

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI Z PLASTU „KRYT ZÁSOBNÍKU“

PRODUCTION SINGLE PARTS FROM THERMOPLASTIC „MAGAZINE COVER“

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL ŘÍHA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2010

VLOŽIT ORIGINAL ZADÁNÍ

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Říha

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Výroba součástí z plastu "Kryt zásobníku"

v anglickém jazyce:

Production single parts from thermoplastic "Magazine cover"

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie výroby součástí a konstrukční řešení formy

Cíle bakalářské práce:

1. Literární studie
2. Návrh technologie výroby
3. Konstrukční řešení formy a potřebné výpočty
4. Ekonomické zhodnocení

VLOŽIT ORIGINÁL ZADÁNÍ

Seznam odborné literatury:

KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastu vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha : SNTL, 1986. 229 s.

SOVA, Miloš, KREBS, Josef. Termoplasty v praxi : Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastu. 5. aktualiz. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 1999-2000. růz s., CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 10.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologií vstřikování termoplastů. Teoretická část popisuje současné poznání v oblasti vstřikování termoplastů a shrnuje doporučení pro konstrukci vstřikovací formy. V praktické části je řešena konstrukce prototypové formy pro zadaný výlisek. Tato část zahrnuje i technologickou analýzu výlisku. Vlastní konstrukce formy je provedena v programu Pro/Engineer Wildfire 4.0. Výstupem je výkresová dokumentace. V samotném závěru práce je proveden ekonomický rozbor nákladů na výrobu nástroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vstřikování termoplastů, vstřikovací forma, plastový výlisek, analýza plnění.

ABSTRACT

The Bachelor's thesis is concerned about thermoplastic injection technology. In the theoretical part are described actual knowledge in branch of thermoplastic injection and there are summarized the recommendations for design of injection mould also. The practical part describes the prototype injection mould design for designated plastic part. One of chapters includes technology analysis of plastic part. The mould is projected in Pro/Engineer Wildfire 4.0 software including complete technical documentation. In the end of this thesis is performed economic analysis of production costs.

KEY WORDS

Thermoplastic injection, injection mould, molded plastic part, filling analysis.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘÍHA, Pavel. *Výroba součástí z plastu „kryt zásobníku“*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010, 61 stran.
Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím citované odborné literatury.

V Brně, dne 27.5.2010

.....

Pavel Říha

PODĚKOVÁNÍ

V úvodu bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Ladislavu Žákovi, za jeho cenné rady a odborné vedení. Dále bych rád poděkoval kolegům z konstrukčního a technologického oddělení firmy Plastkov s.r.o. za jejich podporu a zkušenosti, zejména pak panu Zdeňkovi Cejpkovi a Milošovi Vránovi, kteří mi umožnili zpracovat bakalářskou práci na toto téma.

OBSAH

ÚVOD	9
------------	---

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	10
1.1 Termoplasty	10
1.2 Vstřikovací cyklus	11
1.3 Vstřikování vláknů plněných termoplastů	14
1.4 Návrh a kvalita vylisku	14
2. VSTŘIKOVACÍ STROJE	17
2.1 Vstřikovací jednotka	17
2.2 Uzavírací jednotka	18
3. VSTŘIKOVACÍ FORMY	19
3.1 Uspořádání vstřikovací formy	19
3.2 Volba vstřikovacího stroje, násobnost formy	20
3.3 Analýza vylisku, smrštění	21
3.4 Tvarové části formy a jejich materiály	22
3.5 Studená vtoková soustava	23
3.5.1 Vtokové kanály	23
3.5.2 Vtoková ústí	25
3.5.3 Možnosti řešení vtoků	27
3.6 Vyhřívaná vtoková soustava	28
3.6.1 Vyhřívané trysky	28
3.6.2 Vytápěné rozváděcí bloky	29
3.6.3 Sekvenční a kaskádové vstřikování	29
3.7 Mechanické vyhazování vylisku	31
3.8 Temperační systém formy	34
3.9 Odvzdušnění formy	36
3.10 Normálie	37

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
5. PROGRAMOVÁ PODPORA	38
6. ANALÝZA VÝLISKU	39
6.1 Zadaný výrobek, technologie výroby	39
6.2 Dělicí rovina a směr odformování	40
6.3 Úkosová analýza	41
6.4 Umístění a volba vtoku	42
6.5 Technologická analýzy	44
6.5.1 Časový průběh plnění	45
6.5.2 Tlak čela taveniny	45
6.5.3 Problémy naplnění	46
6.5.4 Teplota čela taveniny	46
6.5.5 Místa uzavření vzduchu	47
6.5.6 Průběh utěsnění dutiny	47
6.5.7 Orientace skelných vláken	48
6.6 Volba smrštění	48
7. VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	49
7.1 Násobnost formy	49
7.2 Zavírací síla	49
8. KONSTRUKCE FORMY	50
8.1 Koncepce formy, rám	50
8.2 Tvarová dutina formy	52
8.3 Vtoková soustava	53
8.4 Temperace	53
8.5 Vyhazování	55
9. EKONOMICKÝ ROZBOR	57
ZÁVĚR	59

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY
SEZNAM PŘÍLOH

ÚVOD

Zpracování plastů je odvětví průmyslu, které v posledních desetiletích zaznamenalo prudký nárůst. Na výrobky z plastů jsou dnes kladeny vysoké nároky z hlediska jejich přesnosti, pevnosti a životnosti. Vznikají nové typy nebo modifikace plastových materiálů a jsou vyvíjeny tomu odpovídající technologie zpracování. Jednou z těchto již zavedených technologií je vstřikování termoplastů. Je to nejrozšířenější způsob zpracování této skupiny plastů.

Technologie vstřikování využívá vlastností termoplastů, jako je změna tvaru za zvýšené teploty a tlaku. Příprava termoplastu pro vstřikování probíhá ve vstřikovacích lisech. Tvar finálního výrobku určuje dutina vstřikovací formy upevněné na lise a tvořící s ním samostatnou výrobní jednotku.

Konstrukce vstřikovací formy (nástroje) musí zajistit bezproblémový chod výroby a požadované vlastnosti výrobku (výlisku), a to po celou dobu životnosti nástroje. Konstrukci nástroje ovlivňuje zejména požadovaný tvar výlisku, typ zpracovávaného termoplastu a předepsaný počet zdvihů. Na nástroj jsou kladeny zvýšené nároky na přesnost sestavení, tvarovou stálost při tepelném zatížení, odolnost vůči opotřebení a celkovou tuhost.

Pro samotný návrh nástroje jsou dnes využívány 3D konstrukční programy s návazností na technologické postupy (obráběcí programy, výroba elektrod pro jiskření tvaru, atd.). K předcházení vad výlisku jsou využívány, ještě před samotným návrhem nástroje, programy pro analýzu plnění dutiny.

Výroba vstřikovací formy je finančně náročná a proto jsou tyto nástroje používány zvláště pro velké série, v řádu stovek tisíc kusů. V některých případech je třeba vyrobit prototyp výlisku přímo technologií vstřikování, pak je možno navrhnout prototypový nástroj s garantovanou životností v řádu stovek zdvihů.

V teoretické části této práce je stručně popsána technologie vstřikování a postup konstrukce nástroje, v rozsahu potřebném pro praktické navržení vstřikovací formy.

Praktická část obsahuje řešení prototypového nástroje pro konkrétní výrobek z termoplastu plněného skelným vláknem. Konstrukce formy je taková, aby bylo v budoucnu možno, po výměně tvarových dutin a drobných úpravách, použít tento nástroj pro sériovou výrobu.



Obr. 1 Řešený plastový výrobek
Sestava dvou plastových výlisků spolu tvoří zásobník pro nastřelovací pistole

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Vstřikování termoplastů představuje takový způsob tváření, při kterém je přesně určená dávka roztavené hmoty vstříknuta velkou rychlostí z pracovní tlakové komory vstřikovacího stroje do uzavřené tvarové dutiny kovové formy (nástroje), kde hmota ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Forma se v dělicí rovině otevře, výrobek je vyhozen systémem vyhazovačů, který je součástí nástroje a celý proces se po uzavření formy opakuje.

Výrobky vyrobené technologií vstřikování se vyznačují dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. [1]

Vstřikovací stroj je univerzální zařízení na které je možno nainstalovat různé vstřikovací nástroje – formy. Naproti tomu vstřikovací forma je obvykle navržena na konkrétní tvar výlisku.

1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. [2]

NADMOLEKULÁRNÍ STRUKTURA PLASTŮ [2]

Podle nadmolekulární struktury (podle stupně uspořádanosti), kdy nadmolekulární struktura je nadřazena makromolekulám, se plasty dělí na:

- amorfní plasty, kde makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) průhledné, resp. dle propustnosti světla čiré (92 % propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60 % propustnosti světla). Součinitel teplotní roztažnosti je menší, než u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesklnění.
- krystalické (semikrystalické) plasty, které vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %) a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání.



Obr. 1.1 Struktura amorfních plastů [2]



Obr. 1.2 Struktura krystalických plastů [2]

Orientace makromolekul na povrchu vstřikovaného dílce je vlivem vysokých vstřikovacích sil ve směru toku taveniny (hovoříme o tzv. orientační textuře), zatímco v jádru tělesa zůstávají molekuly déle v tekutém stavu a než ztuhnou, stačí se vrátit do neorientovaného stavu. Jedním z důsledků krystalizace je ztráta průhlednosti materiálu. Vzhledem k tomu, že hustota amorfního polymeru je menší, než hustota polymeru semikrystalického, dochází při průchodu světla hmotou v důsledku různého indexu lomu k jeho rozptylu na drobných krystalických útvech uvnitř výrobku. Semikrystalický plast se jeví jako mléčně zakalený, zatímco amorfní plast jako čirý, průhledný.

PLNĚNÉ PLASTY [2]

Prísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření, apod.

Plniva zlepšují buď mechanické vlastnosti materiálu, nebo chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě, jiné prostě jen hmotu zlevňují. Rozeznáváme vyztužující (skleněná, uhlíková, kovová či méně účinná bavlněná krátká nebo dlouhá vlákna, popř. textilní ústřížky do obsahu maximálně 50 %, neboť pro správnou funkci vyztužujícího plniva je důležité, aby bylo dokonale obaleno pojivem) a nevyztužující plniva ve formě prášku, které se přidávají většinou z důvodu snížení ceny materiálu (moučka z břidlice, kaolinu, křída a dalších levných materiálů).

Jiná plniva (např. grafit) zlepšují kluzné vlastnosti, práškové kovy zlepšují tepelnou vodivost. Přídavkem sazí (zejména u polyolefinů) se zvyšuje odolnost proti UV záření, atd. Obsah nevyztužujících plniv bývá až 70 %. Zvláštním typem plniva jsou skleněné nebo kovové kuličky, které zvyšují rozměrovou stabilitu a odolnost proti rázům, resp. vodivost. Stabilizátory (tepelné, světelné) jsou určeny k zpomalení degradačních procesů a zvýšení životnosti součástí. Maziva (obsah do 1 %) usnadňují zpracování polymerů např. tím, že snižují viskozitu polymeru nebo zabraňují lepení výrobku na stěnu formy. Mohou to být např. vosky, stearáty Zn či Ca, popřípadě méně používané oleje a tuky. Barviva (obsah do 10 %) dávají plastům požadovaný barevný odstín. Většinou se používají barevné pigmenty založené na anorganických sloučeninách kovu (oxidy železa popř. chrómu). Organická barviva (lihové roztoky) rozpustná v polymeru se použijí tehdy, má-li hmota po vybarvení zůstat průhledná. Změkčovadla zlepšují houževnatost, zpracovatelnost a ohebnost materiálu, ovšem na úkor mechanických vlastností. Tvrdidla způsobují vznik příčných vazeb mezi makromolekulami a tím vytvrzení. Iniciátory a urychlovače polyreakcí ovlivňují účinek tvrdidla. Retardéry hoření působí samozhášivě, zpomalují proces hoření plastů nebo vůbec nedovolí zapálení plastu. Nadouvadla jsou přidávána v malém množství (0,5 ,2 %) k základnímu materiálu a po zahřátí na zpracovatelskou teplotu se rozkládají v plynné látky, vytvářející lehčené plasty.

Zpracovatelnost termoplastů je určována zejména odolností materiálu proti tepelné degradaci během vstřikování a tekutostí tj. schopností dokonale vyplnit dutinu formy.

1.2 Vstřikovací cyklus

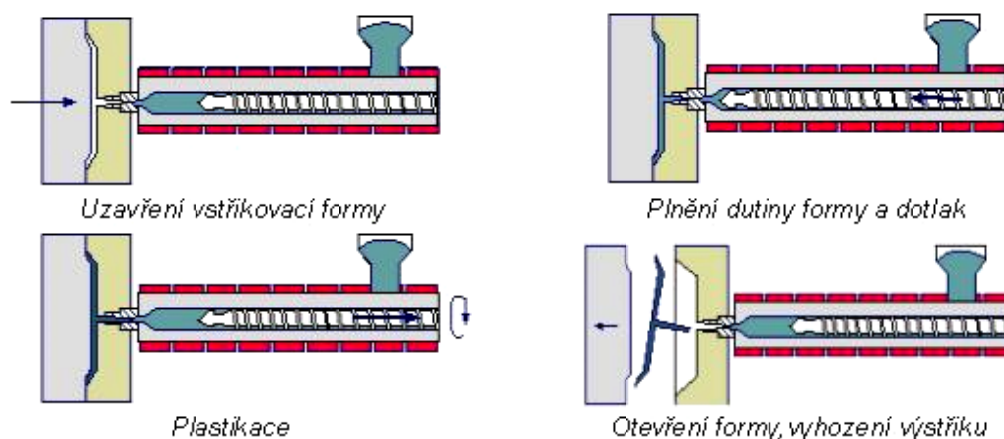
POSTUP VSTŘIKOVÁNÍ [2]

Plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smršnění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje.

Při popisu vstřikovacího cyklu je uvažován šnekový vstřikovací stroj, z důvodu jeho masivního rozšíření oproti strojům pístovým.

VSTŘIKOVACÍ CYKLUS [1] [2]

Tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy.



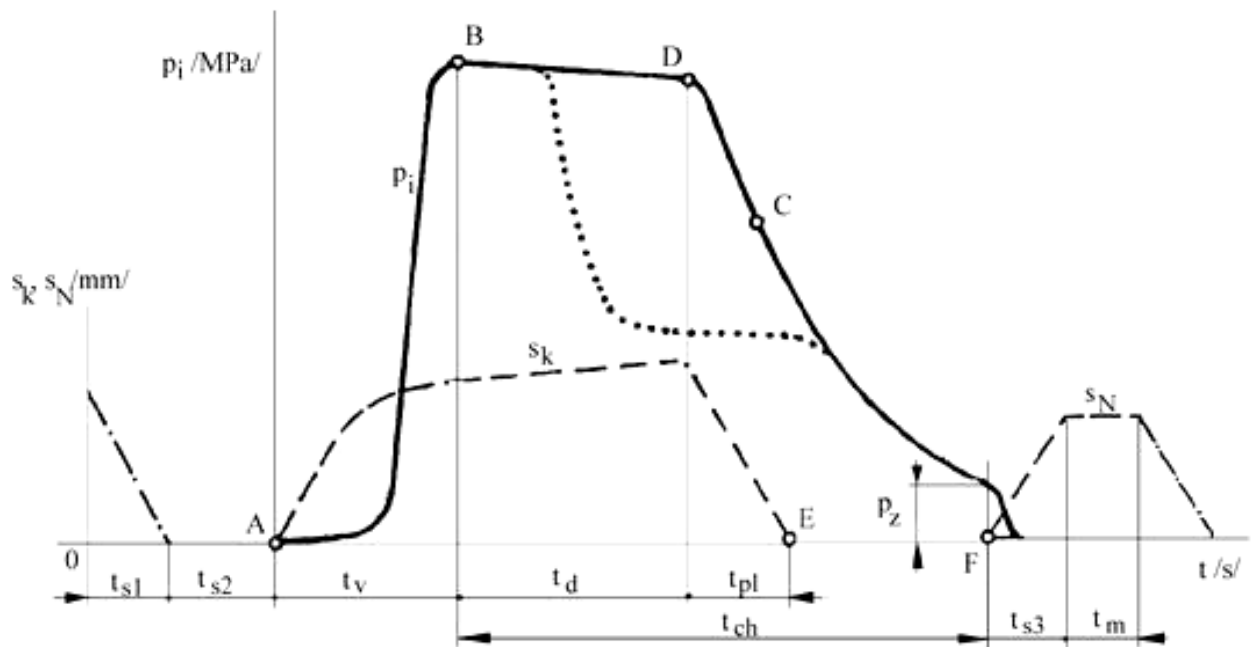
Obr. 1.3 Vstřikovací cyklus [2]

Vstřikovací cyklus můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na čase. Tento tlak se nazývá vnitřní tlak a značí se p_i . Kromě vnitřního tlaku existuje i vnější tlak, označovaný p , kterým se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku.

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne – strojní časy. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla F_p , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu F_u (až třikrát vyšší), neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty.

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a na dobu chlazení při klesajícím tlaku. Doba chlazení je závislá na teplotě formy T_F a tloušťce stěny výrobku. Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem, a aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy – dotlak. Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chlazení probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický a izochorický. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu - polštář, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být moc velký (obvykle kolem 10 až 15 %, méně než jednonásobek průměru šneku D), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty.

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak neboli zpětný tlak. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo. Jestliže je tavicí komora opatřena samouzavíratelnou tryskou, může plastikace probíhat i při otevřené formě. Dále může a nebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy. Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých vnitřních pnutí ve výstřicích, které u křehkých hmot mohou způsobovat až samovolné praskání výstřiku. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku anebo programovaným průběhem tlaku během dotlaku. Po dokonalém zchlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy.



Obr. 1.4 Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [2]

Plná čára na obrázku znázorňuje průběh tlaku p_i , přerušovaná čára pohyb šneku s_k a čerchovaná čára pohyb formy s_N .

A – začátek vstřikování, B – konec plnění formy, D – konec dotlaku,
 C – okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve vtokovém kanálu (konec dotlaku)
 E – konec plastikace (pohybu šneku), F – začátek pohybu formy

t_{s1} – doba uzavírání formy, t_{s2} – doba přisouvání vstřikovací jednotky k formě, t_{s3} – doba otevírání formy, t_m – doba manipulace s vyliskem, t_v – doba vstřikování, t_d – doba dotlaku, t_{pl} – doba plastikace, t_{ch} – doba chlazení, p_i – vnitřní tlak, p_z – zbytkový tlak při otevírání formy

1.3 Vstřikování vlákný plněných termoplastů [2]

Termoplasty, plněné minerálními plnivými (krátkými nebo dlouhými vlákny), mají díky netavitelnému podílu anorganického materiálu v plastickém stavu větší vnitřní tření taveniny, než neplněné plasty. Ke vstřikování jsou nezbytné teploty nejméně o 10° C vyšší. Rovněž tlaky, teplota formy a rychlost vstřikování jsou doporučovány vyšší, neboť taveniny plněných termoplastů rychle tuhnou a nedoporučuje se vyrábět díly s tloušťkou menší, než 2 mm. Délky šneků se doporučují v poměru 26 D.

V současné době se začínají prosazovat plněné plasty dlouhými vlákny (10 až 12 mm), což výrazně zvyšuje tuhost vyráběných dílů a s tím spojené i ostatní výhody, které přinášejí dlouhá vlákna. Při zpracování (šnekování, plastikaci) sice dochází k rozlámání granulí, ale i přes tento nedostatek jsou výsledná vlákna mnohem delší, než u materiálu s krátkými vlákny (zhruba desetkrát). Plastikace se musí provádět velmi šetrně speciálně provedeným šnekem, který se může otáčet oběma směry.

Výrobky, které byly získány touto technologií, mají zvýšenou tuhost, vysokou rázovou houževnatost, výbornou rozměrovou stabilitu a tyto vlastnosti si podržují i při extrémních teplotách.

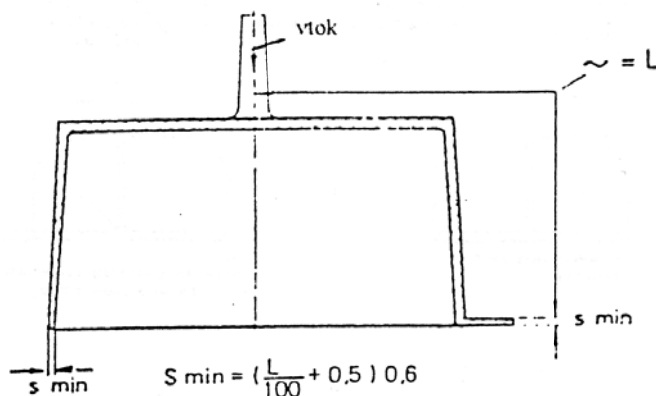
1.4 Návrh a kvalita výlisku

TVAR VÝLISKU

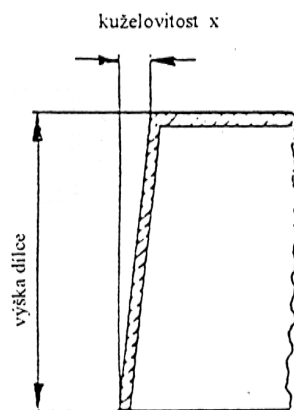
Návrh tvaru výrobků z termoplastů musí respektovat několik hledisek. U výrobků mechanicky namáhaných představuje prvotní hledisko jejich únosnost a tuhost. Charakter plastikářských technologií, případně snaha omezit hmotnost výrobku, vedou převážně k tomu, že výrobky jsou navrhovány jako relativně tenkostěnné. Při návrhu výlisku je tedy třeba mít určité znalosti o technologii výroby. [1]

Vybraná kritéria pro návrh výlisku:

- jednoduchá dělicí rovina
- úkosity na stěnách pro snadné odformování
- tloušťky stěn max. a min., tak aby nedocházelo k propadům nebo nedostříknutí



Obr. 1.5 Minimální tl. stěny dílce [3]



Velikost zkosení pro odformování

PS	1,5°
SB	1,0°
ABS	0,5°
PE-hart	0,5°
PP	0,3°
POM	0,5°
PBT	1,5°
PET	
PC	1,5°
PA	0,5°

Obr. 1.6 Doporučené min. úkosity [3]

TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU VÝLISKU [2]

Z technologických parametrů, má na vlastnosti výstřiku a jednotlivé fáze vstřikování největší vliv:

- vstřikovací tlak (ovlivňuje rychlost plnění, uzavírací sílu, vnitřní pnutí, smršštění, orientaci– tj. narovnávání makromolekul do směru toku, atd.),
- teplota taveniny (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a ovlivňuje tekutost plastu, vstřikovací tlak, dobu chlazení a tedy dobu cyklu, smršštění, tlakové ztráty, dotlak, atd.)
- teplota formy (konkrétní teplota závisí na druhu plastu a na charakteru výrobku, ovlivňuje tekutost plastu, rychlost plnění, dobu chlazení, lesk výrobku, povrch výrobku, teplotu taveniny, dotlak, vnitřní pnutí, smršštění, atd. – z technologického hlediska má být co nejvyšší, hlavně u semikrystalických plastů),
- rychlost plnění dutiny formy má být co nejvyšší, je však nutné kontrolovat teplotu taveniny, aby nedošlo k degradaci hmoty, nevýhodou je i vysoká orientace makromolekul,
- výše a doba trvání dotlaku (ovlivňuje hlavně rozměry výrobku, smršštění a vnitřní pnutí).

VADY VÝLISKŮ VZNIKLE BĚHEM VÝROBY [7]

Vady zjevné

jsou takové vady, které lze zjistit při vizuálním porovnání s předepsaným a schváleným referenčním vzorkem. Dělí se na dvě hlavní skupiny: vady tvaru a vady povrchu.

Mezi vady tvaru patří například propadliny, nedostříknuté výrobky, přetoky a ořepy, vrásnění nebo zvlnění, vrstvení a delaminace, stopy po vyhazovačích, deformace dílu vlivem nevhodných parametrů vstřikování či nesprávné konstrukce formy (např. malé úkosity, poddimenzovaný vyhazovací systém, nevhodná vtoková soustava, vadný temperační systém, nedokonalé odvodušnění), rozměrové vady a další.

K vadám povrchu náleží nerovnoměrný lesk, stříbření, opalescence, matná místa, povrch gramofonové desky, povrch pomerančové kůry, stopy po studeném spoji, špatně vykopírovaný dezén, mikrotrhliny, tokové čáry, nedokonalé vybarvení či změna barvy, žloutnutí u přírodních plastů, stopy po jiném či zdegradovaném materiálu (černé tečky, šmouhy, spálená místa), stopy po vlhkosti, uzavřeném vzduchu v tavenině a další.

Vady skryté

jsou vady, které nelze postihnout běžnou vizuální kontrolou, ovlivňují však většinou negativně vlastnosti výstřiku, a proto jsou z aplikačního hlediska nebezpečné. U termoplastů je nutno počítat se skrytými vadami v důsledku:

- nerovnoměrné orientace makromolekul nebo vláken (u vyztužených typů);
- vnitřního pnutí (např. tepelného, z nerovnoměrné orientace, z nerovnoměrné krystalizace či z přeplnění formy);
- nerovnoměrné krystalizace semikrystalických plastů (rozdílný obsah krystalinity, různá velikost a rozložení sferolitů, skin-core efekt);
- degradačních procesů vedoucích ke snížení pevnosti a houževnatosti;
- vnitřních defektů (u netransparentních či barevných typů), jako jsou lunkry (vakuoly), uzavřený vzduch, plynné složky z degradačních procesů, aj.

