

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY POMOCÍ AUTODESK INVENTORU

DESIGN OF INJECTION MOLD VIA AUTODESK INVENTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DAVID KŘÍŽKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID PALOUŠEK, Ph.D.

BRNO 2010

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním řešením vstřikovací formy pro střešní krytinu pomocí softwarového modulu Autodesk Inventor - Tooling. V rešeršní části bakalářské práce jsou popsány základní konstrukční a technologické prvky pro návrh vstřikovací formy. Samostatné konstrukční řešení je rozděleno na dvě části, první část se věnuje popisu jednotlivých funkcí softwarového modulu Autodesk Inventor - Tooling. Druhá část konstrukčního řešení je zaměřena na návrh 3D modelu výstřiku a vstřikovací formy v Autodesk Inventor. Na závěr je vytvořen výkres sestavy vstřikovací formy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Konstrukce, vstřikovací forma, vstřikování

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the design solution of injection mold for the roofing via software modul Autodesk Inventor - Tooling. In the reserche's part of my bachelor thesis, the basic design and technological elements for the proposal of the injection mold are described. The separate construction design is divided into two parts. The first part deals with the description of each functions of the software modul Autodesk Inventor - Tooling. The second part of the construction design focuses on the proposal of 3D model plastic part and injection mold in Autodesk Inventor - Tooling. In conclusion, the assembly drawings of the injection mold is created.

KEY WORDS

Design, injection mold, injection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KŘÍŽKA, D. *Konstrukce vstřikovací formy pomocí Autodesk Inventoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Paloušek, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci **Konstrukce vstřikovací formy pomocí Autodesk Inventoru** napsal a vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Davida Palouška, Ph.D. a uvedl v seznamu všechny použité zdroje.

V Brně dne 27. května 2010

.....
David Křížka

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Davidu Palouškovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce. Rovněž bych rád poděkoval rodině za jejich trpělivost a porozumění ve dnech strávených psaním této bakalářské práce.

OBSAH

OBSAH.....	11
ÚVOD.....	13
1. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Konstrukční návrh vstřikovací formy na plast	14
1.1.1 Výkres součásti.....	14
1.1.2 Násobnost formy	14
1.1.3 Volba vstřikovacího stroje.....	14
1.2 Zaformování výstřiku	15
1.3 Smrštění materiálu.....	15
1.4 Vtokový systém	16
1.4.1 Studený vtokový systém.....	17
1.4.2 Vyhřívaný vtokový systém.....	17
1.5 Vyhazovací mechanismus formy.....	18
1.5.1 Vyhazování pomocí kolíků.....	18
1.5.2 Vyhazování pomocí stírací desky.....	18
1.5.3 Vzduchové vyhazování.....	19
1.5.4 Hydraulické vyhazování	19
1.6 Temperování forem	19
1.7 Odvzdušnění forem	20
1.8 Schéma formy.....	20
1.8.1 Rám formy	20
1.8.1 Vodící a spojovací součásti	21
1.8.2 Rozpěry.....	21
1.8.3 Vyhazovací deska	21
1.8.4 Poziční kroužek	21
1.8.5 Formovací desky	21
1.9 Tvárník a tvárnice.....	21
2. FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA	23
3. VYMEZENÍ CÍLŮ	24
4. NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ.....	25
4.1 Shromáždění informací.....	25
4.2 Metodika konstruování.....	25
4.3 Využití CAD systému.....	25
4.4 Konstrukční řešení	25
4.5 Vyhodnocení jednotlivých kroků	25
4.6 Výkresová dokumentace.....	25
6.1 Vytvoření 3D modelu	29
6.1.1 2D skica	29
6.1.2 3D model	29
6.2 Uživatelské prostředí v Inventoru mold design.....	30
6.3 Počáteční návrh formy.....	30
6.3.1 Výběr součásti (Plastic part).....	31
6.3.2 Nastavení orientace (Adjust orientation).....	31
6.3.3 Výběr materiálu (Select material).....	32
6.3.4 Smrštění materiálu (Shrinkage part, Shrinkage mold)	32

6.4 Tvorba dutiny formy	33
6.4.1 Pozice vtoku (Gate location).....	34
6.4.2 Nastavení procesních podmínek (Process settings)	34
6.5 Návrh dělicí plochy.....	35
6.5.1 Návrh obrobku pro dutinu formy (Define workpiece setting)	35
6.5.2 Vytvoření dělicí plochy (Create runoff surface).....	36
6.6 Analýzy tečení materiálu	37
6.6.1 Čas plnění (Fill time result)	37
6.6.2 Spolehlivost plnění (Confidence of fill result)	38
6.6.3 Předpověď kvality (Quality prediction result)	38
6.6.4 Bubliny (Air traps result).....	38
6.6.5 Svarové čary (Weld lines resul).....	39
6.7 Plnicí systém (gate, runner, runner sketch).....	39
6.7.1 Vtok (Gate)	39
6.8 Sestava formy	40
6.8.1 Rám formy (Mold base).....	40
6.8.2 Vyhazovač (Ejector)	40
6.8.3 Licí pouzdro (Sprue bushing)	40
6.8.4 Poziční kroužek (Locating ring)	41
6.9 Chladicí systém.....	41
6.9.1 Chladicí kanály (Cooling channel)	41
6.9.2 Chladicí komponenty (Cooling components)	42
7. ZÁVĚR	42
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	44
9. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	46
10. SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH.....	47

ÚVOD

V posledních desetiletí dochází ke značnému rozvoji plastových výrobků a to v různých odvětvích. Tyto výrobky se v dnešní době nepoužívají pouze jako ochranné kryty nebo balící materiály, ale často plní důležitou roli funkčních dílů. Důvodů, proč volit díly na bázi polymerů, je hned celá řada: příznivější cena, nižší hmotnost, vysoká odolnost proti korozi, jednoduchá výroba poměrně složitých tvarů, nové technologie ve zpracování plastů. Největší uplatnění těchto produktů můžeme pozorovat v automobilovém průmyslu či elektrotechnice. Se vzrůstající spotřebou plastových výrobků jsou kladeny stále větší nároky na kvalitu, jakost, tak i na urychlení vlastní konstrukce formy a její výrobu.

Mezi jednu z metod, jak urychlit výrobu i konstrukci formy, patří používání 3D parametrických modelářů. Na trhu existuje řada programů (Pro/Engineer, Catia, Autodesk, atd.), které slouží pro usnadnění konstrukce formy. Všechny tyto programy jsou plně parametrické, rozšířené o řadu knihoven a funkcí umožňující automatizaci při návrhu a konstrukci formy. Všechny tyto vlastnosti a výhody vedou k větší produktivitě, úspoře času a především ke snížení finančních nákladů.

Tato bakalářská práce je zaměřena na konstrukci vstřikovací formy pro střešní krytinu pomocí počítačového programu Autodesk Inventor - Tooling.

1. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V této kapitole je podán stručný přehled o základních krocích při konstruování vstřikovací formy, které by měl konstruktér při návrhu formy dodržet. Jsou zde popsány základní technologické postupy, které jsou důležité pro pochopení problému. Konstruování vstřikovacích forem však vyžaduje hlubší znalosti a zkušenosti.

1.1 Konstrukční návrh vstřikovací formy na plast

Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. [1] Pro správnou funkci formy musí být splněny požadavky: technické, ekonomické a technologické. Základní technické parametry pro výkresovou dokumentaci formy jsou:

- Výkres součásti
- Násobnost formy
- Druh vstřikovacího stroje

1.1.1 Výkres součásti

Výkres součásti musí obsahovat: tvar, rozměry a tolerance, jakost povrchu, hmotnost, materiál atd. Při návrhu tvaru výrobku se konstruktér musí řídit zásadami pro konstrukci výstřiku, mezi které patří: *malé rozdíly v tloušťkách stěn, zaoblení ostrých hran, pozvolné přechody stěn atd.* [1] Dodržením těchto základních zásad se předchází vadám, které by mohly vzniknout při výrobě ve výstřiku (výstřik je hotový výrobek po vyjmutí ze vstřikovací formy) v podobě studených spojů nebo lunek. Důležitá je tedy spolupráce konstruktéra formy a výrobku spolu s technologií.

1.1.2 Násobnost formy

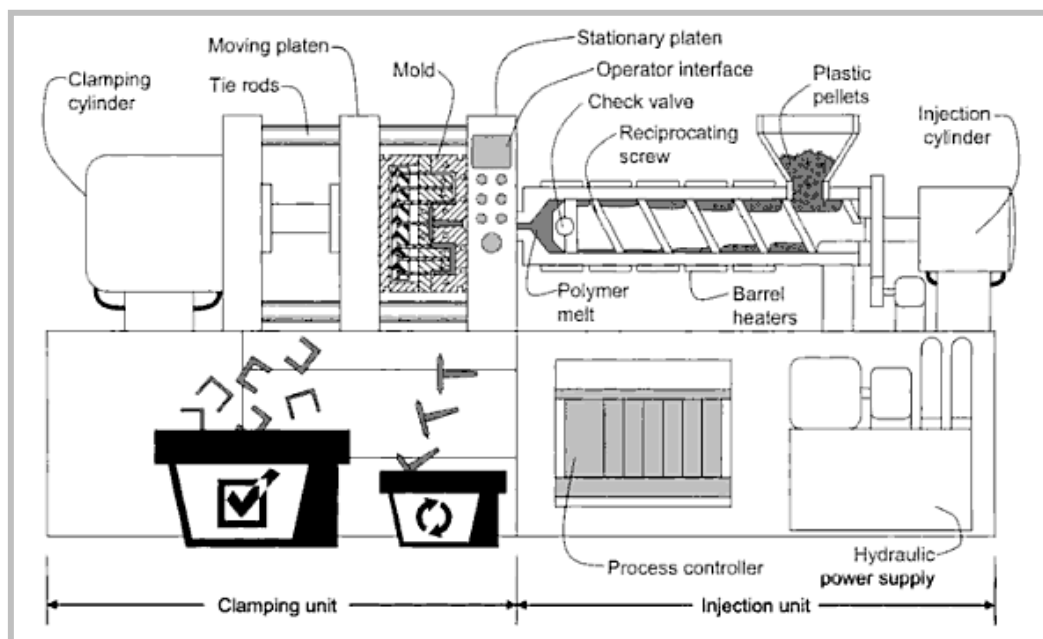
Násobností formy se rozumí počet dutin ve formě. Větší počet dutin ve formě znamená vyšší produktivitu formy. S vyšší kvalitou a přesnějšími výstřiky je požadováno zmenšení násobnosti formy. Počet dutin ve formě ovlivňuje rozdílná teplota plastu při plnění, rozdílné tlaky a délky vtoků. Součásti velkých rozměrů, popřípadě složitých tvarů, se vyrábějí v jednonásobných formách. Počet dutin ve formě se dá vypočítat dle velikosti uzavírací síly, plastikačního výkonu nebo podle vstřikovací kapacity stroje.

1.1.3 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj je důležitou složkou pro dosažení kvalitních výstřiků. Jeho volba je ovlivněna:

- rozměry a hmotností vyráběného dílu
- přesností a kvalitou výstřiku
- dostatečnou vstřikovací kapacitou
- uzavíracím tlakem

Kvalita stroje je dána jeho konstrukcí, přesností řízení jednotlivých parametrů stroje, reprodukovatelností.[1] Tyto parametry mohou být u různých výrobců odlišné. Nevhodná volba stroje snižuje kvalitu výstřiku.



