

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh vstřikovací formy se studenou vtokovou soustavou

Autor: **Jiří Penzenstadler**

Vedoucí práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří PENZENSTADLER
Osobní číslo: S11B0332P
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: Konstrukce průmyslové techniky
Název tématu: Návrh vstřikovací formy se studenou vtokovou soustavou
Zadávající katedra: Katedra konstruování strojů

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Vypracování rešerše na téma vstřikovací formy. Návrh vstřikovací formy pro část kuchyňského spotřebiče nebo automotive. Výkresová dokumentace: výkres sestavení, seznam položek a výrobní výkres.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše na zadané téma.
2. Návrh vstřikovací formy.
3. Vypracování 3D modelu vstřikovací formy.
4. Zhodnocení návrhu a výkresová dokumentace.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran A4
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním.* Praha: SNTL, 1986.

KOLOUCH, J. *Strojní součásti z plastů.* Praha: SNTL, 1981.

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**

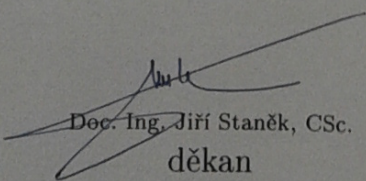
Katedra konstruování strojů

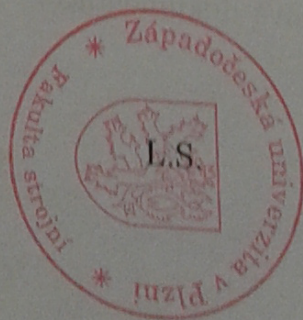
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**

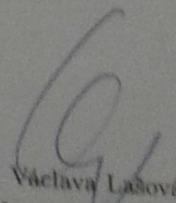
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 22. září 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování vedoucí bakalářské práce Ing. Evě Krónerové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Penzenstadler	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	B2341 „Konstrukce průmyslové techniky“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Krónerová, Ph.D.	Jméno Eva	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh vstřikovací formy se studenou vtokovou soustavou		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	83	TEXTOVÁ ČÁST	63	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Cílem bakalářské práce je vypracovat rešerši na téma vstřikovací formy. Provést simulaci vstřikovacího procesu. Navrhnout 3D vstřikovací formu. Zhotovit výkres sestavy, seznam položek vstřikovací formy a výrobní výkres pohyblivé desky. Zhodnotit návrh vstřikovací formy.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>vstřikování, polypropylen, návrh, simulace, konstrukce, forma, model, vtok, temperace</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Penzenstadler	Name Jiří	
FIELD OF STUDY	B2341 “ Design of Manufacturing Machines“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Krónerová, Ph.D.	Name Eva	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of injection mold with cold gating		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2015
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	83	TEXT PART	63	GRAPHICAL PART	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim of this thesis is to develop a search on the topic of the injection mold. To simulate the injection molding process. Suggest 3D injection mold. Make drawing assembly, list items injection mold and manufacturing drawing of the movable plate. Evaluate the proposal of the injection mold.
KEY WORDS	injection, polypropylene, design, simulation, design, mold, model, intake, tempering

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek.....	10
1. Úvod.....	11
1.1. Zadání.....	11
2. Polymer.....	12
2.1. Plast.....	12
2.1.1. Termoplast.....	12
2.1.2. Reaktoplast.....	12
2.2. Elastomer.....	13
3. Technologie vstřikování plastů.....	14
3.1. Cyklus vstřikování.....	14
3.2. Výhody vstřikování.....	14
3.3. Nevýhody vstřikování.....	14
4. Vstřikovací stroje.....	15
4.1. Vstřikovací jednotka.....	15
4.1.1. Šnek.....	16
4.1.2. Tavicí komora.....	17
4.2. Uzavírací jednotka.....	17
4.3. Řízení a regulace.....	18
5. Vstřikovací forma.....	19
5.1. Složení vstřikovací formy.....	19
5.1.1. Vtokový systém.....	20
5.1.2. Tvářecí systém.....	21
5.1.3. Chladicí (temperační) systém.....	21
5.1.4. Vyhazovací systém.....	22
5.1.5. Upínací systém.....	24
5.2. Rozdělení vstřikovacích forem.....	24
5.2.1. podle násobnosti formy.....	24
5.2.2. podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení formy.....	25
5.2.3. podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy.....	25
5.3. Materiály komponent forem.....	26
6. Simulace vstřikování součástí.....	27
6.1. Analýza Gate Location (umístění vtoku).....	28
6.2. Analýza Molding Window (licí okno).....	30
6.3. Analýza Fill (vyplnění).....	32
6.3.1. Quality Prediction (předpokládaná kvalita).....	33
6.3.2. Confidence of Fill (důvěra výplně).....	34
6.3.3. Fill Time (čas plnění).....	35
6.3.4. Injection Pressure (vstřikovací tlak).....	35
6.3.5. Air traps (vzduchové kapsy).....	36
6.3.6. Weld lines (studené spoje).....	36
6.4. Analýza Cooling Quality (kvalita chlazení).....	37
6.4.1. Cooling time variance (rozdílné chlazení v čase).....	37
6.5. Analýza Sink Mark (propadliny).....	38
6.5.1. Sink marks estimate (odhad propadlin).....	39
6.6. Celkové zhodnocení analýz.....	39
7. Praktická část.....	40
7.1. Zadání.....	40
7.2. Materiál výstřiku.....	40
7.2.1. Mechanické vlastnosti.....	40
7.2.2. Teplotní vlastnosti.....	41
7.3. Konstrukce formy.....	41
7.4. Dělicí rovina.....	42
7.5. Složení vstřikovací formy.....	42
7.6. Vtokový systém.....	44
7.6.1. Výpočet hlavního vtokového kanálu.....	45

7.6.2.	Výpočet vtokového kužele	45
7.7.	Tvářecí systém	46
7.7.1.	Pevná část formy.....	46
7.7.2.	Pohyblivá část formy.....	49
7.8.	Vyhazovací systém.....	54
7.9.	Chladicí (temperační) systém	56
7.9.1.	Konformní chlazení.....	57
8.	Výkresová dokumentace vstříkovací formy	59
9.	Závěr.....	60
	Použitá literatura a zdroje	61
	Seznam obrázků	62
	Seznam tabulek.....	64
	Seznam příloh	65

Seznam použitých symbolů a zkratek

symbol/zkratka	název	jednotka
3D	tří dimenzionální	
PE	polyethylen	
PP	polypropylen	
PET	polyethylentereftalát	
D	průměr šneku	[mm]
L	délka šneku	[mm]
Q _v	vstřikovací kapacita	[cm ³]
Q _p	plastikační kapacita	[kg/h]
p _{vstř}	max. vstřikovací tlak	[MPa]
v	objemová vstřikovací rychlost	[cm ³ /s]
p	tlak	[MPa]
t	čas	[s]
t	teplota	[°C]
l	délka	[mm]
ρ	hustota	[g/cm ³]
m	hmotnost	[g]
D _{HV}	průměr hlavního vtokového kanálu	[mm]
L _{HV}	délka hlavního vtokového kanálu	[mm]
S _{HV}	průřez hlavního vtokového kanálu	[mm ²]
S _K	průřez vtokového kužele	[mm ²]
n	počtu hlavních vtokových kanálů	[-]
k	koeficientu násobnosti formy	[-]
D _K	průměr vtokového kužele	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[-]

1. Úvod

Cílem této práce je návrh vstřikovací formy se studenou vtokovou soustavou. Před samotným konstrukčním návrhem zde budou popsány všeobecné poznatky o polymerech, technologii vstřikování plastů, vstřikovacích strojích a vstřikovacích formách. Konstrukční návrh bude zpracován v podobě kompletního 3D modelu vstřikovací formy a výkresové dokumentace vybrané části.

1.1. Zadání

Vypracovat rešerši na téma vstřikovací formy. Vybrat si plastovou součást z kuchyňského spotřebiče nebo z automotive. Provést simulaci vstřikovacího procesu. Navrhnout 3D vstřikovací formu. Zhotovit výkres sestavy, seznam položek vstřikovací formy a výrobní výkres pohyblivé desky. Zhodnotit návrh vstřikovací formy.

2. Polymer

Polymer je látka skládající se z molekul jednoho nebo více druhů atomů. Z atomů uhlíku, vodíku, kyslíku a další mohou být z atomů dusíku, chlóru, křemíku. Vlastnosti polymerů určuje jejich struktura, fázový stav, molekulová hmotnost a přísady. Polymery se rozdělují na plasty a elastomery. Plasty dále pak na termoplasty a reaktoplasty.

2.1. Plast

Plast je makromolekulární látka (polymer). Plasty jsou tvořeny molekulárními řetězci. To znamená dlouhými molekulami s opakujícími se základními strukturními jednotkami. Řetězce musí být mezi sebou spojeny chemickými vazbami. Za běžných podmínek jsou plasty většinou tvrdé látky. Dojde-li ke zvýšení teploty, stávají se plastickými (odtud vznikl název plasty) a můžeme je tvarovat. Vlastnosti plastů oproti kovům mají většinou lepší schopnost tlumit rázy a vibrace, odolnost proti opotřebením, chemickou odolnost a horší rozměrovou a tvarovou stálost, tepelnou odolnost. Při zvyšování teploty se u všech plastů snižuje pevnost a modul pružnosti a naopak roste tažnost a houževnatost.

2.1.1. Termoplast

Při zvýšené teplotě přechází z tuhého stavu do plastického. Tento stav je vratný. Proto jsou tyto materiály vhodné k recyklaci. Mezi termoplasty patří například PE – polyethylen, PP – polypropylen, PET – polyethylentereftalát.

TERMOPLASTY				
<i>Polyolefiny</i>		<i>Akryláty</i>		
PE	polyetylén	PMMA	polymethylmetakrylát	
	HDPE	lineární polyetylén	MBS	metylmetakrylát – butadien - styren
	LDPE	rozvětvený polyetylén	<i>Polyamidy</i>	
	UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	PA	polyamid
PP	polypropylén	<i>Polyétery</i>		
<i>Chlorované plasty</i>		POM	polyoxymetylén	
PVC	polyvinylchlorid	PFO	polyfenylénoxid	
<i>Styrénové plasty</i>		<i>Polyestery</i>		
PS	polystyrén	PET	polyethylentereftalát	
	PS-GP	standardní polystyrén	PBT	polybutylentereftalát
	PS-HI	houževnatý polystyrén	PC	polykarbonát
	PS-E	pěnový polystyrén	<i>Vinylové plasty</i>	
SB	styrén – butadien	PVAC	polyvinylacetát	
ABS	akrylonitril – butadien – styrén	<i>Ketony, sulfidy, sulfony a imidy</i>		
SAN	styrén – akrylonitril	PEEK	polyéterétherketon	
ASA	akrylonitril – styrén – akrylát	PPS	polyfenylénsulfid	
<i>Fluoroplasty</i>		PSU	polysulfon	
PTFE	polytetrafluóretylén	PES	polyéthersulfon	
ETFE	etylén – tetrafluóretylén	PI	polyimid	

Tabulka 1 - Rozdělení a zkratky termoplastů [1]

2.1.2. Reaktoplast

Při chemické reakci a při působení tepla dochází k vytvrzování též zesíťování. Plast po vytvrzení je tvrdý. Vytvrzené plasty pojmenováváme reaktoplasty, dříve také jako termosety. Tyto materiály nelze po vytvrzení znovu roztavit. Jedná se o změnu nevratnou,

trvalou. Mezi reaktoplasty patří například fenolformaldehydová pryskyřice (původní obchodní název bakelit).

REAKTOPLASTY			
<i>Fenoplasty</i>		<i>Epoxidy</i>	
PF	fenolformaldehydová pryskyřice	EP	epoxidová pryskyřice
<i>Aminoplasty</i>		<i>Polyesterové pryskyřice</i>	
UF	močovinoformaldehydová pryskyřice	PESL	polyesterové skelné lamináty
MF	melaminové pryskyřice		

Tabulka 2 - Rozdělení a zkratky reaktoplastů [1]

2.2. Elastomer

Elastomery patří mezi vysoce elastické polymery. Za běžných podmínek můžeme elastomery malou silou značně deformovat bez porušení. Deformace je tedy převážně vratná. V elastomerech jsou nejvíce zastoupeny kaučuky, z kterých se vyrábí pryž.

3. Technologie vstřikování plastů

Vstřikováním se vyrábějí výrobky, které mají charakter buď konečného výrobku, nebo polotovaru. Produkty vzniklé vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování patří mezi nejrozšířenější technologie na zpracování plastů. Jedná se o proces cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, vstřikují se i některé reaktoplasty a kaučuky.

3.1. Cyklus vstřikování

Plast ve tvaru granulí je nasypán do násypky. Pracovní část vstřikovacího stroje (šnek nebo píst) odebírá granule z násypky, odkud je dopravuje do tavicí komory. Zde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Ta je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Dalším cyklem je dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Finální výrobek vznikne na základě odevzdání tepla formě, poté v ní ztuhne. Následuje otevření formy, vyhození výrobku a celý cyklus se opakuje.

3.2. Výhody vstřikování

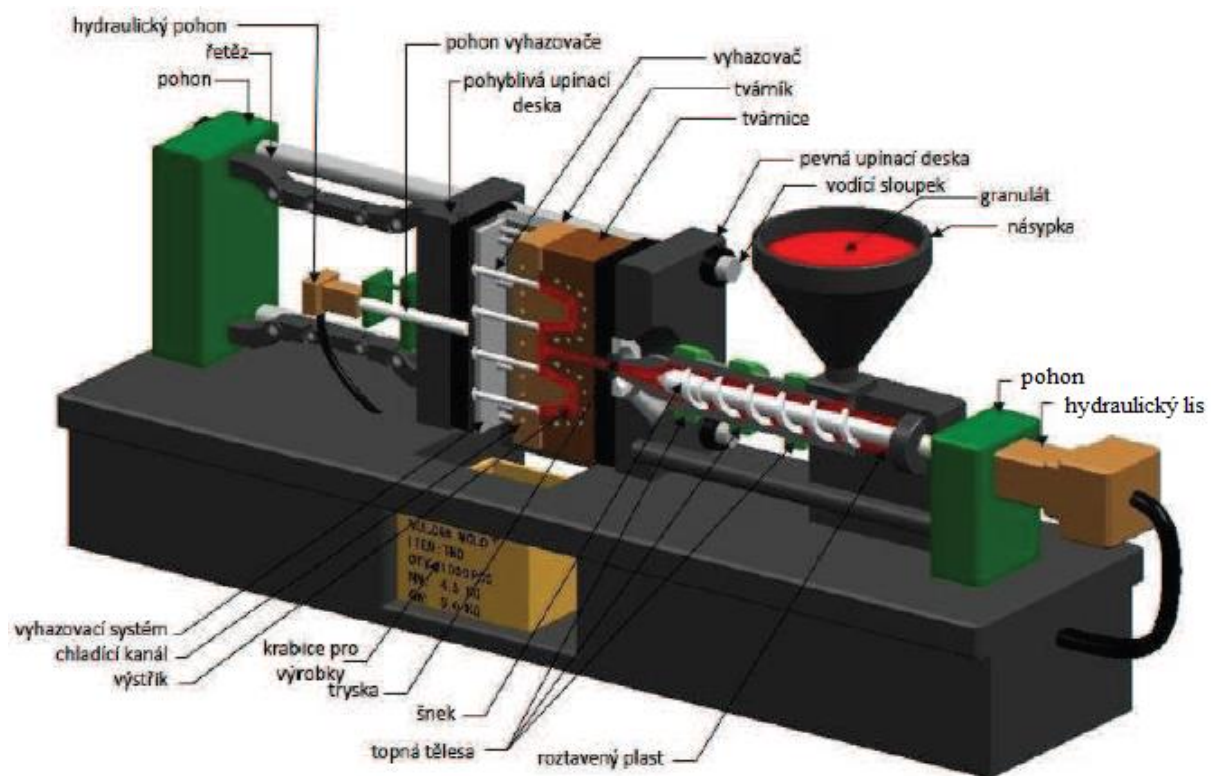
Mezi výhody vstřikování patří krátký čas cyklu, možnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů, velmi dobrou jakostí povrchu, ale i konstrukční variabilitou.

3.3. Nevýhody vstřikování

Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké počáteční náklady. Další nevýhody jsou dlouhé doby nutné pro výrobu forem a strojního zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem.

4. Vstříkovací stroje

Vstříkovací proces probíhá na moderních vstříkovacích strojích, které jsou většinou plně automatické. Z tohoto důvodu se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena stroje i vstříkovací formy je značně vysoká. Součástí vstříkovacího stroje je vstříkovací jednotka, uzavírací jednotka, řízení a regulace. V dnešní době jsou výrobci vstříkovacích strojů schopni vybavit vstříkovací stroj tak, aby vzniklo poloautomatizované nebo plně automatizované pracoviště, to znamená dovybavit stroj manipulátory, roboty, temperačním zařízením, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárny, dopravníky pro výrobky a vtoky, mlýny, atd. Mezi nejznámější výrobce vstříkovacích strojů patří firmy Engel, Arburg a Invera.



Obrázek 1 - Schéma vstříkovacího stroje [2]

4.1. Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě, poté vstříkují taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. Vstříkovací jednotky se rozdělují podle principu manipulace s granulátem na pístové a šnekové. V dnešní době se používají převážně šnekové vstříkovací jednotky. Vstříkovací jednotka se skládá z násypky, šneku (pístu), tavicí komory, topení a trysky.

