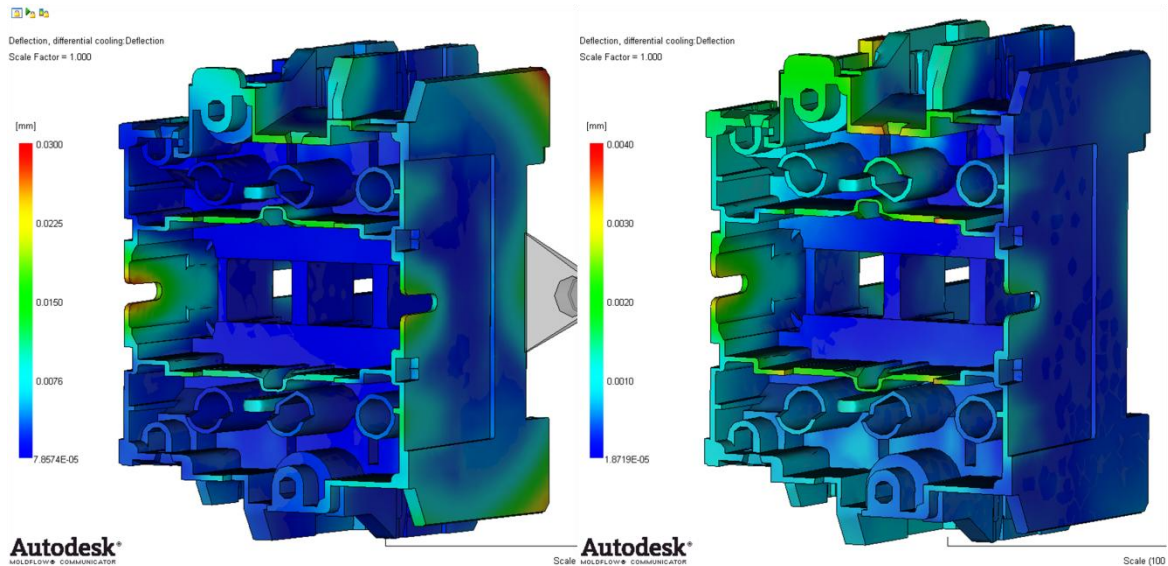
Z obrázků 73 a 74 je patrné, že efektivita chlazení temperačních kanálů velmi rozdílná různých částech původní formy je, naopak nová formy vykazuje přibližně shodnou efektivitu všech částí temperačních kanálů. Reynoldsovo číslo je ve všech částech temperačních okruhů bezpečně nad hranicí turbulentního proudění $Re > 10\,000$.

10.2.3 Analýza deformací

Analýzy deformací – warp, využívají výsledků všech předchozích analýz k identifikaci vychýlení jednotlivých bodů těla výstřiku od původního tvaru. Výstupem je celková deformace výstřiku, která je složena z deformace způsobené rozdílným chlazením výstřiku, deformace způsobené rozdílným smrštěním jednotlivých částí výstřiku, dále z deformace způsobené orientací vláken a deformace v rozích výstřiku. Tyto výsledky je možné posuzovat samostatně.

Analýza deformací způsobených rozdílným chlazením vyhodnocuje, jakým způsobem se na deformaci výstřiku podílí temperační systém formy, přesněji řečeno rozdíly teplot vý-

stříku. Tyto deformace je potom možno korigovat buď změnou v temperačním systému formy, nebo změnou parametrů chlazení, například teplotou temperačního média, změnou průtoku apod.

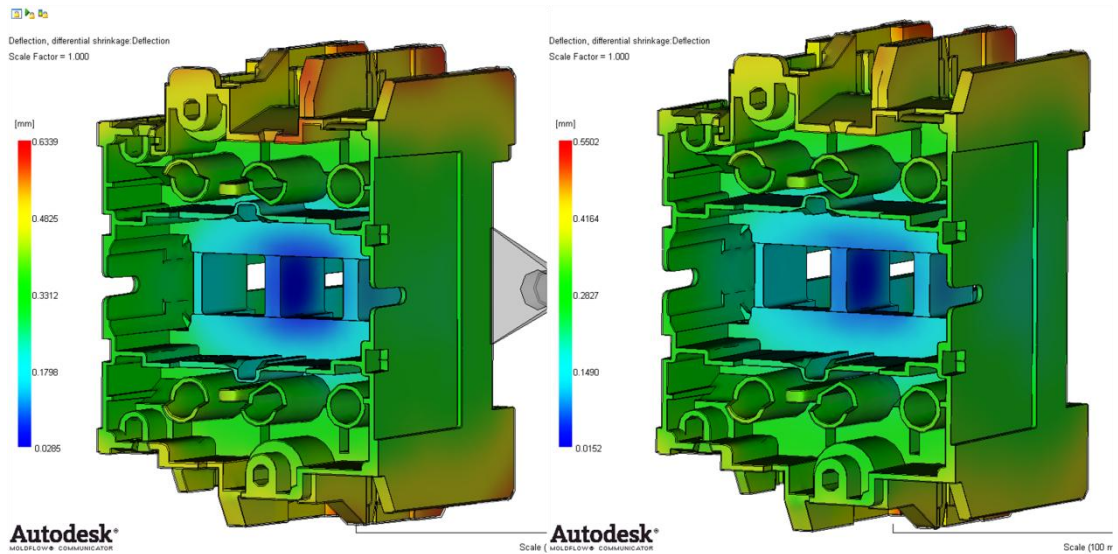


Obr. 75: Deformace způsobené rozdílným chlazením výstřiku, současná forma vlevo a nová forma vpravo.

Obrázek 75 ukazuje rozdíl mezi původní a nově navrženou formou. Výsledek této analýzy odpovídá analýzám chlazení (průměrné a maximální teplotě dílu) uvedených výše. V důsledku nerovnoměrného teplotního pole jsou deformace výstřiku v původní formě vyšší až o 80 %, kdy maximální vychýlení činí u stávající formy 0,03 mm a u nově navržené 0,004 mm.