Obr. 1.1.3 Schéma vstřikovacího stroje [3]

1.2 Zaformování výstřiku

1.2

Jednou z nejdůležitějších věcí při konstrukci formy je správné zaformování výstřiku, tím se rozumí vhodná volba dělicí roviny (plochy). *Správná volba dělicí roviny umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby.* [1]

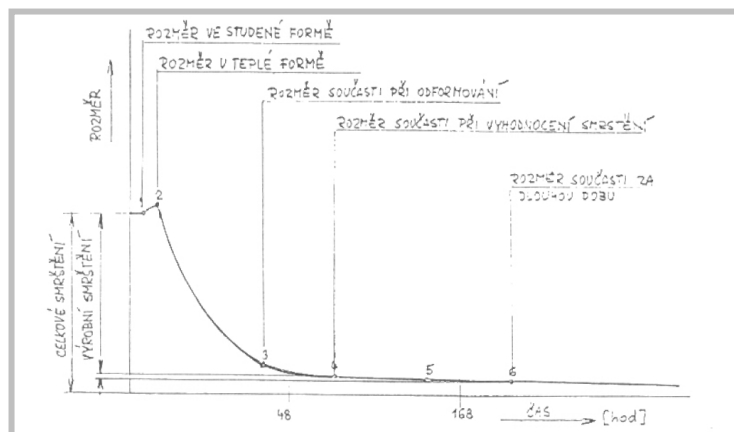
Dělicí rovina se obvykle volí ve svislé, popřípadě vodorovné poloze, rovnoběžně s upínáním formy. O tom, zda dělicí rovina bude ve vodorovné nebo svislé poloze, rozhoduje použitý stroj. Ve výrobě se nejčastěji používají horizontální nebo vertikální vstřikovací lis. Dle potřeby je možno dělicí rovinu vhodně natočit, nebo ji dokonce různě tvarovat. Snahou však zůstává, aby dělicí rovina zůstala rovnoběžná s upínáním formy, protože je jednodušší na výrobu a slícování. Sebelepší nepřesnost v dělicí rovině může způsobit vady na výrobku, a to ve formě ořepu, popřípadě změnu rozměrů ve směru zavírání formy.

1.3 Smrštění materiálu

1.3

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku, udává se v %. [1] Rozlišujeme dva základní druhy smrštění, a to smrštění provozní, které vzniká do 24hod od výroby, a smrštění dodatečné, které vznikne po uplynutí delší doby. Vyráběnou součást nejvíce ovlivňuje smrštění provozní, to má podíl 90 % na celkovém smrštění. Velikost smrštění ovlivňuje celá řada faktorů, například: vlastnost plastu, technologie vstřikování, tvar výstřiku, ale i vtoková

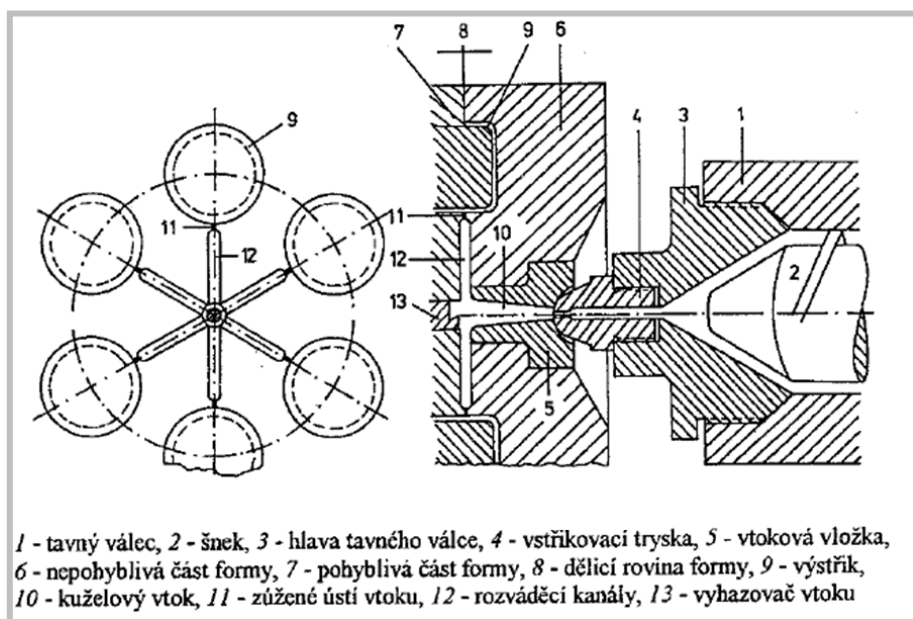
soustava a teplota chlazení. Velikost smrštění nemusí být ve všech směrech stejná. Asymetrické plnivo (skleněná vlákna), směr proudění taveniny, orientace makromolekul u semikrystalického plastu apod. způsobuje anizotropii materiálu definovanou jako rozdíl smrštění ve směru rovnoběžném a kolmém na tok taveniny.[1]



Obr. 1.3 Průběh smrštění [1]

1.4 Vtokový systém

Úkolem vtokového systému je dopravení roztaveného plastu z trysky stroje do dutiny formy, a to co možná v nejkratším časovém úseku a současně s co nejmenšími teplotními a tlakovými ztrátami. Vlastní uspořádání vtokového systému záleží na tvaru a druhu formy. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně (vyvážené vtoky). [1] Formy můžeme rozdělit na základě vstřikování na formy se studeným vtokem a formy s horkým vtokem.



Obr. 1.4 Vtokový systém [1]

1.4.1 Studený vtokový systém

1.4.1

Roztavený plast je vstřikován vysokou rychlostí z trysky stroje do vtokové vložky a následně putuje rozváděcím kanálem přes ústí vtoku do dutiny formy. Chladnutí formy je realizováno odvodem tepla do stěn formy. Mezi nevýhody studeného vtokového systému patří vyšší spotřeba materiálu, ta je větší o objem materiálu, který je nutný k vyplnění rozváděcích kanálů.

Základní konstrukční zásady:

- nejkratší možná vzdálenost mezi tryskou a dutinou.
- u vícenásobných forem je důležitá stejná vzdálenost k jednotlivým dutinám
- dostatečný průřez kanálu
- minimální povrch, maximální průřez (kruh)

1.4.2 Vyhřívání vtokový systém

1.4.2

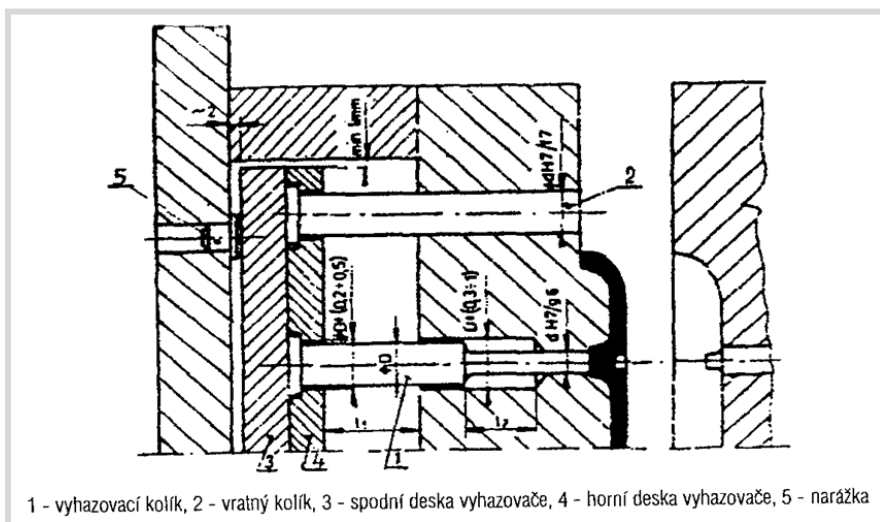
Roztavený plast je vstřikován do formy z trysky stroje. V rozváděcích kanálech však nedochází k chladnutí materiálu, forma obsahuje jednu či více vyhříváních trysek nebo celý rozváděcí kanál je vyhříván nad teplotu tavení materiálu. Mezi výhody tohoto systému patří úspora materiálu (odpadá odstraňování vtokového kanálu) a lepší automatizace procesu. Tyto formy jsou konstrukčně mnohem složitější a díky používání regulátorů a snímačů teploty i finančně náročnější. Další nevýhodou je, že vlivem vyhřívání (vzniklého tepla) dochází k délkové roztažnosti formy, to může mít za následek: přesazení trysky, zvýšení tlaku ve formě a následné deformování formy.

1.5 Vyhazovací mechanismus formy

Vlivem chladnutí materiálu dochází ke smrštění výstřiku, ten pak zůstává zachycen na tvarové části formy. Vyhazování je úkon, kdy dochází k odstranění výstřiku z tvárníku otevřené formy pomocí vyhazovacího zařízení. Úkolem vyhazovacího zařízení je, aby odstranění výstřiku proběhlo co nejrovnoměrněji a nedocházelo ke kroucení výstřiku a jeho deformování. Uspořádání a rozložení vyhazovacího zařízení je závislé na tvaru a složitosti formy. Pro bezproblémový průběh vyhazování, je důležité vhodně volit jakost povrchu a úkosity (ve směru vyhazování). Vyhazovací zařízení většinou pracuje pomocí mechanického, hydraulického nebo pneumatického systému.

1.5.1 Vyhazování pomocí kolíků.

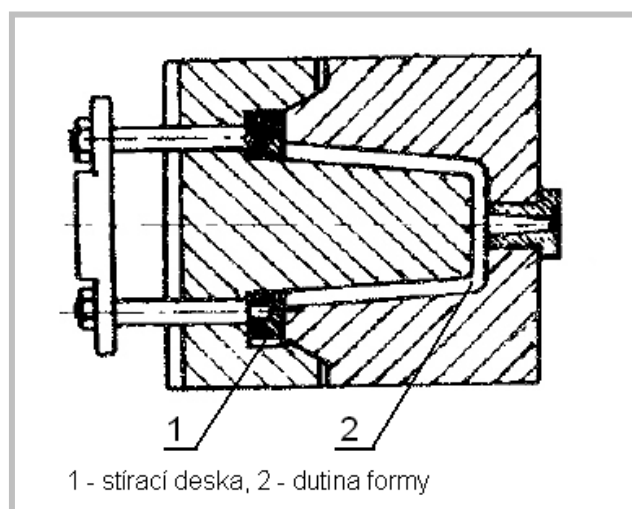
Vyhazování pomocí kolíků je nejčastějším a nejpoužívanějším způsobem vyhazování výstřiků. [2] Vyhazování je realizováno pohybem kolíků, které vytlačí výstřik spolu s vtokovým systémem. Po vytlačení zůstávají na výstřiku stopy kolíků, proto je důležité je vhodně umístit, především na nefunkční plochy.



Obr. 1.5.1 Princip vyhazování pomocí kolíků [2]

1.5.2 Vyhazování pomocí stírací desky

Vyhazovací deska se dotýká výstřiku po jeho obvodu. Vyhazovací síla působí na větší plochu, proto nedochází k otlacení výstřiku. Použití stíracích desek je možné jen v případě, že výstřik dosedá na stírací desku v rovině. Stírací desky se obvykle používají pro tenkostěnné výstřiky nebo výstřiky velkých rozměrů.