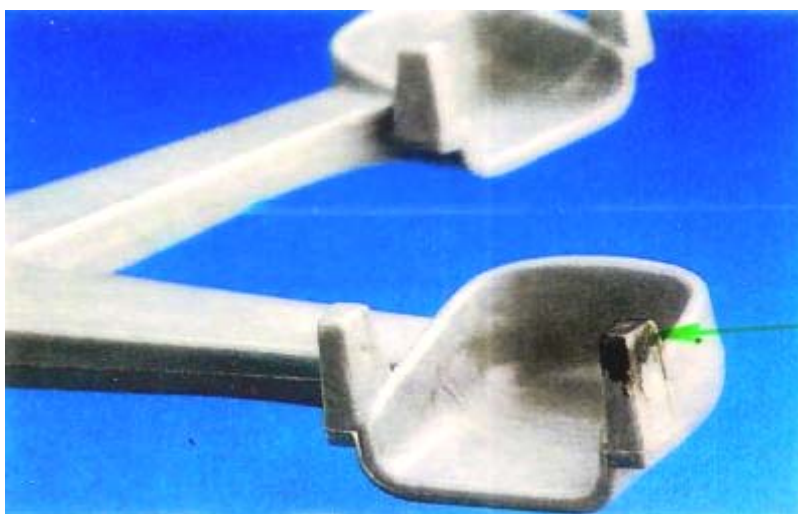
Popis některých závažnějších vad

Studené spoje patří mezi vady, které způsobují pevnostní zeslabení výstřiku a zároveň se projevují i jako vzhledové vady povrchu. Vznikají vždy, když se hlavní proud taveniny vyplňující tvarovou dutinu formy rozdělí tvarovými prvky (např. jádry) na dva nebo více toků a znovu se spojí buď čelně (primární studený spoj) nebo bočně či tangenciálně (sekundární studený spoj). Čelní spoj je z pevnostního i vzhledového hlediska vždy nebezpečnější.



Obr. 1.7 Studený spoj u polymeru vyztuženého skleněnými vlákny [7]

Na problematiku studených spojů navazuje další vada výstřiků s všeobecně užívaným názvem Dieselův efekt. Tato vada vzniká při nedostatečném odvzdušnění a vyšší vstřikovací rychlosti. Vzduch, který se nepodařilo při plnění formy odstranit, se komprimuje, čímž nastává ohřev způsobující lokální degradaci materiálu; v krajním případě dochází i k jeho spálení. Na výstřiku v místě lokální komprese vzduchu vznikají nedoplněná místa a tmavé až černé stopy po spáleném materiálu. U tlustostěnných výstřiků může docházet k rozptýlení vzduchu v tavenině a tvorbě drobných bublin. Tato vada se někdy nesprávně zaměňuje s tvorbou vakuol, které vznikají též v oblasti velké tloušťky stěny, avšak v důsledku objemového smrštění (vakuoly jsou obvykle větší). V místě uzavírání vzduchu je nutno realizovat odvzdušňovací kanály, jejichž tloušťka závisí na typu zpracovávaného polymeru a technologických podmínkách vstřikování (tlaky, rychlosti, teploty). Hloubka plochých odvzdušňovacích kanálů by neměla být větší než 0,02 mm (délka min. 20 mm). U větší hloubky je nebezpečí vzniku nežádoucích ořepů či přetoků na výstřiku.

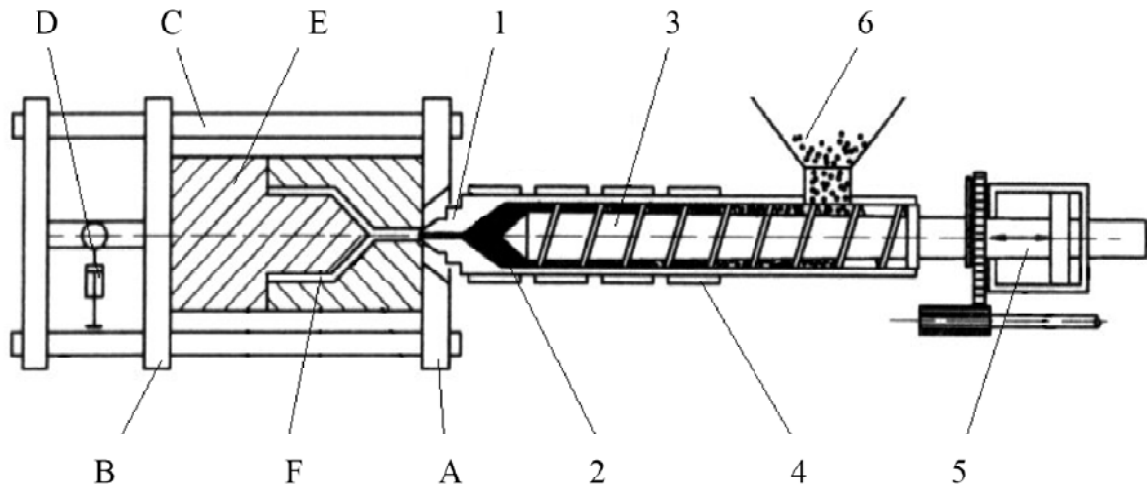


Obr. 1.8 Dieselův efekt – detail spáleného polymeru v důsledku komprese vzduchu [7]

2. VSTŘIKOVACÍ STROJE

Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká.

Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení s regulací.



Obr. 2.1 Schéma sloupového vstřikovacího stroje se šnekovou plastikací [2]

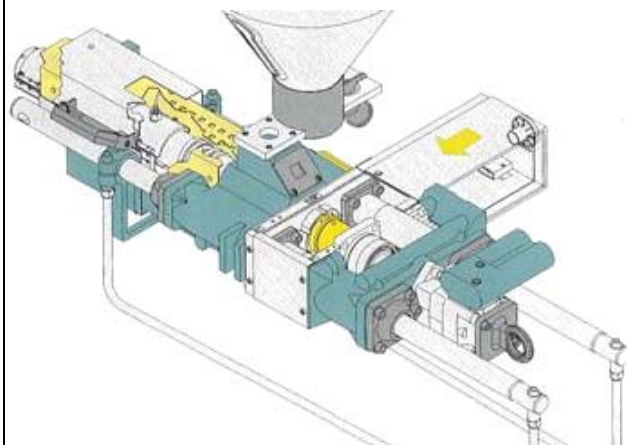
1 – vstřikovací tryska, 2 – tavící komora, 3 – šnek, 4 – topení, 5 – pohon šneku, 6 – násypka
 A – pevná upínací deska, B – pohyblivá upínací deska, C – vodící sloupy, D – uzavírací jednotka,
 E – vstřikovací forma, F – dutina formy



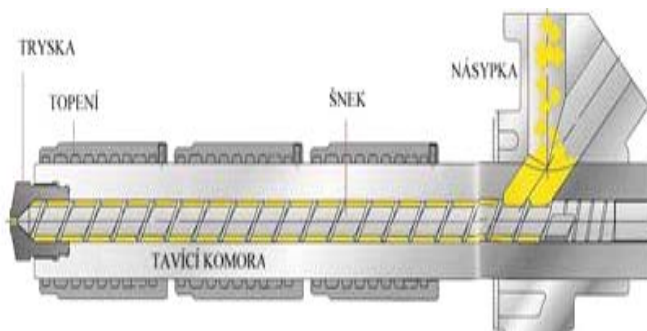
Obr. 2.2 Zástupce vstřikovacích strojů - ENGEL řada speed [5]

2.1 Vstřikovací jednotka [2]

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly: přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy.



Obr. 2.3 Schéma vstříkovací jednotky [2]



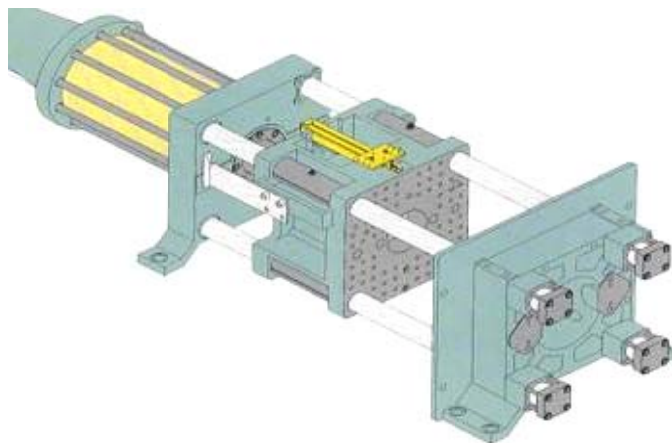
Obr. 2.4 Řez vstříkovací jednotkou [2]

Nejdůležitější částí vstříkovací jednotky je tavicí komora, šnek, tryska a topení včetně dalšího příslušenství.

Při plastikaci se šnek otáčí a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavicí komory. Materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku, který během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstříkne taveninu do dutiny formy. Plastikace nové dávky plastu může probíhat ještě ve fázi chlazení výstřiku ve formě. K dalším přednostem patří jednoduché dávkování, možnost hmotu dodatečně barvit a plnit plnivý nebo přidávat další přísady až při zpracování.

2.2 Uzavírací jednotka [2]

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstříkování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu přisouvací F_p , a sílu uzavírací F_u . Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstříkovací formy.



Obr. 2.5 Schéma uzavírací jednotky [2]

Uzávěrací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje; pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy; upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstříkovací formy; vedení pro pohyblivou desku; z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Vstříkovací stroje používají v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického způsobu (závorování) a v poslední době se používají i elektrické systémy.

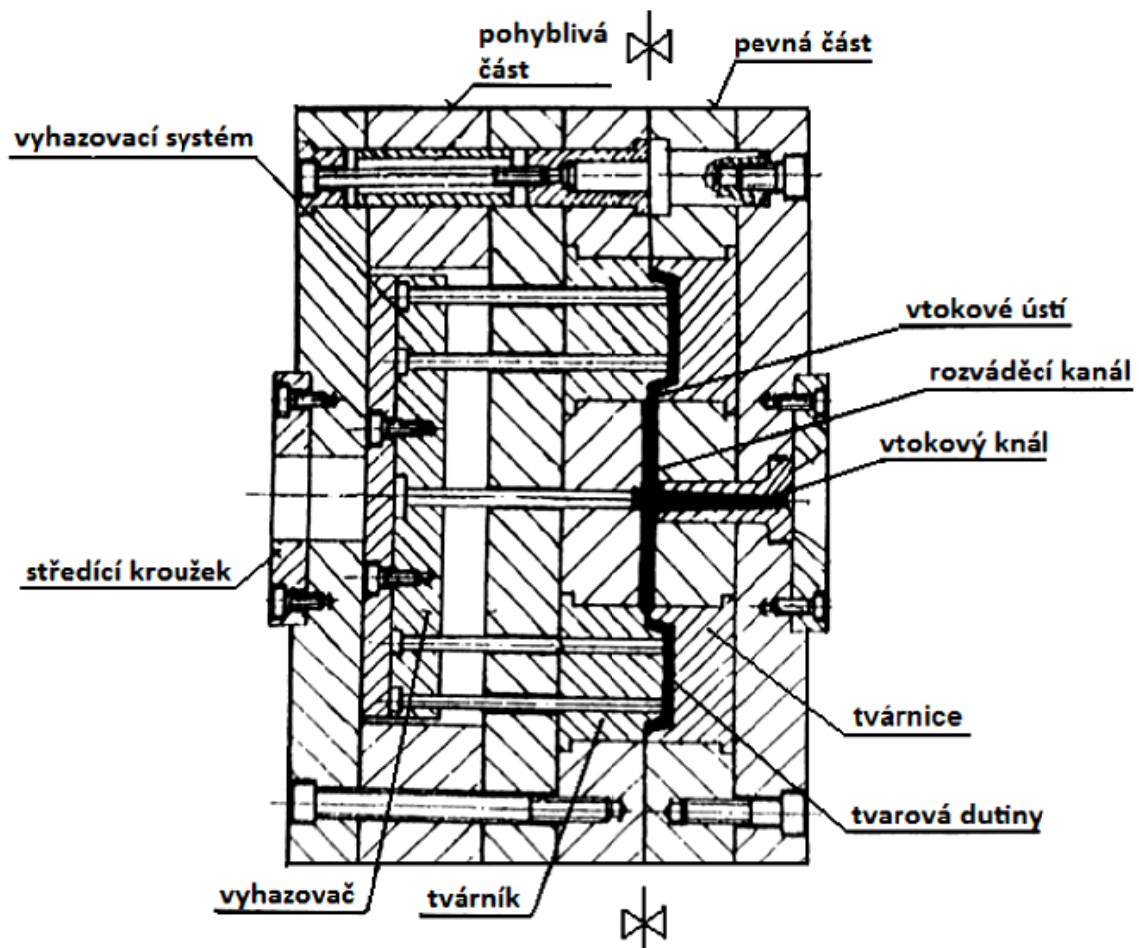
3. VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčeční, apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [2]

3.1 Uspořádání vstřikovací formy

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymezujících tvarovou dutinu formy, z chladicího (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodicích elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. Pro představu o tvarové a konstrukční složitosti vstřikovacích forem je na obrázku ukázka konstrukce vstřikovací formy. [2]

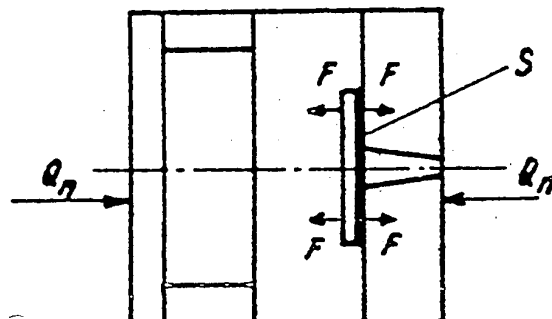


Obr. 3.1 Forma a její hlavní části [1]

3.2 Volba vstřikovacího stroje, násobnost formy

Při volbě vhodného vstřikovacího stroje je třeba dodržet několik podmínek, které musí stroj splňovat:

- dostatečná uzavírací síla



Obr. 3.2 Silové poměry při plnění formy [3]

V dělicí rovině formy působí tlak vstříknutého plastu, který má snahu otevírat formu. Uzavírací síla lisu proto musí být větší než síla v dělicí rovině od vstříkovaného plastu. Pro spolehlivé zavření formy by otevírací síla plastu F měla být maximálně 80% uzavírací síly lisu Q_n .

$$[N] \tag{3.1}$$

S průmět plochy výlisku do dělicí roviny včetně rozváděcích kanálů [m^2]

P_v tlak plastu ve formě [Pa]

- dostatečný vstřikovací tlak
- dostatečná vstřikovací kapacita s ohledem na dodatečnou spotřebu taveniny při dotlaku
- velikost upínací plochy lisu
- dostatečný rozjezd pohyblivé strany stroje

Volba vstřikovacího stroje je v praxi také ovlivněna možnostmi konkrétní lisovny, která bude nástroj provozovat.

NÁSOBNOST FORMY

Násobnost formy je počet samostatných kavit ve formě. To znamená, že v jednom vstřikovacím cyklu vypadne z formy tolik výrobků, kolika násobná je.

Násobnost je volena především s ohledem na:

- ekonomiku provozu
- termíny dodávek
- vyváženost plnění formy

Časté je umístění levého i pravého provedení (tvarově zrcadlové výlisky lišící se pouze v označení) téhož výlisku do jedné formy, zvláště při výrobě pro automobilový průmysl. Vzniká tedy dvou a více násobné provedení.

Dalším případem může být lisování dílců, které spolu tvoří sestavu a jsou si velmi tvarově a objemově podobné.

V praxi občas předepisuje násobnost formy přímo zákazník.

3.3 Analýza vylisku, smrštění

Analýza plnění formy slouží k předcházení výrobních vad vylisků. Analýzou se zabývají speciální programy nebo může být integrována přímo do modelovacího programu. Lze jí ověřit nebo simulovat:

- vhodnost navrženého místa vtoku
- parametry vstřikování - vstřikovací tlak, čas plnění, průběh dotlaku
- rozložení teploty vylisku - optimalizace teploty formy, teplota čela taveniny
- výskyt propadlin a staženin na vylisku – účelnost dotlaku, konstrukce vylisku
- místa uzavření vzduchu - optimalizace odvodu vzduchu
- výskyt studených spojů
- směr toku materiálu - orientace vláken u plněných materiálů
- velikost smrštění

Jedním ze vstupů pro analýzu jsou materiálová data použitého plastu jako např. pV-T-diagram, atd. Tato data jsou k dispozici pro plasty od renomovaných výrobců. Při použití náhradní suroviny od méně známého výrobce, se může stát, že nebude možno provést kvalitní analýzu z důvodu nedostupnosti materiálových dat.

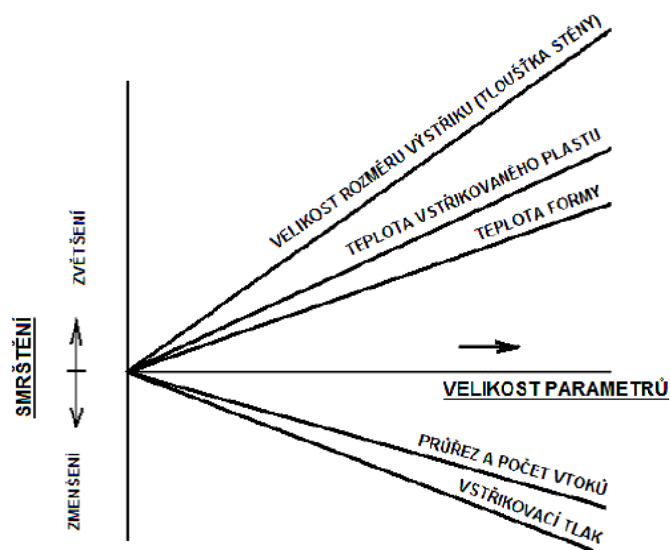
SMRŠTĚNÍ

Smrštění je změna objemu vylisku vlivem chladnutí materiálu ve formě, ale i po vyhození. Je rozhodující pro určení velikosti dutiny formy. Velikost smrštění se pohybuje od 0,1 do cca 4% v závislosti na druhu materiálu a případně jeho plnivu. Hodnota smrštění bývá také rozdílná ve směru tečení materiálu a kolmo na něj. Platí to i pro plněné materiály např. skelným vláknem, kde jsou vlákna orientována ve směru toku. Viditelné je to zejména u dlouhých štíhlých vylisků.

Průběh smrštění:

- cca 90 % smrštění výrobku proběhne ještě v dutině formy
- zbylých cca 10% v průběhu 24 až 48 hodin po vyhození vylisku z formy, po této době lze kontrolovat vylisek
- dlouhodobě se projevuje ještě dodatečné smrštění způsobené uvolňováním vnitřního pnutí nebo sekundární krystalizací

Rozměry vylisku jsou v běžném provozu velmi ovlivněny teplotní roztažností, která je oproti ocelím asi 10 větší. Další příčinou změny rozměrů může být u některých druhů plastů jejich schopnost absorpce vody – navlhávání či vysychání. Všechny tyto děje jsou vratné.



Obr. 3.3 Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění [6]

3.4 Tvarové části formy a jejich materiály

Tvarové části vytvářejí dutinu a jsou v přímém styku se vstříkovaným plastem. Označují se:

- tvárnice, je na straně trysky vstříkovacího stroje (pevná strana stroje)
- tvárník, je v pohyblivé části formy a jsou v něm vedeny vyhazovače
- tvarové vložky - jádra, mohou být umístěny v tvárníku i tvárnici na místech kde je předpoklad např. dodatečné optimalizace tvaru dutiny nebo kde není možné vyrobit dutinu z jednoho kusu materiálu
- čelisti, tvoří vedlejší dělicí rovinu formy
- v neposlední řadě jsou to i vyhazovače

Z hlediska geometrie konečného výlisku je výhodné některé tvarové části formy vyrobit na hraně tolerance, tak aby při případné optimalizaci bylo možno materiál pouze odebírat. Tím se dostane výsledný výrobek do předepsaných rozměrů jednodušším způsobem. Než např. dodatečným vložkováním nebo navážením.

Materiály použité na výrobu tvarových částí formy musí mít dostatečnou tvrdost, pevnost a požadovanou kvalitu povrchu. Povrch tvaru se věrně otiskne do plastu. Pro následně pokovované výlisky je třeba docílit zrcadlového lesku.

Příkladem hojně užívaného materiálu na tvarové části forem by mohl být např. 1.2343 od fy. UDDEHOLM. [15]

Charakteristika

VIDAR 1 je Cr-Mo-V legovaná ocel, pro kterou jsou charakteristické následující vlastnosti:

- Dobrá odolnost proti opotřebení jak při nízkých tak při vysokých teplotách
- Dobrá houževnatost a plasticita
- Dobrá obrobiteľnosť
- Vyhovující pevnost za tepla a odolnost proti tepelné únavě
- Dostatečná prokalitelnost
- Dobrá rozměrová stálost při kalení

Chemické složení	C 0,38	Si 1,0	Mn 0,4	Cr 5,0	Mo 1,3	V 0,4
Označení dle normy	AISI H11, W.-Nr. 1.2343					
Dodávaný stav	měkce žíhané, cca 180 HB					

Použití	Austenitizační teplota (cca)	HRC
Vstříkování termožplastů::	1 000 - 1 020°C popuštěné 250°C nebo 560 - 580°C	48-50

3.5 Studená vtoková soustava

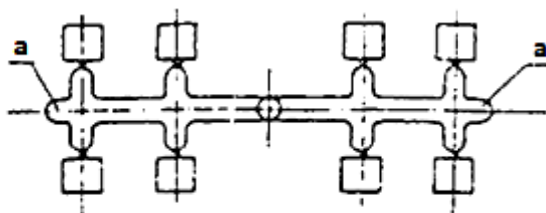
Vtoková soustava přivádí taveninu z trysky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Je tvořena systémem kanálů a ukončena ústím vtoku. Naplnění dutiny by mělo proběhnout co nejrychleji a s minimálními tlakovými ztrátami.

Při průtoku taveniny studeným vtokovým systémem roste její viskozita na vnějším povrchu (plast tuhne). Ztuhlá povrchová vrstva tak vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu, který je stále tekutý. Za tohoto stavu se naplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině i ve vtocích pokračuje postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Ve vtokových ústích dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a tím oddálení úplného ztuhnutí taveniny. Může tak probíhat fáze dotlaku. [1]

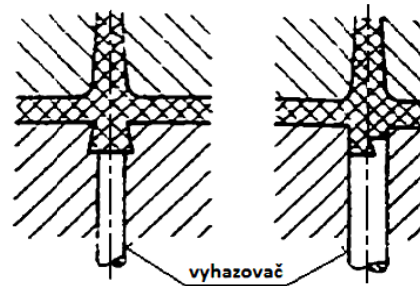
3.5.1 Vtokové kanály

Obecné principy konstrukce studených vtokových kanálů:

- dráha toku co nejkratší
- u vícenásobných forem:
 - při větvení odstupňovat průřez kanálů, tak aby byla zachována stejná rychlost
 - stejná dráha toku ke všem dutinám
 - různou velikostí kanálu případně balancovat různou hmotnost jednotlivých výlisků, tak aby k naplnění došlo současně ve všech dutinách
- dostatečně velký průřez vtokových kanálů, tak aby bylo zaručeno, že po naplnění dutiny zůstane jádro taveniny plastické a umožní působení dotlaku
- všechny hrany zaoblit
- volit dostatečně velký úkos, tak aby došlo k snadnému vyjmutí vtoku z formy
- při změně směru zachytit chladnější čelo proudící taveniny, tak aby nedošlo k jeho vniknutí do dutiny formy

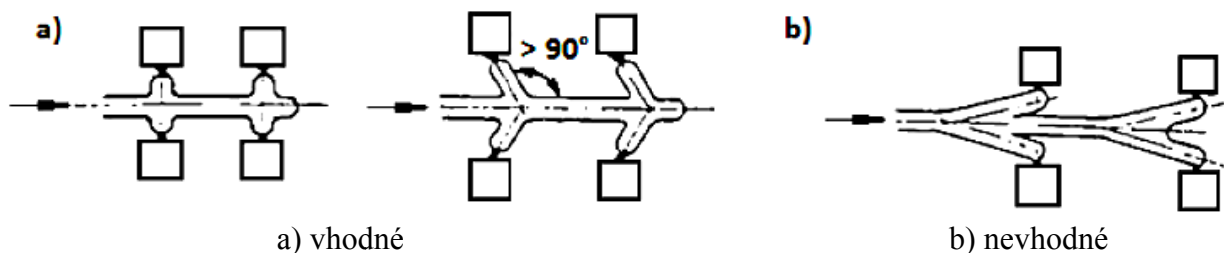


a) v jímce rozváděcích kanálů

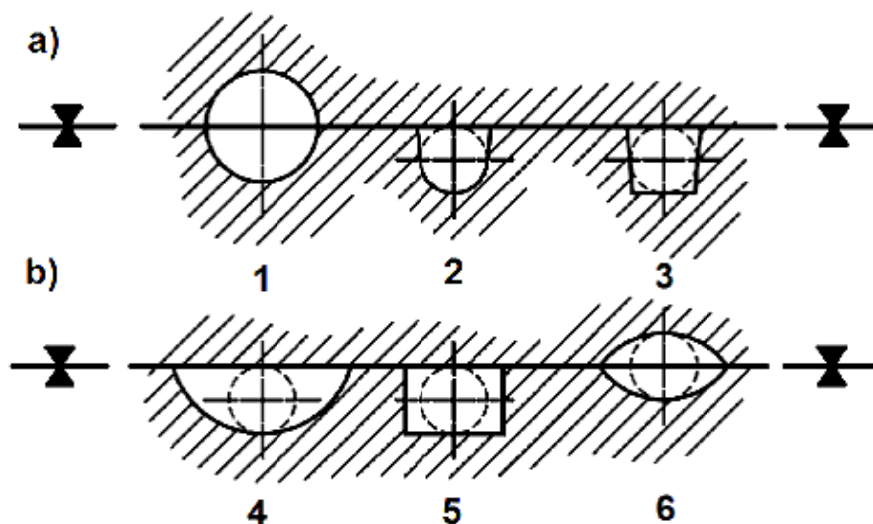


b) v komůrce vytrhávače vtoků, zároveň dochází k přidržení vtoku

Obr. 3.4 Zachycení čela proudu taveniny [1]

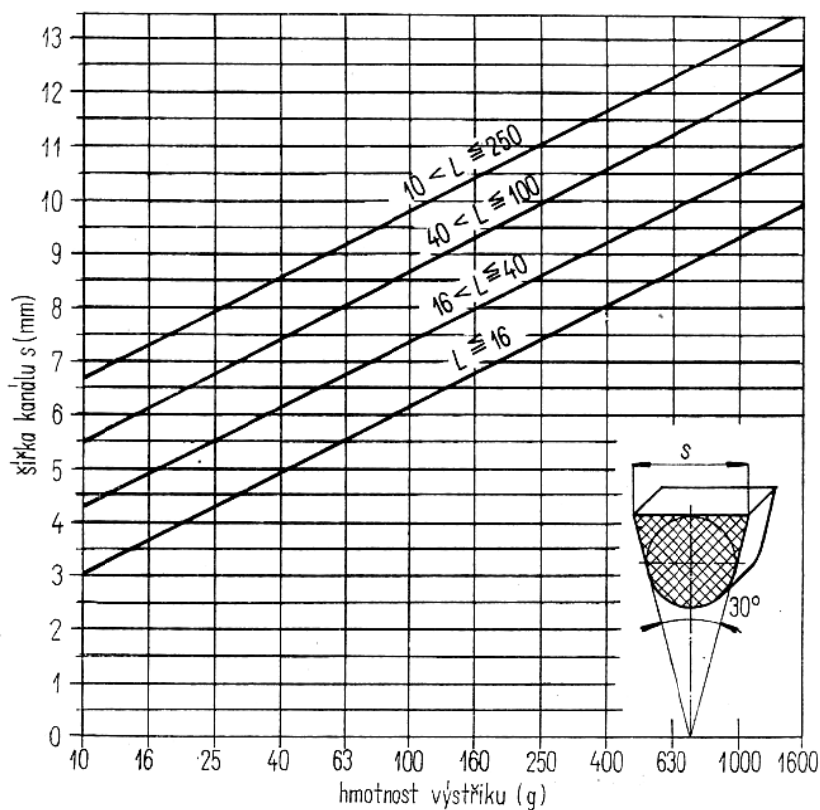


Obr. 3.5 Větvení vtoků [1]



Obr. 3.6 Průřezy vtokových kanálů [1]
 a) funkčně výhodné, b) funkčně nevýhodné
 1,6 – výrobně nevýhodné, 2,3,4,5 – výrobně výhodné

Jako pomůcka pro určení průřezu vtokového kanálu mohou sloužit různé nomogramy vycházející většinou z hmotnosti vylisku v kombinaci s délkou vtokového kanálu. Je zapotřebí také zohlednit jestli je vstřikovaný plast plněn např. skelným vláknem.