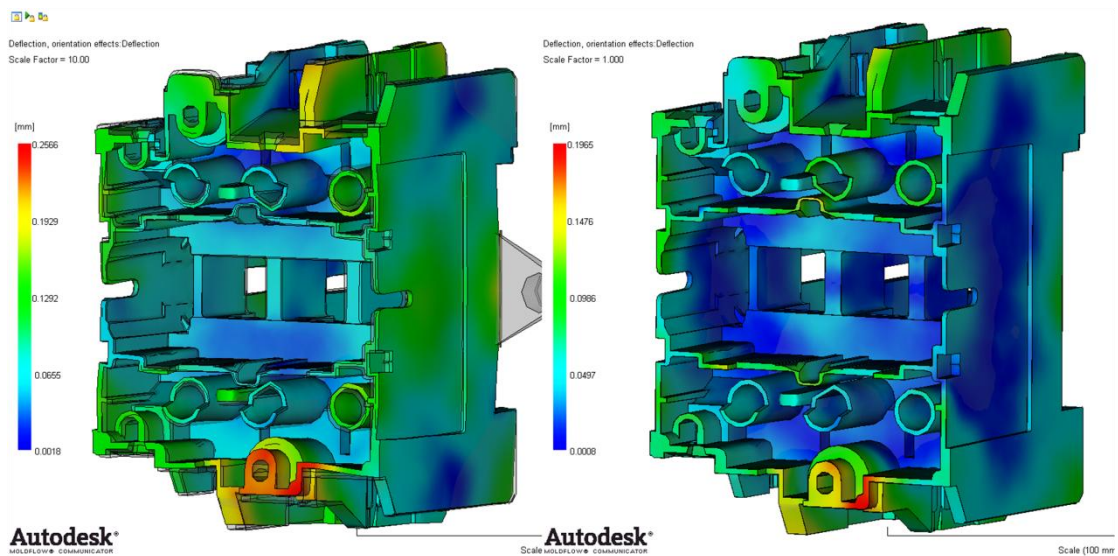
Analýza deformací způsobených rozdílným smrštěním posuzuje vliv smrštění materiálu na celkovou deformaci. Tyto deformace jsou spojené převážně s geometrií výstřiku a procesními podmínkami vstřikování, konkrétně profilem dotlaku. Velký vliv má především tloušťka stěn a jejich rozdíly. Redukce tohoto druhu defektu je možná například již zmíněnou změnou profilu dotlaku nebo změnou – sjednocením tloušťky stěn. Je také možné zintenzivnit chlazení v problematickém místě a tím docílit rychlejší zatuhnutí materiálu.

Jak je patrné z následujícího obrázku nedošlo v případě nové formy k výraznému omezení těchto deformací v absolutním čísle okolo 0,08 mm, v poměrném porovnání jde o zlepšení o 13 %. Došlo také k omezení největších deformací v okolí prostoru magnetické kotvy, oproti stávajícímu výstřiku. Místo největších deformací se však nezměnilo a zůstává v oblasti komor kontaktů.



Obr. 76: Deformace rozdílným smrštěním materiálu výrobku u stávající (nalevo) a nové formy.

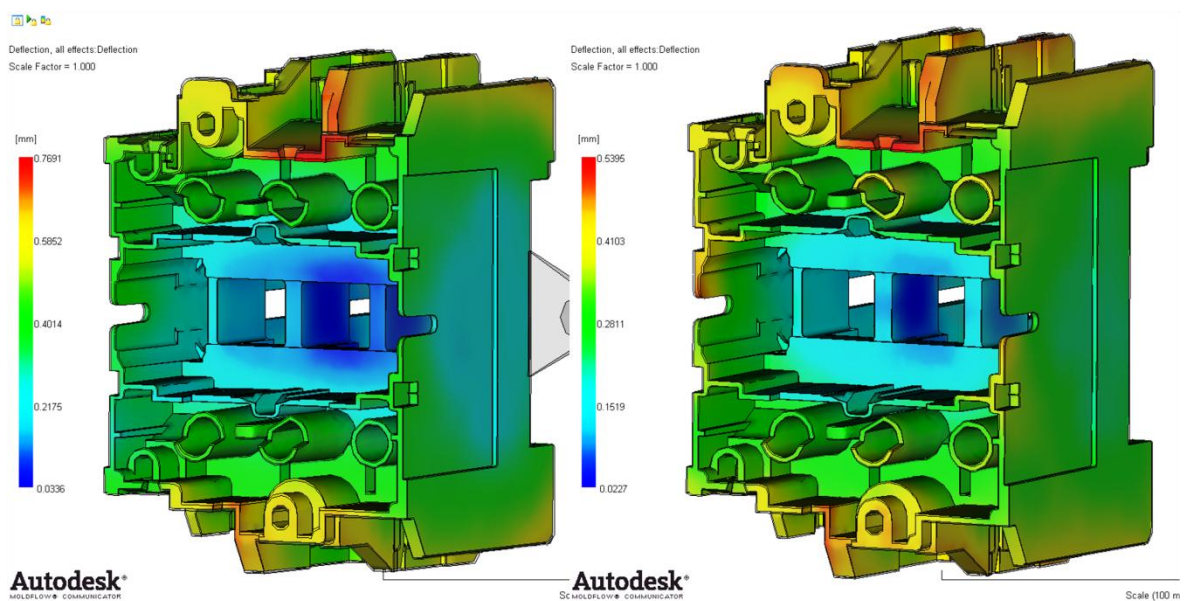
Analýza deformací způsobených orientací vláken zobrazuje vliv tečení materiálu a s tím spojené orientace skleněných vláken na celkovou deformaci výstřiku. Deformace jsou přímým důsledkem smrštění materiálu, to je rozdílné ve směru podélném (menší) a ve směru kolmém na vlákna. Defekty spojené s orientací vláken lze obecně řešit změnou toku materiálu, především změnou polohy vtokového ústí, nebo změnou teploty problematických partií, kdy můžeme regulovat čas zatuhnutí materiálu a tím poskytnout čas na relaxaci vláken nebo naopak rychlým zchlazením dosáhnout zachování orientované struktury. Nutno zmínit, že prudké ochlazení materiálu vnáší do výstřiku zbytková napětí, která časem relaxují a může docházet až k defektům výrobku.



Obr. 77: Deformace rozdílnou orientací vláken výrobku u stávající (nalevo) a nové formy.

Výraznější zobrazení deformací výstříku ze stávající formy na obrázku 77 je způsobeno rozdílným nastavením rozlišení. Porovnáním barevného pole je zřejmé, že došlo k poměrně výrazným změnám rozložení deformací mezi novou a stávající formou. Přesto, že se maximální deformace snížila „jen“ o 0,06 mm z 0,2566 mm na 0,1965 mm (přibližně 23 %), je vidět že došlo ke zdatnému zlepšení deformací vnitřní struktury výstříku a i vnějších stěn. Došlo také k velké redukci míst s největší deformací.

Analýza celkových deformací slučuje výsledky všech předchozích analýz a zobrazuje jejich efekt na výsledné deformaci. Analýza deformací v rozích výstříku není uvedena, protože výsledky jsou pro obě varianty formy téměř shodné.



Obr. 78: Výsledná deformace výstříku u stávající a nové formy (vpravo).

Ze zobrazených výsledků na obrázku 78, je vidět pokles absolutní maximální odchylky deformace výstříku u nové formy na 0,5395 mm z původních 0,7691 mm. Porovnáním této hodnoty jsme dosáhli zlepšení téměř 30 %. Mnohem důležitější je ale fakt, že ke zlepšení (snížení odchylky deformace) došlo prakticky ve všech partiích výstříku. Z obrázku můžeme usuzovat, že se podařilo i zmírnit výrazné rozdíly uvnitř jednotlivých částí konstrukce (například vnější stěny). Celkové rozložení deformací se ale nijak výrazně nezměnilo. To si vysvětlují geometrií výrobku a s tím spojené deformace smrštěním materiálu, které mají na celkovém defektu tvaru největší podíl a změnou konceptu formy se příliš nezměnily. Zmírnění by se mohlo dosáhnout výrobními parametry – dotlakem.