Obr. 1.5.2 Princip vyhazování pomocí stírací desky [2]

1.5.3 Vzduchové vyhazování

1.5.3

K oddělení výstřiku od formy dochází použitím stlačeného proudu vzduchu, který je vtlačen mezi výstřík a tvárník. Stlačený vzduch rovnoměrně působí na výstřík a nedochází tak k otlacení. Tato metoda je vhodná pouze pro určité tvary (polozavřené nádoby). *Tlak vzduchu má být jen tak velký, aby vyhodil výstřík a neznečistoval svým působením prostředí lisovny. Je možné kombinovat různé systémy mechanické s pneumatickými.* [2]

1.5.4 Hydraulické vyhazování

1.5.4

Hydraulické vyhazovače, kde vyhazování výstřiku je realizováno pomocí hydraulického media, se téměř nepoužívají. Hydraulický systém se používá pro pohon kolíků, stíracích desek, popřípadě k pohybu bočních posuvných čelistí.

1.6 Temperování forem

1.6

Cílem temperování je udržet stálou teplotu formy. Při opakovaném vstřikování plastu dochází k ohřívání formy, avšak každý další výstřík musí být proveden při předem dané teplotě, toto přebytečné teplo je tedy nutné odvádět. Naopak při prvním vstříknutí je důležité, aby roztavený polymer nebyl vstříknut do relativně studené formy. Temperační systém má tedy za úkol odvádět nebo přivádět teplo z formy popřípadě z její části. Je tedy důležité, aby temperační systém byl vhodně navržen a rozložen a *nedocházelo k nerovnoměrnému rozložení teploty formy, které by mělo za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku.* [2] Existuje však anizotropie materiálu, proto je někdy nutné temperovat jednotlivé části formy odlišně. Temperační systém se skládá z řady kanálků, tyto kanálky by měly být v dostatečné hloubce od povrchu dutiny formy, aby byla zaručena tuhost stěn. Prostup tepla závisí na povrchu, proto je vhodnější volit větší počet kanálků menšího průřezu než jeden velký. Pro ohřev formy se používají topné patrony, které při svých malých rozměrech umožňují předat velké množství tepla.

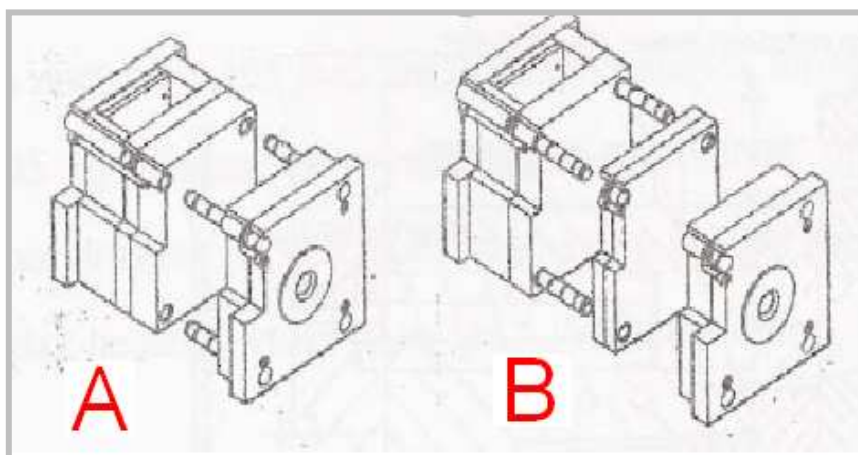
1.7 Odvzdušnění forem

Vstřikování plastů je proces, který probíhá během velmi krátkého časového intervalu za působení vysokého tlaku. V případě, že forma není vhodně odvzdušněna a vzduch obsažený v dutině formy nemůže uniknout, vznikají na výstřiku různé vady. Mezi nejobvyklejší vady patří spálené místo vzniklé vlivem komprese vzduch a jeho následovného ohřevu, nebo vzduch pronikne do taveniny a zůstane v ní uvězněn ve formě bublin. Proto je důležité při plnění dutiny zajistit dostatečný odvod vzduchu. Vzduch obsažený ve formě nemá vždy dostatečnou možnost k úniku přes dělicí rovinu, proto se používají odvzdušňovací kanálky a drážky. Do těchto kanálků a drážek bude přebytečný vzduch vtlačen. Rozměry odvzdušňovacích kanálků a drážek se dají vypočítat na základě předpokladu, že děj probíhá adiabaticky. Umístění odvzdušňovacích kanálků a drážek závisí na umístění vtoku a na způsobu vyplňování formy. V případě, že poloha odvzdušňovacích kanálků není jasná, určí se poloha až při zkouškách na základě nedotečeného či spáleného místa formy. Odvzdušňovací kanálky musí být dimenzovány tak, aby nedocházelo k zatékání plastu, ale pouze k odvzdušnění.

1.8 Schéma formy

1.8.1 Rám formy

Rám formy je tvořen řadou vzájemně spojených desek. *Tyto desky, spojené v jeden celek pomocí základních spojovacích elementů tvoří tvarový nosič dutiny a vtoku.*[2] Rám je rozšířen o různé komponenty jako (tvárník, tvárnice, vtoková vložka, poziční kroužek atd.) Rám spolu s těmito komponenty bude tvořit vstřikovací formu. *Pro usnadnění konstrukce i výroby rámu se dnes využívá nejrůznější typizace z nabídky jednotlivých dílů.*[2]



Obr. 1.8.1.A Rám s jednou dělicí rovinou [2]

Obr. 1.8.1.B Rám se dvěma dělicími rovinami [2]

1.8.1 Vodící a spojovací součásti

1.8.1

Jak již bylo zmíněno, rám formy je tvořen celou řadou desek. *Tyto desky jsou vzájemně vedeny, ustředěny a někdy i spojeny pomocí vodících pouzder, kolíků a dalších součástí.*[2](Obr. 1.8 pozice F)

1.8.2 Rozpěry

1.8.2

Rozpěry slouží ke zvětšení pracovní výšky vstřikovací formy a to z důvodu dosažení minimální délky pro používaný troj, Rozpěry jsou voleny tak, aby bylo dosaženo správné tuhosti formy.[2] (Obr. 1.8 pozice I)

1.8.3 Vyhazovací deska

1.8.3

Vyhazovací deska slouží k ustavení vyhazovačů a rovněž umožňuje jejich pohyb. Vyhazovací deska je tvořena dvěma deskami, a to deskou kotevní a opěrnou. Tyto desky jsou sešroubovány k sobě. Součástí vyhazovací desky bývají i vodící kolíky, které slouží k vedení desky a současně zamezují zkřížení. V případě, že jsou vyhazovací kolíky dostatečné tuhosti, není nutné použít vodící kolíky. (Obr. 1.8 pozice E)

1.8.4 Poziční kroužek

1.8.4

Poziční kroužek plní současně několik funkcí najednou:

1. *Vystředí formu na stroji.*
 2. *Zabezpečuje formu proti případnému sklouznutí.*
 3. *Zamezuje úniku vstřikovaného polymeru.* [2]
- (Obr. 1.8 pozice G)

1.8.5 Formovací desky

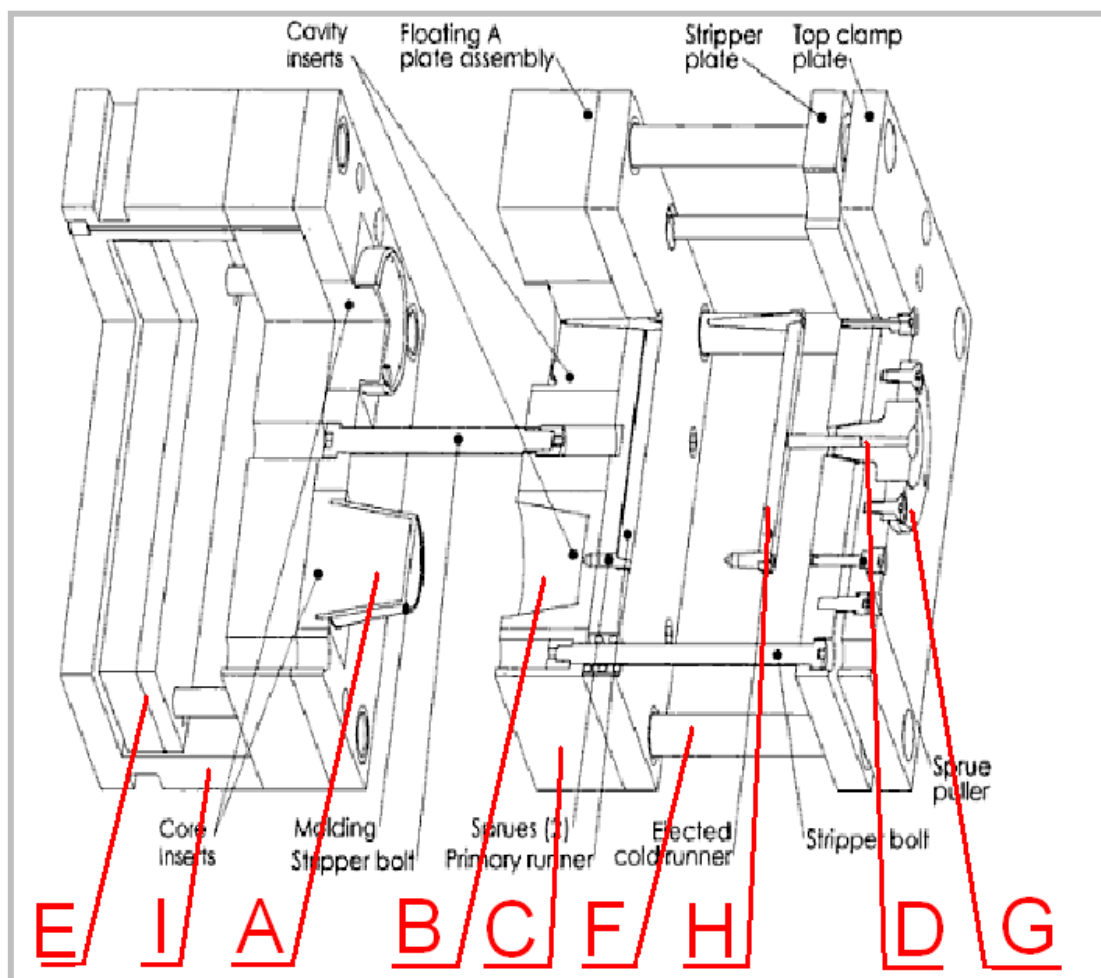
1.8.5

Formovací desky slouží k ustavení a vymezení vzájemné polohy mezi tvárníkem a tvárnici. Slouží současně i pro upevnění šikmých kolíků, pohyblivých jader atd. (Obr. 1.8 pozice C)

1.9 Tvárník a tvárnice

1.9

Tvárník s tvárnici určují výsledný tvar výstřiku po jeho vychladnutí, tvárník musí mít takový tvar, aby umožnil bezproblémové vyjmutí výstřiku. Při jejich dimenzování je nutné počítat se smrštěním. Součástí tvárnice jsou rovněž díry pro vyhazovací kolíky, pohyblivá jádra atd. (Obr. 1.8 pozice A,B)



Obr. 1.8 Schéma třídeskové vstřikovací formy[3]

Legenda:

- A- Tvárník
- B- Tvárnice
- C- Formovací deska
- D- Lící pouzdro
- E- Vyhazovací deska
- F- Vodící čep
- G- Poziční kroužek
- H- Vtokový systém
- I- Rozpěra

2. FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2

Firma Tři pyramidy zahájila sériovou výrobu střešní krytiny na bázi polymeru PET a křemičitého písku. Tyto střešní tašky vyrábí na vertikálních hydraulických lisech. Na těchto lisech však kvůli jejich nízké efektivitě není možno uspokojit vzrůstající poptávku. Pro zvýšení produktivity a uspokojení poptávky se jako vhodné řešení jeví použití technologie pro velkosériovou výrobu, jako je vstřikování plastu s použitím vícenásobné formy. Nevýhodou pro tuto metodu je skutečnost, že na výrobu střešní krytiny se používá materiál obsahující abrazivní částice jako je zmiňovaný křemičitý písek

Tyto částice negativně působí na pohybové ústrojí (šnek) vstřikovacího stroje, tak i na samotnou formu a výrazně snižují životnost jednotlivých částí.