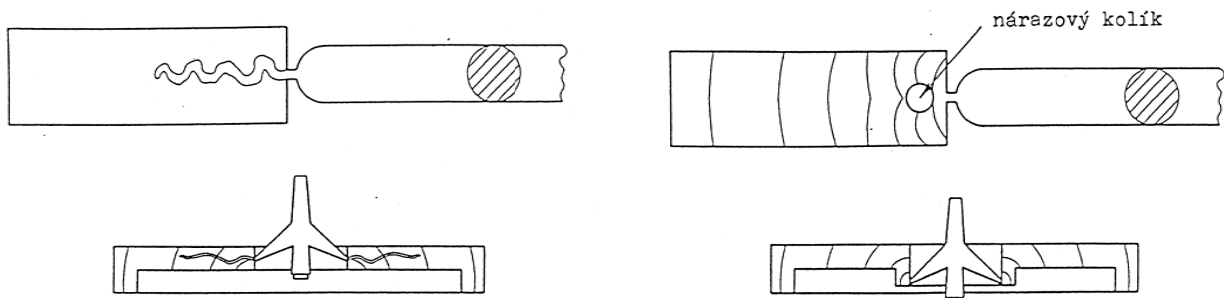
Obr. 3.7 Nomogram pro určení šířky „s“ rozváděcího kanálu [4]
 L = délka rozváděcího kanálu

3.5.2 Vtoková ústí

Vtokové ústí je zúžená část rozváděcího kanálu. Jen ve výjimečných případech jako je potlačení např. propadů se může použít plně nezúžený vtok. Zúžením se zvýší teplota taveniny před vstupem do dutiny formy. Jeho velikost musí být co nejmenší kvůli snadnému začištění vtoku, ale také musí zajistit spolehlivé naplnění dutiny formy. [1]

Poloha vtokových ústí vůči tvarové dutině by se měla řídit několika doporučeními [3]:

- je třeba vyloučit nebezpečí tzv. volného paprsku, který vzniká při turbulentním plnění tvarové dutiny. Žádoucí laminární proudění vzniká, pokud tavenina krátce po vstupu do dutiny dopadne na nějakou překážku.



nehodné – turbulentní plnění

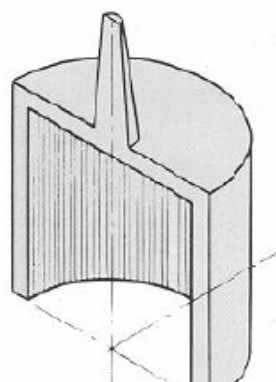
vhodné – laminární plnění

Obr. 3.8 Plnění dutiny [3]

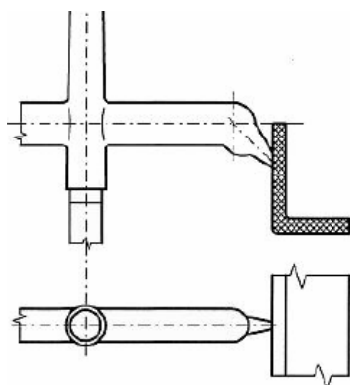
- vtokové ústí nesmí ležet v mechanicky namáhané části výrobku
- u výlisků se žebry zajistit proudění taveniny převážně ve směru jejich vedení
- pokud má plastový dílec různě silné stěny, umístit vtokové ústí do nejtlustšího místa
- u výlisků s otvory se umísťují vtoková ústí do otvorů nebo v jejich blízkosti
- pozitivně ovlivnit polohu případných studených spojů
- při plnění plošných tvarů z jedné strany by čelo proudící taveniny mělo být přibližně přímkové. Takového průběhu lze dosáhnout volbou dostatečně dlouhého filmového vtoku.
- u obdélníkových dílců dát přednost umístění vtoku do kratší hrany. Rovněž při velkých nárocích na rovinnost výstřiků ze semikrystalických plastů a plastů s vláknitým plnivem volit boční plnění. Při umístění vtokového ústí do středu dílce dochází k nepravidelnému uspořádání makromolekul případně vláknitého plniva, což obvykle vede ke značné deformaci dílu.
- brát ohled na možnost úniku vzduchu z dutin
- zanechání co nejmenší vtokové stopy na výlisku a umístění mimo pohledovou plochu

Tvar ústí bývá kruhový pro rotační díly nebo štěrbinový pro ploché výstřiky. Jeho parametry se volí podle objemu výstřiku. Při konstrukci je doporučeno volit menší rozměry vtokového ústí, tak aby jej bylo možno optimalizovat odebíráním materiálu. [1]

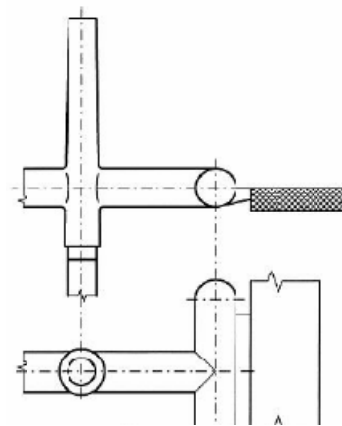
ZÁKLADNÍ TYPY VTOKOVÝCH ÚSTÍ



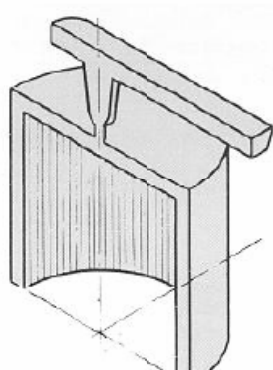
plný kuželový vtok



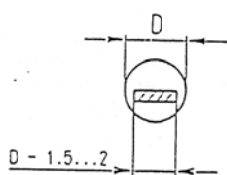
tunelový vtok



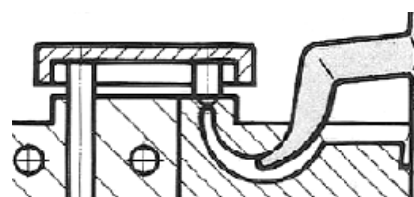
boční filmový vtok



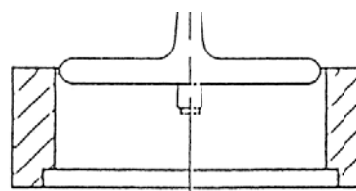
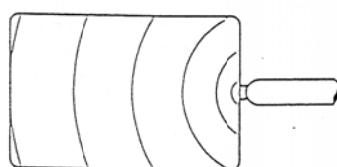
bodový vtok



boční obdélníkový vtok



srpkový tunelový (banánový) vtok



diskový filmový vtok

Obr. 3.9 Základní typy vtokových ústí [3]

Kuželový vtok

resp. kuželový vtokový kanál. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože tuhne jako poslední oblast ve formě. Jeho odstranění vyžaduje dodatečnou práci. Používá se u jednonásobných forem pro tlustostěnné dílce.

Bodový vtok

Jedná se o vtok se zúženým vtokovým ústím kruhového průřezu. U méně tekutých a plněných plastů pro větší výstřiky se použití bodových ústí nedoporučuje.

Tunelový vtok

Je zvláštním případem bodového vtoku. Výhodou je jeho automatické oddělení od dílce během otevírání formy obvykle s jednou dělicí rovinou. Předpokladem bezproblémového odformování je dostatečná elasticita vstříkovaného materiálu. Problematické je jeho použití např. u PS, SAN, PMMA.

Srpkový tunelový vtok

Umožňuje umístit vtokové ústí do části dílce, ve které nepůsobí rušivě.

Boční obdélníkový vtok

s průřezem $b \times t$. Doba zatuhnutí je závislá na tloušťce t .

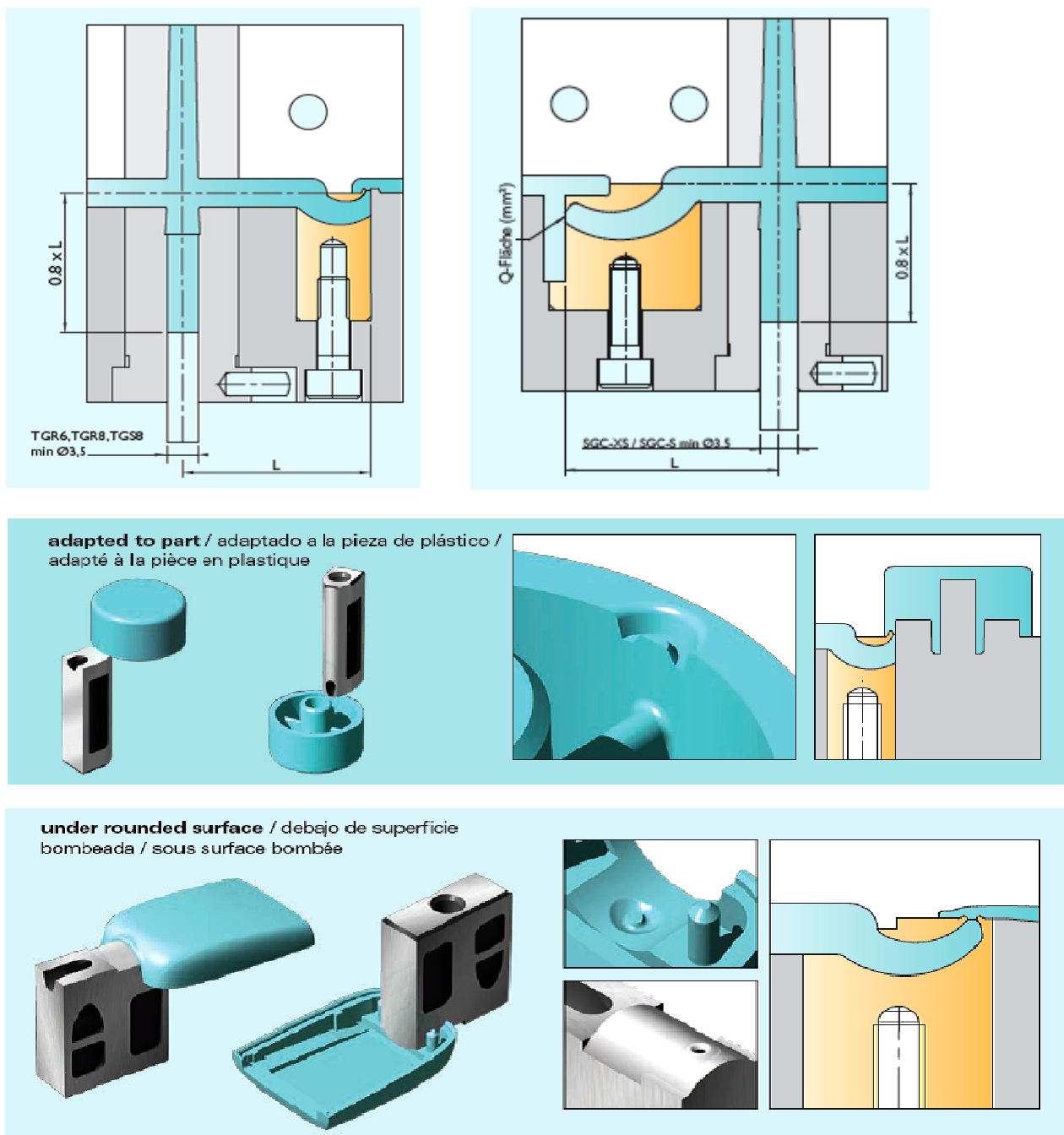
Filmové vtoky

Jejich použití je zvlášť vhodné u plošných dílců. Filmové vtoky jsou preferovány také u plastů plněných vlákny, protože nezpůsobují, na rozdíl od bodových vtoků, lámání těchto vyztužujících vláken. Lze je rozdělit na:

- boční filmový vtok
- diskový filmový vtok, nebo jeho varianty; slouží k plnění kruhových dílců s vysokými požadavky na rozměrovou přesnost výrobku

3.5.3 Možnosti řešení vtoků

Jednou z možností rychlého a kvalitního umístění vtoků je použití nakupované vtokové vložky. Tyto vtokové vložky je třeba vyjiskřit do požadovaného tvaru, v místě, kde tvoří stěnu tvarové dutiny formy. Jako příklad za všechny je zobrazeno několik variant od fy. i-mold.



Obr. 3.10 Ukázka použití vtokových vložek od fy. i-mold [8]

3.6 Vyhřívání vtokové soustavy [1]

Snaha po úsporách plastu i práce (zkrácení pracovního cyklu) vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku.

Vstřikování s použitím vyhřívání vtokové soustavy spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v tekutém stavu v celém vtokovém systému, tedy od vtoku až po jeho ústí. Díky tomu je možné použít jen bodové vyústění s malým průřezem, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes to je možné částečně pracovat s dotlakem.

Vyhřívání vtokové soustavy se používají především u forem pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jelikož je soustava rozvodu taveniny značně tepelně i mechanicky namáhána, vyžaduje větší tuhost formy a tedy i větší přesnost jejich výroby. Tím se zvýší také výsledná cena formy. Proto nejsou tyto formy ekonomicky vhodné pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz.

V jednonásobné formě je vstřikovací tryska napojena přímo na ústí do dutiny formy. U vícenásobných forem je součástí vyhřívání vtokové soustavy vyhřívání rozváděcí blok s tryskami, který pak ústí přímo do dutiny formy nebo do pomocných kanálů. Správná teplota taveniny je řízena regulátorem ovládaným snímači. U náročnějších a větších forem se používá více nezávislých topných okruhů.

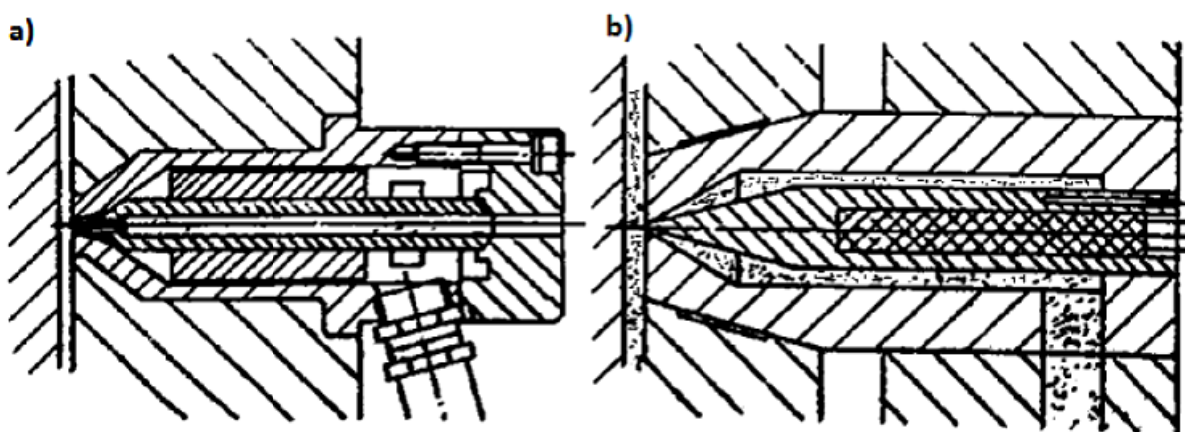
U všech způsobů bezvtokového vstřikování je vhodné v místě jeho vyústění provést na výstřiku čokovitě zahlobené, aby případný nepatrný vtokový zbytek nevystupoval přes jeho úroveň. Součástí systému je regulace teploty.

3.6.1 Vyhřívání trysky

Trysky mají vlastní topný článek a lze je popsat jako [1]:

- trysky s vnějším topením, kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky – těleso trysky je vyrobeno s vysoce vodivého materiálu a z vnějšku je kolem něj umístěno topení
- trysky s vnitřním topením, kde tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku tzv. torpédo z vysoce tepelně vodivého materiálu.

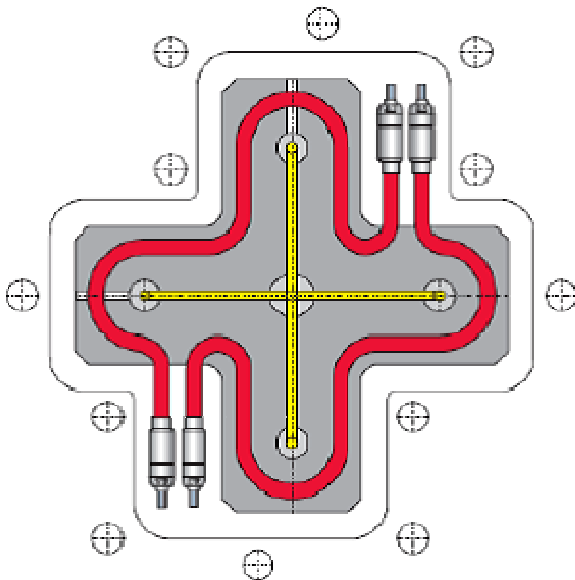
Ústí trysek mohou být otevřené, se špičkou, s uzavírací jehlou i jinak speciálně tvarované.



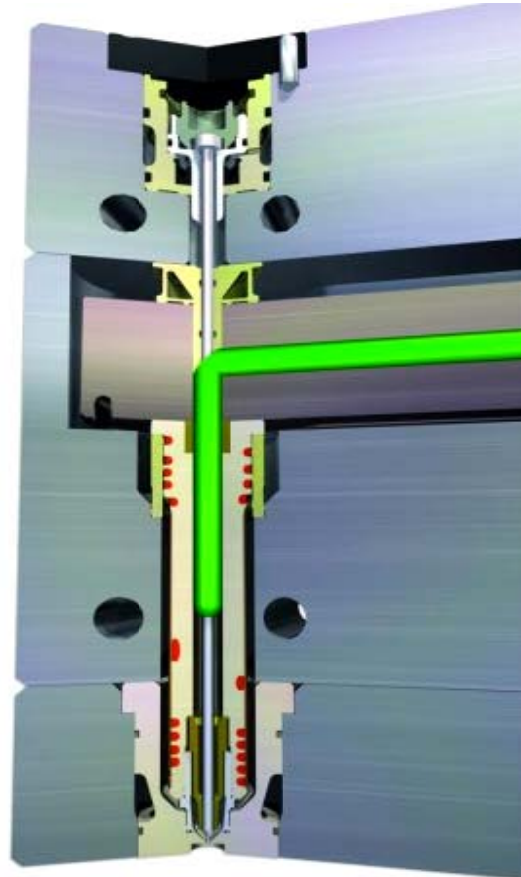
Obr. 3.11 Vyhřívání trysky s vlastním vytápěním [1]
a) vnější topení, b) vnitřní topení

3.6.2 Vytápěné rozváděcí bloky

Slouží u vícenásobných forem k rozvodu taveniny do dutin. Jejich tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů. Vyrábí se ve tvaru I, H, X, Y apod. Jejich vytápění je zajištěno vnějším nebo vnitřním elektrickým odporovým topením. Od ostatních částí formy jsou izolovány vzduchovou mezerou. Kanály rozvodu musí být vyrobeny bez přechodů s mrtvými kouty.