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Otázka návratnosti investic je stále aktuálnější na všech úrovních výroby a je mnohdy rozhodujícím prvkem v realizaci projektů. K návratu investice by mělo dojít na základě úspor nové výroby v časovém horizontu 4 let.

Při ekonomickém zhodnocení návrhu nové formy bude porovnána výroba se stávající formou a výroba s novým nástrojem. V kalkulaci jsem vycházel z firemních zkušeností s výrobou podobných komponent a odhadovaným časem cyklu 40 s (výrobní proces nebyl podroben analýzám). Dalším vstupem do kalkulace návratnosti investice je odhadovaná cena nové formy. Reálný odhad ceny formy je 1 600 000,- Kč, tato částka byla ověřena poptávkou u výrobců forem. Celková požadovaná roční kapacita je 400 000 ks a hodinová sazba stroje 120 T se pohybuje okolo 600 Kč/hod. Cena materiálu je shodná v obou případech 100 Kč/kg (cena byla změněna a slouží pouze pro účely kalkulace).

Předpokládáme, že výroba na nové formě bude probíhat u stejného dodavatele, to znamená stejné hodinové sazby a ostatní podmínky. Rozhodující je čas cyklu. Dále se může do úspor započítat částka ušetřená na nekvalitě komory stykače při montáži. Ta je odhadovaná na přibližně 350 000 Kč/rok. V důsledku deformací komory dochází k funkční vadě stykače a ten neprojde výstupním testem.

Provedená kalkulace v příloze P V a P VI ukazuje, že v případě dodržení odhadovaného času cyklu 40 s, by cena jednoho kusu výrobku byla nižší než stávající a to i včetně započítané amortizace. Konkrétně 28,07 Kč/ks u nové a 29,50 Kč/ks u formy stávající. To by znamenalo roční úsporu nákladů 572 000,- Kč, bez započítání úspory při montáži.

12 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této práce bylo navrhnout vstříkovací formu pro komoru stykače LC1 D80 firmy Schneider-Electric tak, aby se maximálně eliminovaly defekty výrobku. Dalším úkolem bylo podrobit nové řešení pomocí tokových analýz a to především v oblasti deformací výrobku a ověřit tak vhodnost nového konceptu formy k řešení defektů stávající výroby. Posledním krokem bylo ekonomické zhodnocení - návratnost navrhované varianty nástroje.

Výrobkem byla komora, jež je součástí sestavy elektrotechnického přístroje – stykače. Materiál komory byl dán stávající výrobou PA66 GF25% a nesmí se měnit.

Vstříkovací forma byla navrhována s ohledem na již zmíněnou eliminaci defektů výrobku a to především deformací. Prvním krokem bylo určit příčiny deformace stávajícího výrobku, a proto byla současná forma podrobena analýze. Byly zjištěny dva hlavní nedostatky a to, nevhodná poloha vtokového ústí vzhledem k typu vstříkovaného materiálu a nedostatečné chlazení – temperace dutiny formy. Tyto mohou být příčinou deformací, které působí problémy při montáži výrobku. Nedostatky současného konceptu formy byly následně zpracovány do konceptu nového.

Základem návrhu nové formy byl výpočet kapacity a volba počtu dutin, v našem případě byla jedna dutina formy dostačující. Umístění vtokového ústí, které se muselo změnit oproti stávajícímu řešení tak, aby se omezil vliv orientace skleněných vláken na deformaci výstříku bylo další z určujících podmínek. Model byl podroben analýze a výsledný návrh pozice vtokového ústí byl převzat do konceptu nové formy a to i přesto, že zvolená poloha znamenala vyosení formy o 6,25 mm. Dalšími důležitými změnami v novém konceptu bylo zlepšení temperace tvarových vložek dutiny formy, kdy byly v pohyblivé a pevné části formy použity přepážky. Zlepšení temperace měla pomoci i úprava temperačních kanálů bočních čelistí, ty byly voleny vrtané. Přibylo dalších bočních čelistí, ty byly použity na formování boků výstříku. V nové formě dostala přednost temperace před vyhazovacím systémem, ten musel být přizpůsoben pozici vtokového ústí a temperačním kanálům. Výsledkem byl dvoustupňový vyhazovací systém s centrálním oddělovačem a přidržovačem vtoku, dále byly použity stírací elementy, trubkové, ploché a válcové vyhazovače.

Následná analýza potvrdila správnou volbu konceptu formy. Z porovnání vyhodnocovaných výsledků staré a nové formy vyplývá že došlo k výraznému snížení maximálních teplot výstříku, a že se zlepšilo i teplotní pole výrobku. Efektivita temperačních okruhů se

sjednotila. To vše má vliv na snížení rozdílů teplot výstřiku a tím i omezení deformací. Tento závěr byl potvrzen i následnými analýzami deformací. Deformace způsobené rozdílným chlazením se zmenšily o 80 %. Zde se mimo jiné potvrdila i vhodnost umístění vtokového ústí a došlo ke snížení deformací orientací vláken přibližně o 23 %. Dále bylo zjištěno, že největším přispěvatelem k celkovým deformacím výstřiku jsou deformace smrštěním materiálu, ty se povedlo omezit pouze o 13 %. Zde vidím další potenciál pro zlepšení. Přesto se výsledné defekty tvaru podařilo snížit o 30 %.

Ekonomickým zhodnocením byla návratnost investice, kdy byla porovnána cena výrobku stávajícího konceptu a nové formy. V kalkulaci byla použita odhadovaná doba výrobního cyklu, podle zkušeností z výroby podobných komponent. Výrobní proces nebyl optimalizován pomocí softwaru. Výsledkem byla cena komory stykače z nové formy o téměř 1,50 Kč levnější a to včetně započítání amortizace ceny formy po dobu čtyř let. To by znamenalo roční úsporu 572 000,- Kč.

Podle všech zjištění, může nově navržená forma omezit deformace výstřiku a pomoci tak zlepšit efektivitu a ekonomiku výroby stykače.

ZÁVĚR

Praktická část diplomové práce byla zaměřena na návrh nové formy pro komoru stykače takovým způsobem, aby se omezily defekty stávajícího výrobku – deformace. Návrhu nové formy předcházela analýza nedostatků formy současné a zjištění byla následně do nového konceptu zapracována. Výsledný návrh byl posléze porovnán tokovými analýzami v programu Autodesk[®] MoldFlow[®], zejména v oblasti deformací a chlazení výrobku, s původní formou.