V této práci pro zjednodušení bude jako vstřikovací materiál uvažován polymer PET. Jedná se tedy Polyetylentereftalát (PET), plast s vysokou tuhostí a tvrdostí. Čistý a nemodifikovaný odolává povětrnostním podmínkám v rozmezí dvou až čtyř let. Velikost smrštění je ovlivněna teplotou formy, pohybuje se v rozmezí 0,2- 2%. Před vstřikováním je nutné sušení materiálu. Teplota taveniny se pohybuje v rozmezí 265-290 °C, vstřikovací tlak 30 - 130MPa, vstřikovací rychlost je vysoká aniž by docházelo ke křehnutí[4],[2].

Z důvodu větší produktivity je vhodné použít vícenásobnou formu s maximálním možným počtem dutin. Ale jak již bylo uvedeno výše, s vyšším počtem dutin klesá kvalita a přesnost formy. Jako vhodné se jeví vypracovat studii, která určí vhodný počet dutin a zohlední několik činitelů jako je přesnost výrobku, požadované množství, typ stroje a ekonomii výroby. V této práci však bude konstrukční řešení provedeno na jednonásobné formě.

Vstřikovací forma je složité zařízení skládající se z celé řady dílů. Jako nástroj pro ulehčení konstrukce bude využit softwarový modul Autodesk Inventor - Tooling obsahující celou řadu funkcí. Tyto funkce umožňují detekovat chyby již v 3D modelu vstřikovací formy, a tím se předchází chybám, které by se projeví až na samotném výrobku.

3. VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Primárním cílem této bakalářské práce je konstrukce vstřikovací formy s využitím softwarového modulu Autodesk Inventor - Tooling a popis jednotlivých částí toho softwaru.

Mezi další cíle patří:

- vytvoření 3D modelu výrobku a formy.
- vytvoření metodického postupu pro návrh vstřikovací formy v modulu Autodesk Inventor.
- vytvoření výkresové dokumentace vstřikovací formy

Širším cílem je ověření aplikovatelnosti a efektivnosti používání modulu Tooling pro konstrukci vstřikovací formy.

4. NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

4

4.1 Shromáždění informací

4.1

Dříve než se přistoupí k samotné konstrukci, je nutné získat globální přehled o dané problematice, pochopit základní myšlenku vstřikování a seznámit se se základními pravidly pro konstruování vstřikovacích forem, použitým materiálem a jeho fyzikálními vlastnostmi a s druhy používaných strojů.

4.2 Metodika konstruování

4.2

Celá konstrukce vstřikovací formy bude rozdělena na jednotlivé skupiny, které budou po částech vypracovány. Při řešení jednotlivých kroků bude brán ohled především na výchozí tvar, geometrii a funkčnost výstřiku.

4.3 Využití CAD systému

4.3

Celý model sestavy vstřikovací formy bude vytvořen v prostředí Autodesk Inventor. Tento vzniklý model poslouží pro získání podkladů pro další část této práce a bude rovněž použit pro výkresovou dokumentaci a závěrečnou prezentaci.

4.4 Konstrukční řešení

4.4

1. Prvním krokem je vytvoření 3D modelu střešní krytiny na základě příslušné výkresové dokumentace.
2. Dalším krokem bude získat informace na základě analýz tečení materiálu a vyplňování formy o slabých a problémových místech na formě a následně je upravit tak, aby vyhovovala požadavku na správné plnění a současně se razantně nezměnil vzhled, geometrie ani funkce výrobku.
3. Následně bude zvolena dělicí rovina, vstřikovací podmínky, určí se smrštění a v poslední řadě tvar formy a prvky pro vyhazování výstřiku.

4.5 Vyhodnocení jednotlivých kroků

4.5

Jednotlivé kroky budou vyhodnocovány z hlediska funkčního, technického a ekonomického tak, aby co nejlépe splňovali konstrukční a technologické požadavky.

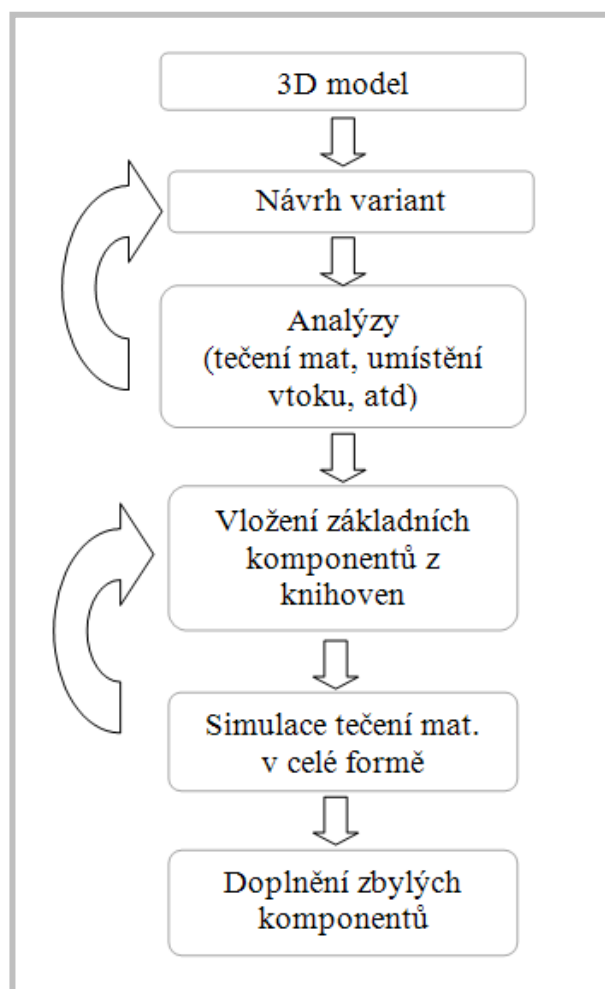
4.6 Výkresová dokumentace

4.6

Na závěr bude vytvořen výkres sestavy formy pro střešní krytinu.

5. NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Při návrhu variant vycházím ze zadaného tvaru součásti, z toho důvodu nejsou přípustné žádné úpravy na vzhledových plochách a není ani možné zásadně měnit tvar nebo geometrii střešní krytiny. Je také důležité, uvědomit si umístění součásti v reálných podmínkách. Celý projekt byl koncepčně řešen v jednotlivých bodech.

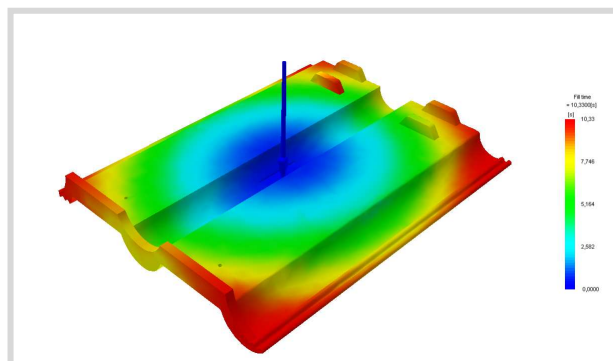


Obr. 5 Koncepce řešení

Důležitým parametrem při návrhu vstřikovací formy je proveditelnost vyhození výstřiku a jeho technická realizovatelnost. Jak již bylo zmíněno výše, není možné zásadním způsobem měnit tvar výstřiku nebo jeho rozměry, proto návrh variant bude spočívat ve výběru nejvhodnějšího umístění vtokového systému. Pro výběr nejvhodnější polohy vtoku byla použita analýza tečení materiálu.

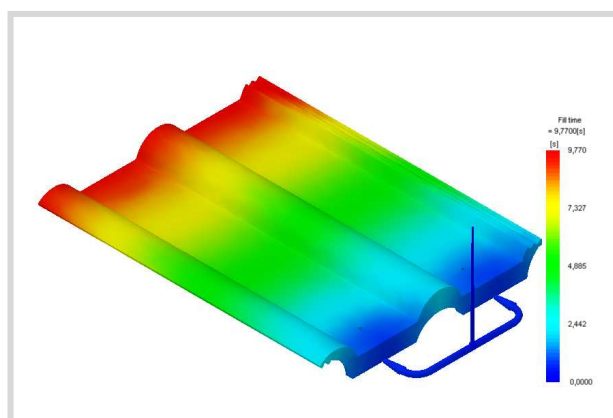
NÁVRH VARIANT:

A: S jedním centrálním vtokem



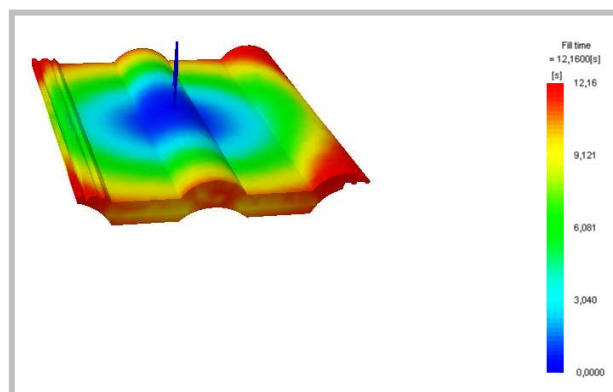
Obr. 5.A Centrální vtok uprostřed na spodní ploše výstřiku

B: Se dvěma vtoky na krajích



Obr. 5.B Se dvěma vtoky na krajích

C: S centrálním vtokem uprostřed na horní ploše výstřiku



Obr. 5.C S centrálním vtokem uprostřed na horní ploše výstřiku

Vstřikovací forma měla být řešena jako třídesková. Toto konstrukční provedení by umožnilo odtržení bodového vtoku ihned po otevření formy. Maximální rozměr třídeskového rámu nabízený v knihovnách Autodesku Inventoru není však dostatečný pro umístění tvárníku a tvárnice. U všech nabízených rámu docházelo ke kolizi mezi tvárníkem, tvárnicí a vodícími částmi rámu.

V této bakalářské práci bude konstrukční řešení provedeno jako: jednonásobná forma se studeným centrálním vtokem uprostřed na horní ploše výstřiku (Obr 5. C). Pohyb kolíků bude realizován táhlem. Po vytažení výstřiku z formy bude přebytečný vtokový kužel odstraněn.

6. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

6

Součástí konstrukčního řešení bude i stručný popis základních částí softwarového modulu Autodesk Inventor - Tooling. Popis základních celků udává ucelený pohled na problematiku konstrukce vstřikovací formy. Jednotlivé funkce budou dle dané problematiky popsány více či méně podrobně.

6.1 Vytvoření 3D modelu

6.1

Pro vytvoření 3D modelu střešní krytiny bude použit Autodesk Inventor - Part. Jedná se o nástroj, ve kterém bude vytvořen 3D model v měřítku 1:1. Tento krok nebude vysvětlen příliš podrobně, protože není součástí této bakalářské práce a jeho vlastní zvládnutí a pochopení musí být provedeno dříve, než se přistoupí k samostatnému modelování vstřikovací formy.