Parametry vstříkovací jednotky:

D [mm] ... průměr šneku

L [mm] ... délka šneku

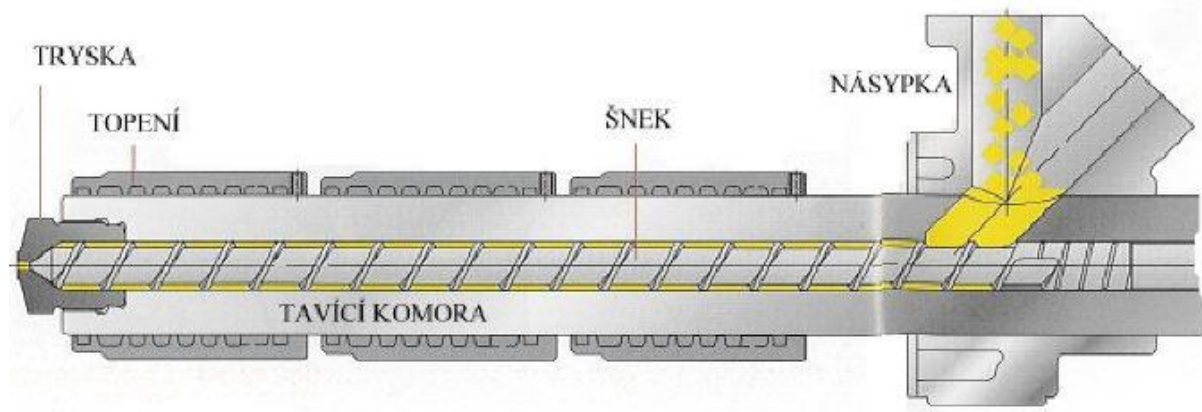
Q_v [cm³] ... vstřikovací kapacita

Q_p [kg/h] ... plastikační kapacita

$p_{vstř}$ [MPa] ... max. vstřikovací tlak

v [cm³/s] ... objemová vstřikovací rychlost

universální nebo speciální šnek



Obrázek 2 - Vstřikovací jednotka [1]

4.1.1. Šnek

Po nasypání granulátu do násypky se začne šnek otáčet a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavicí komory. Zde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku. Šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. [1]

První část diferenciálního šneku se nazývá vstupní nebo také dopravní, někdy i dávkovací. Pod násypkou je šnekový kanál (též drážka šneku). Drážka šneku je zde nejhlubší, tím pádem průměr jádra šneku nejmenší. Průměr jádra šneku je konstantní. V této části je zpracováván materiál hlavně stlačován, dochází k vytlačování vzduchu mezi granulátem a k zahřívání. Na konci této části může docházet i k tání granulátu.

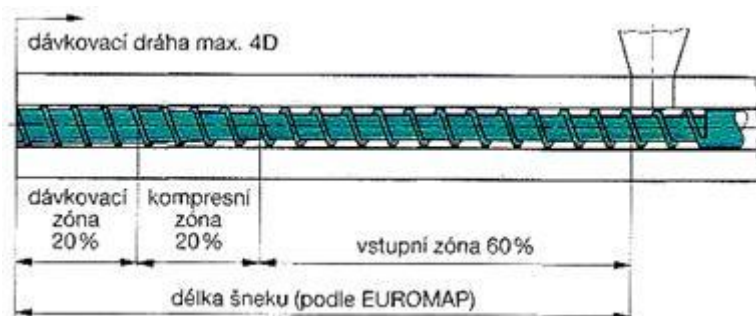
Druhá část šneku se nazývá kompresní nebo přechodová. V této části se průměr jádra šneku směrem k trysce zvětšuje, tím pádem se zmenšuje hloubka šnekového kanálu. Dochází k nejintenzivnějšímu tání granulátu. Vzniklá tavenina je zatím teplotně nehomogenní.

Třetí část šneku se nazývá hnětací nebo také homogenizační, někdy i výstupní. Hloubka šnekového kanálu je po celé délce výstupní části konstantní, ale je menší než ve vstupní části.

Při konstruování šneku se musí myslet i na zakončení šneku, protože tavenina má při vstřikování snahu téci šnekovým kanálem zpět směrem k násypce. Tento jev se zvětšuje s vyšší tekutostí taveniny. Existují různá řešení jak tomuto jevu zabránit. Například tupým zakončení šneku nebo prodloužené zakončení špičky šneku, ale nejspolehlivější je zakončení se zpětným uzávěrem (ventilem).



Obrázek 3 - Zakončení šneků a druhy šneků [1]



Obrázek 4 - Diferenciální šnek a jeho části [1]

4.1.2. Tavicí komora

Tavicí komora, ve které je uložen šnek, převádí hmotu do plastického stavu. Nejlépe co největší množství hmoty, v co nejkratší době. Zajišťuje maximální teplotní homogenitu taveniny.

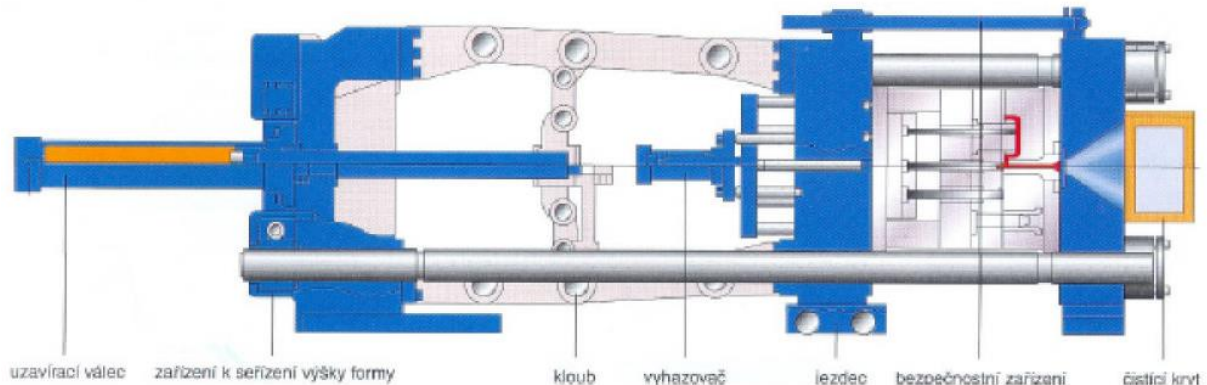
Tavicí komora je pro účely vytápění obvykle rozdělena do tří zón (topných pásem), které jsou samostatně vytápěné a se samostatnou regulací teploty, kdy nejnižší teplota se nastavuje v pásmu u násypky a nejvyšší u trysky. Teplota pásma u násypky musí být do určité hodnoty, jinak by mohlo dojít k předčasnému natavení a následnému spečení granulí. Následkem by vzniklo vytvoření zátky ve šnekovém profilu, tím by se zamezilo přísunu dalšího materiálu do kompresní části šneku. Z tohoto důvodu se chladí část tavicí komory, která přiléhá k násypce.

Tavicí komora je vždy zakončena vstřikovací tryskou. Trysky jsou buď otevřené pro viskózní materiály s otvorem o průměru 3 až 8 mm nebo jsou uzavíratelné. Otevrou se pouze při dosedu vstřikovací jednotky na formu. Tryska zajišťuje spojení mezi komorou a formou, protože přivádí taveninu do vtokových kanálů ve formě.

4.2. Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka uzavírá, ale i otevírá formu podle cyklu vstřikování. Zajišťuje uzavření formy silou, která je větší než vstřikovací tlak, protože nesmí dojít k otevření formy při vstřikování. Současné moderní stroje mají nastavitelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy.

Uzavírací jednotka je složena 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 něž se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy a také vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu.



Obrázek 5 - Uzavírací jednotka [1]

4.3. Řízení a regulace

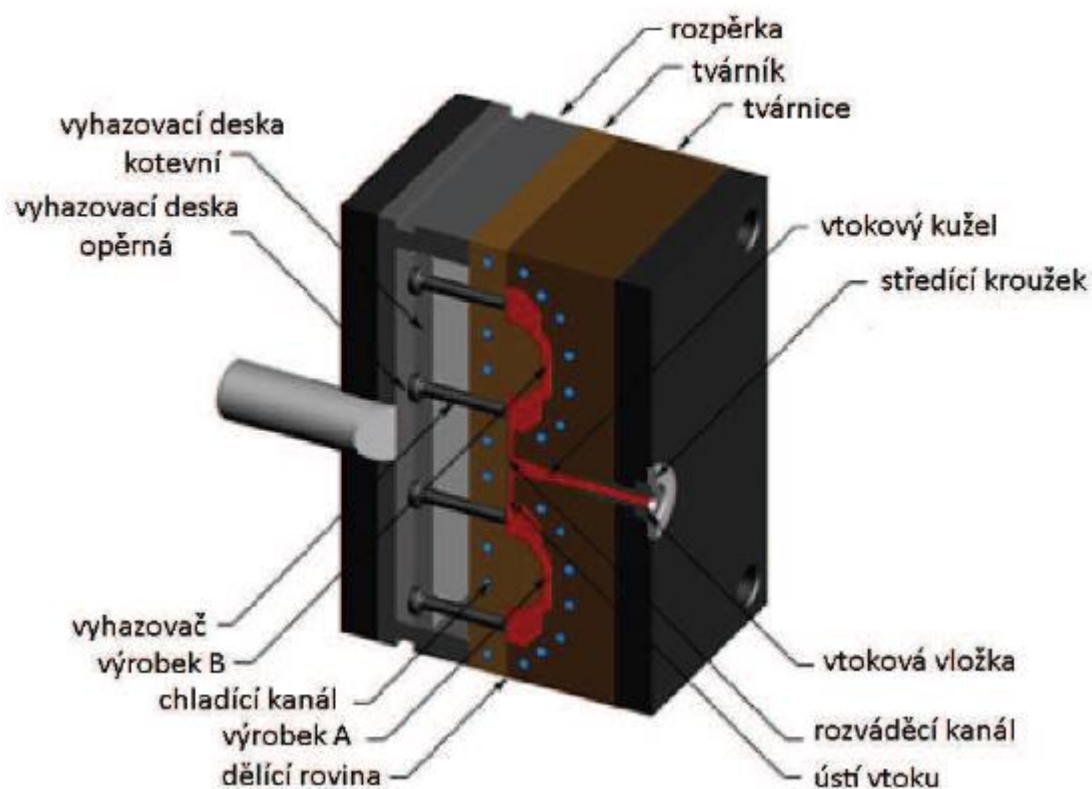
U vstřikovacího procesu se řídí teplota, tlak, rychlost, ale i výměna forem a čištění. Ovládací systémy jsou přizpůsobeny k rychlejšímu přechodu na jiný výrobek. Systémy obsahují funkce ochrany, diagnostiky, údržby a jiné.

5. Vstřikovací forma

Vstřikovací formy musí odolávat vysokým tlakům, vyrábět výrobky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výrobku z formy a pracovat zcela automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné konstruktérské a technologické znalosti, ale také na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu tvářeného plastu, principu technologie, rozměrech výrobku a jeho tvarové složitosti, počtu kusů v sérii, tepelné odolnosti, odolnosti proti opotřebení, korozi, ceně, apod. Dalším důležitým prvkem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a navržení těchto rozměrů je rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů výrobku (výstřiku) a opotřebení činných částí nástroje.

5.1. Složení vstřikovací formy

Vstřikovací forma je složena z vtokového systému, chladicího (temperačního) systému, dílů vymezující tvarovou dutinu formy, vyhazovacího systému, upínacích a vodicích elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin, na části konstrukční a části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.



Obrázek 6 - Části formy [2]

5.1.1. Vtokový systém

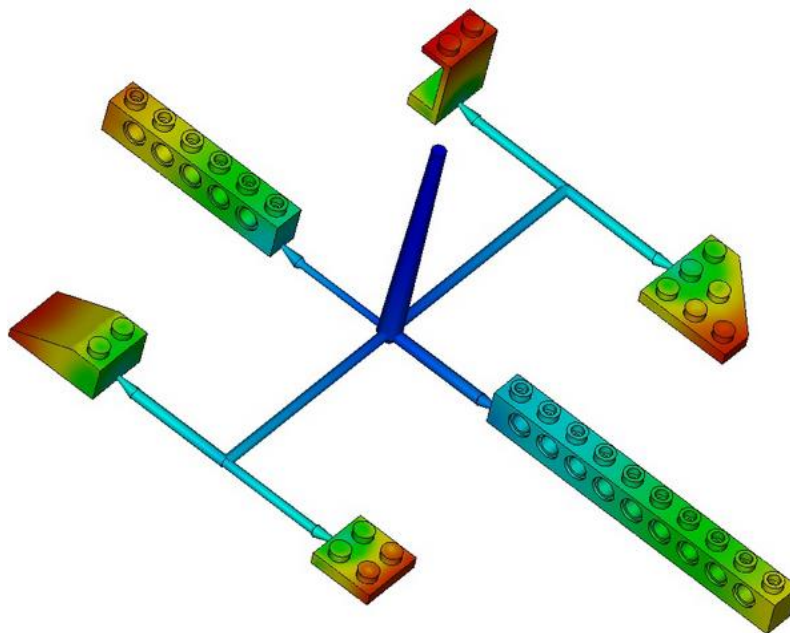
Vtokový systém nejvíce ovlivňuje kvalitu a jakost vyráběné součásti. Je to systém kanálků a ústí vtoku, který musí zajistit naplnění dutiny formy, umožnit snadné odtržení od výstřiku a umožnit snadné vyhození vtokového zbytku vyhazovacím systémem. Při navrhování vtokové soustavy musíme zohlednit počet tvarových dutin, jejich rozmístění, a zda se bude jednat o studenou nebo teplou vtokovou soustavu. Při konstrukčním řešení vtokového systému se bere ohled na konkrétní tvar výstřiku a na násobnost formy. Vtok by měl být nejlépe řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou, co nejrychleji, bez velkých teplotních a tlakových ztrát a pokud možno všude ve stejném čase. Vtokový systém se skládá z hlavního vtokového kanálu, rozváděcího kanálu a z ústí vtoku.

- **studená vtoková soustava**

Tavenina ztuhne ve vtokové soustavě. Nazývá se vtokový zbytek neboli vtoková větvička, taktéž stromeček. Vtokový zbytek se oddělí od výstřiku při vyhození výrobku z formy nebo při konečných úpravách výrobku. Poté se znovu zpracuje na granulát. Vtokový zbytek musí ztuhnout dříve než výstřik, ale až po zaplnění dutiny.

- **teplá vtoková soustava**

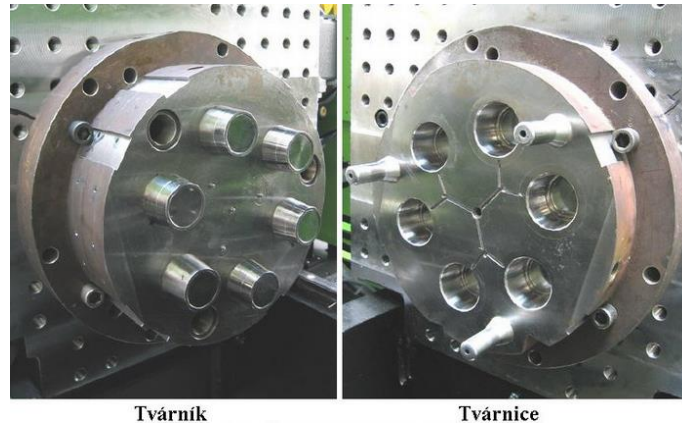
U teplé vtokové soustavy nevzniká vtokový zbytek. Teplé vtokové soustavy se dají dále rozdělit na formy s izolujícími kanály, kde teplo pro činnost systému dodává tavenina a na formy s ohřívanou vtokovou soustavou, kde teplo dodávají topné elementy. Teplá vtoková soustava je výrazně dražší než studená vtoková soustava. Používá se především u vícenásobných forem, kde se cena kompenzuje tím, že nevznikají další náklady s vtokovým zbytkem. Z technologického hlediska je lepší než studená vtoková soustava, protože u taveniny nedochází k teplotním ztrátám průchodem přes vtokové kanály.



Obrázek 7 - Ukázka řešení vtokové soustavy [3]

5.1.2. Tvářecí systém

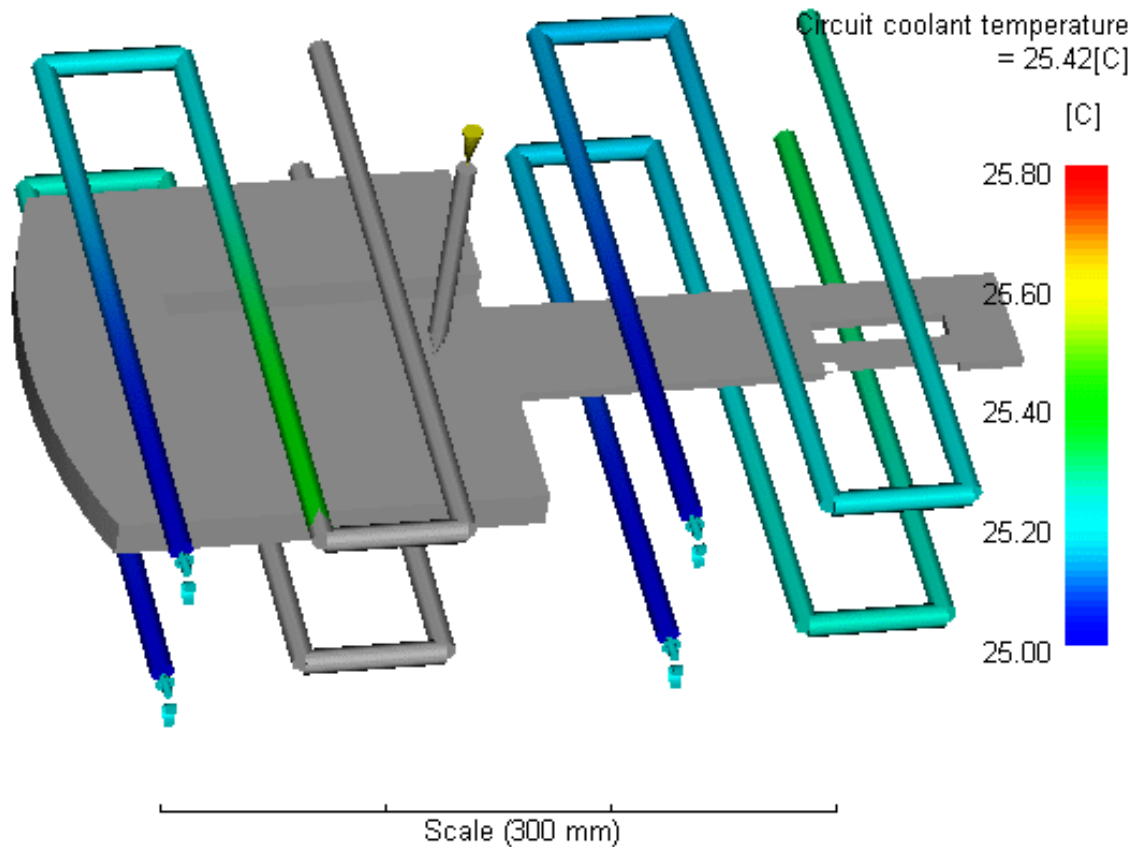
Tvářecí části se přímo stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. Mezi součásti tvářecího systému patří tvárník, tvárnice, jádra, kolíky, součásti pro tváření závitů (závitové kolíky, jádra). Výstřik musí vždy po otevření formy zůstat na její pojízdné části.