Výsledky analýz prokázaly vhodnost nově zvoleného konceptu formy z hlediska omezení deformací výrobku. Zhodnocení ekonomické následně dokázalo výhodnost investice do nové formy. Z výsledků je zřejmé, že při výrobě s novou formou je možná úspora nákladů na ceně výrobku i se započtenou amortizací nástroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. *Technik: Začalo století plastů. Technik.iHNed.cz* [online]. 2002 [cit. 23. 2 2012]. Dostupné z: <http://technik.ihned.cz/c1-11352820-zacalo-stoleti-plastu>.
2. STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie I*. Zlín: UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, 2005.
3. *Natural polymer*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 13.10.2011.] Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_polymer.
4. DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.
5. *Technologie II: Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. 2008 [cit. 6. 1 2012]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm#012.
6. FIALA, Tomáš. *Návrh zařízení na odstraňování vtoků*. Praha, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
7. *Hodnocení nadmolekulární struktury plastů* [online]. 2008 [cit. 2012-01-16]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Morfologie.pdf>
8. *Polymery "stručně"* [online]. 30.3.2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
9. MICHAELI, Walter. *Training in injection molding: a text- and workbook*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2001, x, 154 p. ISBN 15-699-0302-6.
10. *Part and mold design: thermoplastics* [online]. 2008 [cit. 10.03.2010]. Dostupné z: <http://www.bayermaterialsciencenafta.com/resources/index.cfm?&f=29CAAD37-9D5A-A162-0C9377EF02F584E7&d=B8D5BE3C-BF25-FA87-DB1DD2C15782E>.
11. RŮŽIČKA, Karel, POSPÍŠIL, Ladislav a BOBOVSKÝ, Jaroslav. *Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I*. Zlín : VÚGPT, 1979.
12. *Vstřikovací formy* [online]. 2010 [cit. 2.2.2012]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf.
13. ARBURG. *Plastic technology course 1. Lossburg, 1997*.

14. *Živé vtoky* [online]. 2008 [cit. 2.2.2012]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c9/zive.pdf
15. *Vstřikovací formy* [online]. 2010 [cit. 2.2.2012]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf.
16. *DMLS - Direct Metal Laser Sintering: Kovové prototypy. DMLS* [online]. 2007 [cit. 13.2.2012]. Dostupné z: <http://www.dmls.cz/>
17. *Prospect. GWK Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH* [online]. 1999 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.gwk.com/en/downloads/prospect.php>
18. JÍLEK, Bohumil. *Výroba vstřikovací formy*. Brno : Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2009. str. 83.
19. Šanda, Štěpán. *Konstrukce forem - přednáška*. Zlín, 2008.
20. BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů I. díl : Vstřikování termoplastů*. 2. Brno : Uniplast Brno, 1999.
21. MAŇAS, Miroslav a HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení : Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno : Editační středisko VUT Brno, 1987. ISBN 80-214-0213-X.
22. STOKLASA, Karel. *Zpracovatelské inženýrství - 1: Základy plastikářské a gumárenské technologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007.
23. *Arburg* [online]. 1999 [cit. 20.2.2012]. Dostupné z: http://www.arburg.com/com/COM/en/products/machines/standard/allrounder_golden_edition/clamping_unit.jsp.
24. *EuPC - European Plastics Converters: Electrical* [online]. 1990 [cit. 23.2.2012]. Dostupné z: <http://www.plasticsconverters.eu/markets/electrical>.
25. *What Can Plastics Do? :: DuPont Engineering Polymers* [online]. 1999 [cit. 24.2.2012]. Dostupné z: <http://www.engineeringpolymers.com/epbb/ch03.html>.
26. *IDES Prospector - Property Descriptions* [online]. 2012 [cit. 24.2.2012]. Dostupné z: http://prospector.ides.com/PS_PropertyList.aspx?A=PROPHelp
27. *Surface Resistivity and Surface Resistance Measurements: Using a Concentric Ring Probe Technique. TREK, Inc - High Voltage and Electrostatic Equipment | TREK, Inc.* [online]. 2005, č. 1005 [cit. 24.2.2012]. Dostupné z: http://www.trekinc.com/pdf/1005_Resistivity_Resistance.pdf

28. Elektrické vlastnosti. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická* [online]. 2011, č. 13 [cit. 24.2.2012]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_13.pdf
29. Plastics Go Electric. *BASF PlasticsPortal - Europe* [online]. 2004 [cit. 25.2.2012]. Dostupné z: http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/common/upload/technical_journals/electronics_and_mechatronics/Plastics_Go_Electric.pdf
30. ČERMÁK, Roman. *Konstrukční polymery II: Přednáška*. Zlín, 2006.
31. Stykače. *Elektrika.cz: Portál o silnoproudé elektrotechnice, elektroinstalace, vyhlášky, schémata zapojení*. [online]. 2004, č. 1 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/pms001211>
32. ČERNÍK, Martin. *Elektrotechnika* [online]. Liberec, 2009 [cit. 18.3.2012]. Dostupné z: http://www.mti.tul.cz/files/elm/ELM_ucebni_text_cast1.pdf. Pracovní sešit. Technická univerzita v Liberci.
33. *BASF Plastics EU: Product Information* [online]. 2006 [cit. 12.3.2012]. Dostupné z: http://worldaccount.basf.com/wa/EU~en_GB/Catalog/ePlastics/pi/BASF/product/ultramid_a3x3g5
34. TROITZSCH, J. *Plastics flammability handbook: principles, regulations, testing, and approval*. 3rd ed. Munich: Hanser, 2004, 748 s. ISBN 15-699-0356-5.
35. FISCHER, Jerry M. *Handbook of molded part shrinkage and warpage*. Norwich, NY: Plastic Design Library/William Andrew Pub., c2003, xi, 252 p. ISBN 18-842-0772-3.
36. *Gate Location analysis*. Autodesk: WikiHelp [online]. 2011, č. 2012 [cit. 22.3.2012]. Dostupné z: http://wikihelp.autodesk.com/Moldflow/enu/2012/Help/1Adviser/106_Analysis_Sequence/140_Gate_Location_analysis/110_Gate_Region_Locator_algorithm
37. REES, Herbert. *Understanding injection mold design*. Cincinnati, OH: Hanser Gardner Publications, 2001, xii, 115 p. ISBN 15-699-0311-5.
38. *Handbook of plastic processes*. Editor Charles A Harper. Hoboken: John Wiley, 2006, x, 743 s. ISBN 04-716-6255-0.
39. MENGES, Georg. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers, 2001, 612 s. ISBN 34-462-1256-6.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	3 dimensions
4D	4 dimensions
ABS	Akrylobutadienstyren
Al	Hliník
AN	Akrylo nitril
B	Butadien
Ba	Baryum
Be	Berilium
Br	Brom
CAD	Computer aided design
CIM	Vstřikování s dolisováním
Cl	Chlór
Co	Kobalt
CO ₂	Oxid uhličitý –
Cu	Měď
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
E	Modul pružnosti v tahu [MPa]
F	Fluor
GWK	Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH
HAI	High current Arc Ignition
HWI	Hot Wire Ignition
IEC	International Electrotechnical Commission
LOI	Low Oxygen Index
Mn	Mangan
mPVC	Měkčený Polyvinylchlorid

MUCELL	Napěňování plastů plynem
N	Dusík
Ni	Nikl
O ₂	Kyslík
P	Fosfor
PA	Polyamid
Pb	Olovo
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PES	Polyetersulfid
PLC	Performance level categories
PMMA	Polymethylmetakrylát
POM	Polyoximetylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluoretylen
PVC	Polyvinylchlorid
resp.	Respektive
RIM	Reakční vstřikování
Sb	Antimon
SI	Standard international
SVS	Studeným vtokovým systémem
Td	Teplota degradace
Tf	Teplota viskózního toku
Tg	Teplota skelného přechodu