6.1.1 2D skica

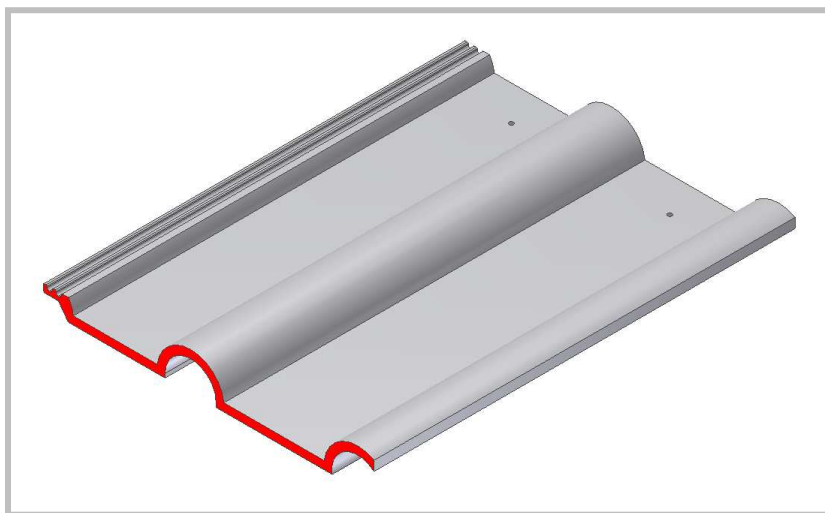
6.1.1

Jedná se o vytvoření 2D skici (náčrtu) na základě předchozí výkresové dokumentace, tvar 2D skici by měl co nejefektivněji vystihnout tvar dané součásti. Skica je na Obr. 6.1 znázorněna červenou barvou.

6.1.2 3D model

6.1.2

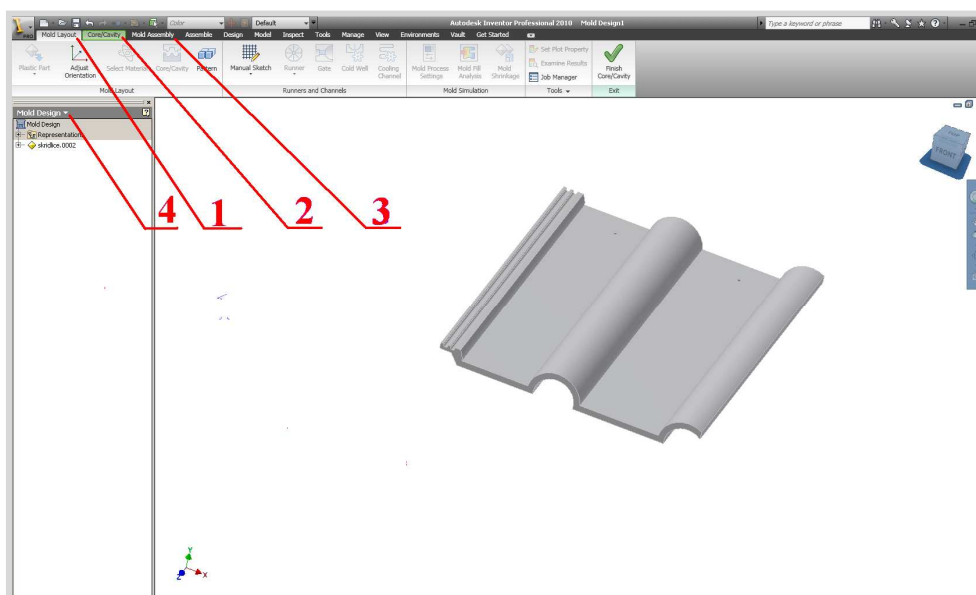
Je to krok, který následuje po vynoření 2D skici. Jde o převedení 2D skici pomocí základních prvků jako je: tažení, rotace, šablonování na výsledný 3D model. Pro vytvoření modelu střešní krytiny byl použit nástroj tažení.



Obr. 6.1 Model střešní krytiny

6.2 Uživatelské prostředí v Inventoru mold design

Prostředí **Mold design** je tvořeno lištou, která obsahuje karty s jednotlivými funkcemi. Součástí tohoto prostředí je také Mold design prohlížeč (strom), který obsahuje pořadí složek a funkcí, jenž byly při návrhu formy použity.



Obr. 6.2 Uživatelské prostředí

Legenda:

1. Mold Layout tab je karta obsahující funkce: výběr materiálu, nastavení orientace, návrh vtokových a chladících kanálů, analýzu plnění atd.
2. Core/cavity tab je karta obsahující funkce pro úpravu a definici povrchu dutiny, návrh dutiny formy, analýzu plnění formy, funkci pro umístění vtoků atd.
3. Mold assembly tab obsahuje základní prvky pro návrh formy, základní rám formy, vyhazovací kolíky atd., naleznete zde taky nástroj pro tvorbu 2D výkresů.
4. Mold design browser graficky znázorňuje sled funkcí použitých při návrhu vstřikovací formy. Umožňuje rovněž přepínat mezi jednotlivými částmi sestavy.

6.3 Počáteční návrh formy

Při počátečním návrhu formy se uživatel pohybuje v kartě **Mold layout**.



Obr. 6.3 Karta Mold layout

6.3.1 Výběr součásti (Plastic part)

6.3.1

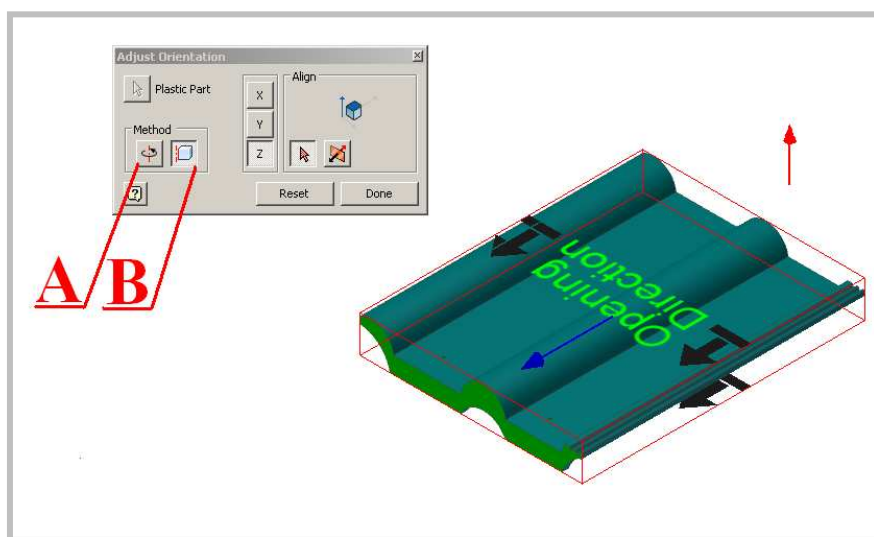
Funkce **Plastic part** slouží k vybrání 3D modelu, který bude sloužit jako finální výstřik. V mém případě se tedy jedná o model střešní krytiny.

Jako další v pořadí bude následovat funkce **Adjust orientation** nebo **Select material**, na zvoleném pořadí nezáleží.

6.3.2 Nastavení orientace (Adjust orientation)

6.3.2

Funkce **Adjust orientation** umožňuje měnit směr otevírání formy. Standardně je směr otevírání formy totožný s kladným směrem osy z. Protože mnoho modelů má náhodně zvolen směr osy z, který byl vytvořen softwarem automaticky. Ten však není vždy vhodně zvolen ve smyslu správného otevírání formy, proto je tedy nutná editace tohoto směru.



Obr. 6.3.2 Funkce Adjust orientation

Jak je již z obrázku patrné, uživatel má na výběr dvě možnosti, jak editovat směr os, a to rotací kolem osy nebo zarovnáním s osou.

Legenda:

- A - Rotací kolem osy
- B - Zarovnání s osou

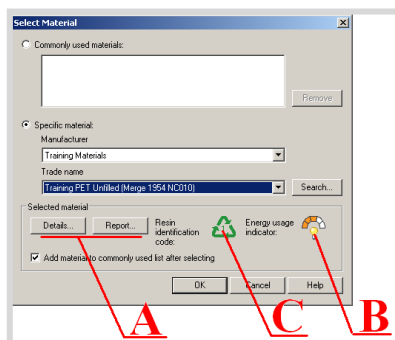
Na zvolené metodě nezáleží, mnohem důležitější je vhodně zvolit směr otevírání formy. Pro můj případ, bude kladná osa z volena tak, aby byla totožná s červenou šipkou na Obr 6.3.2.

6.3.3 Výběr materiálu (Select material)

Funkce **Select material** slouží k vybrání vhodné materiálu z knihoven Mold flow, tyto knihovny obsahují 7750 konkrétních materiálů. Informace obsažené v těchto knihovnách vedou k zpřesnění analýz založených na vlastnostech materiálů.[4] Tato funkce rovněž obsahuje i průzkumník, který usnadňuje orientaci v knihovně materiálů, je zde graficky znázorněna energetická náročnost na výrobu součásti (pozice B) a třída do které daný materiál přísluší (pozice C). Naleznete zde také popis fyzikálních a mechanických vlastností materiálu (pozice A).

Legenda:

- A- Detailní informace o zvoleném materiálu
- B- Energetická náročnost
- C- Třída materiálu, do které zvolený materiál patří

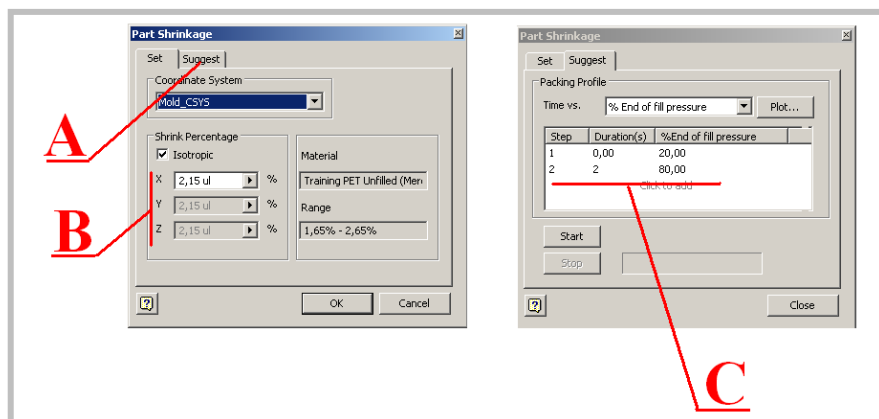


Obr. 6.3.3 Funkce Select material

Jak již bylo uvedeno v bodě 2, jako materiál pro střešní krytinu volím PET.

6.3.4 Smrštění materiálu (Shrinkage part, Shrinkage mold)

Při chladnutí výstřiku dochází k jeho smrštění. Velikost smrštění je nutno vzít v úvahu při vytváření dutiny formy tak, aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů. K tomuto účelu slouží funkce **Shrinkage part** a **Shrinkage mold**. Rozdíl mezi nimi je v tom, že **Shrinkage part** hodnotí jednotlivou část, zatím co **Shrinkage mold** hodnotí celou konstrukci formy, včetně plnicího systému. Při určování velikosti smrštění je třeba dbát i na to, zda se jedná o materiál isotropický nebo anisotropický. Velikost smrštění může být zadána manuálně (pozice A) nebo pomocí analýzy, která odhadne velikost smrštění (pozice B). Může být rovněž vytvořen profil. Profily se používají k zajištění toho, aby simulace odpovídaly aktuálnímu vstřikování co nejpřesněji (pozice C).