Obr. 3.12 Rozváděcí blok tvaru X [6]

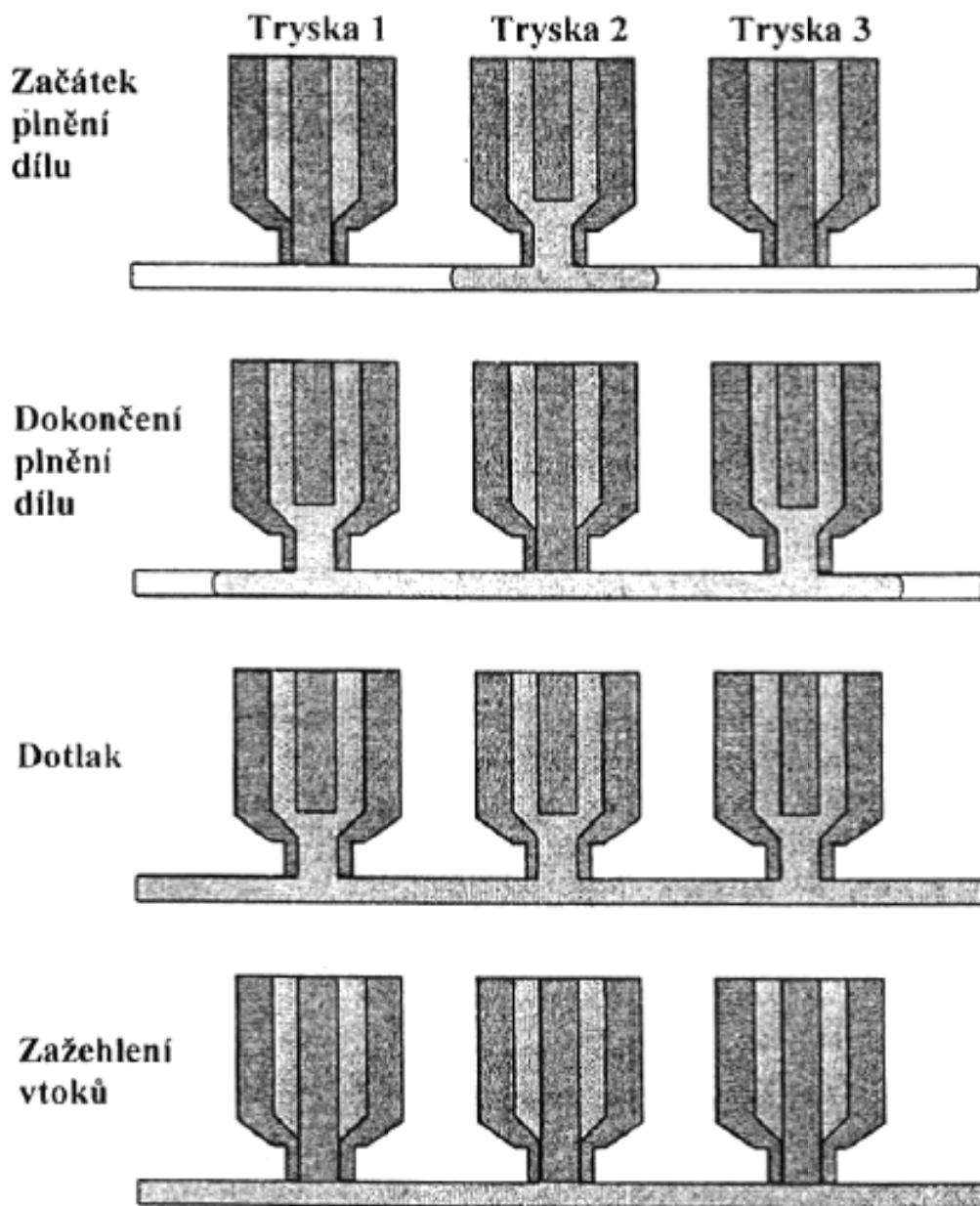


Obr. 3.13 Řez rozváděcím blokem a tryskou s uzavírací jehlou [11]

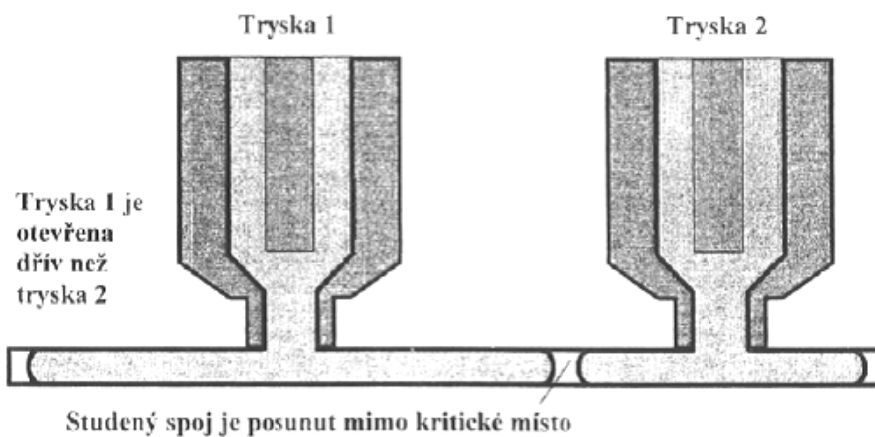
3.6.3 Sekvenční a kaskádové vstřikování

Pro eliminaci studených spojů u dílů lze použít vstřikovací systémy pro sekvenční a kaskádové vstřikování. Používají se např. při výrobě přístrojových desek, nárazníků, krytů apod. To znamená, že jsou tyto systémy vhodné u plošně rozměrných dílů, u dílů dlouhých či u větších dílů s extrémním požadavkem na vzhled. Tyto vstřikovací systémy jsou založeny na horkých vtokových tryskách uzavíraných pomocí jehel. Každá jehla procházející vnitřním kanálem trysky je ovládaná samostatným hydraulickým válcem. Každou trysku je možno samostatně otevřít nebo uzavřít v jakékoliv době plnění dílu. [10]

Kaskádový a sekvenční způsob vstřikování je principiálně shodný. Sekvenční způsob se používá u rozměrných a složitých dílů s průlisy, tvarovými vložkami apod. Vhodným načasováním otevření jednotlivých trysek můžeme proud taveniny v dutině formy usměrnit tak, abychom studené spoje buď úplně potlačili či je posunuli do míst, kde nebudou mít vliv na celkovou kvalitu dílu. Kaskádový způsob se používá u dlouhých dílů, kde lze postupným otvíráním vtoků eliminovat studené spoje úplně. [10]



Obr. 3.14 Princip kaskádového vstřikování [9]



Obr. 3.15 Princip sekvenčního vstřikování [9]

3.7 Mechanické vyhazování výlisku

Po otevření formy zůstává výstřik vlivem smrštění plastu obvykle na tvárníku. Cílem je, aby výstřik zůstal na straně, kde jsou vyhazovače. To bývá v drtivé většině případů odjížděcí strana lisu. Používáno je několik způsobů vyhazování:

- mechanické; nejrozšířenější a také často nejlevnější způsob
- hydraulické; pro větší formy, kdy je třeba pohybovat vyhazovací deskou za více míst současně
- pneumatické; pro hluboké výlisky, kde by při použití mechanického vyhazování neúměrně narostla tloušťka formy

Výstřik musí mít dostatečné úkosy stěn ve směru vyhazování a hladký povrch. Pohyb mechanických vyhazovačů zajišťuje vstřikovací stroj, který má dostatek síly k vyhození výlisku.

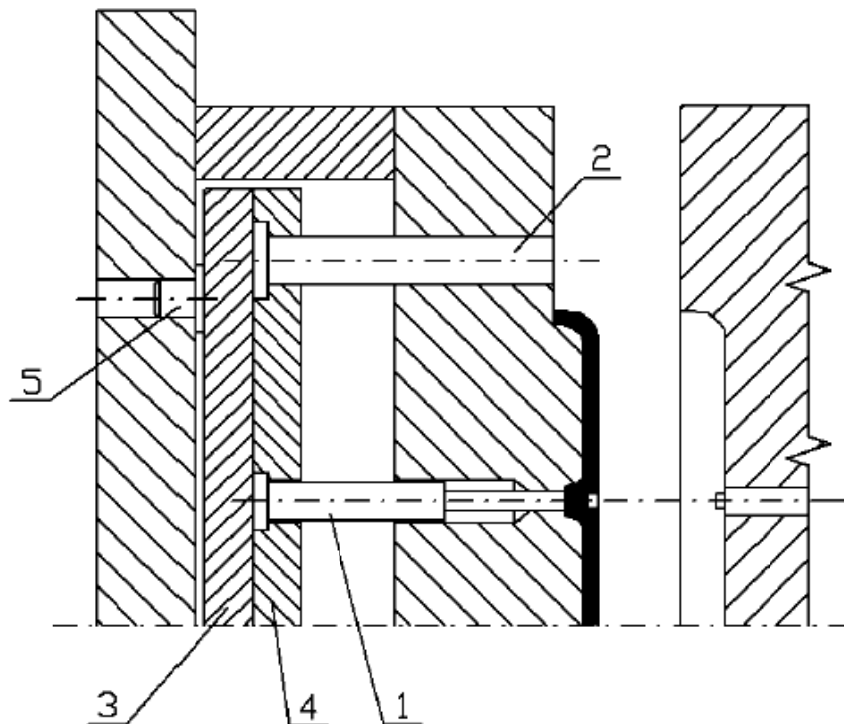
VYHAZOVACÍ KOLÍKY

System se používá tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku, ve směru vyhození. Je výrobně jednoduchý a funkčně zaručený. [1]

Zanechávají stopy na výlisku. Bývají proto umístěny mimo pohledové plochy, nejčastěji na straně žebér. Výlisky jsou v tomto duchu také konstruovány.

Vyhazovací kolíky jsou obvykle průřezu:

- kruhového
- obdélníkového, použití proti žebřům výlisku
- trubkového, pro vyhazování kolem pevného jádra
- jiný tvar s ohledem na konstrukci výlisku

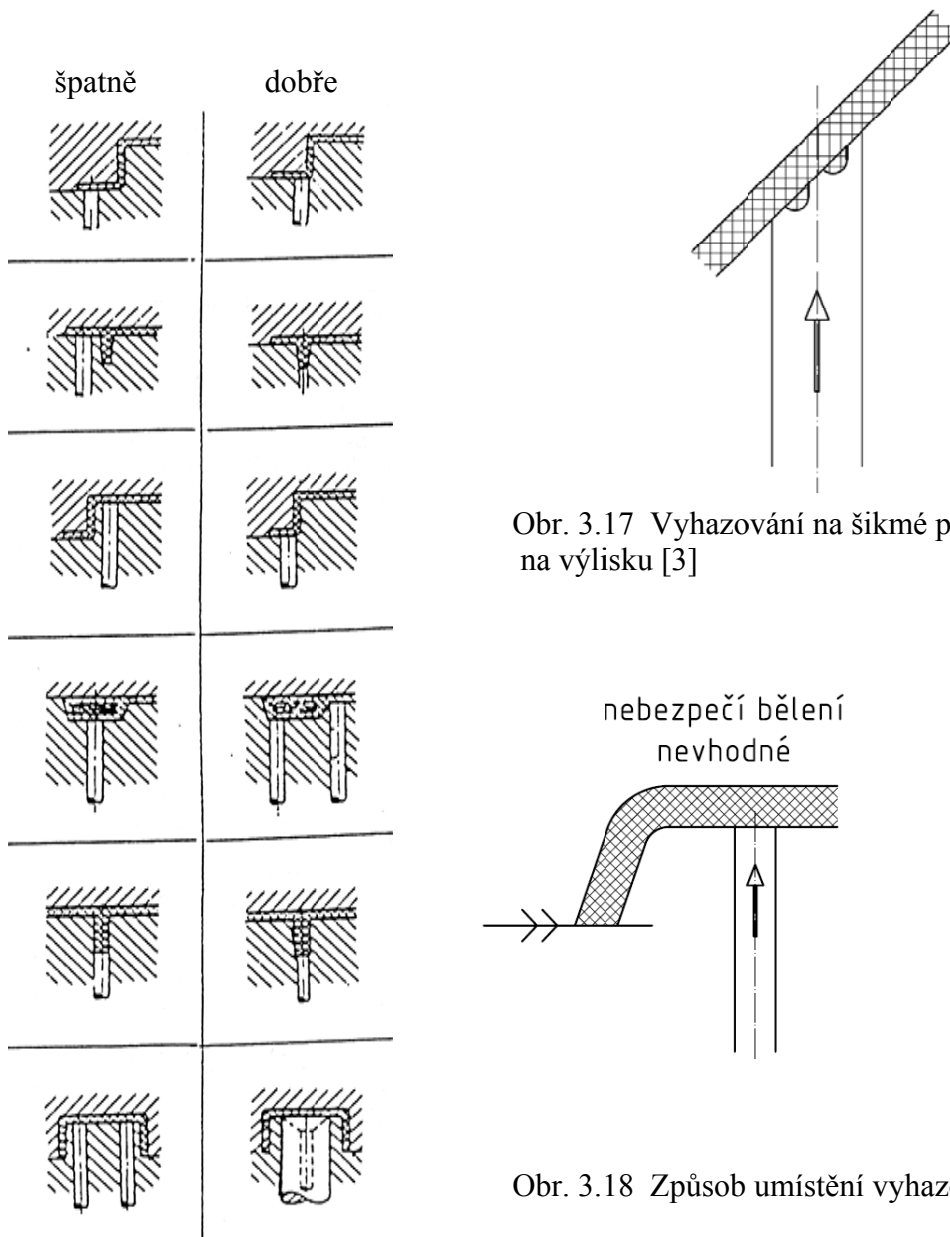


Obr. 3.16 Mechanické vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků [1]

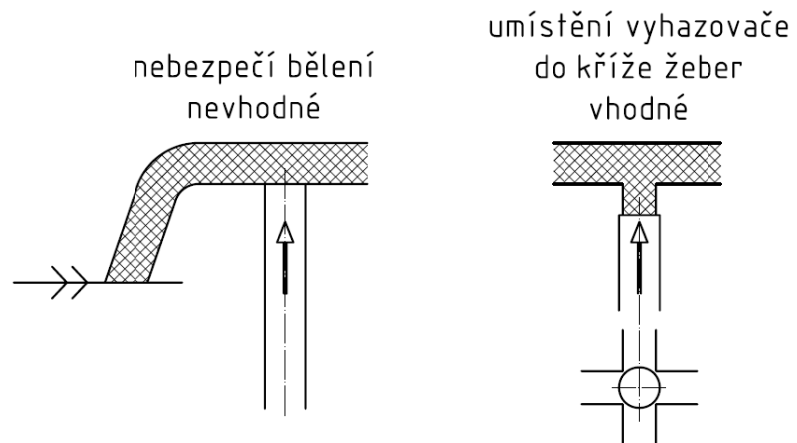
1- vyhazovací kolík, 2- vratný kolík, 3- opěrná deska vyhazovače, 4- upínací deska vyhazovače, 5- dosedka

Vyhazovací desky jsou spojeny se vstřikovacím strojem přes vyhazovací čep a jsou vedeny vodícími kolíky pevně uchycenými v rámu formy.

Vedení vyhazovačů v tvárníku je vyráběno s nepatrnou vůlí, tak aby vyhazovače fungovaly zároveň jako odvzdušnění formy. Je to nejučinnější a nejjednodušší způsob odvzdušnění tvarové dutiny formy.



Obr. 3.17 Vyhazování na šikmé ploše – podélné drážky na výlisku [3]



Obr. 3.18 Způsob umístění vyhazovačů [3]

STÍRACÍ DESKY

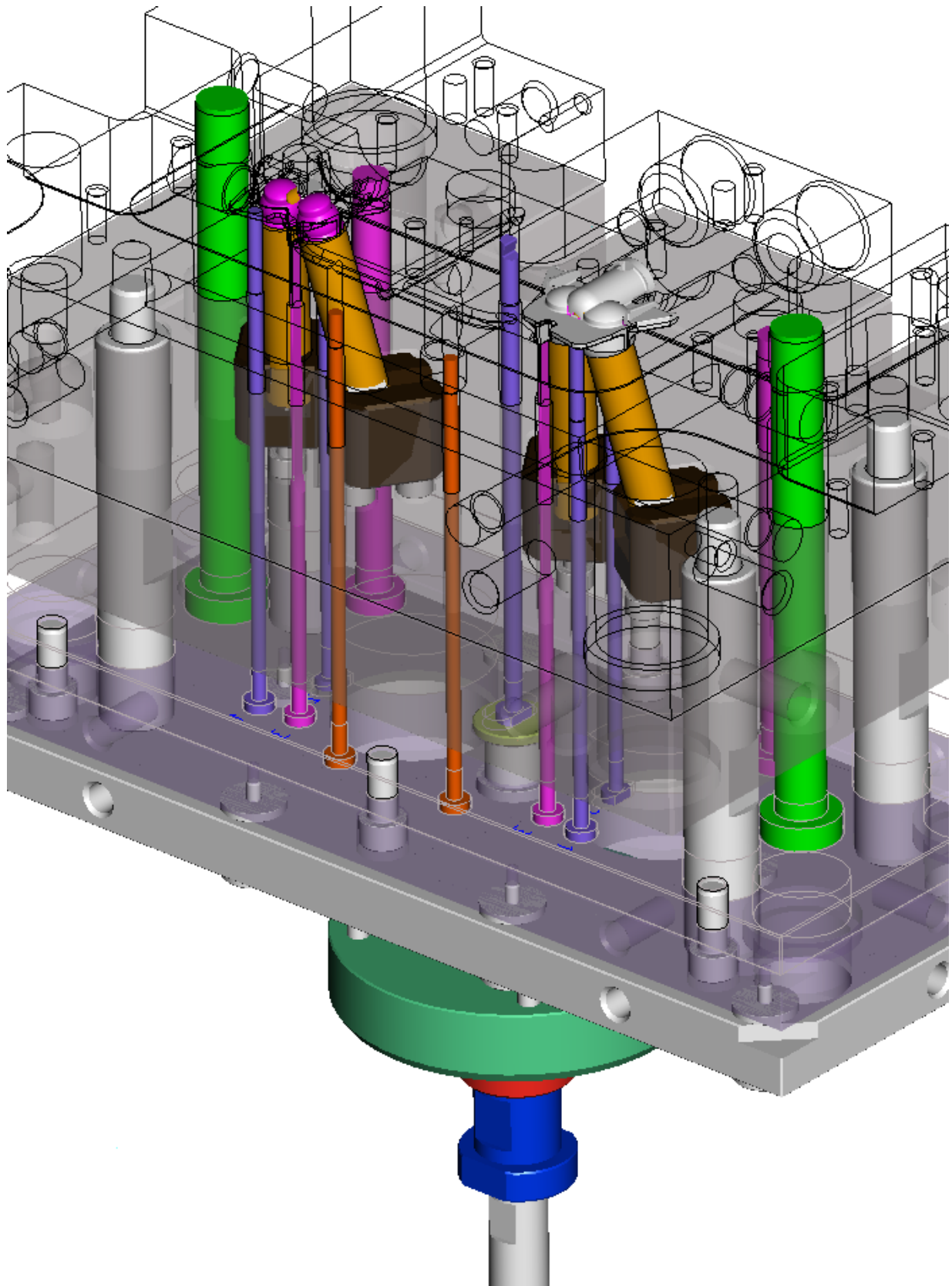
Představuje stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k velké vyhazovací ploše, nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Jeho deformace pak jsou minimální a stírací síla velká. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde vzniká nebezpečí deformace, nebo u rozměrných výstřiků, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovacího systému nebo může být vázán na pohyb pevné desky při otevírání formy. [1]

ŠIKMÉ VYHAZOVÁNÍ

Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou k ní uloženy pod různými úhly. Využívají se u malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Tím se nahradí posuvné čelisti s klínovým mechanismem. [1]

DVOUSTUPŇOVÉ VYHAZOVÁNÍ

Vyhození probíhá ve dvou krocích po sobě následujících. Lze seřadit délku jednotlivých kroků. Využití je při šikmém vyhazování v kombinaci s přímým.



Obr. 3.18 Příklad dvojčinného vyhazování

Nejdříve jsou odformována šikmá jádra s kulovým tvarem do zárohu, tak že se pohybuje celý tvárník (drátěný model); poté je výlisek vyhozen svislými vyhazovači. Vyhazovací desky jsou tři, dvojčinné vyhazování je normálie.

3.8 Temperační systém formy

Temperace slouží k udržení konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při dodržení všech technologických požadavků na výrobu. Toho se dosahuje ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části.

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený plast, který se v její dutině ochlazuje až na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Opakovaným vstřikováním plastu do dutiny se forma stále více ohřívá. Proto je třeba přebytečné teplo odvést temperačním systémem.

Naopak je tomu při zpracování některých plastů vyžadující vyšší teplotu formy (PC až 120°C). V takových případech jsou tepelné ztráty vyšší než je ohřátí formy od vstřikované taveniny a forma se musí ohřívát. Stejně tak při zahájení výroby je třeba formy nejprve nahřát na provozní teplotu.

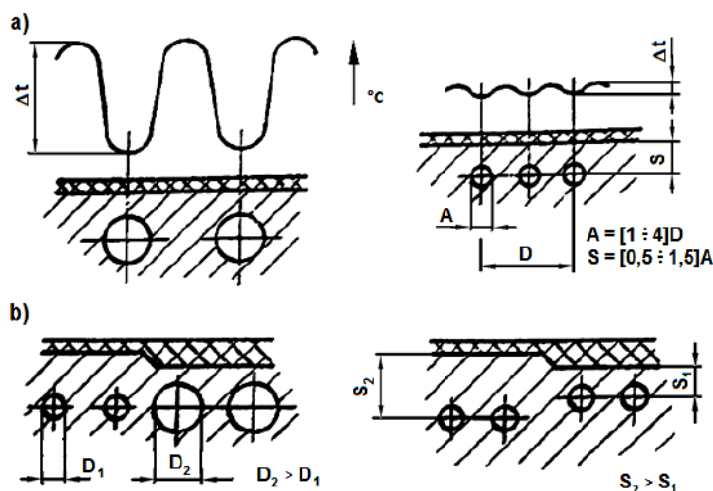
Odlišnou teplotou jednotlivých částí formy se zvyšují rozměrové a zejména tvarové úchytky výstřiku. V některých případech se však záměrně temperují různé části formy odlišně, čímž se eliminují tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění plastu. [1]

Tab. 1 Součinitelé tepelné vodivosti materiálů [1]

Materiál	λ [W/m ² K]
Stříbro	410
Hliník	204
Měď	395
CuBe2	113
Ocel měkká	44
Ocel chromová	40
Ocel niklová	26
Plasty	0,2 – 1,2
Vzduch	0,04
Voda	0,19
Olej	0,16

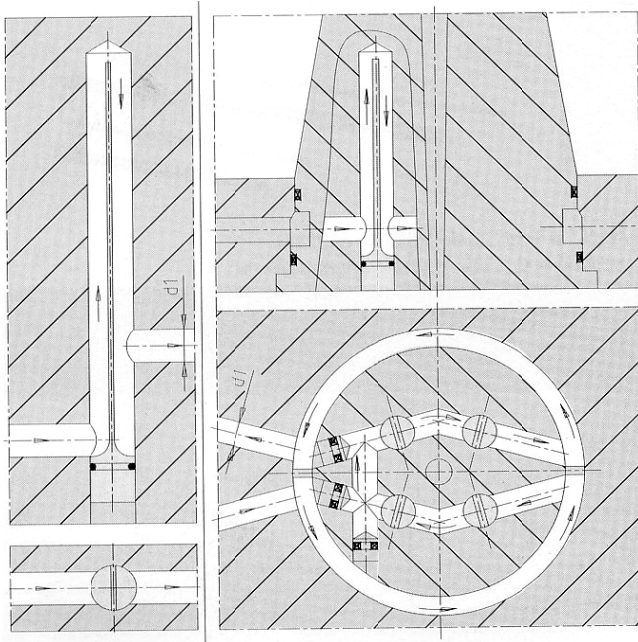
TEMPERAČNÍ KANÁLY

Stěny temperačních kanálů odebírají teplo formě. Velikost průřezu kanálu se volí v závislosti na velikosti výstřiku, druhu plastu a rozměru rámu formy. Nejčastěji se používá kruhový průřez kanálů. Jako chladicí médium se používá voda, při vyšších teplotách olej. Rozmístění kanálů rozhoduje o vyváženosti systému.

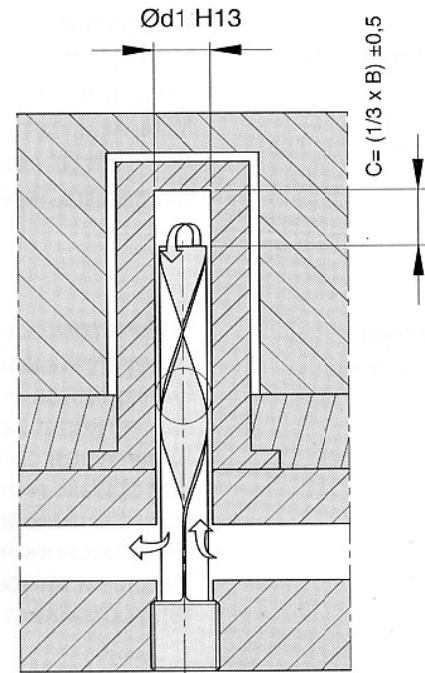


Obr. 3.19 Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně formy [1]
a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku

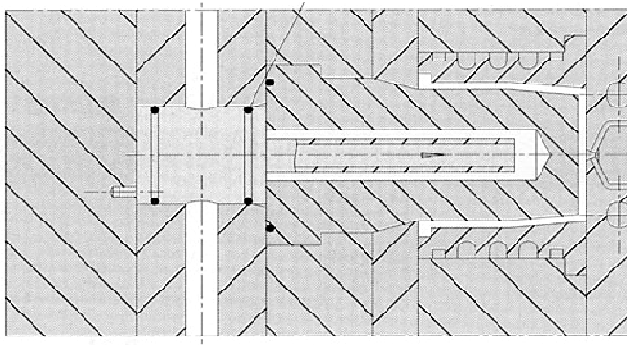
Průměry temperačních kanálů se volí min. 6 mm, standartně 8, 10, 12 mm. Použití některých prvků v sestavě s temperačním kanálem:



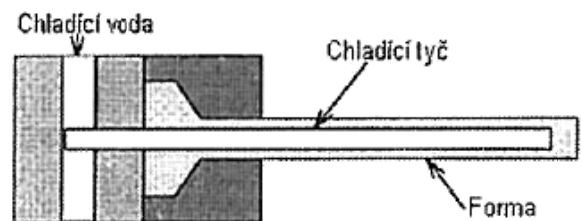
Obr. 3.20 Použití ploché přepážky [12]



Obr. 3.21 Použití spirálové přepážky [12]



Obr. 3.22 Použití kaskády (fontána) [12]



Obr. 3.23 Použití tepelně vodivé tyče [13]

TEPELNĚ VODIVÉ TYČE

Používají se v místech kde není prostor pro klasické chlazení. Přebytečné teplo odvádějí do temperačních kanálů. Konstrukce tyče a způsob chlazení jsou následující. Uvnitř tenkostěnného kovového obalu (např. poniklovaná měď) je kapalina, která na teplejším konci zplynuje, v plynném stavu putuje na chladnější konec tyče, kde kondenzuje. Tento konec tyče je oplachován vodou. Zplynování na jednom konci a kondenzace na druhém je principem přenosu tepelné energie.

SPECIÁLNÍ MATERIÁLY

K dosažení lepšího odvodu tepla se také používají na výrobu tvarových částí formy (jádra, vložky,...) např. slitiny mědi. Jako zástupce jmenujeme AMPCO (CuAlFe), které má cca 2x vyšší tepelnou vodivost než nástrojové oceli, při srovnatelné pevnosti.

3.9 Odvzdušnění formy

Čelo taveniny při vstřikování stlačuje v dutině formy vzduch. To může vést k různým vadám výrobku. Nedostříknutý výlisek, bubliny v tavenině či Dieselův efekt, který je popsán podrobněji v kap. 1.4. Odvzdušnění musí tedy zajistit únik přebytečného vzduchu z tvarové dutiny formy.

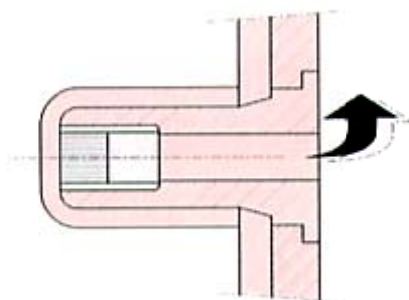
Volba místa pro odvzdušnění ve formě je někdy zřejmá z tvaru výstřiku, jindy však je obtížně zjistitelná. Je třeba se řídit úvahou, jakým způsobem a směry se naplní dutina taveninou. To samo o sobě závisí na umístění vtoku, tloušťce stěn a na samotném tvaru výlisku.