Obrázek 8 - Tvářecí části [1]

5.1.3. Chladicí (temperační) systém

Z hlediska ekonomického musí hmota v dutině formy ztuhnout co nejrychleji, proto je potřeba chladicího systému kolem kavit a z hlediska technologického pro opakovatelné vlastnosti výrobku. Chladicí systém je systém kanálků a dutin, umožňujících přestup a prostup tepla z taveniny do formy a chladicí kapaliny. Chladicí kapalinou se též reguluje teplota formy. V nejlepším případě by měla forma a kavity chladnout stejnou rychlostí. Nerovnoměrným ochlazováním kavit vzniká ve výrobku vnitřní pnutí, deformace nebo trhliny. Chladicí systém bývá rozdělen na dva okruhy pro pevnou část formy a pro pohyblivou část formy. Okruhy se mohou dále dělit na pod okruhy, které se navrhují podle způsobu zaformování výstřiku ve formě a podle polohy dělicí roviny. Rozměry a umístění chladících kanálků je třeba navrhovat s ohledem na celkové řešení formy, např. umístění vtokové soustavy, vyhazovacího systému, tvarových vložek a jiných dílů. Kanálky se nesmí umístit příliš blízko k tvarové dutině formy, mohlo by dojít ke vzniku podchlazených míst. Lepší varianta je velký počet kanálků o malém průměru, nežli malý počet kanálků o velkém průměru. Důležité je rovnoměrné rozmístění kanálků ve formě, aby nedocházelo k vnitřnímu pnutí. Kanálky jsou buď kruhového průřezu o průměru 6 - 20 mm nebo obdélníkového průřezu. Z technologického hlediska výroby je snazší vyrobit díru kruhového průřezu, nežli díru obdélníkového průřezu. Délka kanálků by měla být taková, aby se chladicí tekutina na vstupu a na výstupu lišila o 3 – 5 °C.



Obrázek 9 - Ukázka chladicího systému [4]

5.1.4. Vyhazovací systém

Jednou z částí formy je vyhazovací systém výstřiku, vtokového stromečku a vtokového kužele. Při výrobě součástí z plastů dochází vlivem chladnutí ke smršťování výrobku, který zůstává přitisknutý k tvarové dutině formy. Vyhazovací systém může být zkonstruován různými způsoby, nejčastěji však mechanicky a to pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích desek, stíracích kroužků, apod.

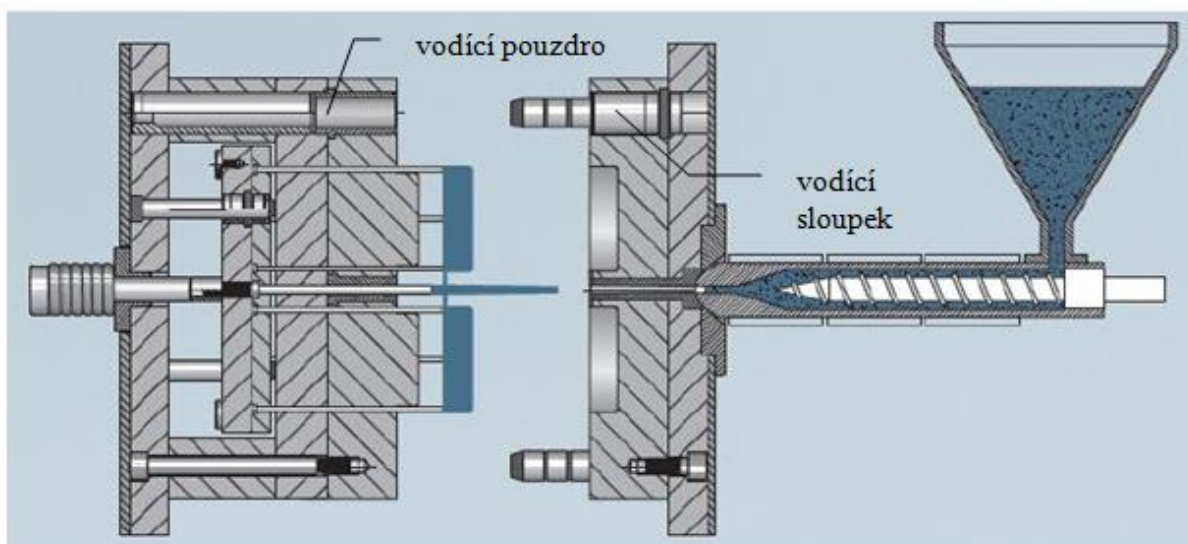
Další způsoby vyhazování jsou hydraulicky nebo pneumaticky. Pneumatický systém se používá při vyhazování výstřiků, které jsou tenkostěnné. U těchto výstřiků nelze použít mechanický způsob vyhazování, jelikož by vyhazovače poškodily výstřík. Princip pneumatického vyhazování spočívá v přivedení vzduchu pod tlakem mezi stěnu výstřiku a stěnu tvarové dutiny formy. Postupně vzniká vzduchová kapsa mezi výstřikem a kavitou a dochází k vytlačování výstřiku z kavity.

Vyhazovací síly a jejich výpočet se odvozuje od měrných tlaků mezi formou a výstřikem, kdy síla na vyhození bude záviset na pružnosti tvárníku a tvárnice, na průběhu tlaků a teplot během vstřikování, na rozměrech výstřiku a na teplotní závislosti koeficientu tření mezi oběma plochami. [1]

Mezi součásti vyhazovacího systému patří vyhazovací desky (opěrné a upínací). V těchto deskách jsou upevněny vyhazovače. Desky jsou k sobě přišroubovány a pohybují se po vedení. Po vyhazovačích zůstávají na výrobku zpravidla stopy, proto se umísťují na nepohledovou stranu výstřiku.

Rozdělení součástí vyhazovacího systému

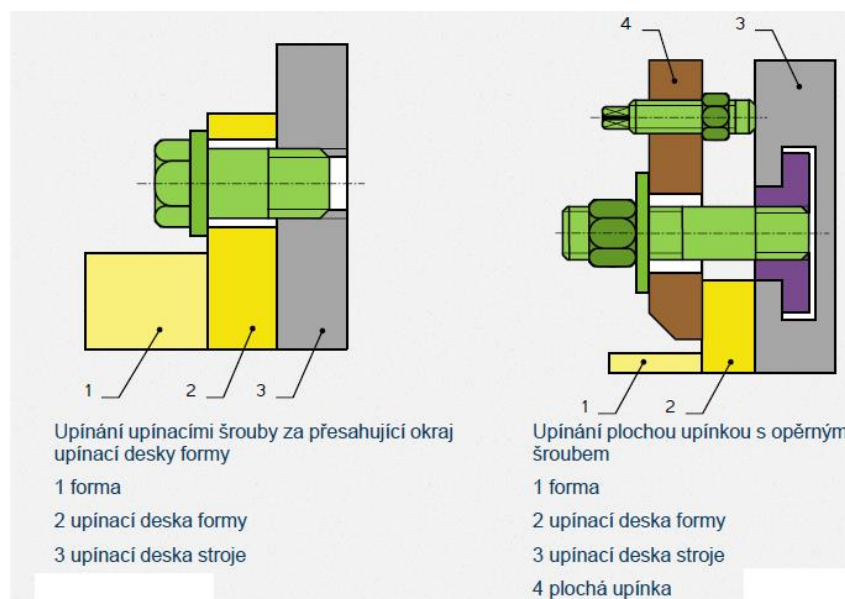
- součásti vyhazovacího systému výstřiku
 - vyhazovače
 - válcové
 - trubkové
 - ploché
 - tvarové stírací a vyhazovací desky
- součásti jejich vedení
 - vodící sloupky
 - tyče
 - pouzdra
 - nárazníky
 - omezovače zdvihu
 - vzduchové ventily
- součásti vyhazovacího systému vtokového zbytku
 - stírací desky nebo lišty
 - přidržovače vtoků
 - vytrhovače vtoků
 - odtlačovací čepy a pružiny



Obrázek 10 - Vyhazovací systém [5]

5.1.5. Upínací systém

Formy se upínají uzavřené a na pevnou stranu stroje. Pro lepší manipulaci je forma vybavena upínacími oky. Na formě by měla být uvedena hmotnost. Při upínání forem do prostoru vstřikovacího lisu je důležité vystředit formu na střed vstřikovací trysky. To se provádí pomocí centrážního kroužku, který je umístěný uprostřed upínací desky formy a zapadá do kruhového otvoru desky vstřikovacího lisu. Forma se upíná nejčastěji pomocí šroubů, upínek nebo speciálních upínacích přípravků a zařízení. Upínací prvky jsou namáhány na míjivý tlak a rázy. Velké nároky se kladou na bezpečné a tuhé upnutí. Při špatném upnutí by mohlo dojít k posunutí formy a tím pádem ke zničení vodících částí formy. Jedním z posledních kroků při upínání formy je připojení chlazení, vzduchu, tlakové kapaliny, atd. Posledním krokem je seřizování a zkoušení formy. Seřizuje se vstřikovací tlak, vstřikovací teplota, chlazení, atd. Chlazení se seřizuje až když má forma pracovní teplotu.



Obrázek 11 - Příklady upnutí formy [5]

5.2. Rozdělení vstřikovacích forem

5.2.1. podle násobnosti formy

Násobnost formy udává, kolik součástí se vystříkne při jednom cyklu. Formy rozdělujeme na jednonásobné neboli jednokavitní a na vícenásobné též vícekavitní.

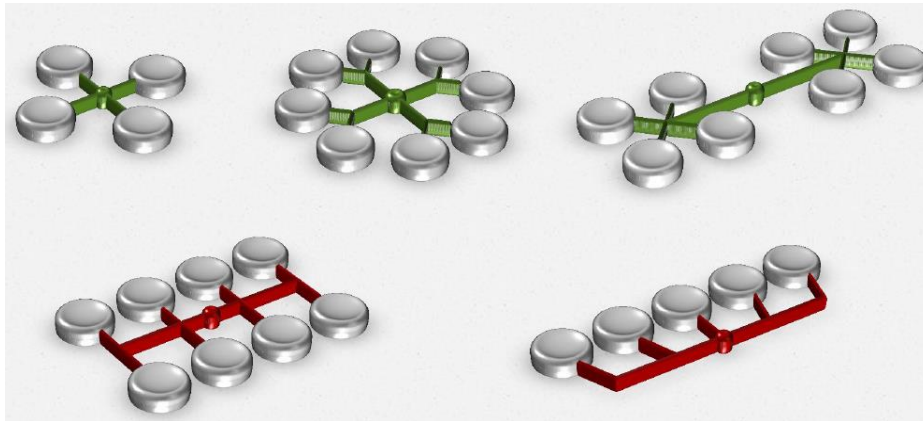
- **jednonásobné formy**

Jednonásobné formy se používají pro vstřikování objemově nebo tvarově velkých součástí. Jelikož vstřikovací stroj je omezen kapacitou vstřikovaného plastu, uzavírací silou nebo prostorem pro uložení formy. Z tohoto důvodu není možné použití vícenásobné formy.

- **vícenásobné formy**

U vícenásobné formy je důležité, aby se jednotlivé kavity (tvarové dutiny) plnily ve stejném čase, stejným vnitřním tlakem a stejnou teplotou taveniny. Dalším důležitým

faktorem je typ a umístění vtoku, který ovlivňuje např. vlastnosti, rozměry a jakost povrchu výrobku. Umístění tvarových dutin u vícenásobné formy je možné buď do hvězdy, nebo v řadě. Lepší plnění tvarových dutin je u typu hvězdy, jelikož dochází k plnění dutin ve stejném čase, stejným vnitřním tlakem a stejnou teplotou taveniny. Při umístění kavit v řadě se musí provést korekce rozměrů rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám, aby se dosáhlo plnění kavit ve stejném čase, při stejném tlaku a stejné teplotě taveniny.



Obrázek 12 - Umístění tvarových dutin v řadě (červená) a do hvězdy (zelená) [5]

5.2.2. podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení formy

- dvoudeskové
- třideskové
- etážové
- čelist'ové
- vytáčecí

5.2.3. podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy

- se vstřikem kolmo na dělicí rovinu
- se vstřikem do dělicí roviny

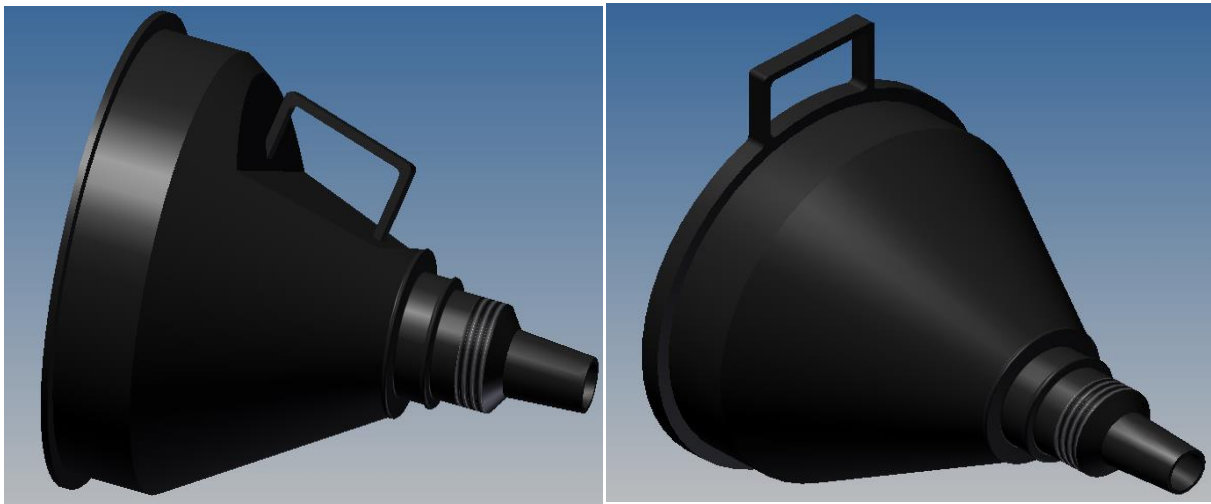
5.3. Materiály komponent forem

			ocel třídy					
			11	12	14	15	17	19
	konstrukční části	rámy	x	x	x	x		x
		vodící sloupky a pouzdra		x	x			x
funkční části	funkční (tvářecí) části			x	x	x	x	x
		vyhazovače					x	x
		vložka vtoku						x

Tabulka 3 - Materiály komponent forem

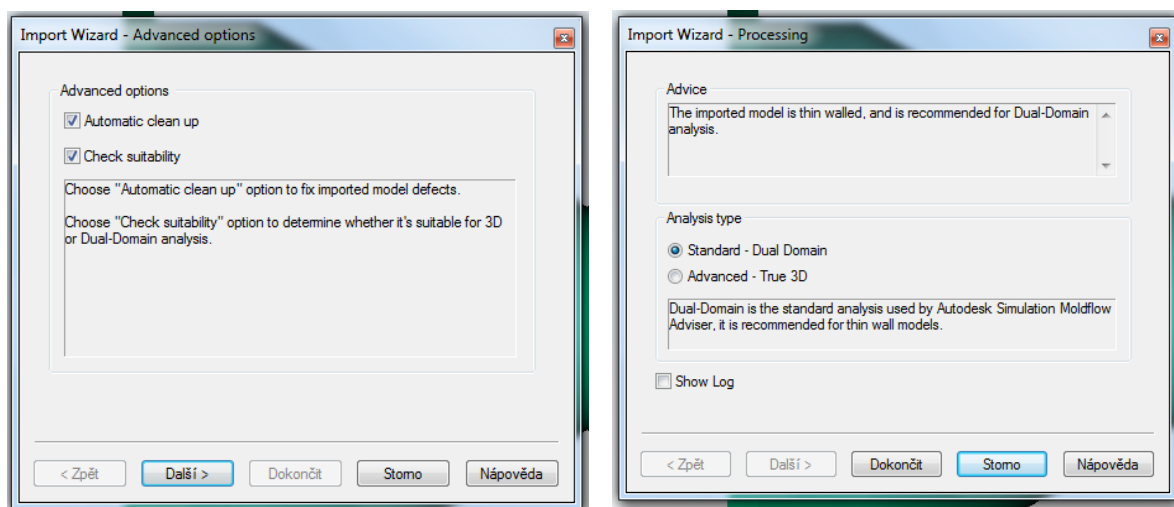
6. Simulace vstřikování součásti

Před samotným návrhem formy byla provedena simulace vstřikování součásti. Simulace proběhla v programu Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2015. Tento nástroj pomáhá výrobcům predikovat, vyhodnotit a optimalizovat technologický design plastových dílů a vstřikovacích forem. Nejprve byla součást vymodelována v programu Autodesk Inventor Professional 2012 v měřítku 1:1 k originálu. Poté došlo k přemístění úchyty na součásti, kvůli zjednodušení výroby.