Obr. 6.3.4 Funkce Shrinkage part

Legenda:

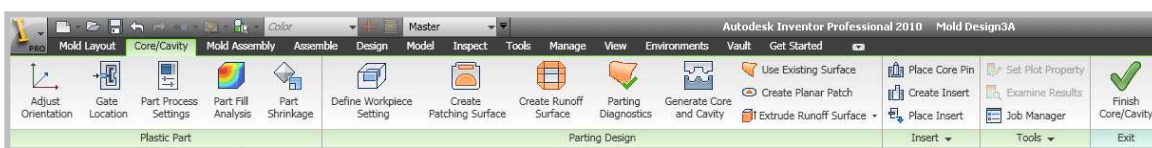
- A- Hodnoty smrštění v %
- B- Analýza smrštění
- C- Profil

Při návrhu smrštění jsem využil analýzu, která vyhodnotila smrštění v jednotlivých osách. Na základě těchto informací budou upraveny rozměry dutiny formy.

6.4 Tvorba dutiny formy

6.4

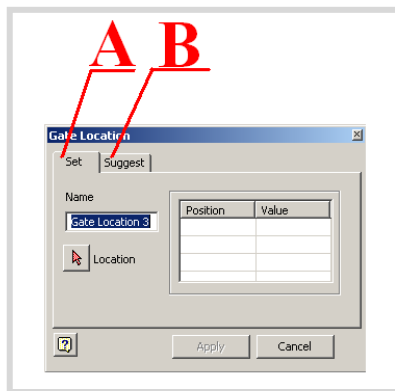
Při návrh dutiny formy se pohybujeme v kartě Core - cavity



Obr. 6.4 Karta Core - cavity

6.4.1 Pozice vtoku (Gate location)

Funkce **Gate location** slouží k výběru souřadnic na povrchu součásti, kde bude umístěn vtok. Uživatel má dvě možnosti výběru souřadnic, a to buď manuálně (pozice A), nebo pomocí analýzy, která navrhne nejvhodnější místo pro umístění vtoku (pozice B).



Obr. 6.4.1 Funkce Gate location

Legenda:

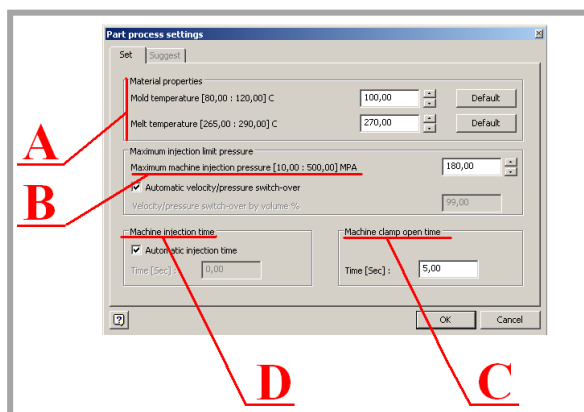
- A- Manuální umístění vtoku
- B- Analýza umístění vtoku

Volím jeden centrální vtok uprostřed. Vtok je umístěn na zakulacené ploše. Na této ploše však nedokáže software vyhodnotit analýzu tečení materiálu, proto je nutná částečná editace této plochy, a to ve velikosti bodového vtoku. Tato editace musí být provedena již v 3D modelu.

6.4.2 Nastavení procesních podmínek (Process settings)

Tato funkce slouží k nastavení procesních podmínek, které budou během vstřikování simulovány. Tyto podmínky závisí na tvaru součásti a na materiálu.

Uživatel má možnost nastavit materiálové vlastnosti, jako je teplota formy a teplota taveniny (pozice A), dále maximální vstřikovací tlak (pozice B), čas potřebný pro otevření formy (pozice C) a dobu vstřiku (pozice D). Stejně jako v předchozích případech může být použita analýza, která vygeneruje procesní podmínky, tyto podmínky mohou být rovněž nastaveny manuálně.



Obr. 6.4.2 Funkce Process settings

Legenda:

- A- Materiální vlastnosti
- B- Maximální vstřikovací tlak
- C- Čas otevírání formy
- D- Čas vstřikování

Pro návrh procesních podmínek jsem použil analýzu, která vyhodnotila nejvhodnější hodnoty.

6.5 Návrh dělicí plochy

6.5

Návrh dělicí roviny patří mezi nejdůležitější kroky. Umožňuje rozdělení dutiny formy na dvě části. Horní nazývanou Cavity a spodní nazývanou Core.

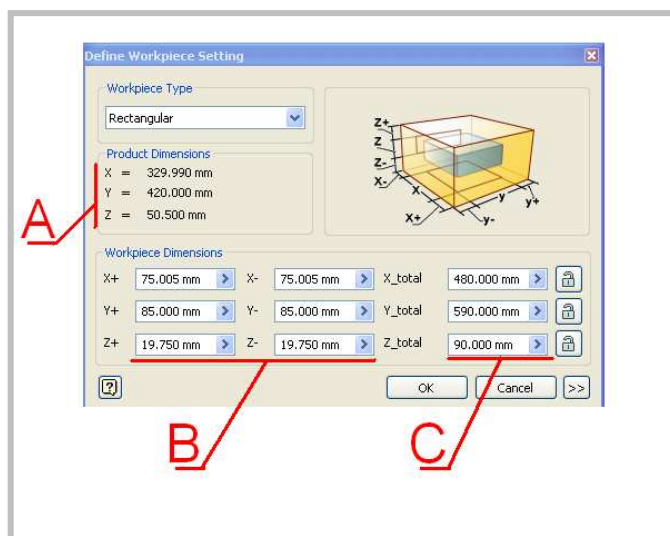
6.5.1 Návrh obrobku pro dutinu formy (Define workpiece setting)

6.5.1

Tato funkce slouží k definování obrobku, který bude použit pro výrobu tvárníku a tvárnice. Obrobek může mít tvar pravoúhlého čtyřúhelníku nebo válce. Vhodnější je volit pravoúhlý čtyřúhelník. Na obrazovce bude zobrazen tvar obrobku, u nějž může uživatel editovat jeho rozměry, jako jednotlivé přírůstky v osách (pozice B) nebo jeho absolutní hodnotu (pozice C).

Legenda:

- A- Rozměry výstřiku
- B- Přídavky na jednotlivé strany
- C- Absolutní rozměr obrobku



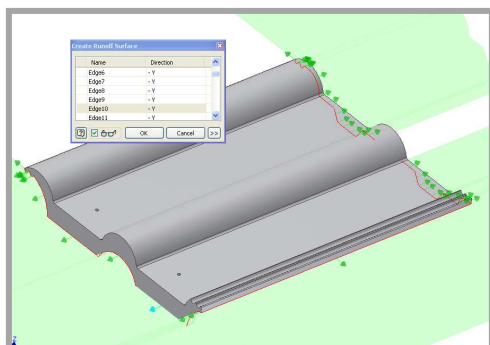
Obr. 6.5.1 Funkce Define workpiece setting

Dalším krokem bude vytvoření dělicí plochy pomocí funkce **Create patching surface** a **Create runoff surface**.

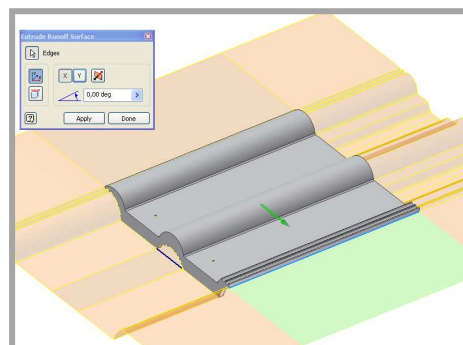
6.5.2 Vytvoření dělicí plochy (Create runoff surface)

Tímto úkolem se rozumí vytvořit plochu, která rozdělí dutinu na dvě části, a tak vznikne tvárník a tvárnice. K tomuto účelu nám slouží funkce jako **Create runoff surface** (Obr. 6.5.2A), která automaticky vygeneruje smyčku na hranách výstřiku, na níž se pak vytvoří dělicí plocha skládající se z mnoha segmentů. V případě, že jednotlivé segmenty nevyhovují pro vhodnou tvorbu dělicí plochy, je možné jednotlivé segmenty editovat nebo úplně odstranit. Pro lepší orientaci je u každého segmentu znázorněn vektor.

Funkce jako **Extrude runoff surface**, **Boundet runoff surface** nebo **Radiate runoff surface** (Obr 6.5.2B) umožní vytvořit dělicí plochu po jednotlivých segmentech. U těchto funkcí vytvoří uživatel dílčí část dělicí plochy tak, že vyberete hranu a vhodným natočením vektorů vyberete správný směr. Ve většině případu je dělicí rovina vytvořena vhodnou kombinací těchto funkcí.



Obr. 6.5.2A Funkce Create runoff surface



Obr. 6.5.2B Funkce Extrude runoff surface



Obr. 6.5.2C Karta Parting design

Posledním krokem pro vytvoření tvárníku a tvárnice je funkce **Generate core and cavity**, která automaticky vytvoří tvárník a tvárnici.

U tvárníku a tvárnice je nutné vytvořit osazení, které bude sloužit pro jejich upevnění.

6.6 Analýzy tečení materiálu

6.6

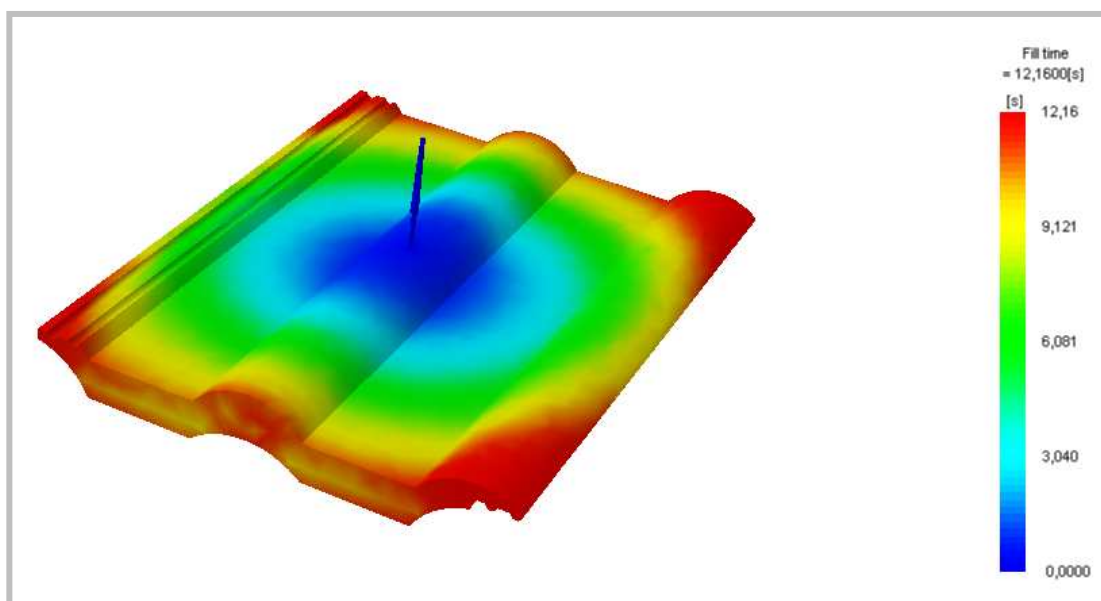
Autodesk nabízí dvě funkce, které dokážou simulovat jednotlivé fáze vstřikovacího procesu. Jedná se o analýzu tečení v 3D modelu (**Part fill analysis**) nebo o analýzu tečení materiálu v celé formě (**Mold fill analysis**). Rozdíl, mezi těmito dvěma analýzami je v tom, že jedna simuluje chování materiálu pouze v 3D modelu a druhá vyhodnocuje chování materiálu jako celek, tím se myslí 3D model včetně všech vtoků, rozváděcích kanálů atd. Princip, včetně vyhotovení výsledku i jeho grafické zpracování, je u obou funkcí totožný.