Tm	Teplota tání
tPVC	Tvrký Polyvinylchlorid
UL	Underwriters Laboratories
UV	Ultrafialové záření
VVS	Vytápěným vtokovým systémem
Zn	Zinek

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Příklad polymeru – polyetylen a určení molární hmotnosti. [2]</i>	12
<i>Obr. 2. Stavba a skladba makromolekul.[2]</i>	12
<i>Obr. 3. Druhy uspořádání makromolekul kopolymeru. [2]</i>	13
<i>Obr. 4. Uspořádání makromolekuly roubovaného kopolymeru [2]</i>	13
<i>Obr. 5. Základní klasifikace polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty. [4]</i>	13
<i>Obr. 6. Nadmolekulární struktura amorfních plastů: a) globula, b) uspořádání globul, c) svazek. [5]</i>	14
<i>Obr. 7. Uspořádání makromolekul v semikrystalické struktuře.[6]</i>	14
<i>Obr. 8. Morfologické útvary krystalických polymerů. [7]</i>	15
<i>Obr. 9. Sfěrolitická struktura semikrystalických termoplastů. [5]</i>	15
<i>Obr. 10. Makromolekulární struktura elastomerů. [6]</i>	16
<i>Obr. 11. Makromolekulární struktura reaktoplastů. [6]</i>	17
<i>Obr. 12. Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu. [9]</i>	18
<i>Obr. 13. Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu. [9]</i>	19
<i>Obr. 14. Popis dvoudeskové formy.[10]</i>	22
<i>Obr. 15. Popis studeného vtokového systému. [10]</i>	23
<i>Obr. 16. Vyvážený vtokový systém. [10]</i>	24
<i>Obr. 17. Izolovaný rozváděcí kanál a dotápěný vtok – 1) topná patrona, 2) předkomůrka topení 3) izolovaný rozváděcí kanál. [14]</i>	24
<i>Obr. 18. Řez izolovaným rozváděcím kanálem po výměně barvy. [14]</i>	25
<i>Obr. 19. Horké vtoky – princip vnitřního a vnějšího vytápění. [10]</i>	25
<i>Obr. 20. Horké vtoky – uzavíratelná a otevřená tryska. [10]</i>	26
<i>Obr. 21. Vhodné rozložení temperančních kanálů. [15]</i>	27
<i>Obr. 22. Příklady řešení temperance tvárníků.[15]</i>	27
<i>Obr. 23. Schéma a princip tepelné trubice.[15]</i>	28
<i>Obr. 24. Konformní chlazení vinuté podél kontury dílů.[16]</i>	28
<i>Obr. 25. Příklad standardních chladících okruhů a 4D integrat (vpravo).[17]</i>	29
<i>Obr. 26. Ocelová deska s vyfrézovanými chladícími kanály – 4D integrat.[17]</i>	29
<i>Obr. 27. Vyhazovací systém formy - 1) opěrná deska, 2) kotevní deska, 3) vodící pouzdra, 4) válcové vyhazovače, 5) trubkový vyhazovač. [18]</i>	30
<i>Obr. 28. Princip funkce stírací desky.[10]</i>	31

<i>Obr. 29. Znázornění funkce bočních čelistí. [10]</i>	31
<i>Obr. 30: Vstřikovací cyklus – 1) forma, 2) vstřikovací jednotka, 3) výstřik. [21]</i>	33
<i>Obr. 31. Vstřikovací cyklus při vstřikování plastů (u termoplastů odpadá příprava formy). [22]</i>	34
<i>Obr. 32. Stroj na vstřikování plastů ARBURG – 1) zavírací jednotka, 2) vstřikovací jednotka, 3) rám stroje</i>	34
<i>Obr. 33. Rozdělení vstřikovacích jednotek podle způsobu plastikace. [6]</i>	35
<i>Obr. 34. Schéma vstřikovací jednotky - 1) výstřik 2) dávka materiálu 3) pohon 4) šnek 5) topné pásmo 6) násypka 7) špička. [13]</i>	35
<i>Obr 35. Plastikační šnek – zóny 1) dávkovací, 2) kompresní a 3) výstupní. [13]</i>	36
<i>Obr 36. Špička plastikačního šneku se zpětnou uzávěrkou. [13]</i>	36
<i>Obr. 37. Hydraulická zavírací jednotka strojů ARBURG typu C. [23]</i>	37
<i>Obr. 38. Rám hydraulického vstřikovacího stroje. [23]</i>	38
<i>Obr. 39. Podíl elektrotechnického průmyslu na spotřebě plastů (1998). [24]</i>	39
<i>Obr. 40. Měření povrchového izolačního odporu. [27]</i>	40
<i>Obr. 41. Test žhavým drátem. [29]</i>	42
<i>Obr. 42. Zkouška hořlavosti plastů podle metody UL 94. [29]</i>	43
<i>Obr. 43. Test vzplanutí horkým drátem. [29]</i>	43
<i>Obr. 44. Zkouška vzplanutí elektrickým obloukem. [29]</i>	44
<i>Obr. 45. Spotřeba plastů v elektrotechnickém průmyslu v západní Evropě v roce 2000. [29]</i>	45
<i>Obr. 46. Stavba meru PA 66. [30]</i>	45
<i>Obr. 47. Vliv počtu atomů uhlíku v meru PA na hustotu. [30]</i>	46
<i>Obr. 48: Hlavní části stykače Schneider Electric LCI D80.</i>	54
<i>Obr. 49: a) stykač - princip funkce 1) proudová cívka, 2) pružina, 3) magnetický obvod 4) silové kontakty; b) stykač – elektrické schéma, čísla svorek: A1, A2 – proudová cívka, 1 až 6 – silové kontakty, 11,12,23,24 – pomocné kontakty. [32]</i>	55
<i>Obr. 50: 3D model komory stykače.</i>	55
<i>Obr. 51: Komora stykače s vtokovou soustavou – zaformování.</i>	57
<i>Obr. 52: Schématické znázornění temperačních okruhů pohyblivé části současné formy komory stykače.</i>	58
<i>Obr. 53: Vhodnost umístění vtokového ústí.</i>	58
<i>Obr. 54: Navrhované zaformování komory stykače.</i>	59