Obrázek 13 - Originální součást (vlevo) a upravená součást (vpravo)

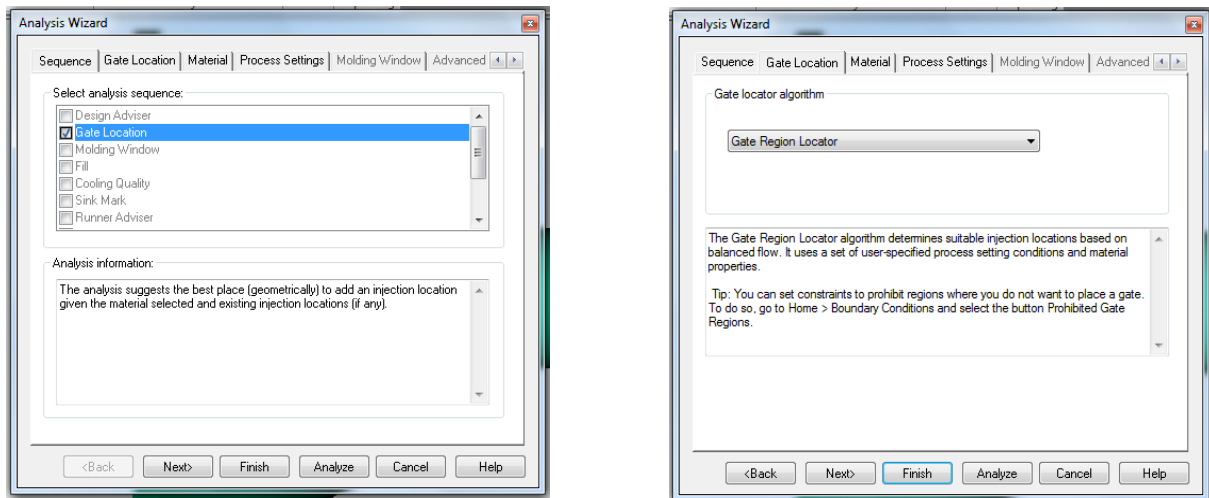
Následovalo převedení modelu z programu Autodesk Inventor Professional 2012 do programu Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2015. První krok je import modelu, zde je možnost zaškrtnout Automatic clean up (automatické opravy vad modelu) a Check suitability (zkontrolovat vhodnost pro 3D nebo Dual-Domain analýzu). Obě dvě tyto možnosti byly zaškrtnuty. Po dokončení procesu se objevila rada: Importovaný model je tenkostěnný a je vhodný pro analýzu Dual-Domain. Tato rada byla během všech simulací akceptována.



Obrázek 14 - Import modelu do programu Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2015

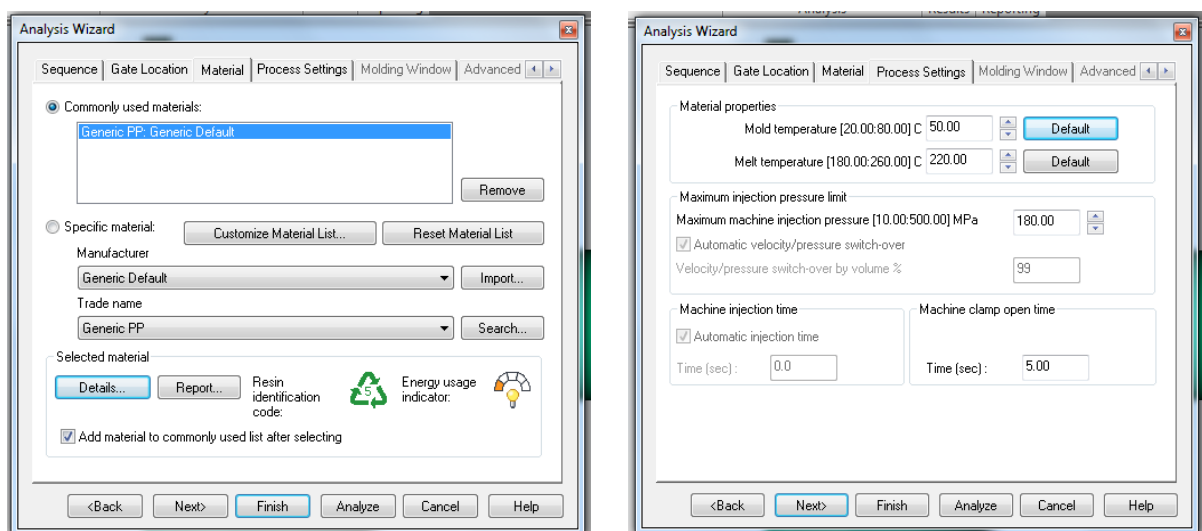
6.1. Analýza Gate Location (umístění vtoku)

První provedená analýza Gate Location (umístění vtoku) navrhuje nejlepší místo pro umístění vtoku. Zde bylo nutné rozhodnout mezi dvěma algoritmy. První Advanced Gate Locator. Tento algoritmus najde optimální vstřikovací místa tím, že minimalizuje odpor proudění a není nutné zadávat podmínky vstřikovacího procesu. Druhý algoritmus Gate Region Locator také navrhuje vhodná vstřikovací místa, ale je založen na vyváženém toku a využívá podmínek vstřikovacího procesu a materiálové vlastnosti plastu. Byl zvolen druhý algoritmus, tedy Gate Region Locator kvůli tomu, že je založen na vyváženém toku.



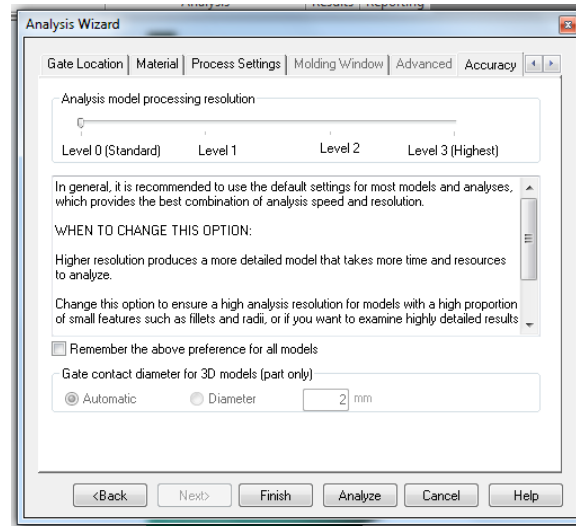
Obrázek 15 – Výběr analýzy (vlevo) a výběr algoritmu (vpravo)

V další záložce se volí materiál. Vybrán polypropylen. Na další záložce se nastavují podmínky vstřikovacího procesu a materiálové vlastnosti, tedy Mold temperature (teplota formy) nastaveno na 50 °C a Melt temperature (teplota taveniny) nastaveno na 220° C. Teploty nastaveny defaultně, což znamená, že si je program převzal z materiálového listu. Dále nastaven maximální vstřikovací tlak stroje na 180 MPa.



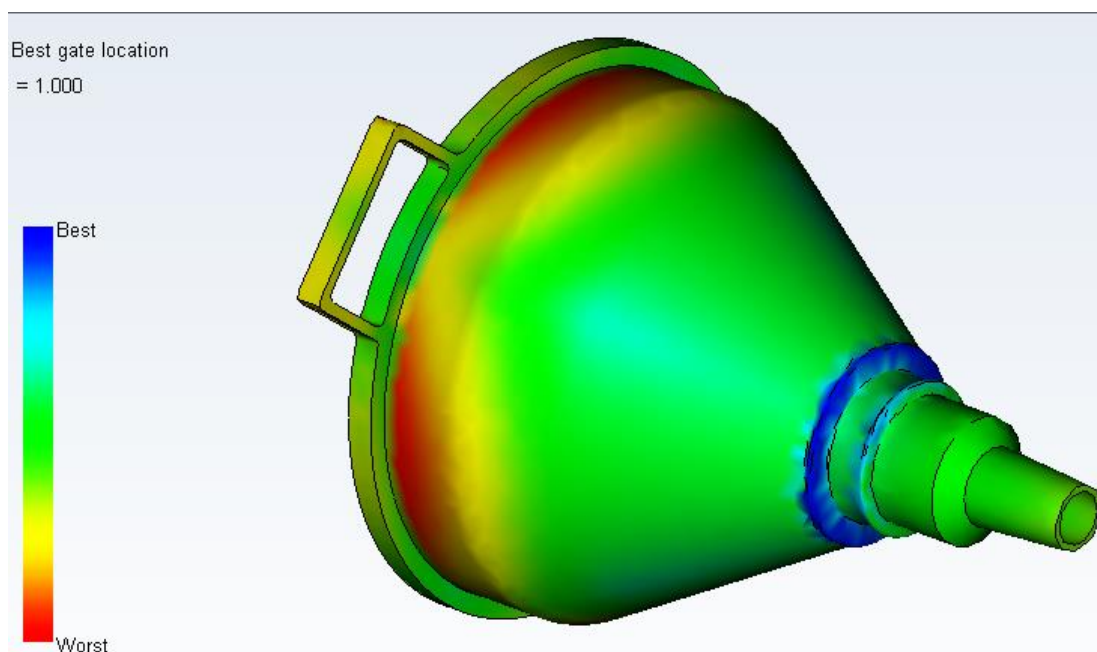
Obrázek 16 – Výběr materiálu (vlevo) a nastavení procesních podmínek (vpravo)

V poslední záložce se nastavuje přesnost měření. Nastaveno na level 0 (standart). Jelikož se nejedná o finální analýzu nastaven level 0 (standart). Výpočet proběhne v nejkratším čase, ovšem na úkor přesnosti. Finální analýza bude nastavena na level 3, který je nejpomalejší, ale dostaneme nejpřesnější výsledky. Tento postup výpočtu se běžně používá i v ostatní výpočtových programech.



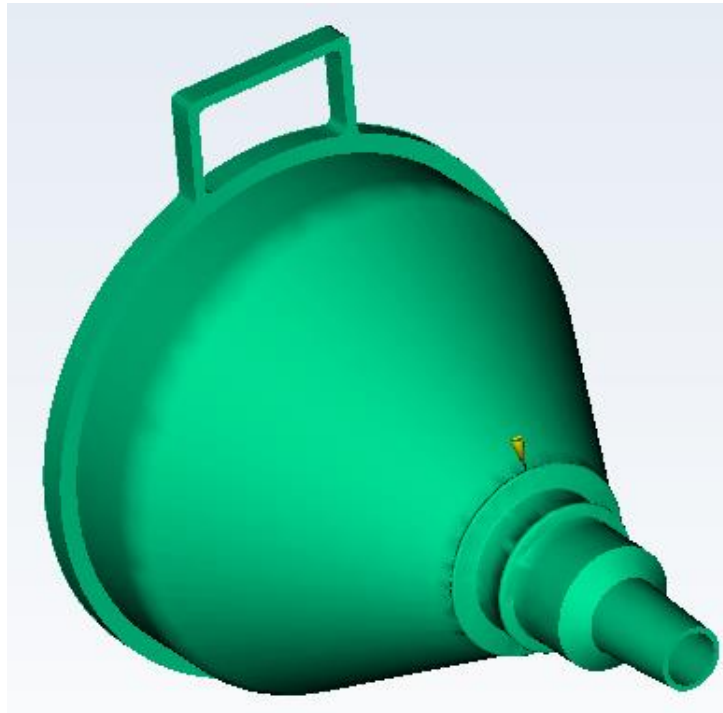
Obrázek 17 - Nastavení záložky Accuracy

Výsledek analýzy ukazuje, kde je nejvhodnější místo pro umístění vtoku. Modrou barvou je znázorněno nejvhodnější místo, červenou nejméně vhodné místo pro umístění vtoku (viz. stupnice na obrázku).



Obrázek 18 - Výsledek analýzy Gate Location

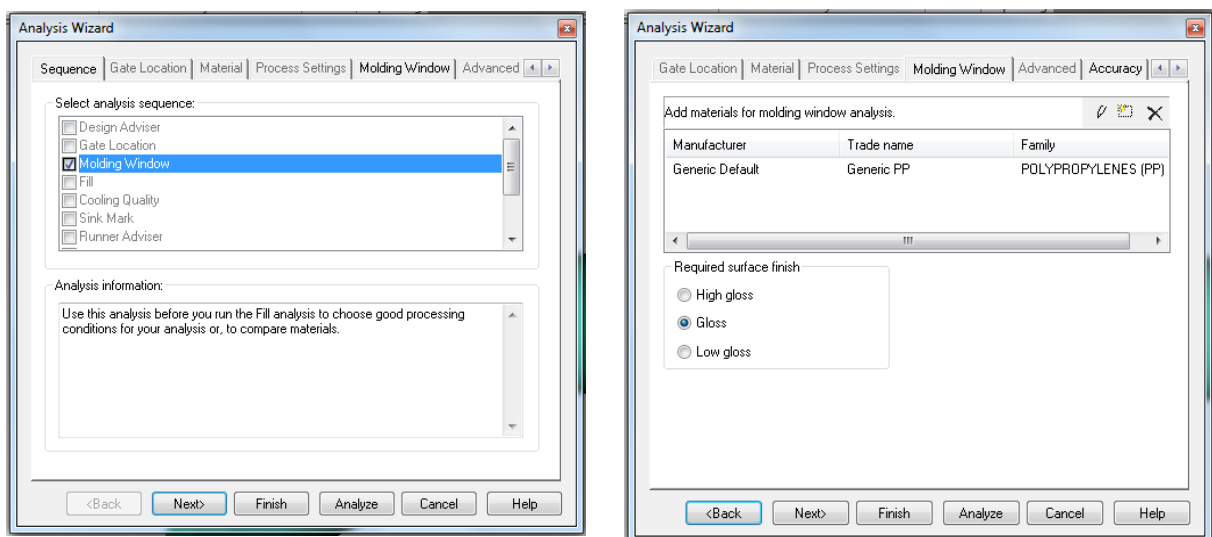
Podle výsledků analýzy Gate Location byl vytvořen a umístěn vtok. Vtok je na obrázku níže znázorněn žlutým kuzelem.



Obrázek 19 - Umístění vtoku na součásti

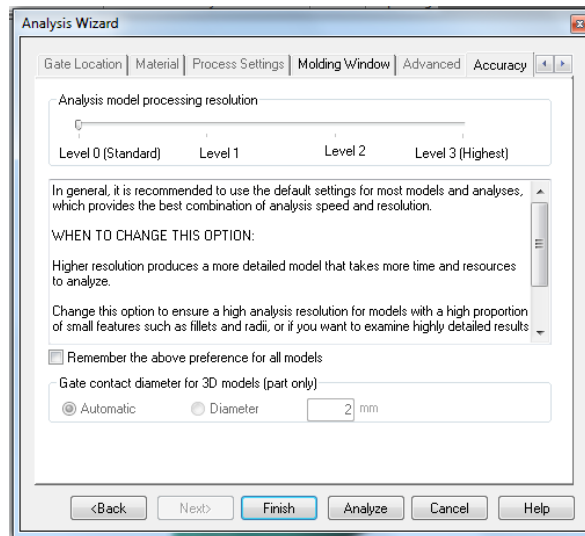
6.2. Analýza Molding Window (licí okno)

Tato analýza navrhuje vybrání optimálních procesních podmínek a slouží k porovnání materiálů před spuštěním analýzy výplně. V další záložce lze zvolit požadovanou povrchovou úpravu. Lze vybrat ze tří možností a to vysoký lesk, lesk a nízký lesk. Zvolen lesk.



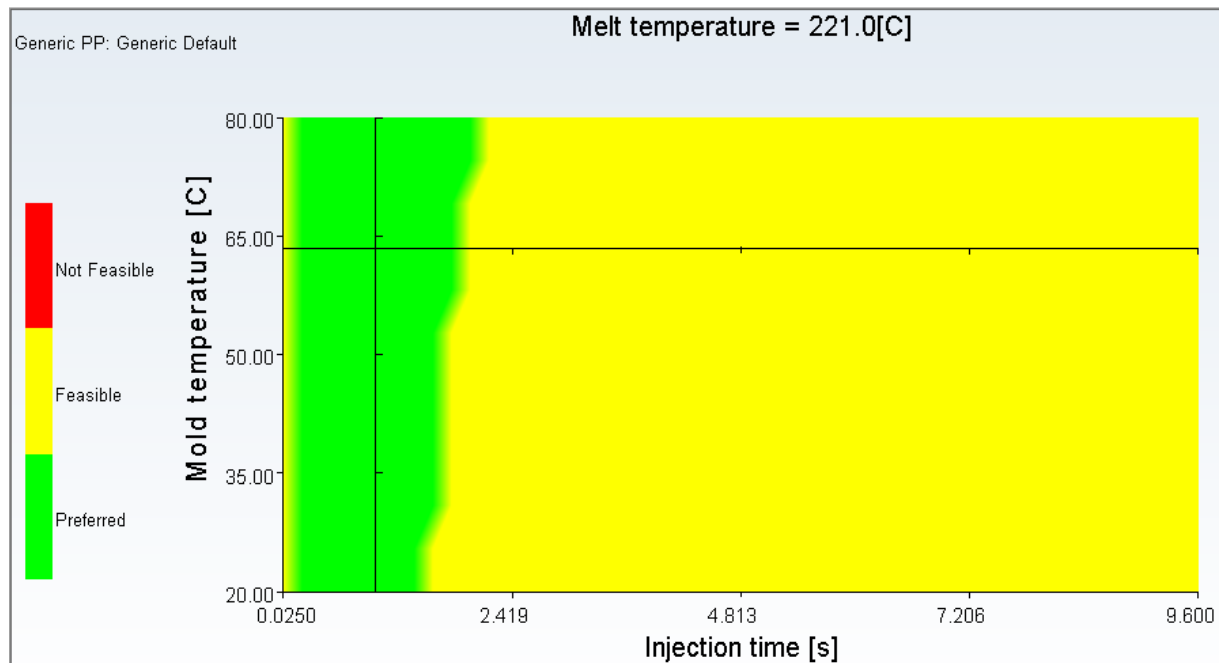
Obrázek 20 – Vybraná analýza (vlevo) a zvolena povrchová úprava (vpravo)

V poslední záložce opět nastavení přesnosti měření. Nastaven level 0 (standart).