Pokud je úvaha o umístění odvzdušnění nejasná, je úkolem konstruktéra, aby taková místa vytipoval a učinil v nástroji opatření, aby i při nesprávném předpokladu bylo možno odvzdušnění snadno realizovat. Místo, kde je potřeba zhotovit odvzdušnění se zjistí při zkouškách formy. [1]

Další možností, jak vytipovat místa, kde dochází k uzavření vzduchu, je provést analýzu plnění některým z výpočetních softwarů.

Způsoby odvzdušnění:

- použitím vyhazovačů v místech hromadění vzduchu, praktické a jednoduché
- odvzdušňovací vložkou
- vytvořením tenké odvzdušňovací mezery v dělicí rovině formy (Tab. 2), pozor na možné zástříky
- odvzdušňovací síta, póry od 0,03 do 0,5 mm



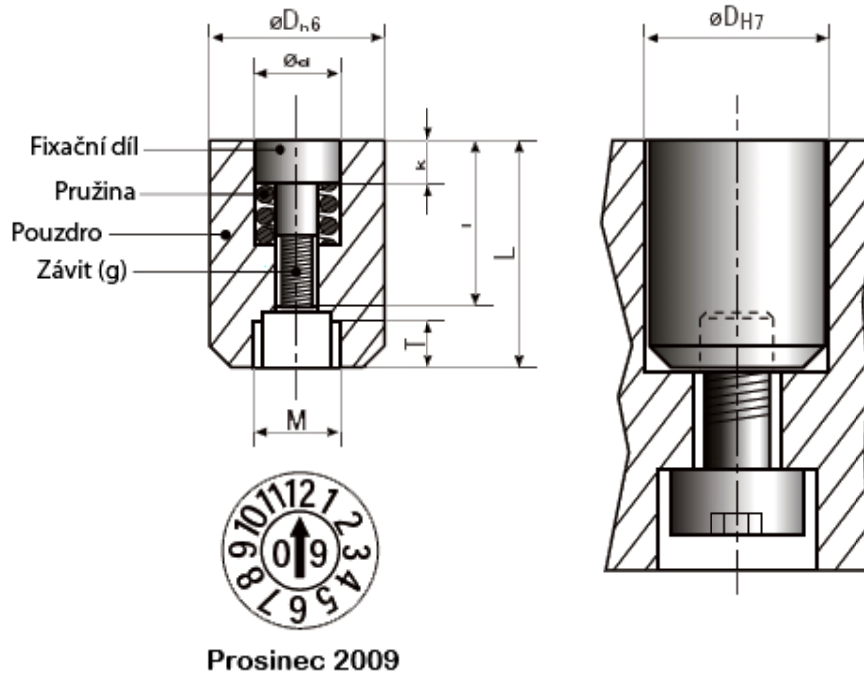
Obr. 3.24 Použití odvzdušňovacího síta [12]

Tab. 2 Hloubky odvzdušňovacích mezer různých plastů [1]

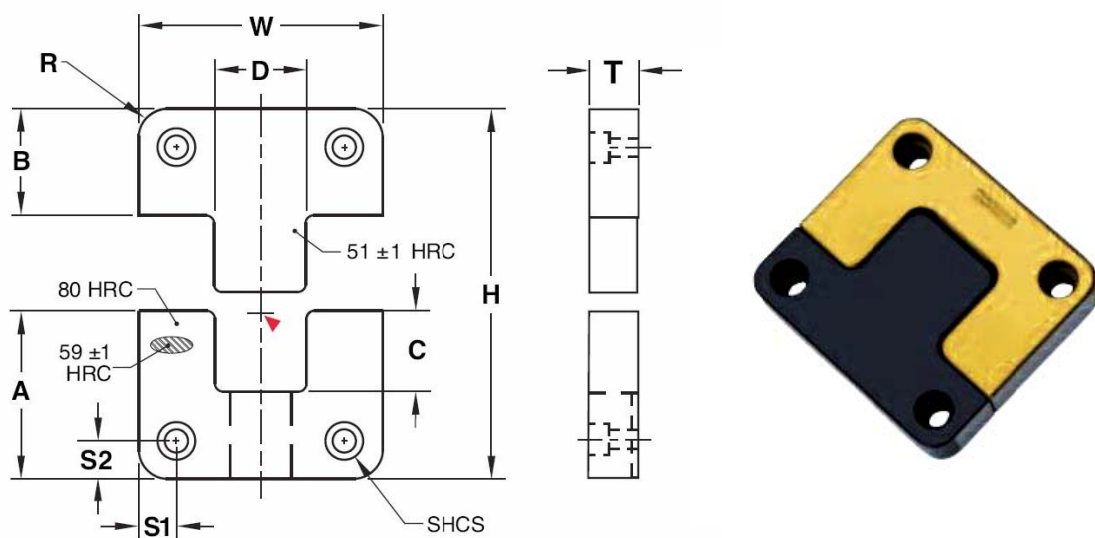
Plast	Mezera [mm]
PS, ABS	do 0,05
PE, PP	do 0,04
PA	0,02 až 0,03
PPO	do 0,04
PBT	do 0,03
PC	do 0,05
POM	do 0,05
sklem plněné	0,05 až 0,08
strukturní pěny	do 0,1

3.10 Normálie

Normálie jsou dílce forem, které lze nakoupit již hotové a tím ušetřit čas i finance. Konstruktor i dílna se tak může více soustředit na tvarové záležitosti formy. V nabídkách firem je nepřehledné množství normálií, počínaje celými rámy, přes vodící a středící elementy, vyhazovací, temperační a vtokové systémy až k datumovkám a jiným označením výlisků.



Obr. 3.25 Datumovka se zabudováním do tvarové dutiny formy. Jádru se šipkou je otočné, aby mohla obsluha lisu nastavit aktuální měsíc výroby [14]



Obr. 3.26 Boční středění (zámek), zajišťuje přesné dosednutí tvarů při sjetí obou polovin formy. Zabudování do rámu. [14]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4. CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V zadání byly stanoveny tyto cíle:

1. Literární studie
2. Návrh technologie výroby
3. Konstrukční řešení formy a potřebné výpočty
4. Ekonomické zhodnocení

Literární studie je obsažena v oddíle I. TEORETICKÁ ČÁST. Jsou zde informace ve vztahu k použité technologii výroby a potřebné ke konstrukci nástroje.

Návrh parametrů nástroje a jeho konstrukční řešení jsou vysvětleny v oddíle II. PRAKTICKÁ ČÁST. Výstupem je kompletní výrobní dokumentace vstříkovací formy. Jedna z kapitol se zabývá také návrhem vhodného vstříkovacího stroje.

Vybrané výrobní výkresy spolu s výkresem sestavy jsou součástí přílohy této práce.

5. PROGRAMOVÁ PODPORA

KONSTRUKCE FORMY

Pro konstrukci formy je využíván CAD/CAM software **Pro/Engineer Wildfire 4.0** od fy. PTC. Tento konstrukční program obsahuje plnou podporu návrhu dutiny formy s provázaností až k výkresové dokumentaci. Dalším krokem, který tento program řeší, je technologická příprava, zejména výroba elektrod a zpracování programů pro CNC obrábění.

Normálie:

Při návrhu formy jsou používány normálie převážně od fy. HASCO nebo DME. Dílce jsou dostupné po registraci na webových portálech, např. <http://d-m-e.sp01.partcommunity.com>

ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ

Technologická analýza je prováděna v programu **Cadmould 3D-F Version 4.0** od fy. Simcon kunststofftechnische Software GmbH. Výstupem programu jsou doporučení a grafická zobrazení průběhu plnění, shrnutá do technické zprávy. Vstupní model výlisku musí být ve formátu stl.

Překlad modelu výlisku do stl souboru a jeho optimalizace je provedena v programu **DeskArtes 3Data Expert Series**.

6. ANALÝZA VÝLISKU

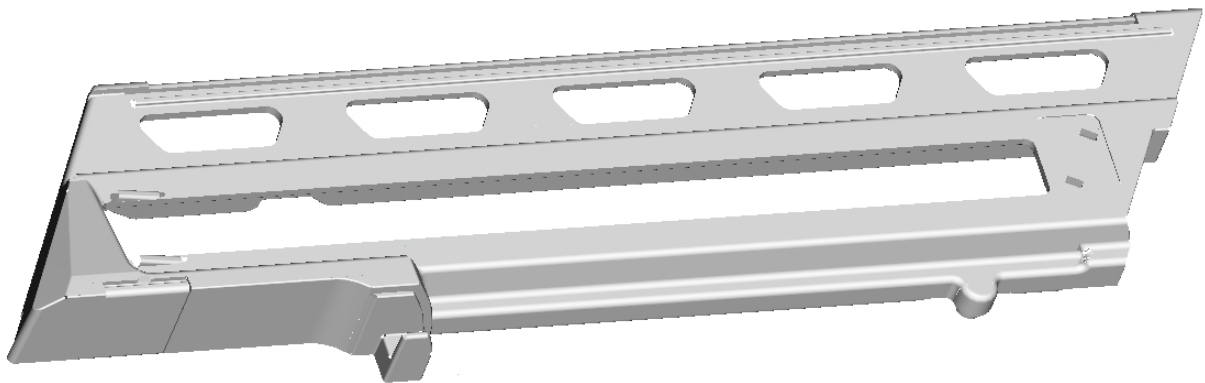
Je požadována výroba dvou prototypových výlisků, které spolu tvoří sestavu a jsou ze stejného materiálu. Oba výlisky je možno umístit do jednoho rámu, kde budou mít společnou část vtoku.

Po odzkoušení prototypových výlisků by měla následovat konstrukce sériové formy. Z těchto důvodů je forma koncipována jako sériová s tím, že v budoucnu dojde pouze k výměně tvarových částí, úpravě vyhazování a případně k zabudování horké trysky.

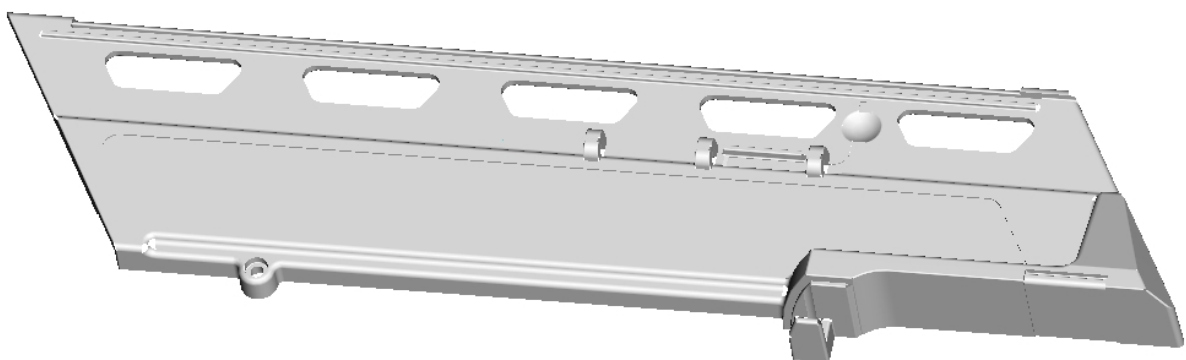
Návrh vtokové soustavy a velikost smrštění byli konzultováni s odborníkem fy. TICONA (výrobce plastového materiálu).

6.1 Zadaný výrobek, technologie výroby

Výkresy zadaných výlisků jsou v příloze této práce.



Obr. 6.1 Zadaný výlisek číslo N060005, materiál Celstran TPU-GF50-01 (výrobce TICONA), hmotnost 248g



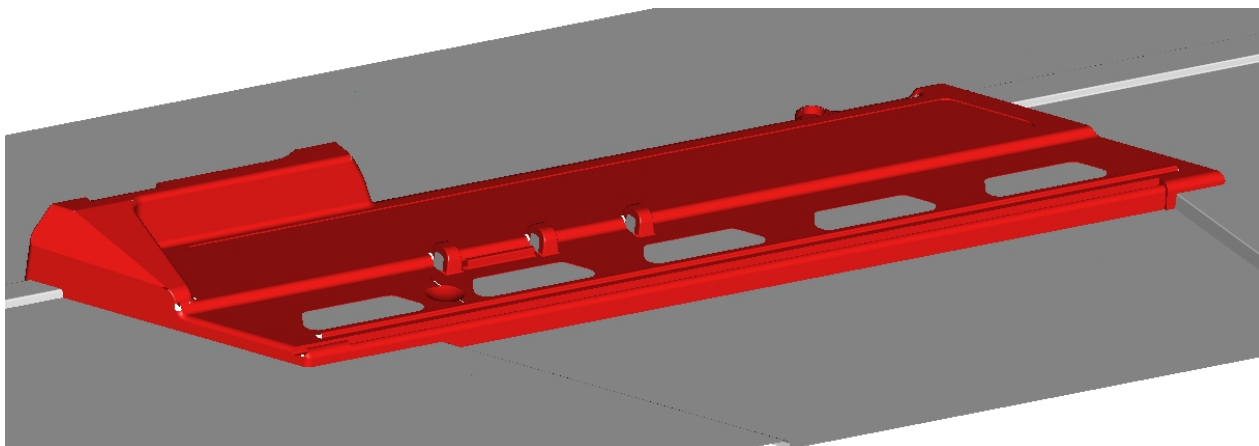
Obr. 6.2 Zadaný výlisek číslo N060006, materiál Celstran TPU-GF50-01, hmotnost 214g

VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY

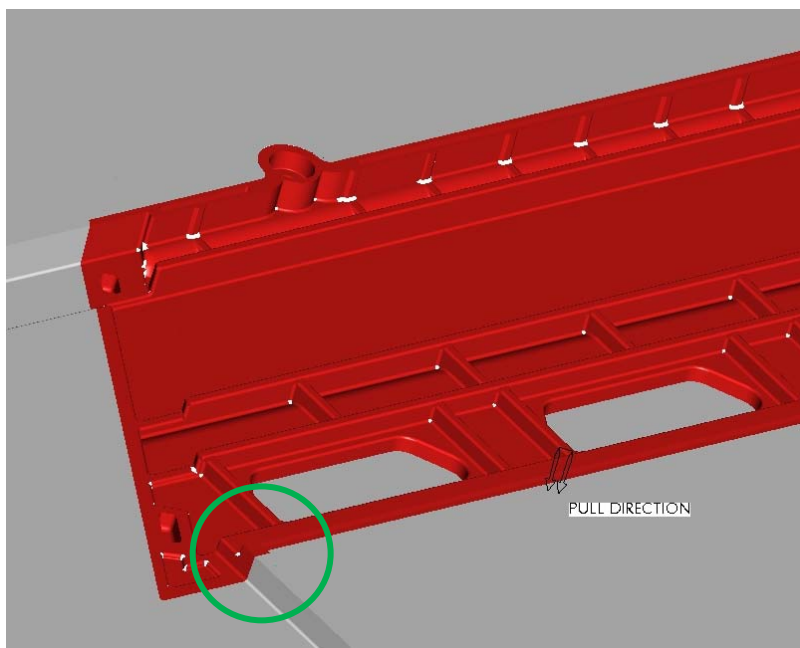
Výroba proběhne vstřikováním do formy. Této technologii vyhovuje jak tvar dílce, tak použitý materiál. V našem případě technický a díky použitému plnivu (dlouhá skelná vlákna) velmi pevný plast. Parametry vstřikování a konstrukce vtoku jsou voleny tak, aby došlo k minimálnímu poškození délky skelných vláken.

6.2 Dělicí rovina a směr odformování

Dělicí rovina probíhá po hraně výlisku a je volena tak, aby bylo možno výlisky odformovat pouze rozjetím formy. Není potřeba čelistí nebo jiných přidavných mechanismů. Směr odformování respektuje úkosy provedené na modelu součásti.



a) strana tvárnice



b) strana tvárníku

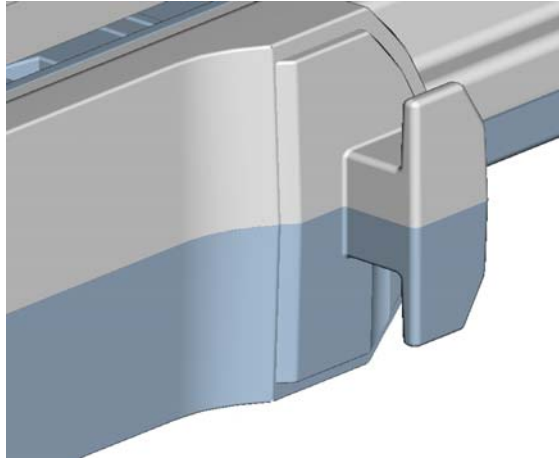
Obr. 6.3 Dělicí rovina konstruovaná v modulu Mold Cavity Pro/E u výlisku číslo N060006

Dělicí rovina rovnoběžná se směrem rozjetí formy musí mít min. úhel odklonu, v závislosti na délce dělicí stěny, aby nedošlo k poškození tvarů při zavření formy. To může vést k úpravě tvaru výlisku, detail na obr. 6.3 b).

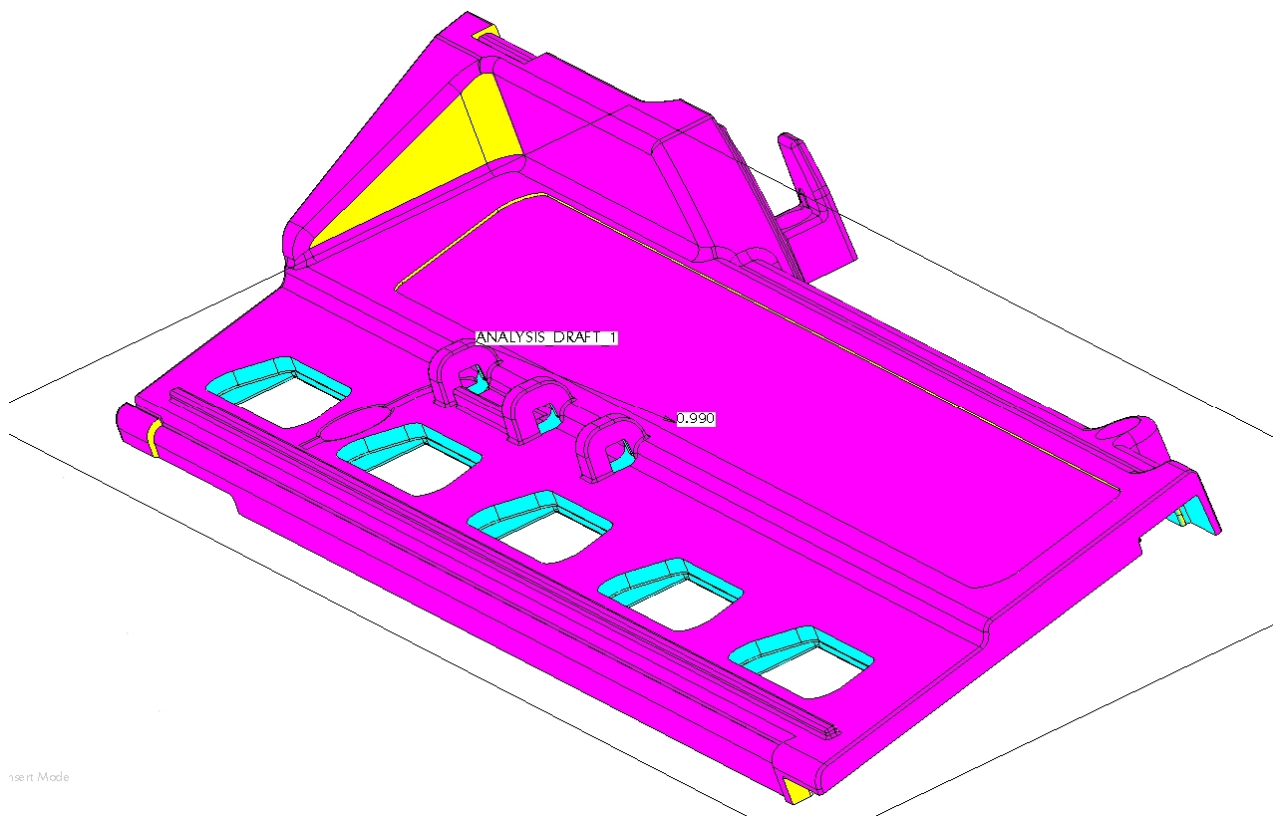
6.3 Úkosová analýza

Slouží ke kontrole úkosů stěn výlisku. Vždy je třeba více či méně upravit model výlisku, tak aby šel bez problémů odformovat. U těchto výlisků je navíc důležité, aby po sestavení nevznikly v místě dotyku přesahy vnějších stěn. Chybou by bylo např. použití různých úkosů na stěnách dosedajících na sebe, jak je znázorněno na obr. 6.4.

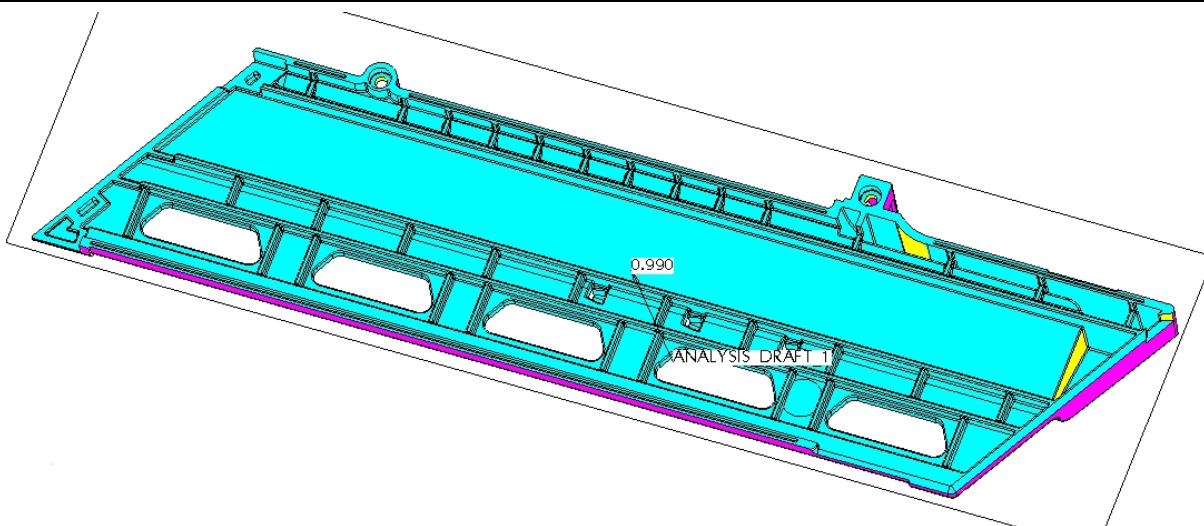
Pro použitý materiál je volen minimální akceptovatelný úkos 1° , tak aby nedošlo ke vzniku stop po otěru na stěnách výlisku.



Obr. 6.4 Místo styku výlisků v sestavě



Obr. 6.5 Analýza úkosů výlisku N060006, žlutá barva označuje plochy s úkosem menším než 1° strana tvárnice



Obr. 6.6 Analýza úkosů výlisku N060006, žlutá barva označuje plochy s úkosem menším než 1° strana tvárníku

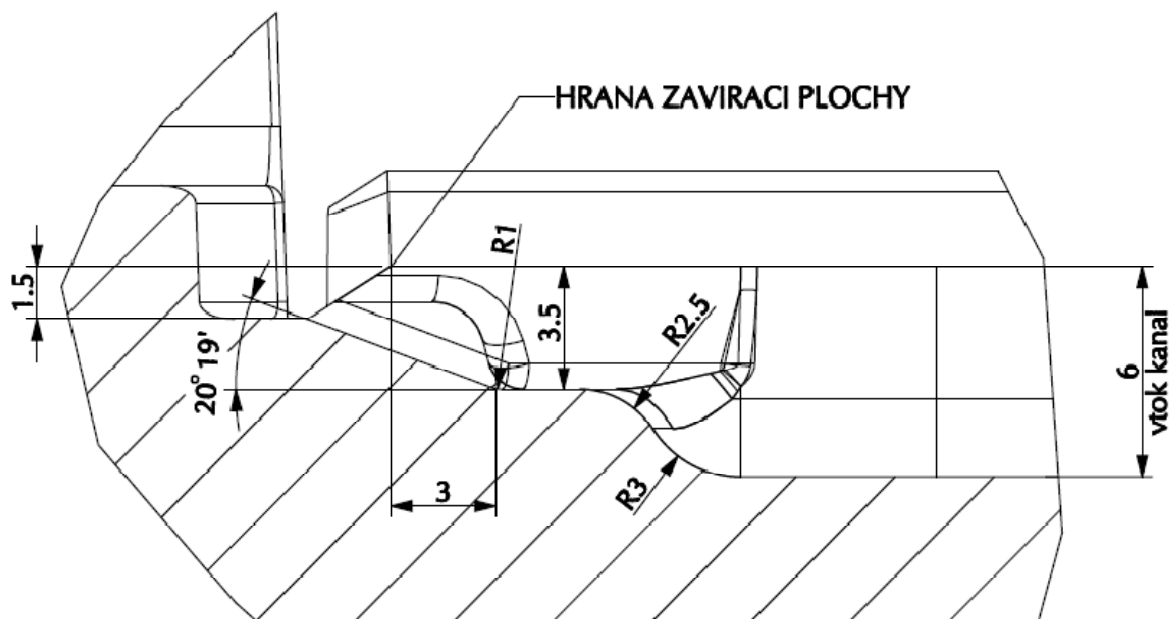
Plochy označené žlutou barvou musí být nově úkosovány, tak aby se co nejméně změnil původní tvar výlisku.