<i>Obr. 55: Znázornění průměru špičky horké trysky a tloušťky přepážky.</i>	61
<i>Obr. 56: Řešení s vtokovým ústím do boční stěny střední přepážky.</i>	62
<i>Obr. 57: Posunutí od geometrického středu výrobku u zamýšlených variant vtokových soustav.</i>	62
<i>Obr. 58: Možná poloha vtokových ústí u třídeskového řešení formy.</i>	63
<i>Obr. 59: Navržená forma – celkový pohled.</i>	65
<i>Obr. 60: Pevná část formy – celkový pohled.</i>	66
<i>Obr. 61: Pohyblivá část formy – celkový pohled.</i>	67
<i>Obr. 62: Zaformování výstřiku ve formě</i>	67
<i>Obr. 63: Tvarové vložky pohyblivé a pevné části formy.</i>	68
<i>Obr. 64: Oddělovač vtoku.</i>	69
<i>Obr. 65: Vyhazovací systém formy.</i>	70
<i>Obr. 66: Temperační kanály kotevní desky pevné části formy.</i>	71
<i>Obr. 67: Temperační kanály opěrné desky pohyblivé části formy.</i>	72
<i>Obr. 68: Temperační kanál tvarové vložky boční čelisti – řez.</i>	73
<i>Obr. 69: Výsledek Best Gate Location (vlevo) a Gating suitability (vpravo).</i>	75
<i>Obr. 70: Čas plnění stávající formy (vlevo) a nové formy (vpravo).</i>	76
<i>Obrázek 71: Maximální teplota dílu původní formy (vlevo) a nové formy (vpravo).</i>	77
<i>Obr. 72: Průměrná teplota dílu původní formy (vlevo) a nové formy (vpravo).</i>	77
<i>Obrázek 73: Efektivita odstraňování tepla v původní formě.</i>	78
<i>Obr. 74: Efektivita odstraňování tepla v nové formě.</i>	79
<i>Obr. 75: Deformace způsobené rozdílným chlazením výstřiku, současná forma vlevo a nová formy vpravo.</i>	80
<i>Obr. 76: Deformace rozdílným smrštěním materiálu výrobku u stávající (nalevo) a nové formy.</i>	81
<i>Obr. 77: Deformace rozdílnou orientací vláken výrobku u stávající (nalevo) a nové formy.</i>	81
<i>Obr. 78: Výsledná deformace výstřiku u stávající a nové formy (vpravo).</i>	82

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Rozdělení ocelí při výrobě součástí formy. [20].....</i>	<i>32</i>
---	-----------

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Kategorie vstřikovacích forem.

Příloha P II: Kategorie vstřikovacích forem.

Příloha P III: materiálový list PA66 GF25

Příloha P IV: Výpočty

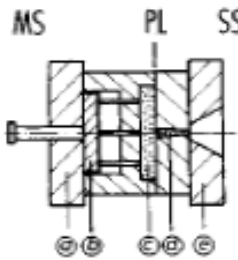
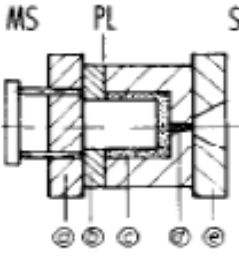
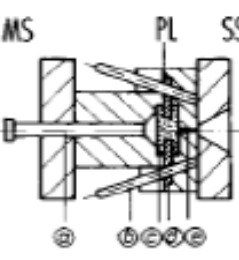
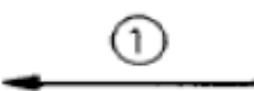
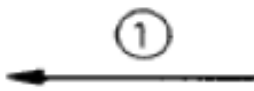

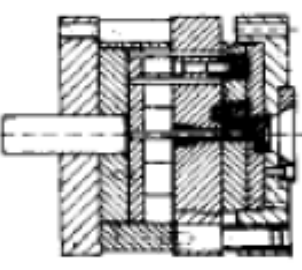
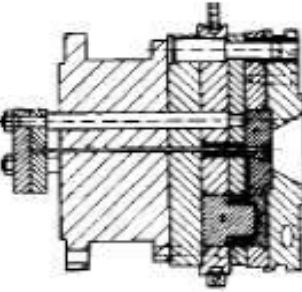
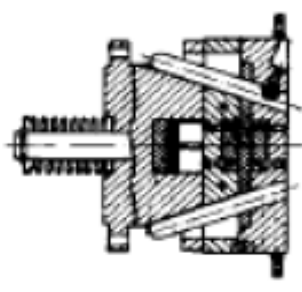
Příloha P V: Výpočty

Příloha P VI: Výpočty

Příloha P VII: fáze oddělování vtoku

Příloha P VIII: Disk DVD

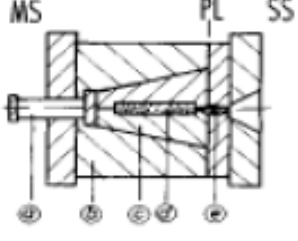
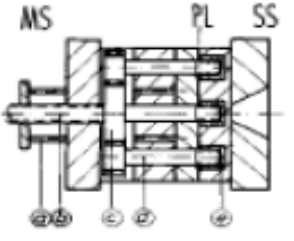
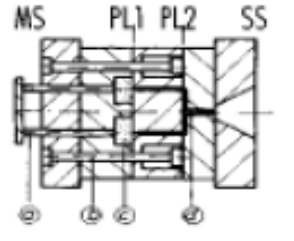
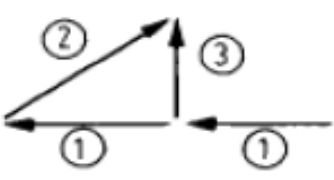
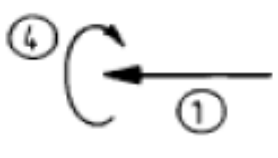
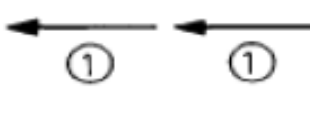
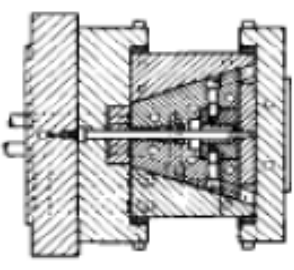
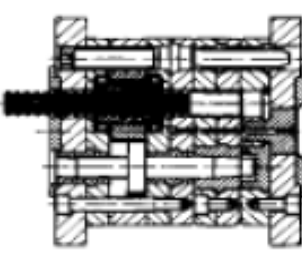
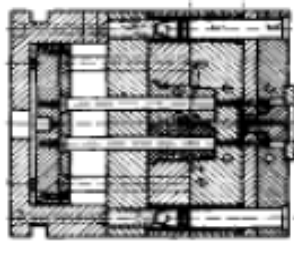
PŘÍLOHA P I: KATEGORIE VSTŘIKOVACÍCH FOREM.[39]

Standardní forma	Forma se stírací deskou	Forma s bočními jádry	Schématické znázornění
			
a) upínací deska MS b) vyhazovací systém c) dutina formy d) vtok e) upínací deska SS	a) upínací deska MS b) stírací deska c) dutina formy d) vtok e) upínací deska SS	a) vyhazovací systém b) vodící kolík jádra c) dutina formy d) boční jádro e) vtok	Hlavní komponenty
Nejjednodušší konstrukce Dvě poloviny formy Jedna dělicí rovina Vyhazování gravitační, válcovými nebo trubkovými vyhazovači	Konstrukce podobná standardní formě, ale se stírací deskou pro vyhazování	Konstrukce podobná standardní formě, ale s jádry a vodícími kolíky pro dodatečné boční pohyby	Charakteristika
Všechny druhy výrobků bez podkosů	Výrobky kališkového tvaru bez podkosů	Výrobky s podkosy nebo vnějšími závity	Výrobky
			Dráha otevírání formy
			Příklad

MS - pohyblivá část formy, SS - pevná část formy, PL - dělicí rovina.

Dráha otevírání formy – 1) hlavní pohyb otevírání formy – vedení pohybu, 2) pohyb mezi vedením a bočním jádrem – relativní pohyb, 3) pohyb bočního jádra během odformování – absolutní pohyb, 4) pohyb vytáčení jádra – relativní rotace.