Obrázek 21 - Nastavení přesnosti měření

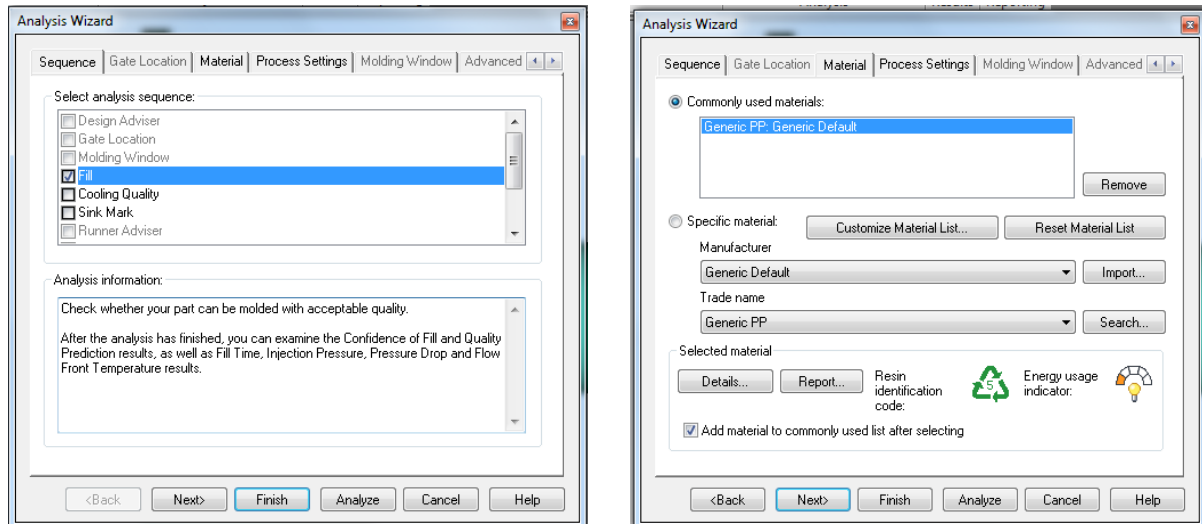
Výsledkem analýzy je optimální bod, což je průsečík Mold temperature (teploty formy) a Injection time (čas vstřikování). Přesná hodnota Mold temperature (teploty formy) je 63,64 °C. Z důvodu dosažení co nejpřesnějších analýz není tato hodnota upravena na celé stupně Celsia. Přesná hodnota Injection time (čas vstřikování) je 1,002 s. Analýza navrhuje i Melt temperature (teplota taveniny) na 221 °C. Tyto tři hodnoty jsou využity v následujících analýzách.



Obrázek 22 – Výsledek analýzy Molding Window (licí okno)

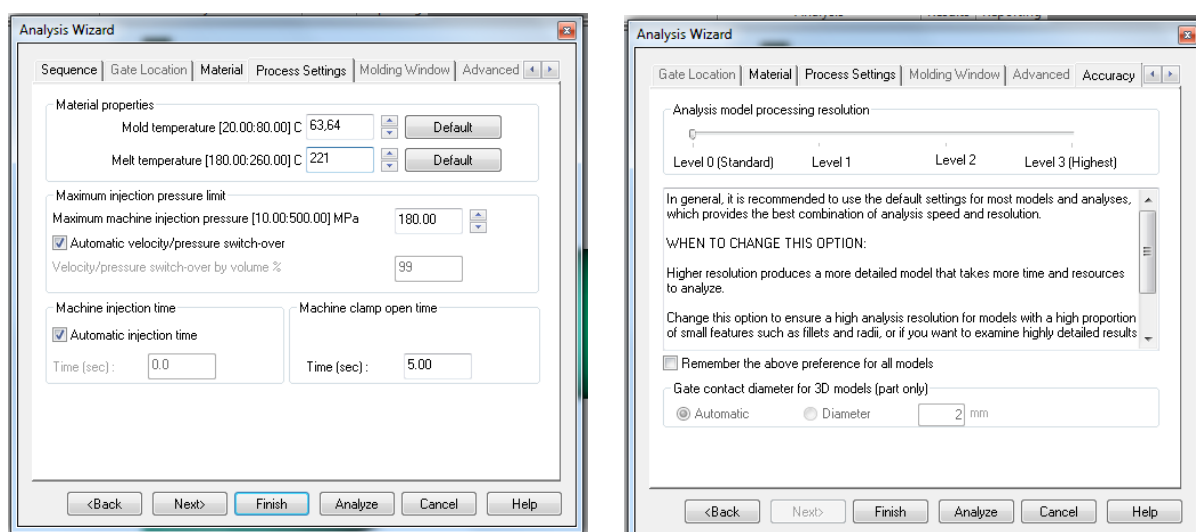
6.3. Analýza Fill (vyplnění)

Analýza zkontroluje, zda součást může být tvarovatelná s akceptovatelnou kvalitou. V další záložce se vybírá materiál. Ponechán již jednou vybraný polypropylen.



Obrázek 23 – Výběr analýzy (vlevo) a výběr materiálu (vpravo)

V záložce Process Settings (nastavení procesu) přepsány hodnoty Mold temperature (teplota formy) na 63,64 °C a Melt temperature (teplota taveniny) na 221 °C. Tyto hodnoty převzaty z výsledků analýzy Molding Window (licí okno). Hodnota Maximum machine injection pressure (maximální vstřikovací tlak stroje) ponechána na 180 MPa a hodnota Machine clamp open time ponechána na 5 s. Poprvé se zde otevírá možnost zadání dvou nových parametrů, a to Velocity/pressure switch-over a Machine injection time nebo lze nechat spočítat tyto hodnoty automaticky. Zvolena druhá možnost, a to automaticky spočítat tyto hodnoty. V poslední záložce opět nastavení přesnosti měření. Nastaven level 0 (standart).

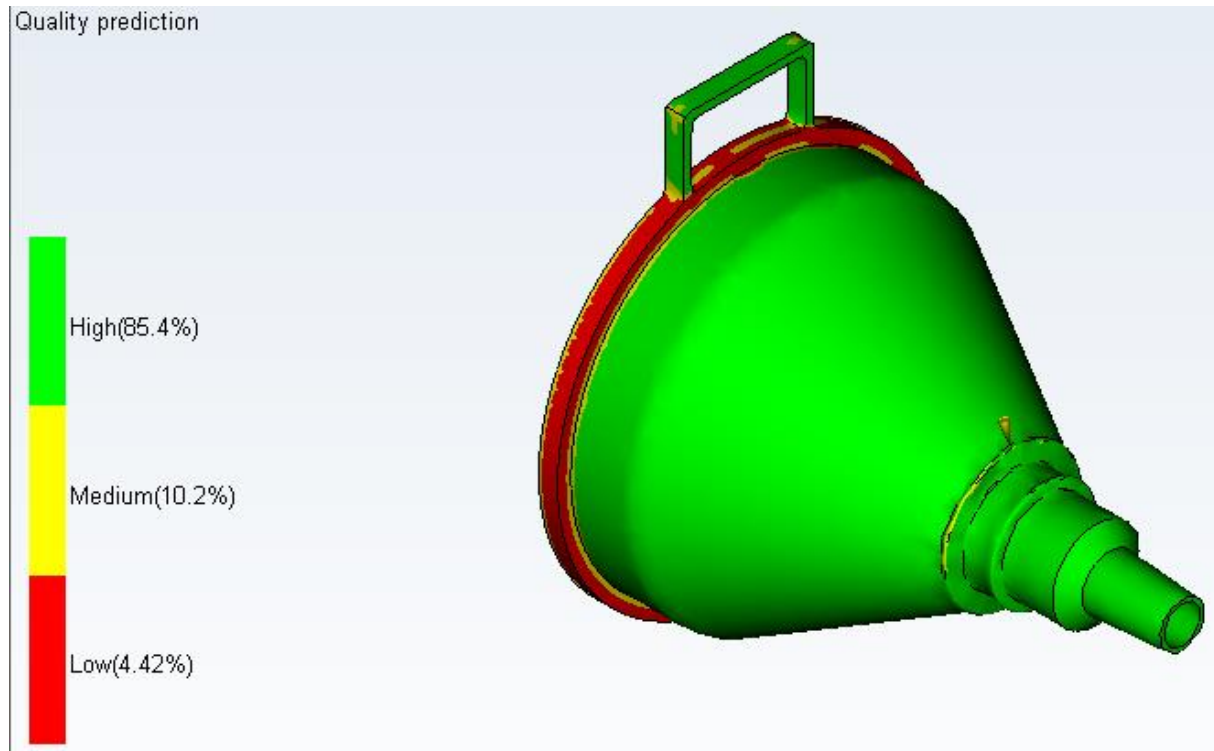


Obrázek 24 – Nastavení procesu (vlevo) a nastavení přesnost měření (vpravo)

Výsledky analýzy:

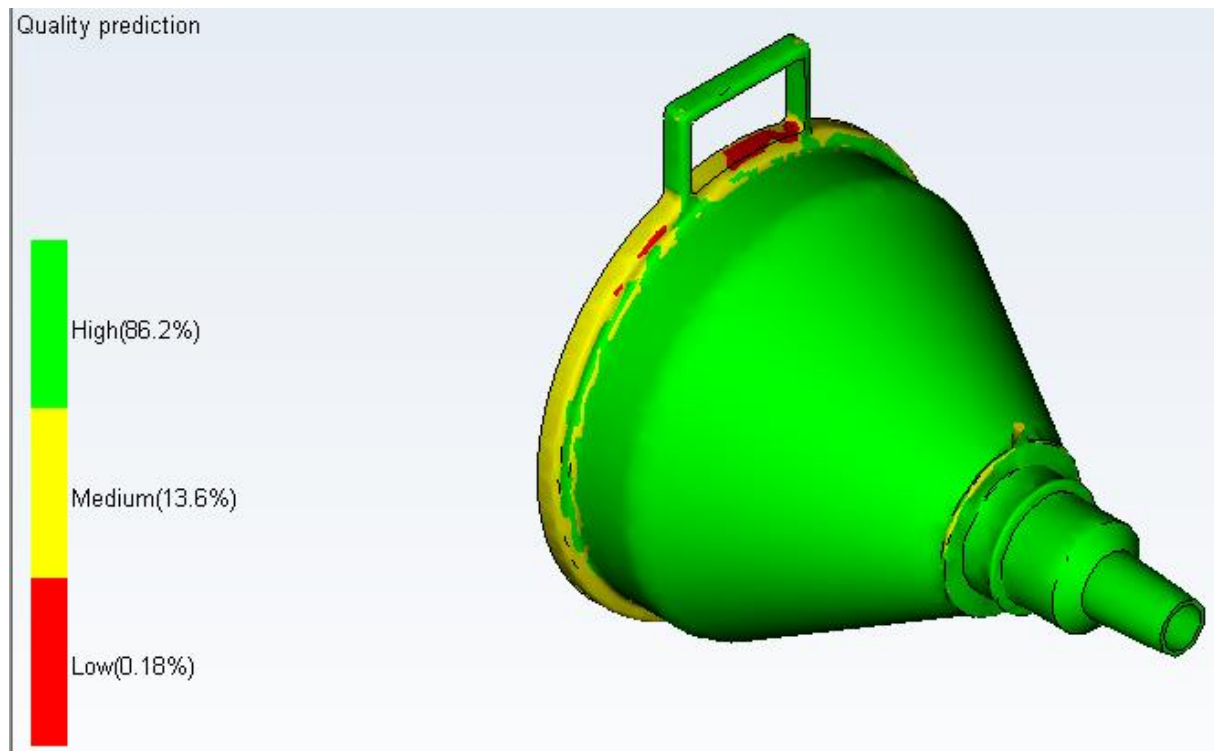
6.3.1. Quality Prediction (předpokládaná kvalita)

Z výsledku analýzy Quality Prediction (předpokládaná kvalita) vyplývá, že výrobek bude z 85% vysoce kvalitní (zelená barva), z 10% bude středně kvalitní (žlutá barva) a ze 4,5% bude méně kvalitní (červená barva).



Obrázek 25 – Výsledek analýzy Quality Prediction (předpokládaná kvalita)

V předchozí analýze se objevil znepokojivý výsledek, a to již zmiňovaná méně kvalitní červená oblast. Byly učiněny kroky vedoucí ke zlepšení této části budoucího výrobku. Snížení Melt temperature (teploty taveniny) z 221 °C na 200°C a zaoblením vnějšího a vnitřního rohu na součásti v červené oblasti. Změna tvaru součásti je vidět na obrázku 26. Následovalo upravení modelu v programu Autodesk Inventor Professional 2012 a import do programu Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2015. Dále provedení všech předchozích analýz. Nastavení v záložkách se nezměnilo, pouze se změnila hodnota Melt temperature (teplota taveniny) na 200 °C. Analýza Gate Location beze změn. Analýza Molding Window (licí okno) taky beze změn.

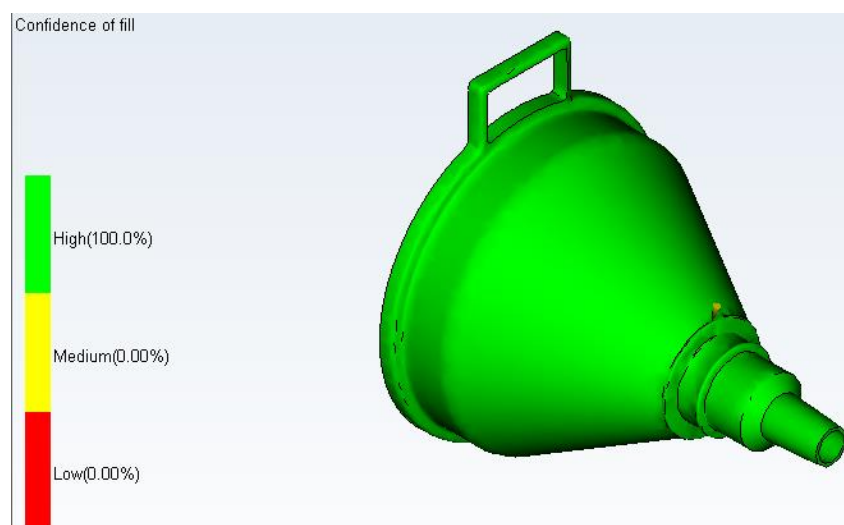


Obrázek 26 – Výsledek analýzy Quality Prediction (předpokládaná kvalita) po úpravě

Výsledek analýzy Quality Prediction (předpokládaná kvalita) po úpravě ukazuje snížení předpokládané nízké kvality části výrobku z 4,42% na 0,18%. Tohoto snížení se dosáhlo již zmiňovanými úpravami, a to zaoblením ostrých hran na největším průměru trychtýře a snížením Melt temperature (teplota taveniny) z 221 °C na 200 °C.

6.3.2. Confidence of Fill (důvěra výplně)

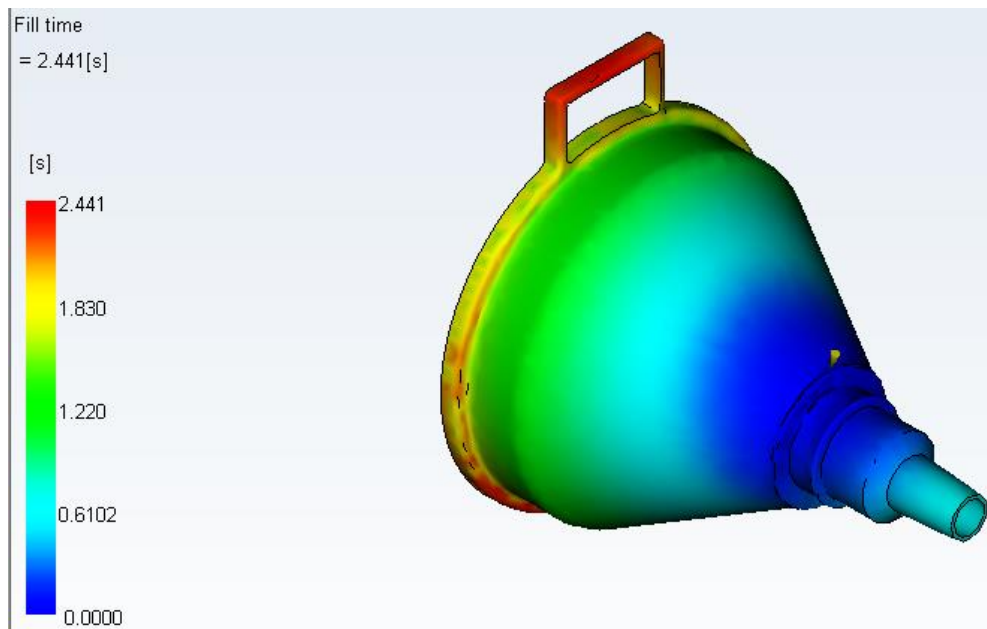
Výsledek analýzy Confidence of Fill (důvěra výplně) ukazuje, že je stoprocentní předpoklad vyplnění dutiny formy.