Na základě této analýzy získáte šest dílčích výsledků, tyto výsledky naleznete v prohlížeči (browser).

6.6.1 Čas plnění (Fill time result)

6.6.1

Ukazuje pozici polymeru v dutině v závislosti na čase. Jednotlivé časové kroky jsou rozlišeny různými druhy barev. Na začátku injekce je barva tmavě modrá, poslední místa vyplnění jsou tmavě červené.



Obr. 6.6.1 Fill time result

6.6.2 Spolehlivost plnění (Confidence of fill result)

Tento výsledek graficky znázorní schopnost polymeru vyplnit formu. Výstřik bude barevně vykreslen, kde jednotlivé barvy reprezentují:

Zelená: Forma bude 100% vyplněna.

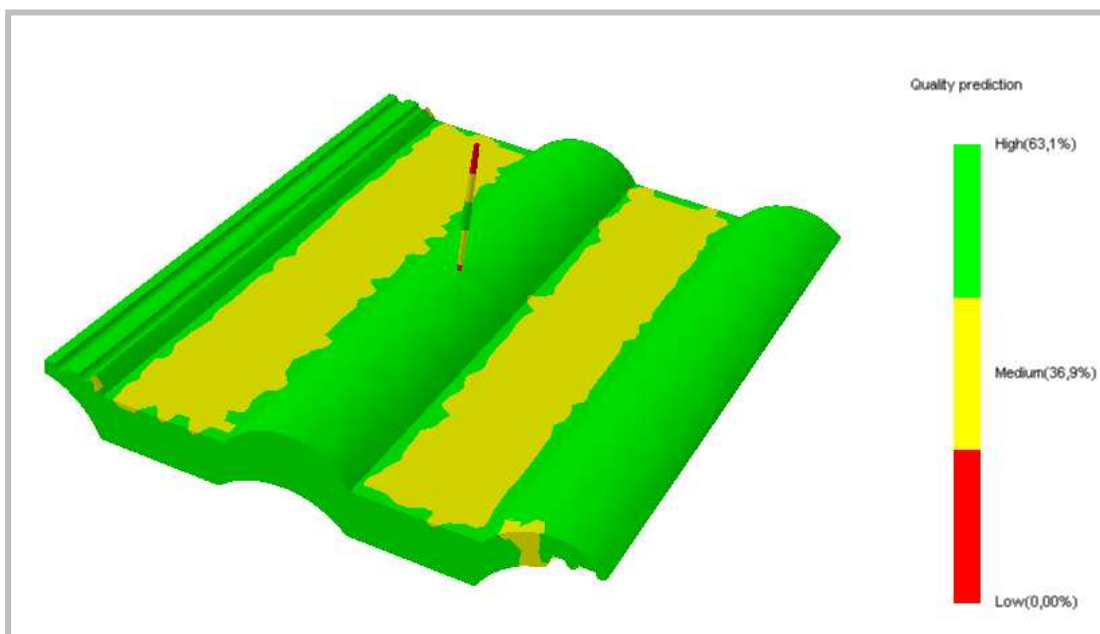
Žlutá: Forma může být obtížněji vyplnitelná nebo bude horší kvalita výstřiku.

Červená: Forma půjde obtížně naplnit nebo bude špatná kvalita.

Světle šedá: Forma nelze naplnit.

6.6.3 Předpověď kvality (Quality prediction result)

Opětovně získáte barevné zpracování součástí, kde jednotlivé barvy reprezentují kvalitu mechanických vlastností a vzhledových ploch.



Obr. 6.6.3 Quality prediction result

Zelená: Kvalita bude vysoká.

Žlutá: Můžou nastat problémy s kvalitou.

Červená: Budou určité problémy s kvalitou.

6.6.4 Bubliny (Air traps result)

Tento výsledek znázorní, kde je možný výskyt vad vzniklých v důsledku uvěznění vzduchu. Tyto vady se mohou projevit ve formě bublin uvíznutých v polymeru, vad na povrchu dílu atd.

6.6.5 Svarové čary (Weld lines resul)

Výsledek znázorňuje oblasti, kde dochází ke spojení proudu polymeru. Přítomnost svarových linek může naznačovat strukturální slabost nebo povrchové vady.

Na závěr je vytvořen souhrnný přehled, který obsahuje dobu vstřiku, dobu otevírání formy, max. uzavírací sílu atd.

Vhodné by bylo snížit tloušťku střešní krtiny, dosáhlo by se lepší kvality plochy.

6.7 Plnicí systém (gate, runner, runner sketch)

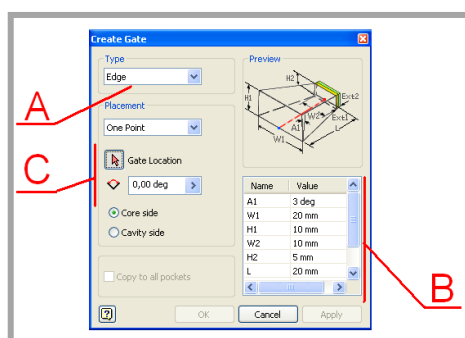
Plnicí systém slouží k dopravě roztaveného polymeru od trysky stroje do dutiny formy. Plnicí systém se skládá z rozváděcích kanálků (**Runner**), vtoků (**Gate**) a licího pouzdra (**Sprue bushing**).

Forma byla volena jako jednonásobná, proto zde nejsou rozváděcí kanálky.

6.7.1 Vtok (Gate)

Vtoky jsou předdefinované tvary, které spojují rozváděcí kanály nebo licí pouzdro s dutinou formy. Uživatel vytvoří vtok tak, že vybere vhodný tvar (pozice A), nadefinuje jeho rozměry (pozice B) a na závěr vloží vtok mezi zvolenou pozici vtoku a konec rozváděcího kanálu popřípadě licího pouzdra (pozice C).

Pro bezproblémové vytažení výstřiku spolu s vtokem je nutné, aby vtok měl tvar komolého kužele. Takový tvar však není v nabídce vtoku a rovněž ho nelze vytvořit editací jiných tvarů. Z tohoto důvodu bylo vytvořeno pouzdro s požadovaným vnitřním tvarem. Avšak pro analýzu tečení materiálu v celé formě je nutné spojení mezi licím pouzdem a dutinou pomocí vtoku. To bylo provedeno pomocí kuželového vtoku, který slouží pouze pro realizaci analýzy.



Obr. 6.7.2 Funkce gate

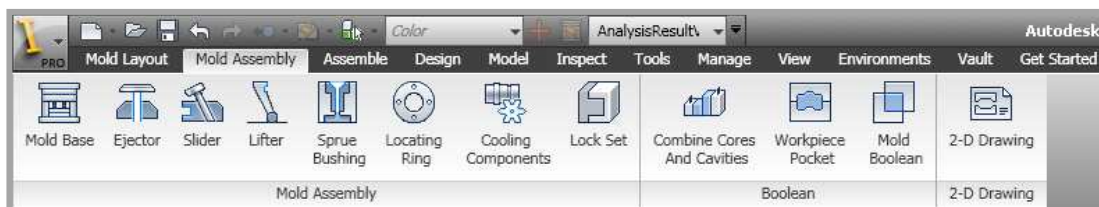
Legenda:

- A- Typ vtoku
- B- Poloha vtoku
- C- rozměry

6.8 Sestava formy

Při návrhu sestavy musí uživatel přepnout na kartu **Mold assembly** (Obr. 6.8).

V této kartě nalezne uživatel širokou škálu standardně vyráběných komponentů od společností jako je: DME, FUTUBA, HASCO, PROGRESSIVE atd., které jsou definovány v knihovnách. Úkolem uživatele zůstává zvolit jednotlivé komponenty dle potřeby a vhodně je poskládat dohromady.



Obr. 6.8 Karta Mold assembly

6.8.1 Rám formy (Mold base)

Tato funkce slouží k vložení rámu formy, rám formy je složen z několika desek, které jsou sešroubovány a spojeny pomocí pouzder, které umožní pohyb jednotlivých částí formy. Stejně tak, jako v předešlých případech, je úkolem uživatele pouze vybrat druh, tvar a rozměr rámu. Dle potřeby je možné jednotlivé komponenty v rámu editovat.

V rámu formy byly upraveny upínací desky tak, aby umožňovaly upnutí tvárníku a tvárnice, dále je nutné vytvořit díry pro kolíky v jednotlivých deskách. Volím rám formy Polimond 4-3A o rozměrech 696 x 796 mm (Obr. 6.8.A pozice A).

6.8.2 Vyhazovač (Ejector)

V této funkci uživatel nalezne vyhazovací kolíky. Vyhazovací kolíky slouží k vyhození výstřiku spolu s vtokovým systémem. Uživatel si vybere druh použití kolíku. Určí, zda bude kolík použit pro vyhození výstřiku nebo vtokového systému. Uživatel dále musí nadefinovat rozměry kolíků a určit polohu jednotlivých kolíků na vyhazovací desce.

Pro vyhození výstřiku jsem použil 8 kolíků DME AH o průměru D 20mm a délce 315mm. Tyto kolíky jsou rovnoměrně rozmístěny na vyhazovací desce (Obr. 6.8.A pozice D).

6.8.3 Licí pouzdro (Sprue bushing)

Licí pouzdro slouží k vedení roztaveného polymeru od trysky stroje k rozváděcím kanálkům nebo přímo přes vtok do dutiny formy. Konec licího pouzdra je spojen s rozváděcími kanálkami nebo přímo s dutinou formy přes vtok. I v tomto případě má uživatel na výběr velkou škálu pouzder různých tvarů a délek. Úkolem je pouze vybrat vhodný tvar, délku a určit polohu umístění pouzdra na formě.

Volím pouzdro DME AGN o celkové délce 56mm a velkém průměru D 38mm (Obr. 6.8.B pozice F).

6.8.4 Poziční kroužek (Locating ring)

6.8.4

Poziční kroužek slouží k zabránění úniku roztaveného polymeru mezi tryskou stroje a licím pouzdem a současně k vystředění formy. Postup, umístění i volba rozměrů je totožná jako v předchozích případech.

Volím poziční kroužek Rabourdin 646 – Typ B (Obr. 6.8.B pozice E).

6.9 Chladicí systém

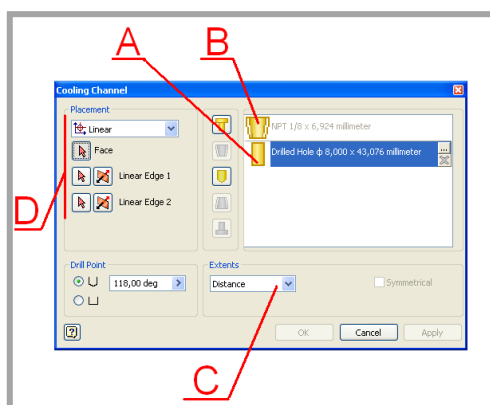
6.9

Chladicím systémem se rozumí síť propojených kanálků, kterými bude proudit chladicí medium. Chladicí médium bude odvádět přebytečné teplo a zajistí rovnoměrné rozložení teploty formy.

6.9.1 Chladicí kanály (Cooling channel)

6.9.1

Při umísťování chladicího kanálu se vybírá průměr vrtané díry (pozice A), koncové zahloubení a druh závitu (pozice B). Dále musí uživatel vybrat délku chladicího kanálu (pozice C). Na závěr se vybere poloha (pozice D), ve které bude chladicí kanál umístěn. Zde má uživatel na výběr několik možností: lineárně, do skici, atd. Při umístění chladicího kanálu do skici musí být nejprve vytvořena skica, postup je shodný jako pro vytváření skici pro plnicí kanál.