6.4 Umístění a volba vtoku

Je použit studený vtok, mimo jiné proto, že se jedná pouze o prototypovou formu.

TVAR VTOKU

Jedním z důležitých kritérií při volbě tvaru vtoku je nepoškodit dlouhá skelná vlákna. Tuto podmínku nejlépe splňuje filmový vtok. Rozměry vtoku jsou voleny dle návodu od výrobce plastové hmoty fy. Ticona a posléze diskutovány přímo s odborníkem tohoto dodavatele. Příručka „Celstran Design Guide“ je přílohou této práce.

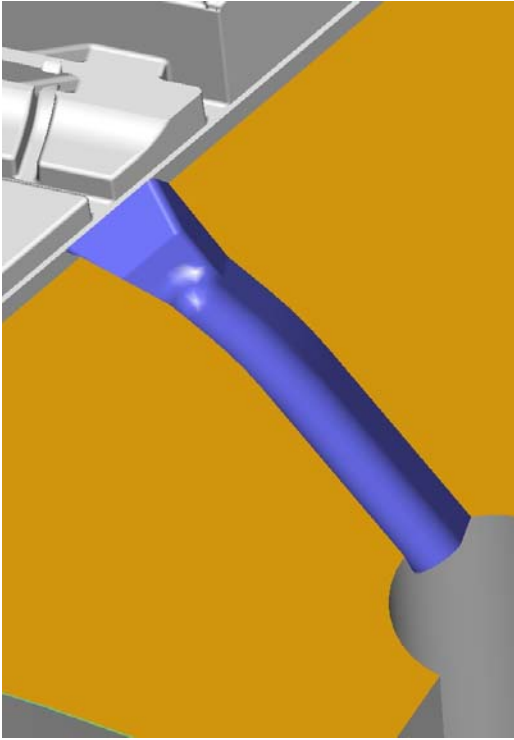


Obr. 6.7 Tvar vtokového ústí (filmový vtok) – podélný řez

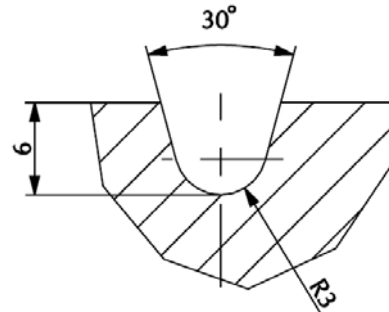
VTOKOVÝ KANÁL

Od trysky vstřikovacího stroje je veden vložkou vtokový kužel. Od něho je pak rozváděna tavenina vtokovými kanály v dělicí ploše. Vtoková vložka je uchycena v tvárnici, vtokový kanál včetně ústí je vyroben v tvárníku.

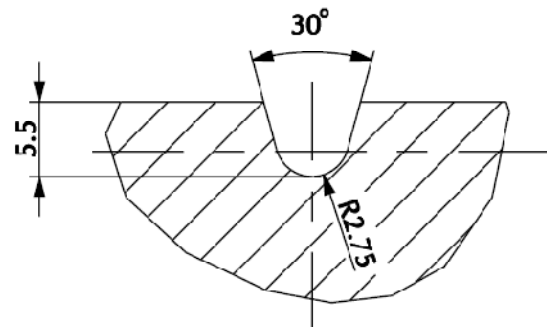
Hmotnost výlisků není stejná. Průřezy vtokových kanálů jsou proto různé, aby se oba výlisky naplnily, pokud možno, současně. Délky vtokových kanálů jsou stejné.



Obr. 6.8 Vtokový kanál včetně ústí



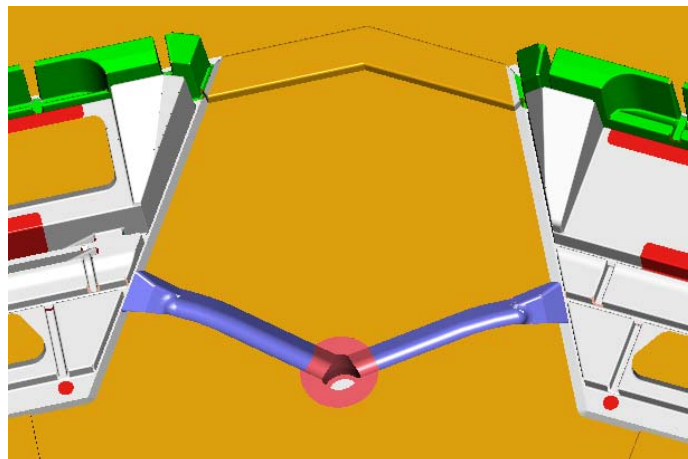
Obr. 6.9 Vtokový kanál výlisku N060005



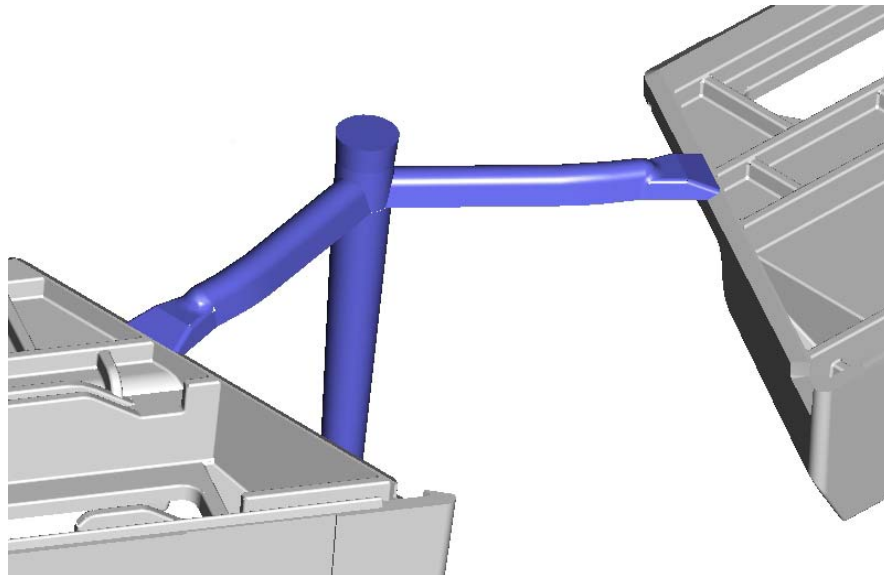
Obr. 6.10 Vtokový kanál výlisku N060006

UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ

Vtokové ústí je umístěno v kratší straně výlisku. Důvodem je mimo jiné příznivější orientace vláken a rozmístění studených spojů vzhledem k provoznímu namáhání součástí. Střed ústí vtoku je proti podélnému žeburu. Proud taveniny je namířen proti stěně.



Obr. 6.11 Poloha vtoku ve tvárníku



Obr. 6.12 Poloha vtoku na výlisku

6.5 Technologická analýza

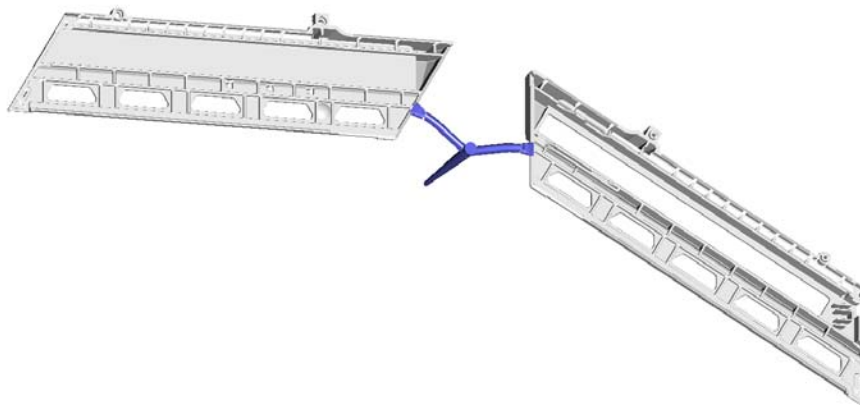
Je provedena předběžná analýza plnění v programu Cadmould 3D-F (bez reálného vlivu temperačních kanálů), která v tomto případě slouží k ověření prvních návrhů a předpokladů.

Jako model vstupuje do výpočtu celá tvarová dutina formy včetně vtokových kanálů. Je tak možno zachytit přesný tvar vtokového ústí a zohlednit různý průřez vtokových kanálů.

Vstupními parametry jsou:

- materiálová data plastu Celstran TPU-GF50-01 od fy. TICONA
- hodnota dotlaku max. 50% vstřikovacího tlaku
- doba plnění 2.4 s
- doba dotlaku 5 s
- doba chladnutí 40 s
- teplota dutiny při plnění a při chladnutí výlisku konstantní 70 °C
- teplota taveniny 260 °C
- teplota vyhazovací 120 °C
- teplota, kdy přestává tavenina téct 190 °C

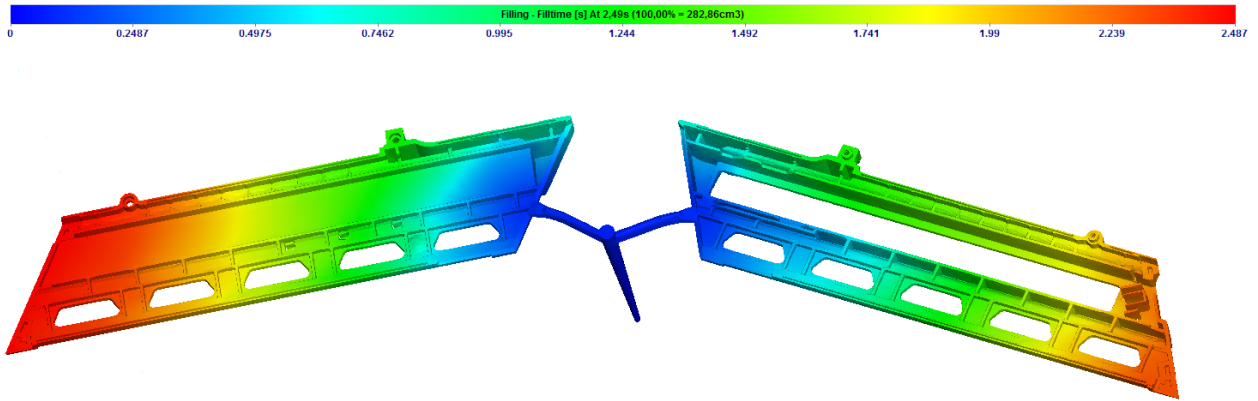
V jednotlivých podkapitolách jsou zobrazeny výsledky vybraných částí analýzy.



Obr. 6.13 Výpočtový model, místo vtoku je hned za vstřikovací tryskou, směr odformování je rovnoběžný s osou z

6.5.1 Časový průběh plnění

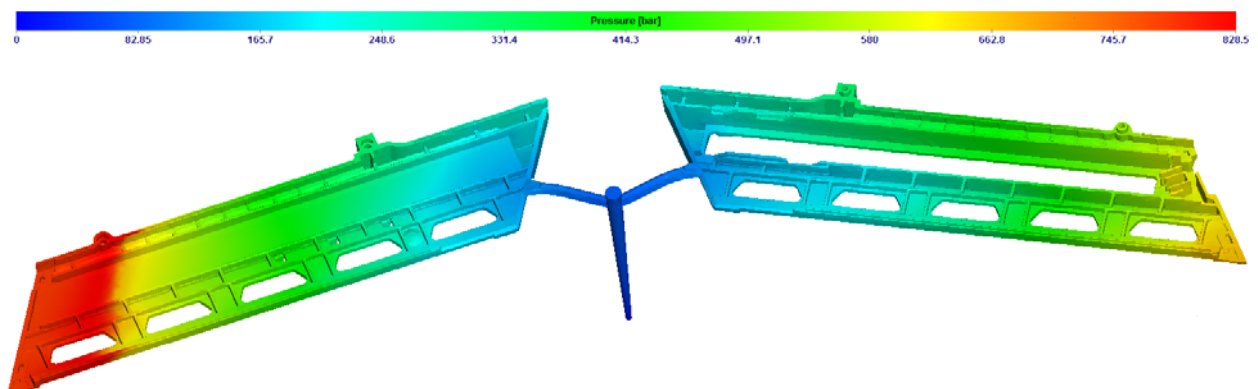
Vstřikovací čas je 2,49 s. Z grafického znázornění je patrný dopad rozdílného průřezu vtokového kanálu a členitosti výlisků. Třebaže není plnění obou dutin zcela rovnoměrné jsou navržené průřezy vtokových kanálů ponechány.



Obr. 6.14 Časový průběh plnění dutiny formy (vlevo je výlisek N060006, vpravo N060005)

6.5.2 Tlak čela taveniny

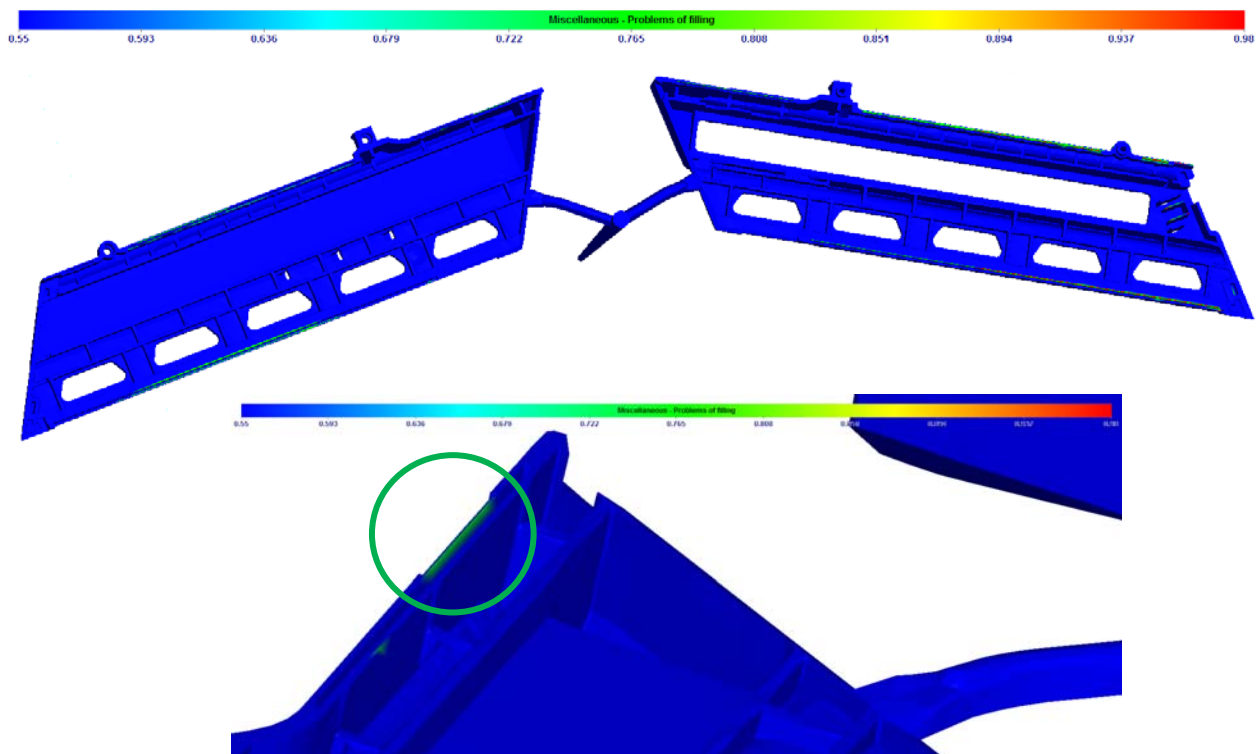
Max. tlak je na hodnotě 828 bar (cca 83 MPa), tak aby se naplnila celá dutina. Hodnoty pro výlisek N060006 (na obrázku vlevo) jsou mírně vyšší než pro výlisek N060005.



Obr. 6.15 Tlaková ztráta (vlevo je výlisek N060006, vpravo N060005)

6.5.3 Problémy naplnění

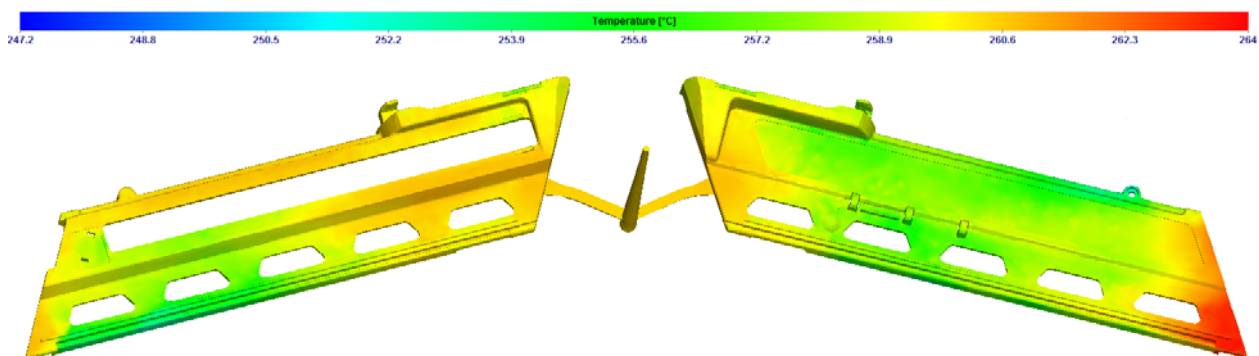
Mohou se projevit problémy s naplněním, zvláště v místech příliš tenkých stěn na okrajích výlisku. Řešením by mohla být úprava tvaru výlisku.



Obr. 6.16 Místa s možnými problémy naplnění a detail výlisku N060006 (vlevo je výlisek N060006, vpravo N060005)

6.5.4 Teplota čela taveniny

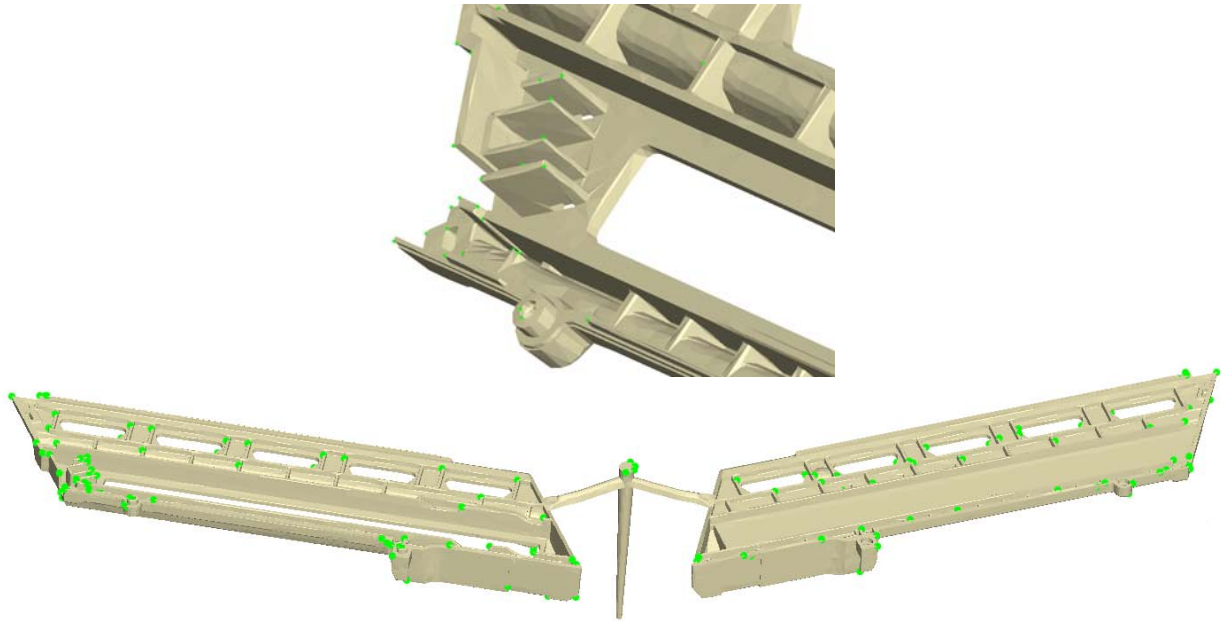
Max. hodnota teploty čela taveniny je 264 °C, minimální pak 247.2 °C. Doporučený maximální rozdíl teploty čela taveniny v průběhu plnění je 15 °C. Tento doporučený rozdíl je překročen pouze v malé části výlisku N060006.



Obr. 6.17 Teplota v čele taveniny (vlevo je výlisek N060005, vpravo N060006)

6.5.5 Místa uzavření vzduchu

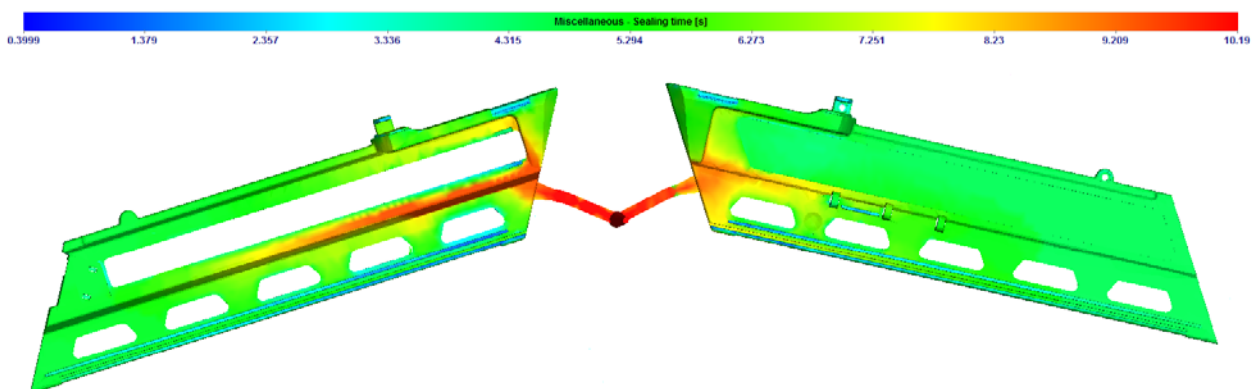
Místa uzavření vzduchu jsou většinou ve dně žeber. U těchto výlisků lze odvzdušnit dutinu vhodným rozmístěním vyhazovačů.



Obr. 6.18 Místa, kde dochází k uzavření vzduchu a detail výlisku N060005. (vlevo je výlisek N060005, vpravo N060006)

6.5.6 Průběh utěsnění dutiny

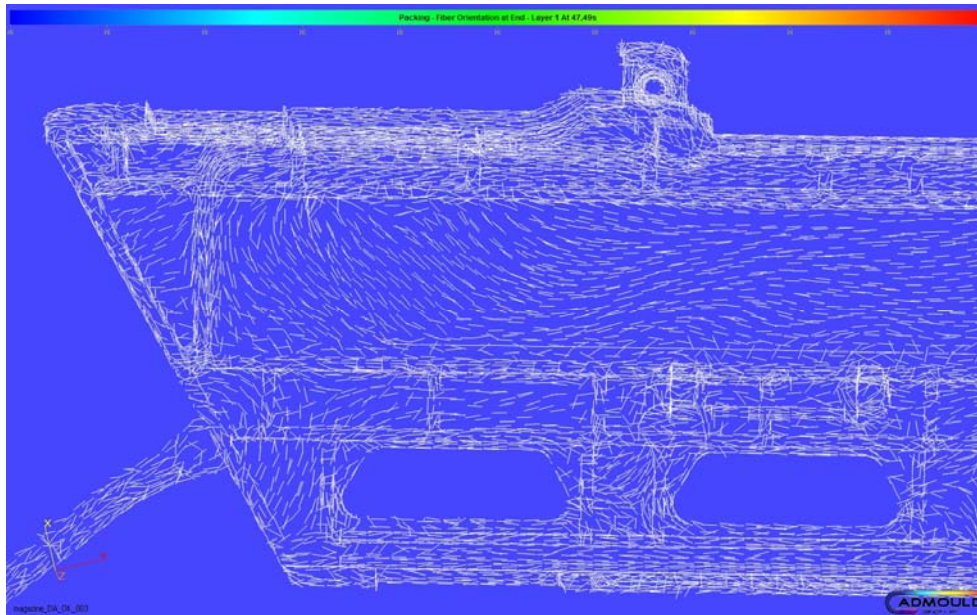
Rozsah je 0,4 až 10,19 s. Je to čas od vstříknutí v tom kterém konkrétním místě do stavu kdy je zde tavenina již bez možnosti tečení (teplota pod 190 °C). Ve výlisku nesmějí vznikat uzavřená místa tekuté taveniny, dotlak se sem nedostane a mohlo by zde docházet k propadům. Rozložení musí směřovat ke vtoku, což se u těchto výlisků podařilo.