Obrázek 27 - Výsledek analýzy Confidence of Fill (důvěra výplně)

6.3.3. Fill Time (čas plnění)

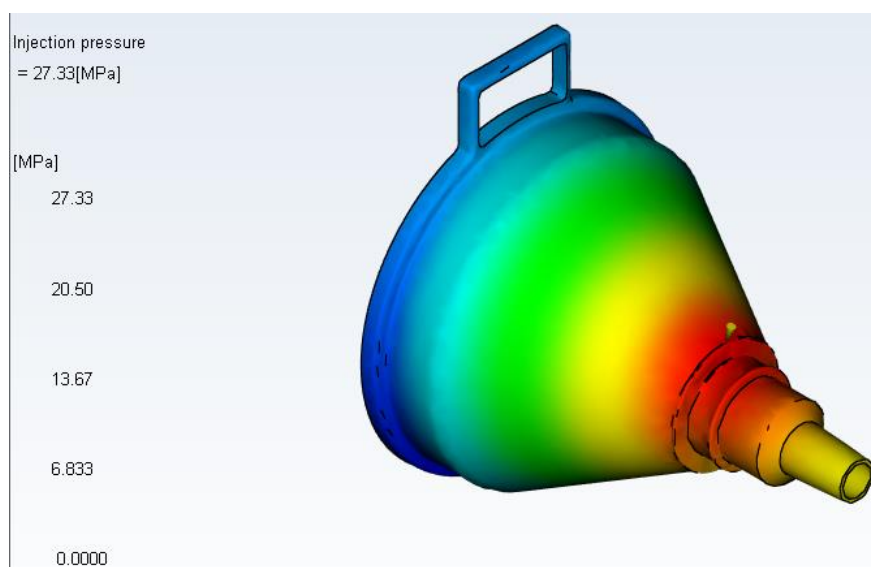
Na obrázku níže je vidět, jak se bude plnit dutina ve formě při vstřikování. Nejdříve se začne plnit ta část součásti, která je na obrázku znázorněna modrou barvou a nejpozději se bude plnit ta část součásti, která je na obrázku znázorněna červenou barvou. Čas vyplnění celé dutiny je 2,441 s.



Obrázek 28 - Výsledek analýzy Fill time (čas plnění)

6.3.4. Injection Pressure (vstřikovací tlak)

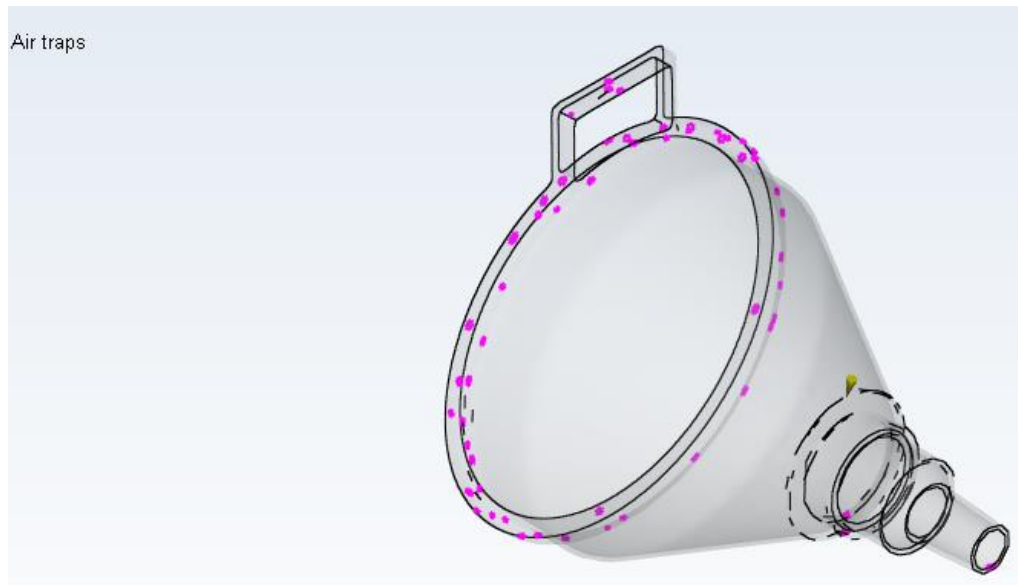
Na obrázku níže je vidět výsledek analýzy Injection Pressure (vstřikovací tlak). Největší tlak je u místa vstřiku. Tlak klesá se vzdáleností od místa vstřiku.



Obrázek 29 - Výsledek analýzy Injection Pressure (vstřikovací tlak)

6.3.5. Air traps (vzduchové kapsy)

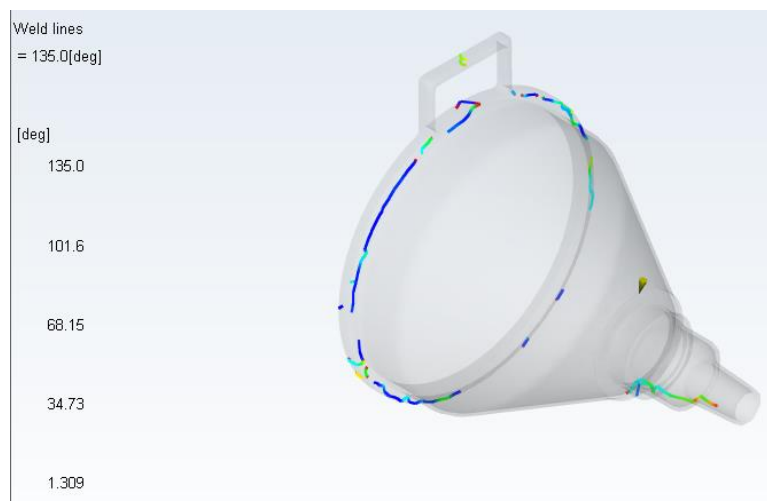
Analýza ukazuje pravděpodobný výskyt vzduchových kapes. Nejvíce se vyskytují na největším průměru trychtýře. Na obrázku níže jsou znázorněné fialovou barvou. Vzduchové kapsy vznikají špatným odvzdušněním formy. Tato analýza není zcela korektní, protože program uvažuje únik vzduchu jenom přes dělicí rovinu a neuvažuje únik např. přes vyhazovače. Jelikož vyhazovače nemusí být součástí každé formy.



Obrázek 30 – Výsledek analýzy Air traps (vzduchové kapsy)

6.3.6. Weld lines (studené spoje)

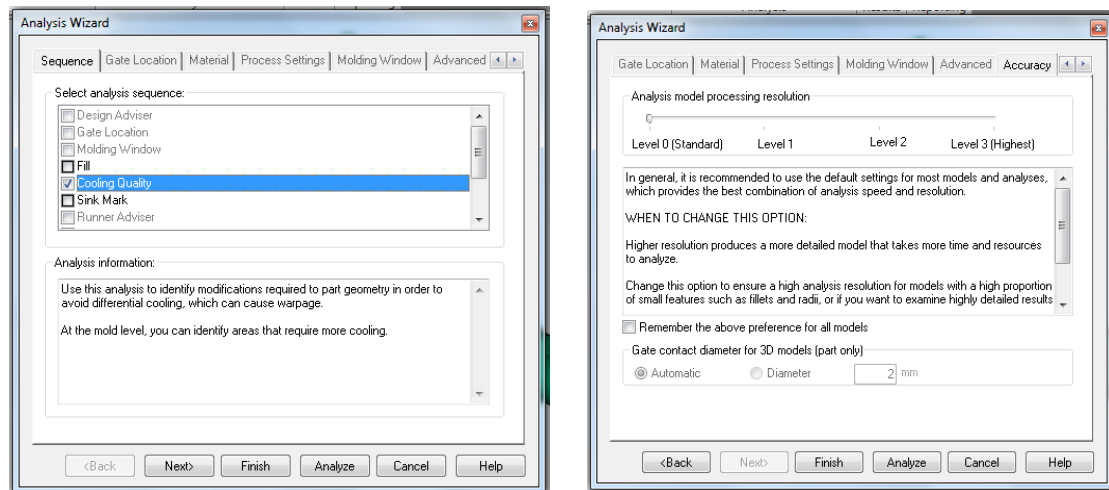
Na obrázku níže je vidět výskyt studených spojů. Opět se nejvíce vyskytují na největším průměru trychtýře a všeobecně by se mohly vyskytovat u dutin. Vznikají rozdělením toku a následným spojením. Studené spoje mohou poškodit strukturu výstřiku, ale jelikož výstřík nebude zatěžován, spoje nemají vliv na funkci součásti, ale mohou mít vliv na vzhled.



Obrázek 31 - Výsledek analýzy Weld lines (studené spoje)

6.4. Analýza Cooling Quality (kvalita chlazení)

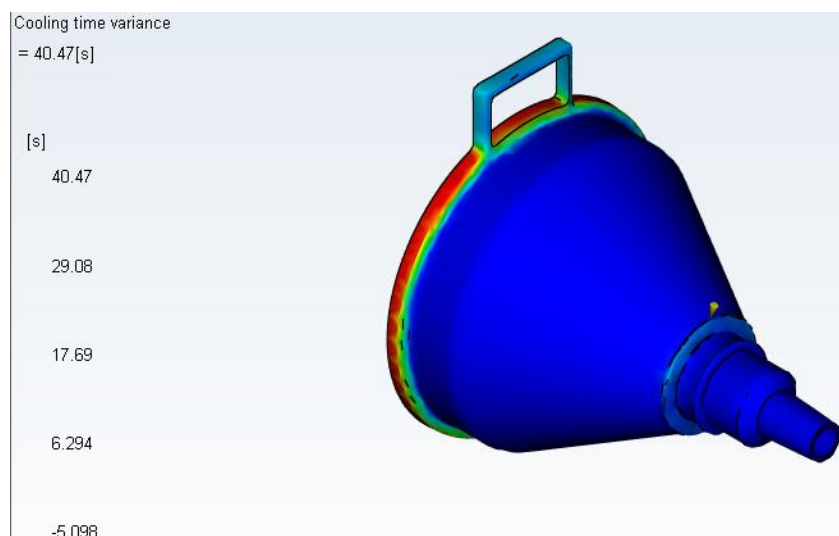
Tato analýza ukazuje potřebné úpravy části geometrie, aby se zabránilo rozdílnému chlazení, které může způsobovat deformaci. Na součásti můžete identifikovat oblasti, které vyžadují více chlazení. V prvním okně se vybírá analýza a ve druhém se volí přesnost měření.



Obrázek 32 – Výběr analýzy (vlevo) a nastavení přesnosti měření (vpravo)

6.4.1. Cooling time variance (rozdílné chlazení v čase)

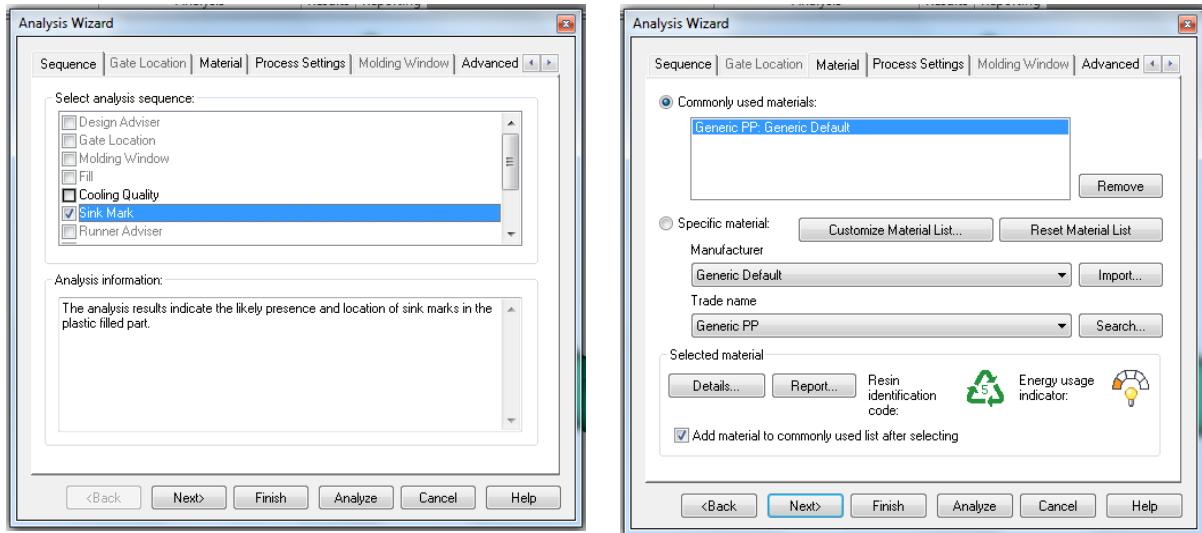
Analýza Cooling time variance (rozdílné chlazení v čase) ukazuje, na která místa výstřiku by jsme se měli zaměřit při návrhu temperačního systému, aby nedocházelo k nerovnoměrnému chlazení součásti.



Obrázek 33 – Výsledek analýzy Cooling time variance (rozdílné chlazení v čase)

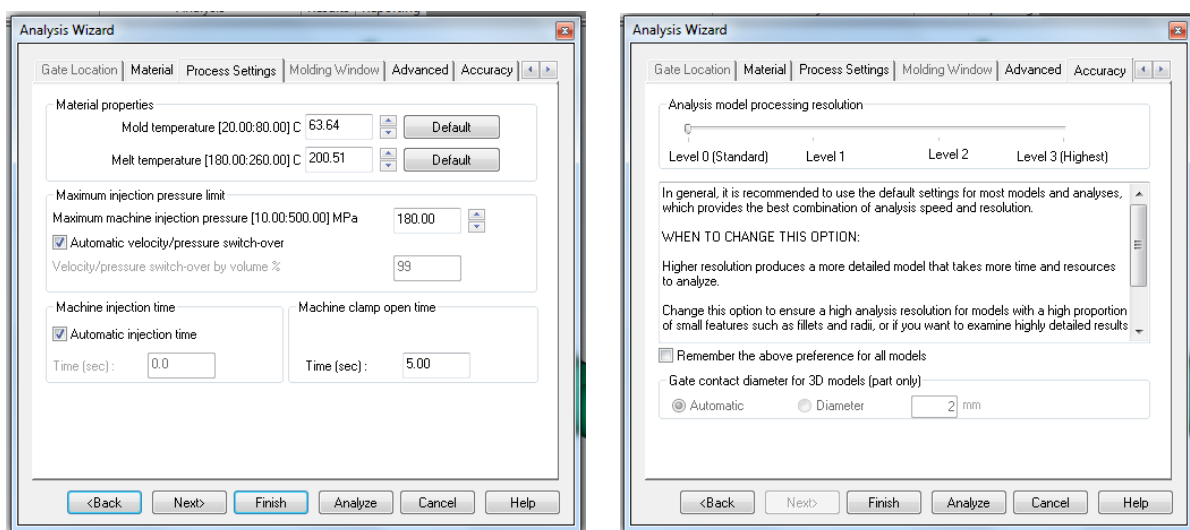
6.5. Analýza Sink Mark (propadliny)

Výsledky analýzy ukazují pravděpodobnou přítomnost a umístění propadlin v dutině formy. V první záložce se vybírá analýza, tedy Sink Mark (propadliny) a ve druhé materiál. Nechán již jednou vybraný polypropylen.



Obrázek 34 – Výběr analýzy (vlevo) a výběr materiálu (vpravo)

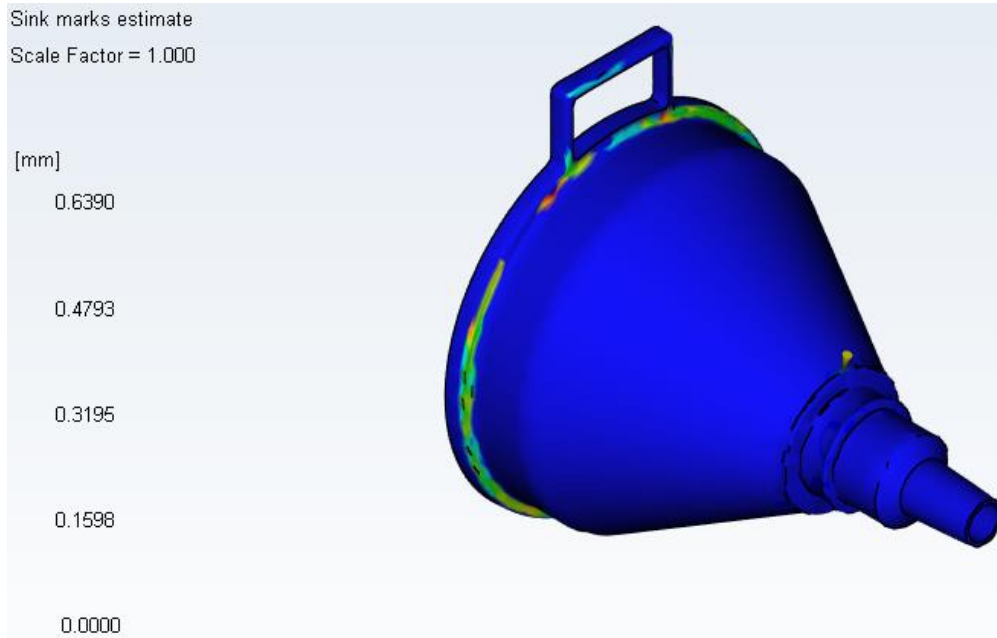
V záložce Process Settings (nastavení procesu) ponechány hodnoty Mold temperature (teplota formy) na 63,64 °C a Melt temperature (teplota taveniny) na 200 °C. Tyto hodnoty převzaty z výsledků analýzy Molding Window (licí okno). Hodnota Maximum machine injection pressure (maximální vstřikovací tlak stroje) ponechána na 180 MPa a hodnota Machine clamp open time ponechána na 5 s. U parametrů Velocity/pressure switch-over a Machine injection time zvolena možnost automaticky spočítat tyto hodnoty. V poslední záložce opět nastavení přesnosti měření. Nastaven level 0 (standart).