Obr. 6.9.1 Funkce cooling channel

Legenda:

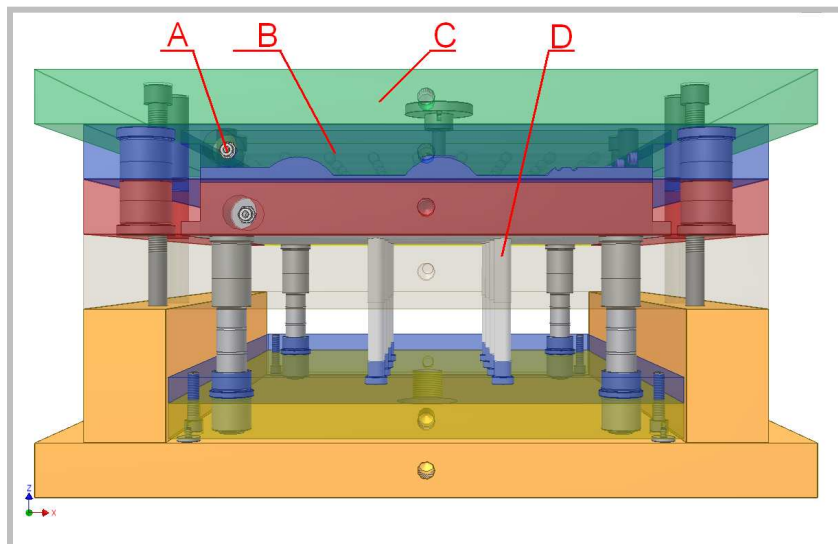
- A- Rozměry vrtání
- B- Rozměry zahloubení konce
- C- Výběr délky vrtání
- D- Poloha chladicího kanálku

Chladicí kanálky byly vytvořeny přímo v tvárníku a tvárnici za pomoci funkce vrtání děr a poté k nim byly vytvořeny závity.

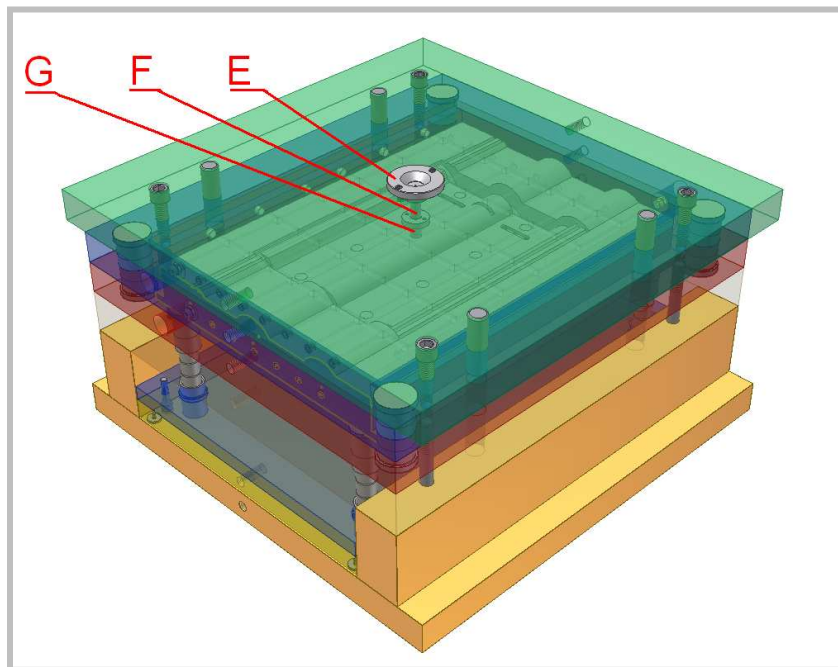
6.9.2 Chladicí komponenty (Cooling components)

Tato funkce obsahuje řadu armatur, které se používají jako příslušenství pro spojení, uzavření a utěsnění chladících kanálků.

Pro potřeby formy volím spojky DME ST 16 - M14 x 1.5 (Obr. 6.8.A pozice A) a zátky DNE V - M14 x 1.5.



Obr. 6.8.A Vstřikovací forma, čelní pohled



Obr. 6.8.B 3D pohled

Legenda:

A – spojka, B – tvárník, tvárnice, C – upínací deska, D – vyhazovací kolíky
E – poziční kroužek, F – licí pouzdro, G – licí vložka (není normalizovaná)

7. ZÁVĚR

První část bakalářské práce je věnována současnému stavu poznání. Zde jsou stručně popsány základní konstrukční a technologické prvky, které se běžně používají při konstrukci vstřikovacích forem. Ve druhé části práce je větší pozornost věnována popisu jednotlivých částí v softwarovém modulu, které byly použity pro konstrukci vstřikovací formy. Rovněž byl vytvořen 3D model výstřiku a vstřikovací formy spolu s výkresem sestavení formy. V neposlední řadě je konstrukční část rozšířena o popis jednotlivých úprav, které je nutno vykonat pro správnou funkci formy. Pro výstižnější popis tohoto softwaru není výstřik ve formě střešní krytiny příliš vhodný. Jako vhodnější tvar pro popis jednotlivých částí tohoto softwaru by se jevil výstřik skořepinového tvaru spolu s vícenásobnou formou. V případě komerční výroby střešní krytiny pomocí vstřikování by za větší pozornost při návrhu vstřikovací formy stala vhodná volba násobnosti formy, s níž je rovněž spjata i volba vtokového systému. Vtokový systém by měl být navržen tak, aby nebylo nutné jeho dodatečné odstranění. Další pozornost by měla být věnována analýze chlazení a to tak, aby byl zaručen rovnoměrný odvod přebytečného tepla z formy. Konstrukce složitější vstřikovací formy je poměrně složitý proces, který vyžaduje znalosti na patřičné úrovni současně s dostatečnou praxí.

Autodesk Inventor – Tooling je nástroj, který umožňuje zvýšení efektivity a snížení času potřebného pro konstrukci vstřikovací formy, což se ve finálním výsledku projeví snížením finančních nákladů na výrobu formy. Jako každý software má i tento drobné nedostatky, jako je například absence analýzy chlazení nebo funkce pro simulaci pohybu. V budoucnu by měla být pozornost věnována právě zmíněným problémům a rovněž by mělo dojít k rozšíření knihoven a o nové normalizované díly.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů : I. díl - Vstřikování termoplastů*. 2. opr. vyd. Brno : UNIPLAS Brno, 1999. 134 s.
- [2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů : II. díl - Vstřikování termoplastů*. Brno : UNIPLAS Brno, 1999. 214 s.
- [3] KAZMER, David. O. *Injection mold design engineering* [online]. USA : Hanser Gardner Publications, 2007 [cit. 2010-04-24]. Introduction, s. . Dostupné z WWW:<<http://books.google.cz/books?id=fWTftzWhBp4C&pg=PA1&dq=Injection+mold+design+engineering&cd=1#v=onepage&q&f=false>>.
- [4] Autodesk Inventor Professional 2010. *Tutorial file* [počítačový program, pevný disk]. Počítačový program pro tvorbu 3D modelů. [cit 2010-05-05].
- [5] *Katedra tváření kovů a plastů : Skripta* [online]. 26. listopadu 2008 9:25:00. 2008 [cit. 2010-05-25]. Vstřikování plastů. Dostupné z WWW:<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>.
- [6] Doplnky k vstřikovacím formám na plasty. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 1, [cit. 2010-05-25]. Dostupný z WWW:<<http://www.mmspektrum.com/clanek/doplanky-k-vstrikovacim-formam-na-plasty>>.
- [7] Snižování výrobních nákladů pomocí simulační analýzy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 1, [cit. 2010-05-25]. Dostupný z WWW:<<http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-vyrobnich-nakladu-pomoci-simulacni-analyzy>>.
- [8] Konstrukce forem pro plastové díly. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 1, [cit. 2010-05-25]. Dostupný z WWW:<<http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrukce-forem-pro-plastove-dily>>.
- [9] *Plasty a CAD/CAM/CNC* [online]. 2009, 25. května 2010 15:10:52. 2009 [cit. 2010-05-25]. Plasty a CAD/CAM/CNC. Dostupné z WWW:<<http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1477-plasty-a-cadcam.html>>.
- [10] *MoldFlow Plastic Advisor* [online]. 2009, 25. května 2010 15:07:51 [cit. 2010-05-25]. AV ENGINEERING. Dostupné z WWW:<<http://www.aveng.cz/technologie/doplnekove-produkty/moldflow-plastic-advisor.aspx>>.
- [11] *Katedra tváření kovů a plastů : Skripta* [online]. 26. listopadu 2008 9:25:00. 2008 [cit. 2010-05-25]. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. Dostupné z WWW:<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm>.

- [12] Detail [online]. 20. února 2010 11:01:22. 2009 [cit. 2010-05-25]. Invtooling10. Dostupné z WWW: <http://images.autodesk.com/emea_apac_main/files/invtooling10_detail__bro_u_s.pdf>.
- [13] *Autodesk Inventor* [online]. 2009, 25. května 2010 23:27:34 [cit. 2010-05-25]. Xanadu. Dostupné z WWW: <<http://www.xanadu.cz/inventor>>.
- [14] ŘEHULKA, Z. *Konstrukce výlisků z platů a forem pro zpracování plastů*, 3 vydání, SEKURKON Brno: 2004. 203 s. ISBN 80-86604-11-X.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1.3 Schéma vstřikovacího stroje [3]	15
Obr. 1.3 Průběh smrštění [1].....	16
Obr. 1.4 Vtokový systém [1]	17
Obr. 1.5.1 Princip vyhazování pomocí kolíků [2]	18
Obr. 1.5.2 Princip vyhazování pomocí stírací desky [2]	19
Obr. 1.8 Schéma třídeskové vstřikovací formy [3].....	22
Obr. 1.8.1.A Rám s jednu dělicí rovinou [2]	20
Obr. 1.8.1.B Rám se dvěma dělicími rovinami [7].....	20
Obr. 5 Funkce Koncepce řešení	26
Obr. 5.A Centrální vtok uprostřed na spodní ploše výstřiku	27
Obr. 5.B Se dvěma vtoky na krajích	27
Obr. 5.C S centrálním vtokem uprostřed na horní ploše výstřiku	27
Obr. 6.1 Model střešní krytiny	29
Obr. 6.2 Uživatelské prostředí	30
Obr. 6.3 Karta Mold layout.....	30
Obr. 6.3.2 Funkce Adjust orientation	31
Obr. 6.3.3 Funkce Select material.....	32
Obr. 6.3.4 Funkce Shrinkage part	33
Obr. 6.4 Karta Core - cavity	33
Obr. 6.4.1 Funkce Gate location	34
Obr. 6.4.2 Funkce Proces setting	35
Obr. 6.5.1 Define workpiece setting	36
Obr. 6.5.2.A Funkce Create runoff surface.....	36
Obr. 6.5.2.B Funkce Extrude runoff surface.....	36
Obr. 6.5.2.C Karta Parting design.....	37
Obr. 6.6 Quality prediction result	38
Obr. 6.6.1 Fill time result.....	37
Obr. 6.7.2 Funkce Gate	39
Obr. 6.8 Karta Mold assembly	40
Obr. 6.8.A Vstřikovací forma, čelní pohled	42
Obr. 6.8.B Vstřikovací forma 3D pohled.....	42
Obr. 6.9.1 Funkce Cooling chanel	41

10. SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH

1A_SESTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY

výkres