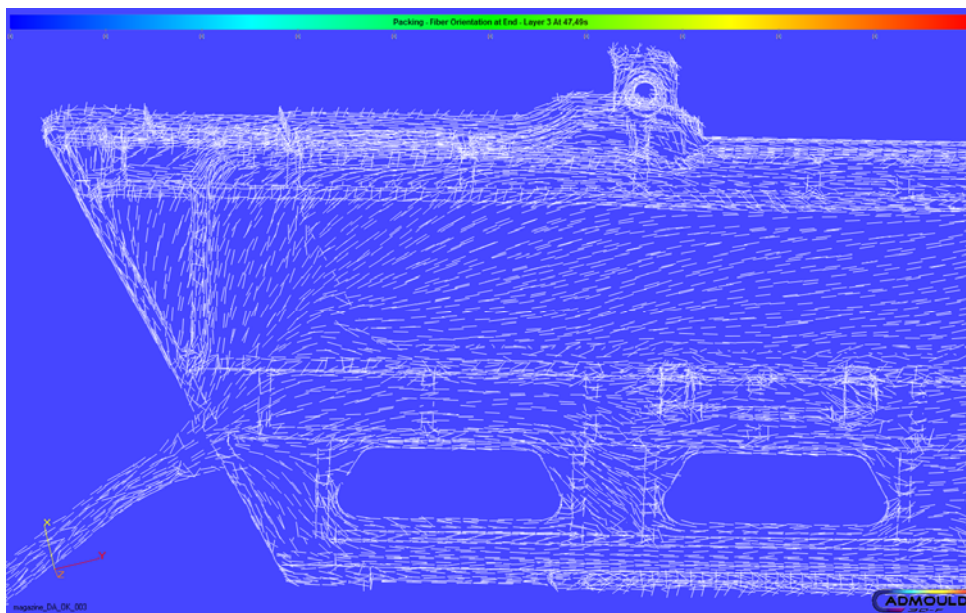
Obr. 6.19 Čas utěsnění. Tavenina má takovou teplotu, že se již nemůže pohybovat. (vlevo je výlisek N060005, vpravo N060006)

6.5.7 Orientace skelných vláken

Vrstva 1 je u stěny dutiny, vrstva 3 je uprostřed dutiny. Vláknina jsou orientována po směru toku taveniny. Orientace se však směrem ke stěně ztrácí. Je to způsobeno, mimo jiné, rozdílným prouděním taveniny v blízkosti povrchu tvarové dutiny.



Obr. 6.20 Orientace vláken ve vrstvě 1 - blízko stěny dutiny.
(výlisek N060006)



Obr. 6.21 Orientace vláken ve vrstvě 3 - uprostřed dutiny.
(výlisek N060006)

6.6 Volba smrštění

Smrštění je voleno v obou směrech stejné, a to 0,1 %. Vycházeno je z doporučení výrobce plastové hmoty.

7. VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Při volbě vstřikovacího stroje hraje důležitou roli několika podmínek, zejména:

- velikost upínacích desek
- uzavírací síla
- vstřikovací tlak
- objem plastifikační jednotky
- a v neposlední řadě dostupnost stroje v rámci firmy či u stávajících dodavatelů

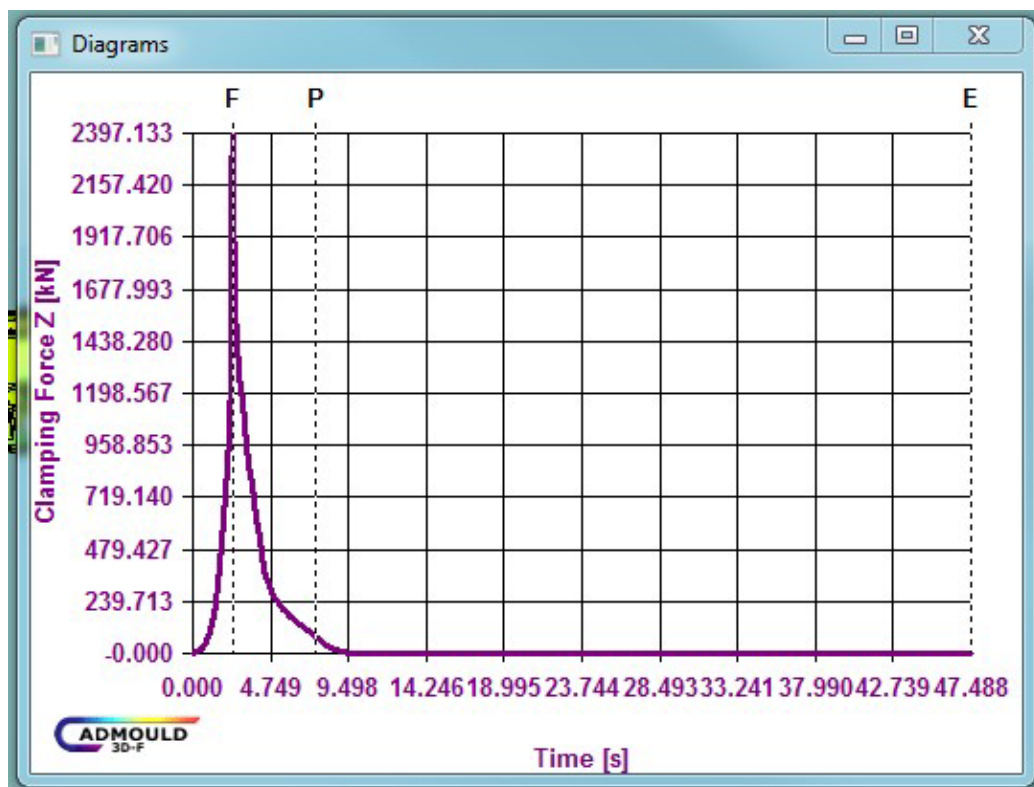
Na základě těchto údajů je volen vstřikovací stroj Engel Victory 1350/300. Podrobnosti o hodnotě zavírací síly jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

7.1 Násobnost formy

V tomto případě je volba jednoznačná. Z formy musí vypadnout oba výlisky (obě poloviny zásobníku) současně. Formu je možno označit jako 2-násobnou.

7.2 Zavírací síla

Velikost zavírací síly je závislá na násobnosti formy. Pro výpočtovou analýzu byl použit model celé tvarové dutiny formy včetně vtokových kanálů. Lze tedy použít vypočtenou zavírací sílu bez dalších korekcí. Max. uzavírací síla je cca 240 tun což je 80% uzavírací síly zvoleného vstřikovacího stroje.



Obr. 7.1 Graf průběhu uzavírací síly při vstřikování.

8. KONSTRUKCE FORMY

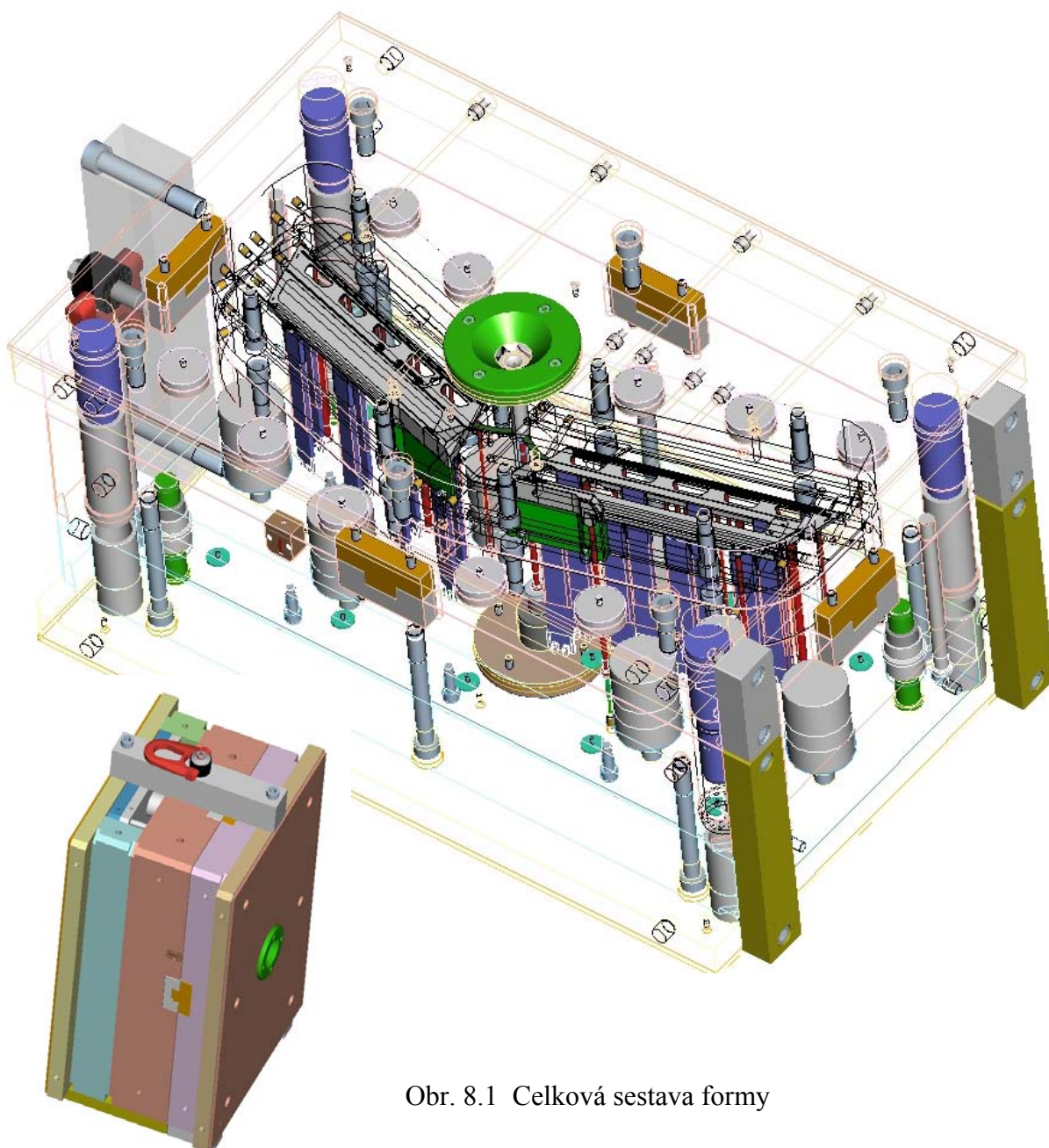
Konstrukce formy využívá pokud možno normálií, aby se výroba mohla soustředit na tvarové části formy.

Jedná se o prototypovou formu, proto zde může dojít ještě během konstrukce k nečekaným změnám v modelu výlisku. To klade zvýšené nároky na provázanost všech komponent v sestavě, tak aby při aktualizaci došlo k automatické opravě tvarové dutiny a navazujících dílců.

8.1 Koncepce formy, rám

Forma je dvouotisková se studeným vtokem. Velikost rámu 546 x 996 mm odpovídá Euro-Standard dle katalogu DME. Rozměr 996 mm je maximum v tomto standartu. Použitím standardního rozměru rámu je zajištěna např. bezproblémová instalace kuličkového vedení vyhazovacích desek.

Tvary jsou v rámu natočeny a umístěny s ohledem na efektivní využití plochy rámu. Těžiště uzavírací a vyhazovací síly je co nejbližší středu formy (ose upínacích desek lisu).



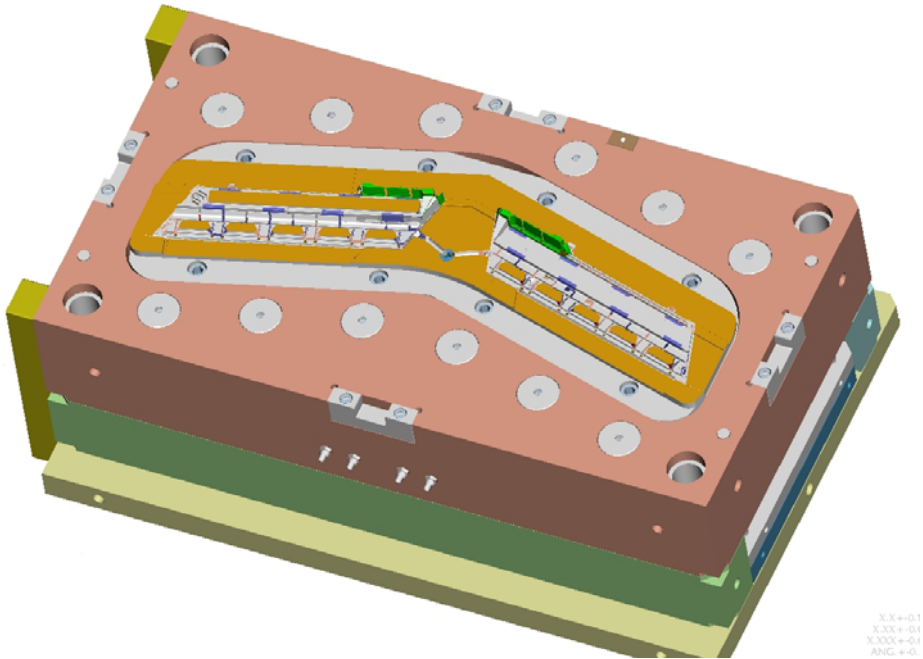
Obr. 8.1 Celková sestava formy

Vodící pouzdra jsou fixována v pohyblivé (vyhazovací) části formy. Při zavírání formy do nich zajišťují kolíky na pevné (dýzové) části formy. Přesnou polohu tvarů při dovršení formy zajišťují 4 zámky u vnější stěny formy.

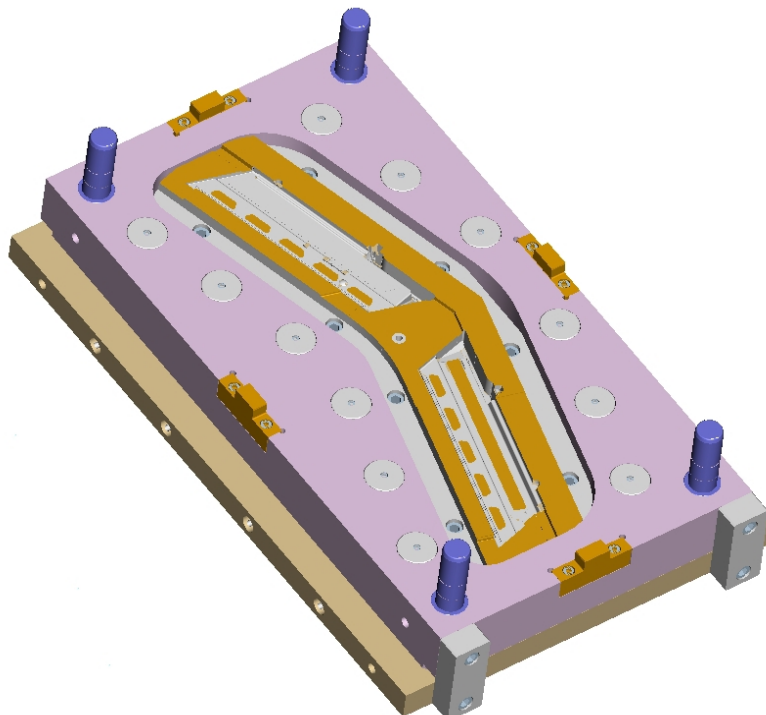
Tvárník v pohyblivé části formy a tvárnice v pevné jsou vyrobeny z Al slitiny. 16 kruhových kalených dosedek na každé straně zabraňuje případnému nežádoucímu otlacení tvarů v dělicí rovině. V horní části formy je závora s 1 závěsným otočným okem. Po celém obvodu formy je nespočet závitů M 20 a M 24. Jsou určeny pro našroubování dodatečných závěsných ok k usnadnění manipulace při instalaci formy na lis nebo při opravách. V dolní části jsou pak nožičky.

Vyhazovací desky jsou vedeny vzhledem ke svým rozměrům v pouzdech s kuličkovou klecí. Maximální pohyb vyhazovacích desek je 30 mm. Deska tvárníku má dostatečnou tloušťku a je podepřena válcovými rozpěrkami, aby nedocházelo k nežádoucím průhybům při vstřikování.

Mezi formou a lisem jsou na obou stranách tepelně-izolační desky tl. 8 mm ze sklotextílie.



Obr. 8.2 Vyhazovací strana formy

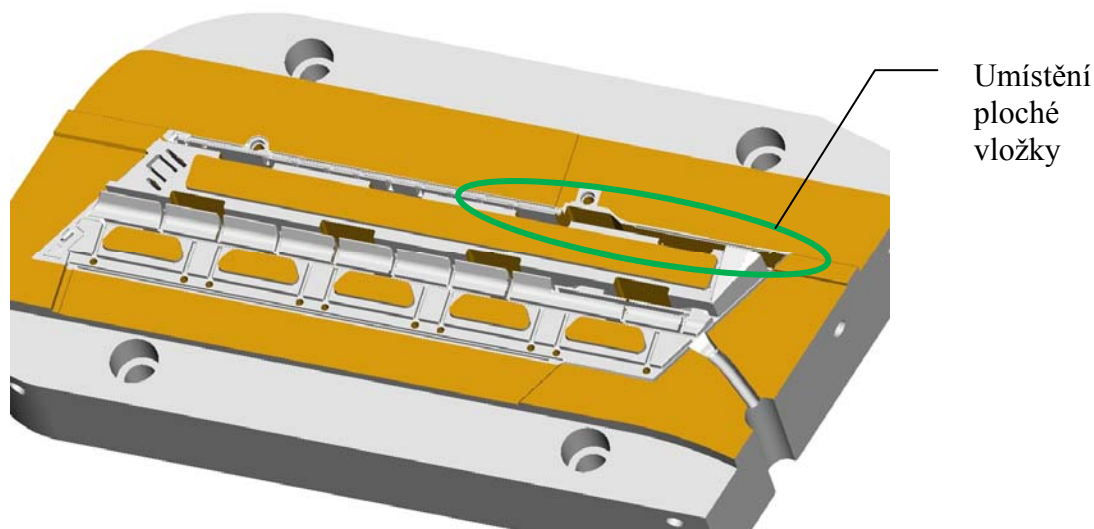


Obr. 8.3 Pevná strana formy

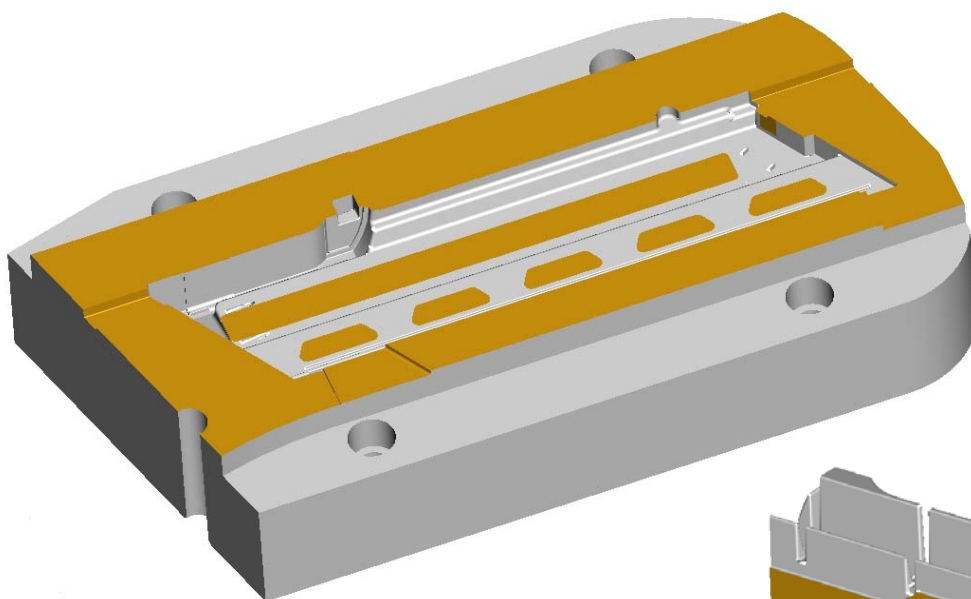
8.2 Tvarová dutina formy

Tvárník a tvárnice tvoří dutinu formy. Použitý materiál je Al slitina EN AW 2024 T351. Pro prototypovou formu je tento materiál postačující a lze jej obrobit v kratším čase oproti obvykle používané nástrojové oceli.

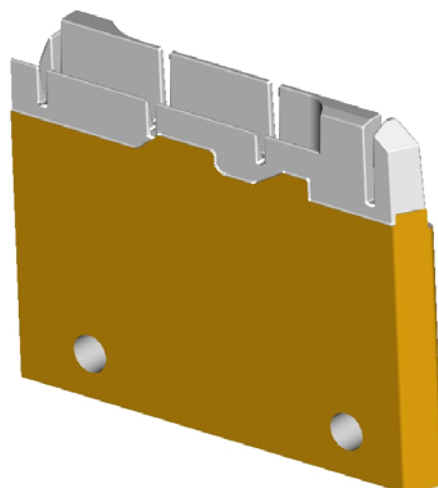
Ve tvárníku jsou vedeny vyhazovače a část tvaru je vyvložkována. Použití vložky usnadňuje výrobu tvarové dutiny. Plochá vložka je v místě vysokých žeber a je vyrobena ze stejného materiálu jako tvárník a tvárnice. Je použita u obou výlisků. V dutině výlisku N060005 jsou navíc dvě jádra uvnitř kruhových vyhazovačů.



Obr. 8.4 Tvárník výlisku N060005, okrová barva označuje uzavírací plochy



Obr. 8.5 Tvárnice výlisku N060005
okrová barva označuje uzavírací plochy



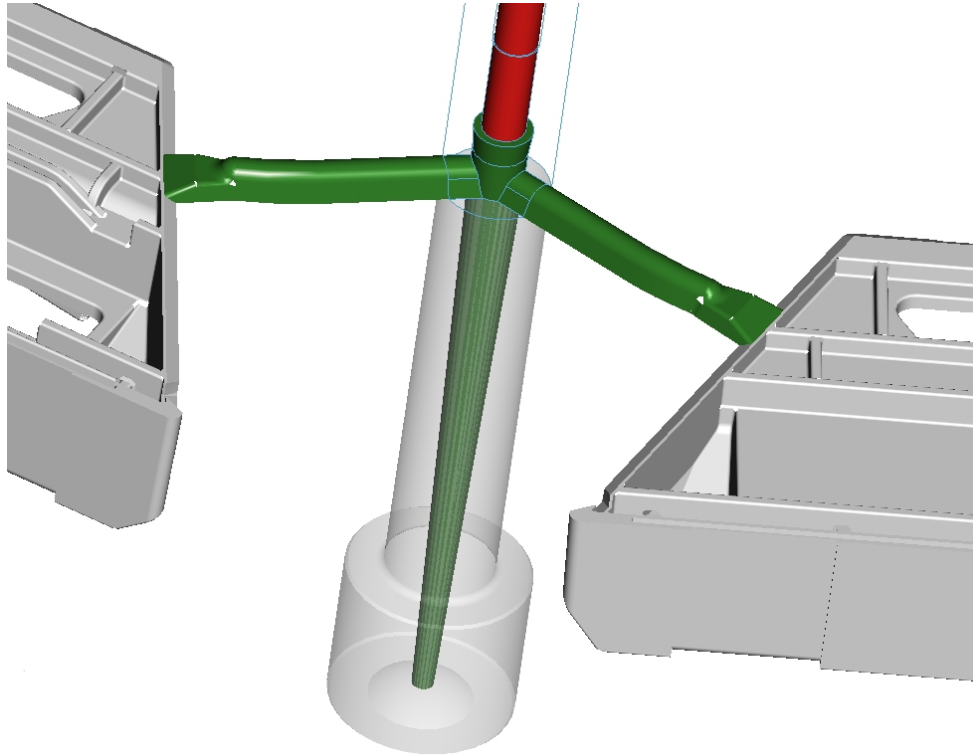
Obr. 8.6 Plochá vložka tvárníku

8.3 Vtoková soustava

Ve formě je použit studený vtok. Pro prototypovou formu je dostačující. Součástí vtokové soustavy jsou:

- vtoková vložka, vede taveninu od vstřikovací trysky stroje ke kanálu ve tvárníku
- trhač vtoku, přidržuje vtokový zbytek na vyhazovací straně formy při rozjetí
- vyhazovač vtoku (červeně), vyhazuje vtok společně s výliskem

Filmový vtok je třeba odstranit z výlisku manuálně.



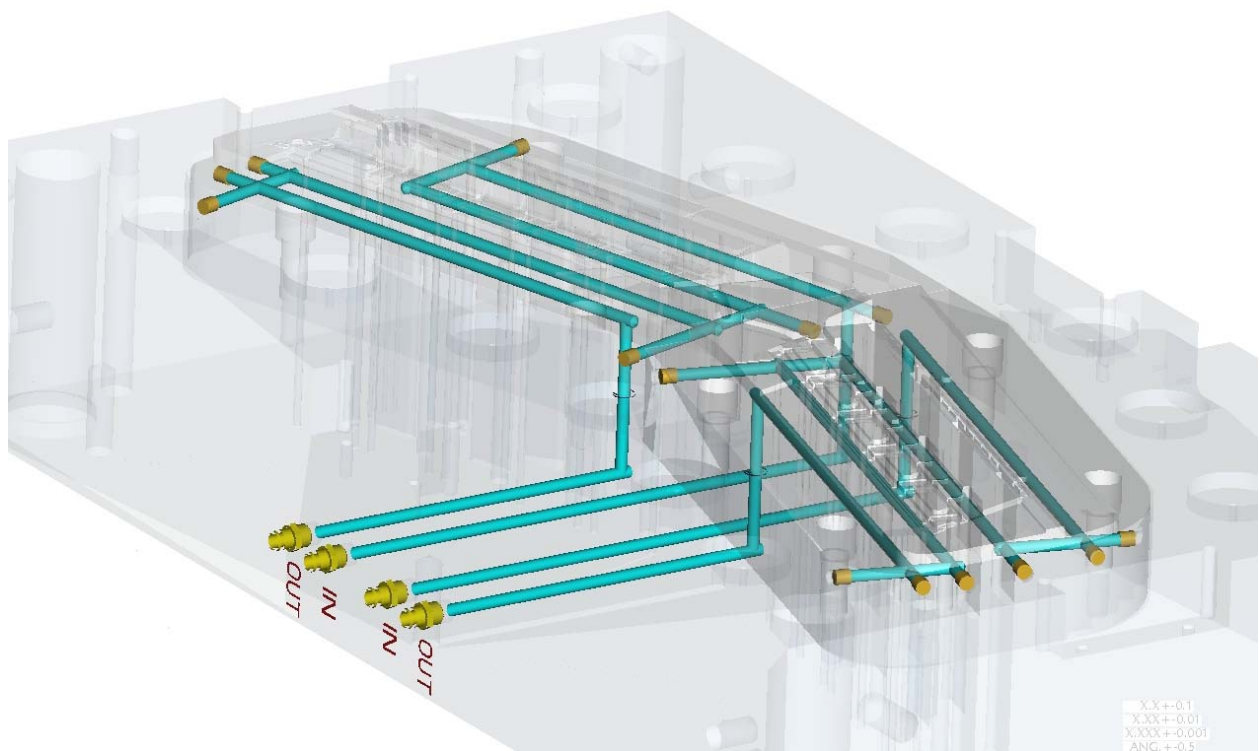
Obr. 8.7 Vtoková soustava, vtokový zbytek je označen zeleně.