Obrázek 35 – Nastavení procesu (vlevo) a nastavení přesnosti měření (vpravo)

6.5.1. Sink marks estimate (odhad propadlin)

Analýza odhaduje výskyt propadlin na výstřiku. Malé propadliny se mohou vyskytnout u zaoblení viz. obrázek níže.



Obrázek 36 – Výsledek analýzy Sink marks estimate (odhad propadlin)

6.6. Celkové zhodnocení analýz

Pomocí analýzy bylo navrženo nejvhodnější místo na součásti pro umístění vtoku. Další analýza určila předběžný čas vstřikování, teplotu formy a taveniny. V analýze Quality Prediction (předpokládaná kvalita) se objevil znepokojivý výsledek, a to že by na výrobku mohla vzniknout méně kvalitní oblast v rozsahu 4,42%. Byly učiněny kroky vedoucí ke zlepšení této části budoucího výrobku. Snížení Melt temperature (teploty taveniny) z 221 °C na 200 °C a zaoblením vnějšího a vnitřního rohu na součásti v červené oblasti. Tyto kroky vedly ke snížení méně kvalitní oblasti z 4,42% na 0,18%. Analýza Confidence of Fill (důvěra výplně) ukázala, že by mělo dojít ke stoprocentnímu vyplnění dutiny formy. V dalších analýzách je vidět, že nejvíce kritické místo na trychtýři je v zaoblení u největšího průměru. Zde se mohou vyskytovat v menší míře vzduchové kapsy, studené spoje a propadliny.

7. Praktická část

7.1. Zadání

Vypracovat rešerši na téma vstřikovací formy. Vybrat si plastovou součást z kuchyňského spotřebiče nebo z automotive. Vybrán trychtýř, který se používá pro snazší nalévání pohonných hmot do automobilu. Provést simulaci vstřikovacího procesu pomocí programu Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2015. Navrhnout 3D vstřikovací formu v programu Autodesk Inventor Professional 2012. Zhotovit výkres sestavy, seznam položek vstřikovací formy a výrobní výkres pohyblivé desky. Zhodnotit návrh vstřikovací formy.



Obrázek 37 – Výstřík

7.2. Materiál výstříku

Materiálem výstříku zvolen polypropylen (PP). Výstřík bude vážit 71 g. Polypropylen má smrštění 1,5 – 3% pro výpočty zvoleno 2,3% smrštění a hustota PP je 0,936 g/cm³. Teplota tavení PP je 165 °C. Teplota taveniny by měla být 200 °C. Teplota formy bude cca 64 °C. Další mechanické a teplotní vlastnosti PP viz. obrázky níže.

7.2.1. Mechanické vlastnosti

Napětí na mezi kluzu	ISO 527	28	MPa
Tažnost	ISO 527	>50	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	1250	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	46	MPa
Norma pro Tvrdost podle Brinella		H132/30	
Tvrdost Shore (A/D) nebo Rockwell (R/L/M)	ISO 868, ISO 2039-2	D66	-
Izod-vrbová houževnatost při 23 °C	ISO 180/1A	6	KJ/m ²
Charpy-vrbová houževnatost při 23 °C	ISO 179/1eA	8	KJ/m ²

Obrázek 38 - Mechanické vlastnosti PP [6]

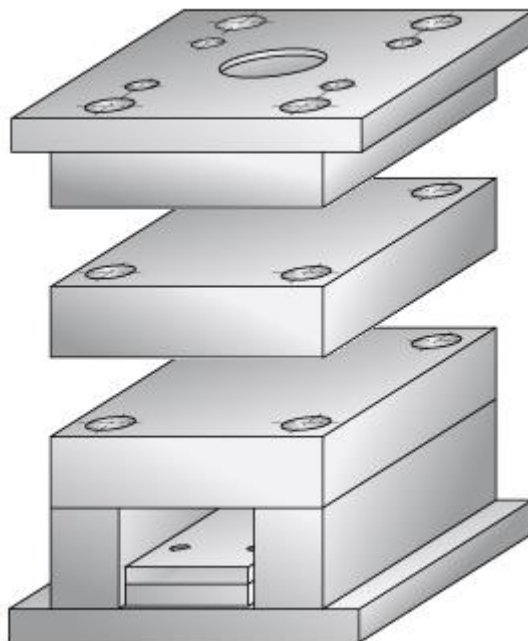
7.2.2. Teplotní vlastnosti

Tepelná vodivost	DIN 52 612	0,22	W/K m
Koeficient délkové roztažnosti příčný	ISO 11359	100-200	10 ⁻⁶ /K
Teplota tavení popř. zesklivatění	ISO 11357	165	°C
Tvarová stálost za tepla A	ISO 75 HDT/A (1.8 MPa)	54	°C
Tvarová stálost za tepla B	ISO 75 HDT/B (0,45 MPa)	76	°C
max. teplota krátkodobá		140	°C
max. teplota dlouhodobá		100	°C
min. teplota použití		0	°C

Obrázek 39 - Teplotní vlastnosti PP [6]

7.3. Konstrukce formy

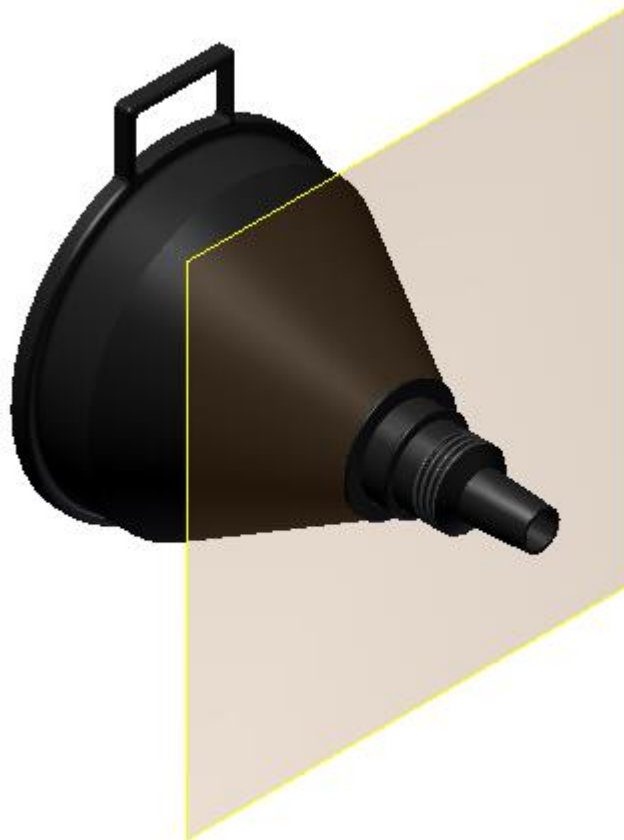
Návrh konstrukce formy vychází z předběžného rozvržení vyráběné součásti uvnitř formy a s rozvržením dalších nutných systémů uvnitř formy jako je např. vtokový systém, temperační systém a vodící systém. Pro návrh byl použit stavebnicový rám, který se koupí od firmy Meusburger. Druhou možností je vlastní výroba rámu. Stavebnicový rám se skládá z několika desek a vodícího systému. Zvolena první možnost z důvodu, že firma Meusburger má zkušenosti s výrobou forem (rámů), a proto je zde minimální riziko, že by třeba nefungoval vodící systém. Další výhodou je, že firma dodává i ostatní příslušenství k formě jako jsou vyhazovače, vtoková vložka, středící kroužek a mnoho dalšího. Při výrobě formy se budou muset obrobit nakoupené desky. V těchto deskách se budou muset zhotovit např. díry pro přívod a vývod temperační kapaliny, vybrání kapes pro tvarové vložky a vrtat díry pro vyhazovače. Zcela vlastní výroba bude např. tvarových jader a vložek.



Obrázek 40 - Stavebnicový rám od firmy Meusburger [7]

7.4. Dělicí rovina

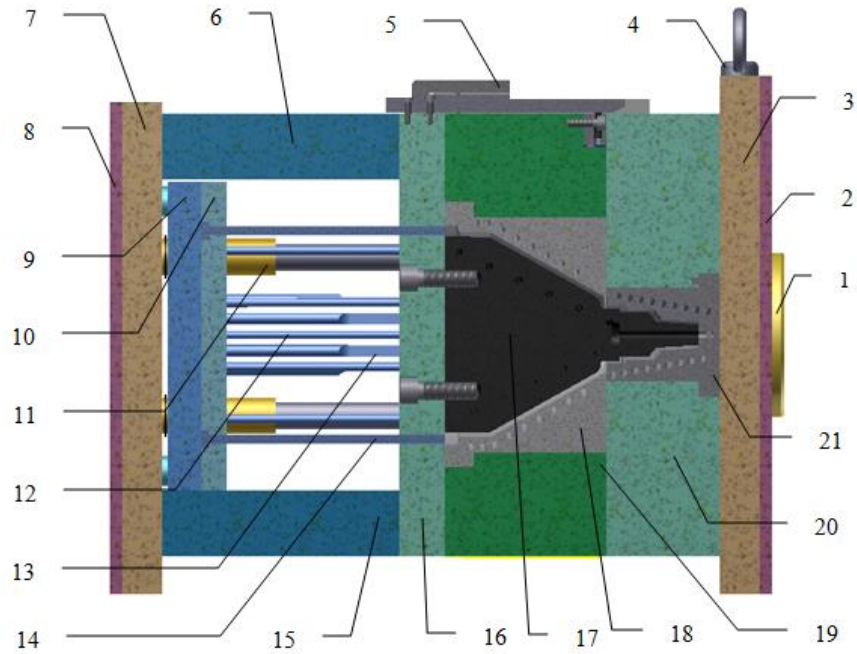
Při návrhu konstrukce formy je jedním z prvních kroků volba dělicí roviny. Určuje nám umístění výstřiku ve formě, a tím pádem rozmístění dalších součástí formy. Rozděluje formu na pevnou a pohyblivou část. Výstřik musí vždy zůstat po otevření formy na pohyblivé straně formy, aby došlo k vyhození součásti. Umístění dělicí roviny na výstřiku zvoleno podle analýzy Gate Location (umístění vtoku). Simulace nám ukázala nejvhodnější místa pro umístění vtoku.



Obrázek 41 - Volba dělicí roviny

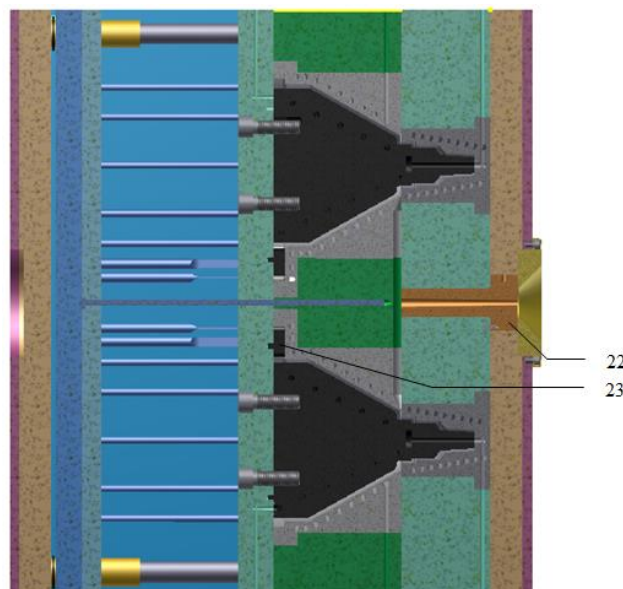
7.5. Složení vstřikovací formy

Rozměry všech desek kromě desek upínacích jsou 296x496 mm. Desky upínací mají rozměr 346x496 mm. Složení vstřikovací formy viz. obrázek níže.



- | | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 – středící kroužek | 2 – izolační deska | 3 – upínací deska |
| 4 – závěsné oko | 5 – tahač | 6 – lišta |
| 7 – upínací deska | 8 – izolační deska | 9 – vyhazovací deska 1 |
| 10 – vyhazovací deska 2 | 11 – kuličkové vedení | 12 – vyhazovač vtoku |
| 13 – vyhazovač plochý | 14 – vyhazovač kruhový | 15 – lišta |
| 16 – pohyblivá deska | 17 – jádro 1 | 18 – vložka 1 |
| 19 – střední deska | 20 – pevná deska | 21 – vložka 2 |

Obrázek 42 - Řez vstřikovací formy zepředu

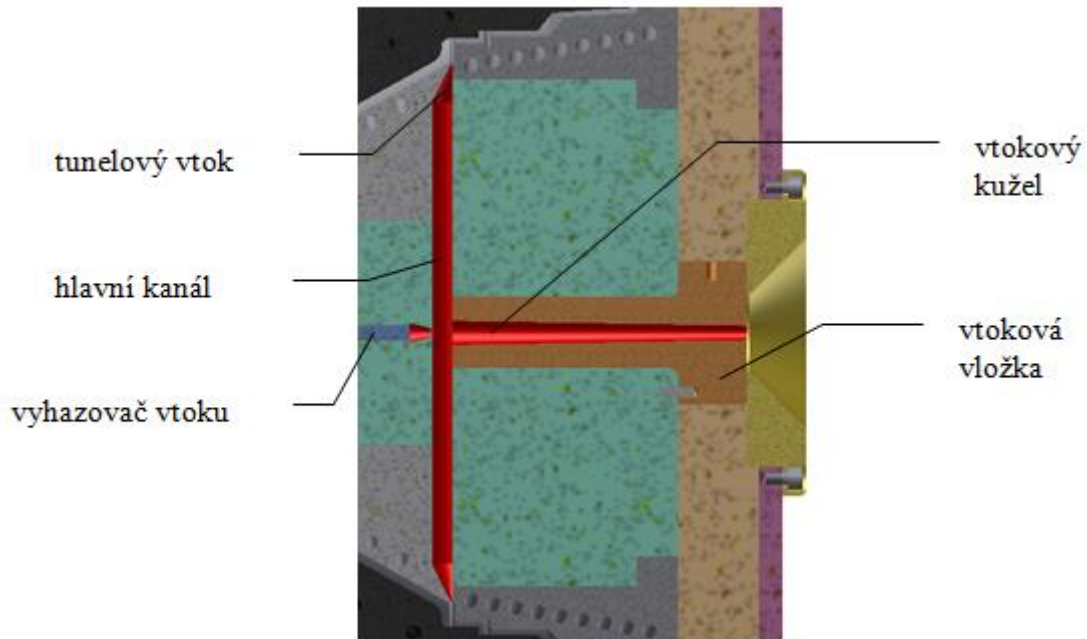


- | | |
|---------------------|--------------|
| 22 – vtoková vložka | 23 – jádro 2 |
|---------------------|--------------|

Obrázek 43 - Řez vstřikovací formou shora

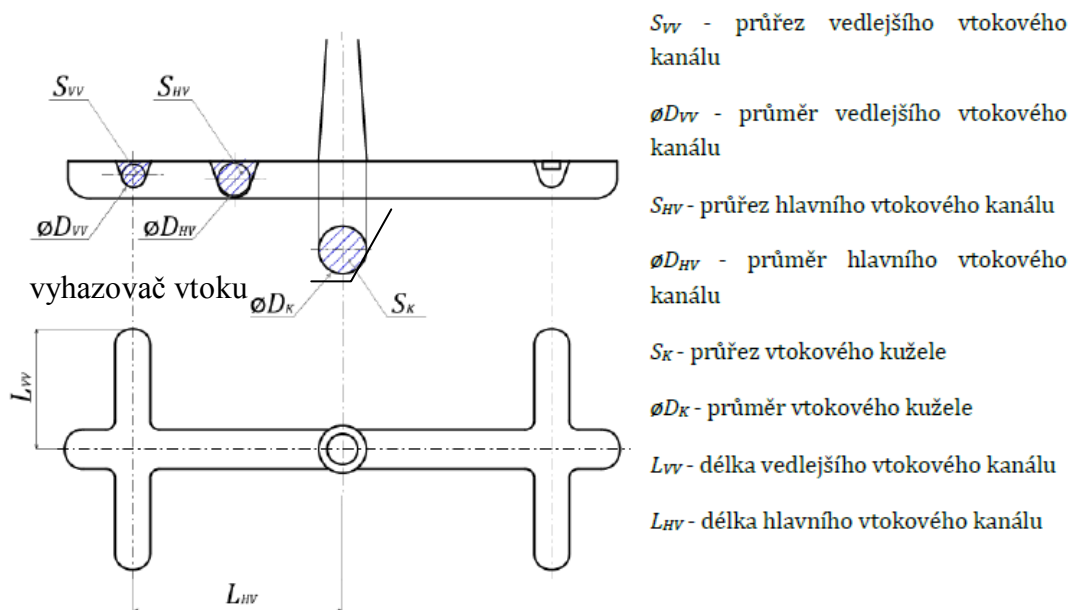
7.6. Vtokový systém

Vtokový systém je řešen pomocí vtokové vložky, která má v sobě vtokový kužel a dvou rozváděcích hlavních kanálů zakončených tunelovým vtokem. Vedlejší kanály nejsou, jelikož se jedná o formu dvounásobnou. Hlavní rozváděcí kanály mají půlkruhový průřez. Vtokový stromeček je odstraněn vyhazovačem vtoku. Tavenina je na obrázku níže znázorněna červenou barvou.