PŘÍLOHA P II: KATEGORIE VSTŘIKOVACÍCH FOREM.[39]

Forma s dělenou dutinou	Forma s vytáčecími jádry	Třidesková forma	Schématické znázornění
			
<p>a) vyhazovací systém b) opěrný blok c) dělený blok dutiny formy d) dutina formy e) vtok</p>	<p>a) vyhazovací systém b) řídicí šroub c) ozubené kolo d) jádro e) dutina formy</p>	<p>a) vyhazovací systém b) stahací kolík c) dutina formy d) vtok</p>	Hlavní komponenty
<p>Konstrukce podobná standardní formě, ale s děleným blokem dutiny pro výrobky s podkoso nebo vnějšími závity</p>	<p>Jádro tvořící vnitřní závit je otáčeno vestavěným mechanicky, nebo jiným způsobem, ovládaným rotačním systémem</p>	<p>Dvě dělicí roviny Pohyb plovoucí desky ovládan pomocí západek nebo tahacích kolíků Dvoustepňové otevírání</p>	Charakteristika
<p>Podlouhlé nebo široké výrobky s podkoso nebo závity</p>	<p>Výrobky s vnitřním nebo vnějším závitem</p>	<p>Automatické oddělování vtoků od výrobku</p>	Výrobky
			Dráha otevírání formy
			Příklad

MS - pohyblivá část formy, SS - pevná část formy, PL - dělicí rovina.

Dráha otevírání formy – 1) hlavní pohyb otevírání formy – vedení pohybu, 2) pohyb mezi vedením a bočním jádrem – relativní pohyb, 3) pohyb bočního jádra během odformování – absolutní pohyb, 4) pohyb vytáčecího jádra – relativní rotace

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST PA66 GF25



Ultramid[®] A3X3G5

Typical values at 23°C ¹⁾	Test method	Unit	Condition	Values
Properties				
Abbreviated term	ISO 1043	-	-	PA66-GF25 FR
Density	ISO 1183	g/cm ³	-	1.34
Viscosity number (solution 0.005 g/ml sulfuric acid)	ISO 307	ml/g	-	140
Colour: natural (n), coloured (c), black (bk)	-	-	-	n, bk
Water absorption, equilibrium in water at 23°C	ISO 62	%	-	5.70 - 6.30
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	ISO 62	%	-	1.20 - 1.60
Processing				
Melting temperature, DSC	ISO 3146	°C	-	260
Melt volume rate MVR 275/5	ISO 1133	cm ³ /10 min	-	40
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	-	280 - 300
Mould temperature, injection moulding	-	°C	-	60 - 90
Moulding shrinkage, constrained ⁶⁾	-	%	-	0.50
Flammability				
UL94 rating at 1.6 mm thickness	UL 94	class	-	V-1
Automotive materials (thickness d ≥ 1mm)	FMVSS 302	-	-	+
Mechanical properties				
Tensile modulus	ISO 527-2	MPa	dry/cond.	8500/6000
Yield stress (v = 50 mm/min), Stress at break (v = 5 mm/min)*	ISO 527-2	MPa	dry/cond.	140*/100*
Yield strain (v = 50 mm/min)	ISO 527-2	%	dry/cond.	
Nominal strain at break, Strain at break*	ISO 527-2	%	dry/cond.	3.0*/4.5*
Tensile creep modulus, 1000 h, strain ≤ 0.5%, +23°C	ISO 899-1	MPa	cond.	3500
Flexural modulus	ISO 178	MPa	dry/cond.	7100/
Flexural strength	ISO 178	MPa	dry/cond.	
Charpy unnotched impact strength ³⁾ +23°C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	dry/cond.	70/75
Charpy unnotched impact strength -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	dry	65
Charpy notched impact strength ³⁾ +23°C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	dry/cond.	13.0/18.0
Charpy notched impact strength -30°C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	dry	
Izod notched impact strength 1A ³⁾ +23°C	ISO 180/1A	kJ/m ²	dry/cond.	11.0/17.0
Izod notched impact strength 1A -30°C	ISO 180/1A	kJ/m ²	dry	
Ball indentation hardness H 358/30, H 961/30*	ISO 2039-1	MPa	dry/cond.	190*/*
Thermal properties				
Deflection temperature 1.8 MPa (HDT A)	ISO 75-2	°C	-	250
Deflection temperature 0.45 MPa (HDT B)	ISO 75-2	°C	-	250
Max. service temperature (short cycle operation) ²⁾	-	°C	-	220
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 20000 h / 5000 h	IEC 216-1	°C	-	135 / 153
Thermal coefficient of linear expansion, longitudinal / transverse (23-80)°C	DIN 53752	10 ⁻⁴ /K	-	0.25 - 0.35 / 0.6 - 0.8
Thermal conductivity	DIN 52 612	W(m · K)	-	0.33
Specific heat capacity	-	J(kg · K)	-	1500.00
Electrical properties				
Dielectric constant at 1 MHz	IEC 60250	-	dry/cond.	3.7/5.0
Dissipation factor at 1 MHz	IEC 60250	10 ⁻⁴	dry/cond.	200/1000
Volume resistivity	IEC 60093	Ω · m	dry/cond.	10 ¹³ /10 ¹⁰
Surface resistivity	IEC 60093	Ω	dry/cond.	>10 ¹³ /10 ¹⁰
CTI, solution A	IEC 60112	-	cond.	575

Footnotes:

1) for uncoloured product, unless defined otherwise in the product name

2) Empirical values determined on articles repeatedly subjected to the temperature concerned for several hours at a time over a period of several years. The proviso is that the articles were properly designed and processed according to our recommendations.

3) N = no break.

6) Test box with central gating, dimensions of base (107.47 · 1.5) mm.

processing conditions: T_{MPEE} = 260 °C, T_{MPEE} = 290 °C, mould surface temp. MST = 60 °C for unreinforced, MST = 80 °C for reinforced

PŘÍLOHA P IV: VÝPOČTY

Výpočet násobnosti formy

Požadovaná roční kapacita formy	$k_R = 400\,000$ ks
Odhadovaný čas cyklu formy	$t_C = 40$ s
Roční hodinová dotace výroby	$t_R = 5\,400$ hod
Kalkulovaná produktivita výroby	$P_V = 85\%$
Počítaná nekvalita výroby	$Q_n = 3\%$

Teoretická kapacita formy $k_T = (t_R * 3\,600) / t_C = 486\,000$ ks

Kalkulovaná kapacita formy $k_k = (k_T / 100) * (P_V - Q_n) = \mathbf{398\,520}$ ks

Kalkulovaná kapacita se velmi blíží požadované kapacitě a jednonásobná forma bude dostačující pro výrobu.