8.4 Temperace

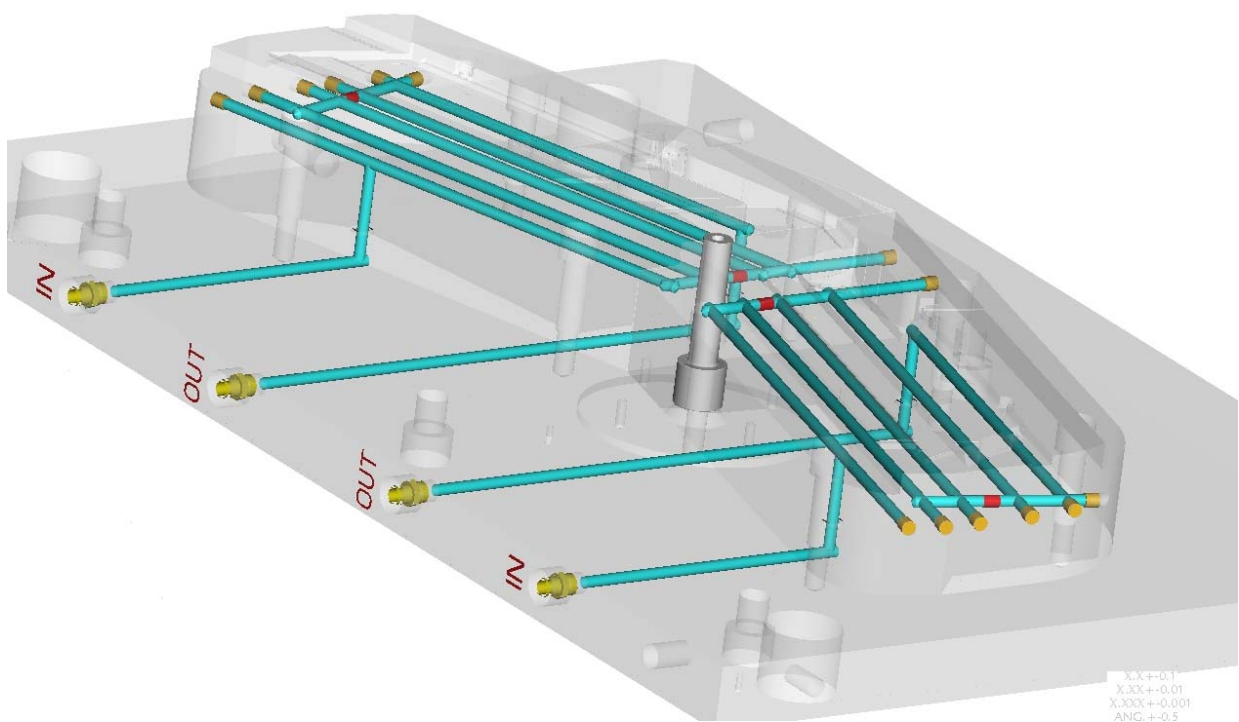
Tvarová dutina formy je temperována soustavou kruhových kanálů průměru 8 mm vedených ve tvárníku a tvárnici. Slepé konce vrtaných kanálů jsou ucpány měděnými zátkami průměru 10 mm. Hliníková slitina použitá na tvary je výhodná z hlediska vedení tepla, její tepelná vodivost je cca 4x vyšší oproti nástrojové oceli.

Rozmístění temperačních kanálů ve tvárnici je podřízeno co nejlepší účinnosti s ohledem na výrobní jednoduchost.

Při návrhu temperačních kanálů ve tvárníku je nadto třeba brát zřetel na rozmístění otvorů pro vyhazovače a vložky. Vložka tvárníku není temperována.



Obr. 8.8 Temperace na vyhazovací straně – ve tvárníku, žlutě jsou měděné záslepky kanálů.

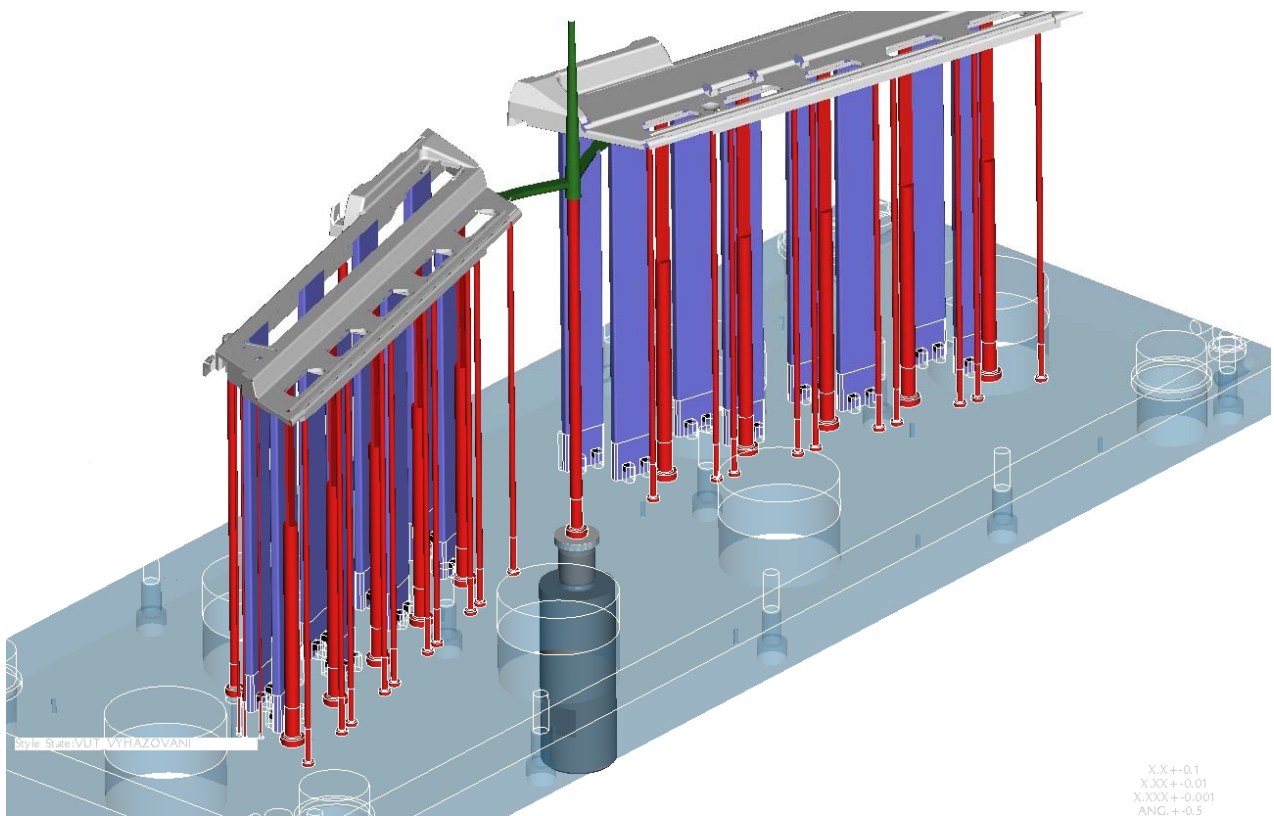


Obr. 8.8 Temperace na pevné straně – ve tvárnici, žlutě jsou měděné záslepky kanálů, červeně jsou přepážky.

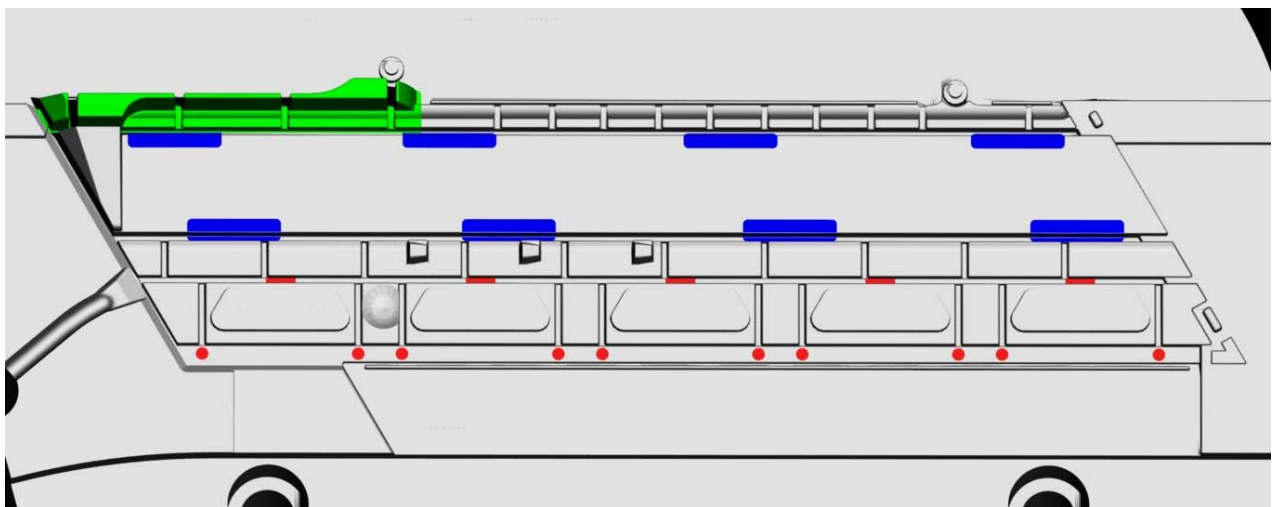
8.5 Vyhazování

Vyhazování je realizováno vyhazovači kruhového nebo obdélníkového průřezu. U výlisku N060005 jsou použity také dva trubkové vyhazovače v místě otvorů pro šrouby. Ploché velké vyhazovače jsou vyráběné, ostatní jsou délkově zkrácené normálie. Vyhazovače jsou rozmístěny rovnoměrně po ploše výlisku a proti zpevněným částem, např. žebřům, tak aby nedošlo k deformaci stěn výrobku.

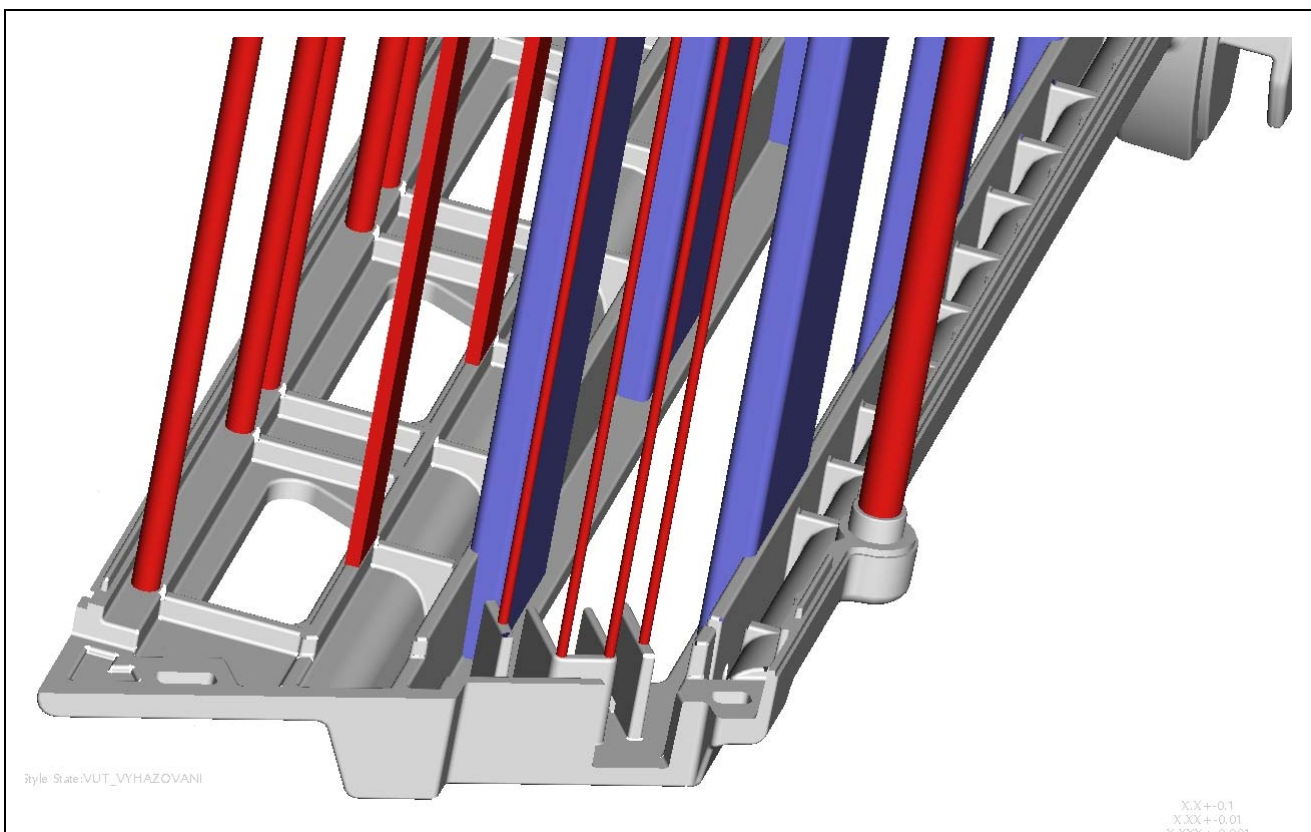
Vyhazovače jsou fixovány v kotevní vyhazovací desce. Lícováním vyhazovačů H7/g6 je také jednoduše zajištěno odvodušnění tvarové dutiny formy.



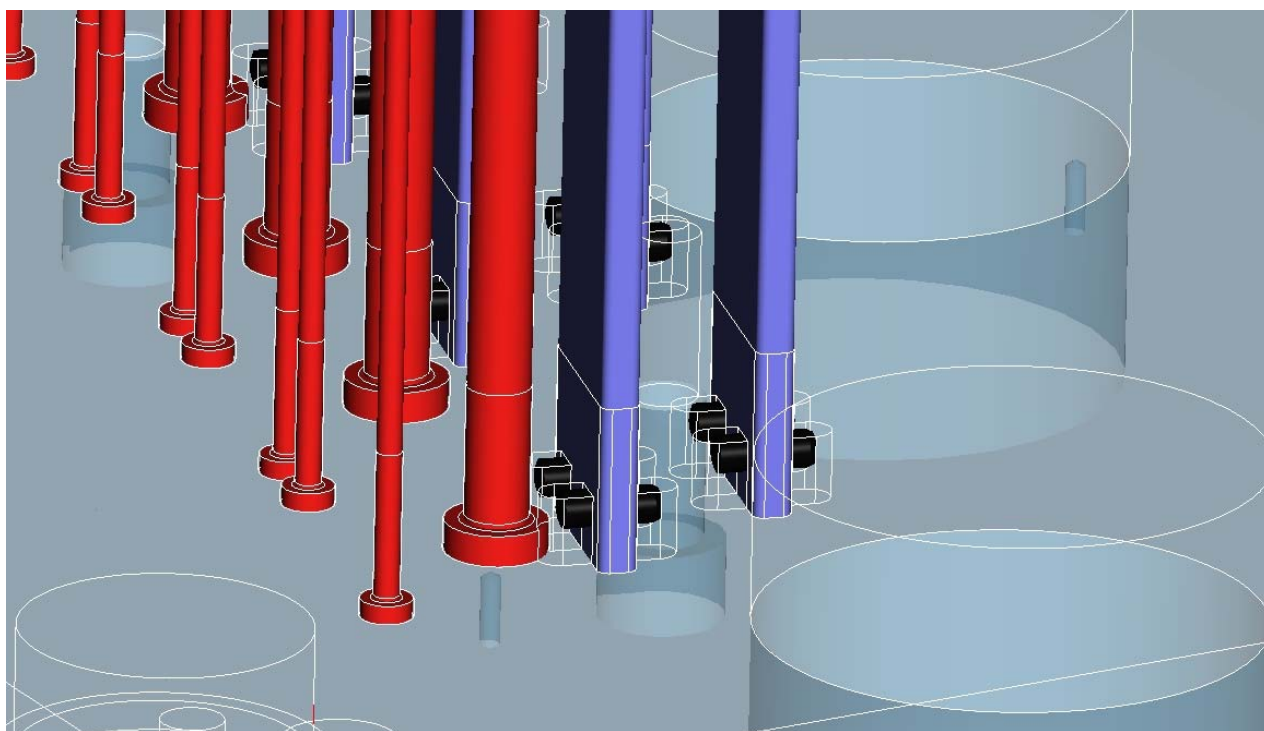
Obr. 8.9 Vyhazovací soustava – oba výlisky



Obr. 8.10 Rozmístění vyhazovačů v dutině výlisku N060006, červeně jsou normálie, modře vyráběné ploché vyhazovače, zeleně je označena pevná vložka.



Obr. 8.11 Detail umístění vyhazovačů na výlisku N060005



Obr. 8.12 Detail zafixování vyhazovačů v kotevní vyhazovací desce, ploché vyhazovače jsou vymezeny pomocí kolíků.

9. EKONOMICKÝ ROZBOR

Tato prototypová forma je navržena jako sériová, proto je její výroba nákladnější oproti standardním prototypovým nástrojům.

NÁKLADY NA ZHOTOVENÍ NÁSTROJE

Předpokládané náklady na materiál:

- desky rámu – nástrojová ocel 1.1730 na rozměr, cena 69 Kč/kg, spotřeba 1100 kg
69 x 1100 = 75 900,- Kč
 - normálie (vyhazovače, vodící elementy, spojovací materiál,..)
61 000,-
 - tvary – Al slitina EN AW 2024 T351 na rozměr, cena 112 Kč/kg, spotřeba 175 kg
112 x 175 = 19 600,- Kč
-
- 156 500,- Kč

Předpokládané náklady na mzdy:

- dělníci nástrojárny, 221 Kč/hod, celkem 300 hodin
221 x 300 = 66 300,- Kč
 - konstrukce formy, 320 Kč/hod, celkem 102 hodin
320 x 102 = 32 640,- Kč
 - technologie (programy, elektrody..), 290 Kč/hod, celkem 75 hodin
290 x 75 = 21 750,- Kč
-
- 120 690,- Kč

Režie = 50%

Celkové náklady na mzdy = 120 690 x 1.5 = 181 035,- Kč

Celkové náklady na výrobu formy:

181 035 + 156 500 = **337 535,- Kč**

NÁKLADY NA ODLISOVÁNÍ PROTOTYPOVÉ SÉRIE

Počet kusů prototypové série: 500 párů výlisků.

Cena materiálu pro 500 párů výlisků:

- cena materiálu Celstran TPU-GF50-01 (výrobce TICONA) = 8 USD/kg
- 1 USD = 20.7 Kč
- hmotnost páru výlisků včetně vtokového zbytku = 0,487 kg

1 pár výlisků 8 x 20,7 x 0,487 = 80,6 Kč

500 párů 80,6 x 500 = 40 300,- Kč

Předpokládané náklady na mzdy:

- obsluha lisu, 190 Kč/hod, celkem 15 hodin práce na celou sérii
190 x 15 = 2 850 Kč

režie = 50%

Celkové náklady na mzdy = 2 850 x 1.5 = 4 275,- Kč

Celkové náklady na odlisování prototypové série:
 $40\,300 + 4\,275 = 44\,575,- \text{ Kč}$

CELKOVÉ NÁKLADY NA VÝROBU PROTOTYPOVÉ SÉRIE

- náklady na zhotovení nástroje = 337 535,- Kč
 - náklady na odlisování prototypové série = 44 575,- Kč
-
- $337\,535 + 44\,575 = 382\,110,- \text{ Kč}$

CENA JEDNOHO PÁRU VÝLISKŮ

Cenu 1 páru výlisků lze stanovit z celkových nákladů na výrobu prototypové série:
 $382\,110 / 500 = 764,2 \text{ Kč}$

Vysoká cena prototypového výrobku je dána vysokou cenou nástroje. Je to nezbytná investice před zavedením sériové výroby a takto na ní musí být pohlíženo.

ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zhotovena na základě schváleného zadání. Členění je voleno s ohledem na celkovou přehlednost dokumentu. Hned za úvodním slovem se práce dělí na část TEORETICKOU a část PRAKTICKOU.

Teoretická část obsahuje přehled současného technického poznání v oboru vstřikování termoplastů. První kapitola popisuje vlastnosti termoplastů, technologii vstřikování a požadavky na konstrukci výlisků. Následuje kapitola objasňující konstrukci vstřikovacích strojů. V závěru je pak vysvětlena konstrukce vstřikovacích forem.

Praktická část práce se zabývá konstrukcí prototypové formy pro konkrétní výlisek. Řazení kapitol respektuje postup prací při návrhu formy. Na začátku je volena dělicí rovina, i vzhledem k úkosům na stěnách výlisku. Případné větší modifikace tvaru výlisku z důvodu snadnějšího odformování je zapotřebí včas konzultovat se zadavatelem. Umístění a tvar vtoku jsou voleny v závislosti na požadovaném materiálu a tvaru výlisku. Analýzou plnění dutiny jsou ověřeny prvotní návrhy a jsou identifikována problémová místa. Volba vstřikovacího stroje je omezena dostupností strojního vybavení. Konstrukce formy byla provedena v programu Pro/Engineer Wildfire 4.0 s maximálním využitím nakupovaných dílců – normálií. Čítatel je blíže seznámen s provedením vtokové soustavy, temperací a systémem vyhazování.

V závěru praktické části je ekonomický rozbor nákladů na výrobu nástroje a vyčíslení ceny prototypového výlisku.

Přílohou této práce jsou vybrané výrobní výkresy a některé další podpůrné dokumenty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOVA, Miloš – KREBS, Josef. *Termoplasty v praxi : Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastu*. 5. aktualiz. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2000. růz s., CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů*. Technická univerzita Liberec, fakulta strojní, katedra strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů, [cit. 2010-05-23]. <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty>
- [3] KOMPOZITY BRNO s.r.o. *Kurz návrhu a konstrukce vstřikovacích forem, studijní text*. Brno: 1.- 4.11.1999.
- [4] HENDRYCH, Josef – WEBER, Antonín – DOLEŽEL, Jaroslav. *Standartizace rámu a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. 1. vydání, Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986. DT 678.057:621.746.073
- [5] *ENGEL company*, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.engelglobal.com>>
- [6] ŽÁK, Ladislav. *Cvičení, tvářecí nástroje – vstřikovací formy*. VUT Brno, fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie, odbor tváření kovů a plastů, [cit. 2010-05-23]. <http://ust.fime.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory>
- [7] NEUHÄUSL, Emil. *Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje*. Kód článku: 100307, Vyšlo v MM 2010 / 3, březen 2010, rubrika Výroba / Plasty, str. 58, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>>
- [8] *Katalog i-mold*, MOLDING INNOVATIONS, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.i-mold.com/en/products/angusseinsaetze/index.php>>
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. *Studijní materiály k cvičením*. Technická univerzita Liberec, fakulta strojní, katedra strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů, [cit. 2010-05-23]. <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c2/kaskada.pdf>
- [10] ŘEHULKA, Zdeněk. *Speciální vyhřívání vtokové systémy forem pro zpracování termoplastů*. Kód článku: 050126, Vyšlo v MM 2005 / 1, únor 2005, rubrika Komerční příloha / Plasty, str. 44, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.mmspektrum.com/clanek/specialni-vyhrivane-vtokove-systemy-forem-pro-zpracovani-termoplastu-v>>
- [11] KRUPA, Čestmír. *Jehlový uzavírací systém pro horké vtoky*. Kód článku: 070133, Vyšlo v MM 2007 / 1, únor 2007, rubrika Trendy / Plasty, strana 26, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.mmspektrum.com/clanek/jehlovy-uzaviraci-system-pro-horke-vtoky>>
- [12] *Katalog DME*, 2009.
- [13] *Katalog TECHNOTREND*, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.technotrend.cz/index.htm>>

- [14] *Katalog SVOBODA*, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.jansvoboda.cz/datumovky>>
- [15] *UDDEHOLM*, [cit. 2010-05-23]. <<http://www.uddeholm.cz>>

SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres výlisku N060005
2. Výkres výlisku N060006
3. Výkres sestavy nástroje
4. Výkres kotevní desky vyhazovačů
5. Výkres tvárnice výlisku N060005
6. Výkres tvárníku výlisku N060005
7. Příručka „Celstran Design Guide“
8. Parametry vstřikovacího stroje ENGEL 1350/300