Výpočet pružin vyhazovacího systému

Poloměr vtokového ústí	$r = 1,5$ mm
Pevnost mat. ULTRAMID A3X3G5	$\sigma_P = 140$ MPa (Stress at break – ISO 527-2)
Síla pružiny na dráze	$F_{P/s} = 1\,690$ N / 26,7 mm
Počet pružin	$x = 4$ ks

Síla potřebná k oddělení vtoku $F_S = \sigma_P * \pi * r^2 = 989,6$ N

Síla pružiny na dráze 1 mm $F_P = 1\,690 / 26,7 = 63,3$ N

Dráha potřebná k oddělení vtokového ústí $s = F_S / (F_P * x) = \mathbf{3,9}$ mm

Při dosažení dráhy 3,9 mm dojde k oddělení vtoků.

Pozn.: Byla zvolena pružina HASCO Z60/20 x 112.

PŘÍLOHA P V: VÝPOČTY

Výpočet objemu výstřiku

Hmotnost výstřiku $m = 204 \text{ g}$

Hustota materiálu výstřiku $\rho = 1,34 \text{ g / cm}^3$

Objem výstřiku $Q = m * \rho = 273,36 \text{ cm}^3$

Výpočet minimálního objemu vstřikovací jednotky stroje

Ideální využitelná kapacita vstřikovací jednotky $x = 80\%$

Minimální objem výstřiku $Q_{\min} = 274 \text{ cm}^3$

Požadovaný objem vstřikovací jednotky $Q_{VJ} = Q_{\min} + (Q_{\min} * 0,2) = 328,8 \text{ cm}^3$

Minimální požadovaný objem vstřikovací jednotky je 329 cm³.

Výpočet výrobní ceny komory stykače – výroba v nové formě

Hmotnost výstřiku $m = 204 \text{ g}$

Cena materiálu $c_M = 100,- \text{ Kč/kg}$

Strojní sazba vstřikovacího stroje $s = 600,- \text{ Kč/hod}$

Cena formy $c_F = 1\,600\,000,- \text{ Kč}$

Doba amortizace $x = 4 \text{ roky}$

Čas cyklu odhadovaný $t_{cn} = 40 \text{ s}$

Ročně vyrobené množství $k = 400\,000 \text{ ks}$

Cena 1ks komory stykače $c_{kn} = s / (3600 / t_{cn}) + (m/1000) * c_M = 27,07 \text{ Kč}$

Cena 1ks komory včetně amortizace $c_{kna} = (c_F / x) / k + c_{kn} = 28,07 \text{ Kč}$

Cena jedné komory stykače je včetně amortizace 28,07 Kč.

PŘÍLOHA P VI: VÝPOČTY

Výpočet výrobní ceny komory stykače – stávající forma

Hmotnost výstřiku	$m = 204 \text{ g}$
Cena materiálu	$c_M = 100,- \text{ Kč/kg}$
Strojní sazba vstřikovacího stroje	$s = 600,- \text{ Kč/hod}$
Čas cyklu skutečný	$t_{cs} = 54 \text{ s}$
Ročně vyrobené množství	$k = 400\,000 \text{ ks}$

Cena 1ks komory stykače $c_{ks} = s / (3600 / t_{cs}) + (m/1000) * c_M = 29,50 \text{ Kč}$

Cena komory stykače vyráběná původní formou je 29,50 Kč

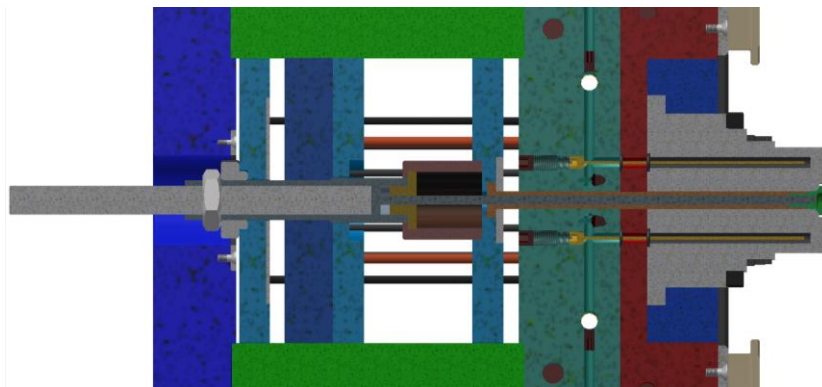
Výpočet roční úspory nákladů při výrobě novou formou

Cena 1ks komory stykače stará forma	$c_{ks} = 29,50 \text{ Kč}$
Cena 1ks komory stykače nová forma včetně amortizace	$c_{kna} = 28,07 \text{ Kč}$
Ročně vyrobené množství	$k = 400\,000 \text{ ks}$

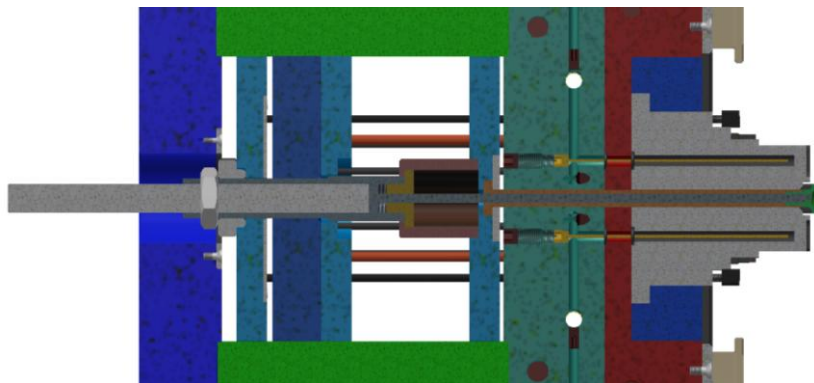
Úspora nákladů $N_U = (c_{ks} * k) - (c_{kna} * k) = 572\,000,- \text{ Kč/rok}$

Roční úspora nákladů by mohla v případě výroby komory stykače činit až 572 000,- Kč.

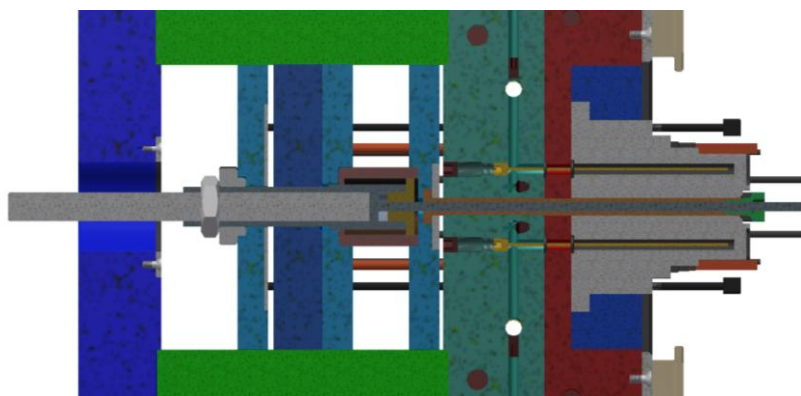
PŘÍLOHA P VII: FÁZE ODDĚLOVÁNÍ VTOKU



Fáze 1: Vyhazovací systém v zasunuté poloze.



Fáze 2: Posun první a poslední (na doraz k opěrné desce formy) vyhazovací desky a odstřížení vtoků.



Fáze 3: Posun první desky – stlačení pružin a opěrné desky vyhazovačů spolu s kotevní a vysunutí vyhazovačů.