Obrázek 44 - Vtokový systém

Návrh velikosti vtokových kanálů a vtokového kužele.



Obrázek 45 - Příklad vtokové soustavy bez ústí vtoku [5]

7.6.1. Výpočet hlavního vtokového kanálu

Podle hmotnosti výstřiku, která je 71 g se určí základní průměr hlavního vtokového kanálu D_{HV} dle tabulky 3.

$$m = 71 \text{ g} \Rightarrow D_{HV} = 5 \text{ mm}$$

Hmotnost výstřiku m [g]		Základní průměr vtokového kanálu [mm]	Průřez vtokového kanálu (kruh) [mm]	Průřez vtokového kanálu (lichoběžník) [mm]
přes	do			
	10	2,5	4,9	5,7
10	16	3,0	7,1	8,2
16	25	3,5	9,6	11,2
25	40	4,0	12,6	14,6
40	63	4,5	15,9	18,5
63	100	5,0	19,6	22,8
100	160	5,5	23,8	27,7
160	250	6,0	28,3	32,9
250	400	6,5	33,2	38,6
400	630	7,0	38,5	44,8
630	1000	7,5	44,2	51,4
1000	2000	8,0	50,3	58,5
2000	3000	8,5	56,7	66,1
3000	4000	9,0	63,6	74,1

Tabulka 3 - Závislost průměru a průřezu vtokových kanálů na hmotnosti výstřiku [5]

Průměr D_{HV} se upraví podle délky hlavního vtokového kanálu L_{HV} v závislosti na průměru z tabulky 3 dle tabulky 4. Z tabulky 3 se odečte průřez hlavního vtokového kanálu S_{HV} pro daný průměr vtokového kanálu.

$$L_{HV} = 90 \text{ mm}, D_{HV} = 7 \text{ mm} \Rightarrow S_{HV} = 38,5 \text{ mm}^2$$

Délka vtokového kanálu [mm]		Základní průměr z Tabulky 1 [mm]													
		2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
přes	do	Průměr vtokového kanálu [mm]													
16	40	4		5	6	7	8	9	10						
40	100	5		6	7	8	9	10	11						
100	250	6		7	8	9	10	11	12						

Tabulka 4 - Závislost průměru vtokového kanálu na jeho délce [5]

7.6.2. Výpočet vtokového kužele

Z průřezu hlavního vtokového kanálu S_{HV} , počtu hlavních vtokových kanálů $n=2$ a koeficientu násobnosti formy $k=0,9$ dle tabulky 5, se určí průřez vtokového kužele S_K a z něj následně průměr vtokového kužele ústícího do vtokového kanálu.

$$S_K = n * k * S_{HV} = 2 * 0,9 * 38,5 = 69,3 \text{ mm}^2$$

$$S_K = \frac{\pi * D_K^2}{4} \Rightarrow D_K = \sqrt{\frac{4 * S_K}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 69,3}{\pi}} = 9,4 \text{ mm}$$

Dle tohoto průměru se z katalogu Meusburgru vybrala velikost vtokové vložky.

počet vtokových kanálů	koefficient vlivu násobnosti formy
2	0,9
4	0,7
6	0,5
8	0,4
a více	0,2

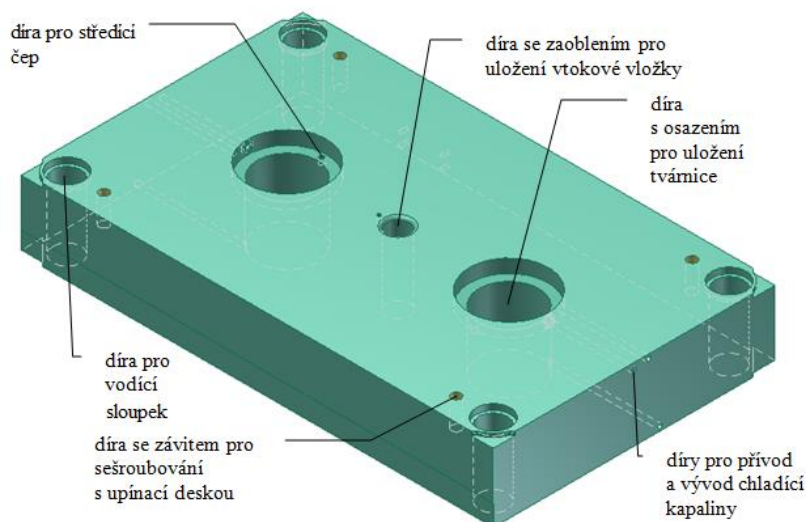
Tabulka 5 - Koefficient vlivu násobnosti formy dle počtu rozváděcích kanálů [5]

7.7. Tvářecí systém

7.7.1. Pevná část formy

Pevná deska

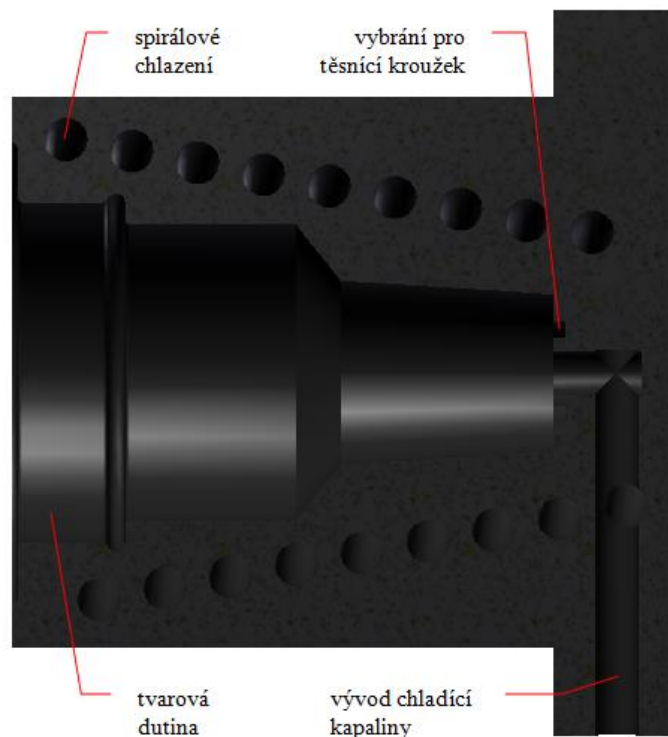
Pevná deska o rozměrech 496x296x76 mm bude nakupovaná součást, ve které budou již zhotoveny průchozí díry pro vodící sloupky a neprůchozí díry se závity pro sešroubování s upínací deskou. Po vodících sloupcích se posouvají jednotlivé desky formy, a tím je zajištěno vystředění desek mezi sebou. Dále se budou muset obrobít válcové díry s osazením pro uložení tvárnic. Osazení je navrženo z důvodu, aby tvárnice nemohly vypadnout při otevření formy. Vypadnutí brání na jedné straně osazení a na straně druhé upínací deska, která bude sešroubovaná s pevnou deskou. Dále se budou muset zhotovit díry pro středící čepy, které slouží pro jednoznačné vymezené polohy mezi pevnou deskou a tvárnicí. Dále vyvrtat díry pro přívod a odvod chladicí kapaliny a zhotovit díru uprostřed desky pro vtokovou vložku.



Obrázek 46 - Pevná deska

Tvárnice

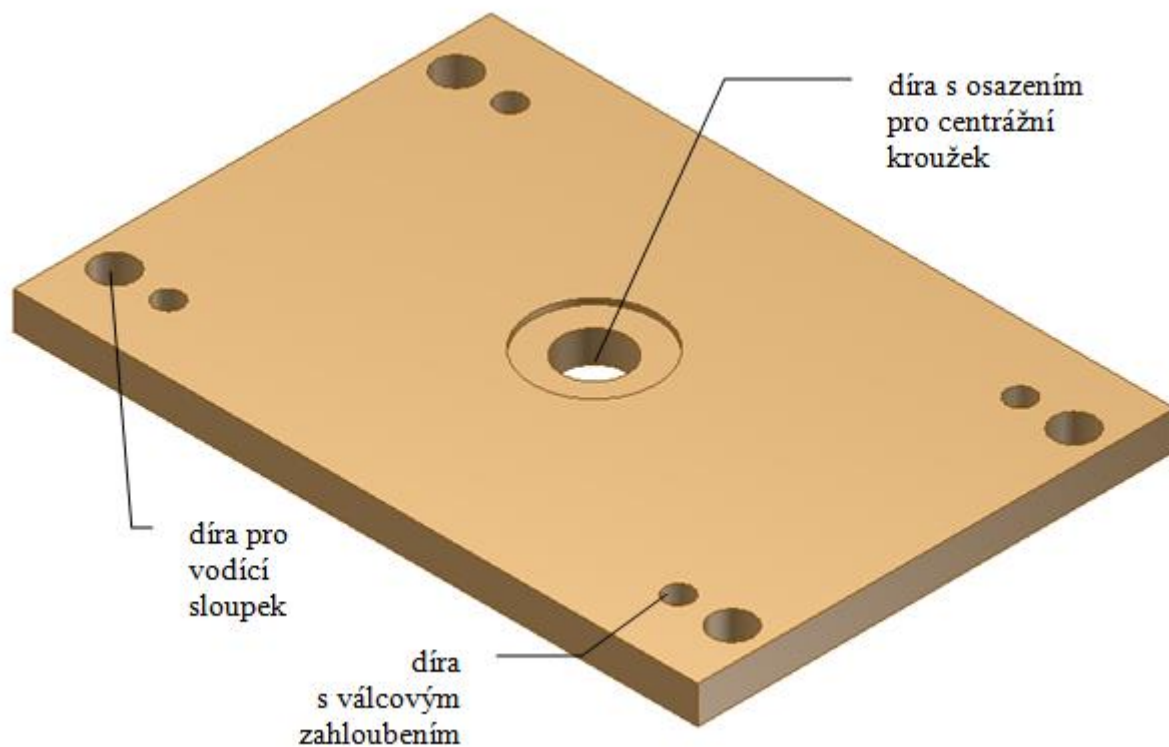
Dutina tvárnice, která odpovídá částečnému vnějšímu tvaru výrobku je zvětšena o 2,3%. Z důvodu smrštění výrobku po ochlazení. Chlazení dutiny je provedeno pomocí tzv. konformního chlazení. Jedná se o chladicí kanálek, který se vine ve spirále kolem dutiny. Do dutiny tvárnice se vloží hlavní jádro, které odpovídá částečnému vnitřnímu tvaru výrobku. Vznikne tedy prostor mezi dutinou tvárnice a hlavním jádrem. Tento prostor odpovídá částečnému tvaru výrobku, který je zvětšený o 2,3%. Hlavní jádro je také chlazené tzv. konformním chlazením, tedy uvnitř jádra se vine ve spirále chladicí kanálek. Tento kanálek je vyveden do kanálku, který je vidět na obrázku níže, proto je zde vybrání pro těsnicí kroužek. Těsnicí kroužek těsní přechod mezi dvěma součástmi. Tedy mezi jádrem a tvárnici. Tvárnice se bude vyrábět na principu 3D tisku.



Obrázek 47 - Tvárnice v řezu

Upínací deska

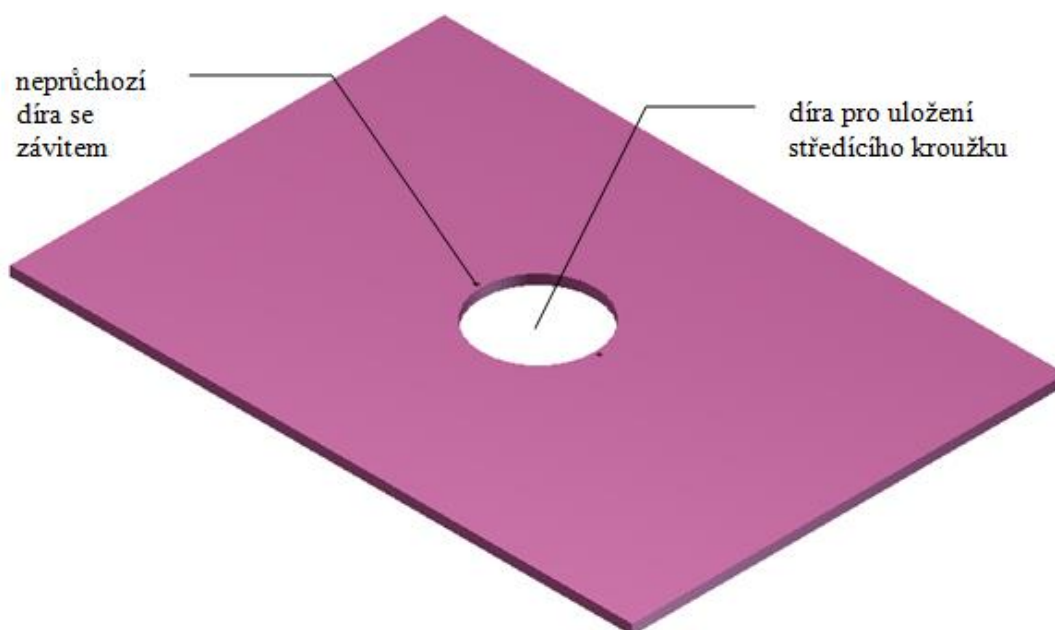
Upínací deska má rozměry 496x346x27 mm. Za tuto desku se forma upíná do vstříkovacího lisu. Uprostřed desky je díra s osazením pro centrážní kroužek, který slouží k vystředění formy v prostoru vstříkovacího lisu. V každém rohu desky jsou dvě díry. Větší je průchozí a je pro vodící sloupek. Menší je také průchozí, ale je s válcovým zahloubením a je pro šroub, který sešroubovává upínací a pevnou desku. Z boku desky je neprůchozí díra se závitem pro zašroubování závěsného oka.



Obrázek 48 - Upínací deska

Izolační deska

Izolační deska o rozměrech 496x346x8 mm izoluje přechod tepla ze vstřikovací formy na rám vstřikovacího stroje. Uprostřed desky je díra pro vložení středícího kroužku a vedle ní dvě díry se závity pro přišroubování středícího kroužku.

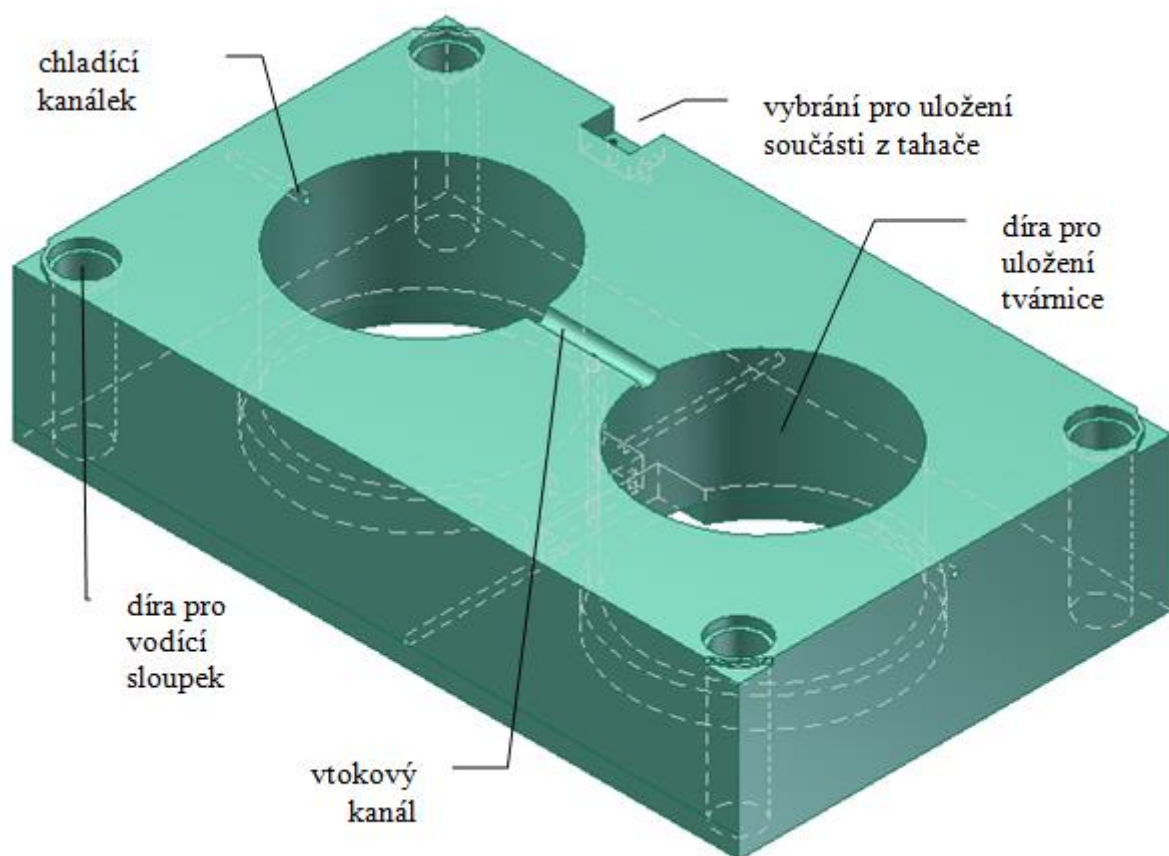


Obrázek 49 - Izolační deska

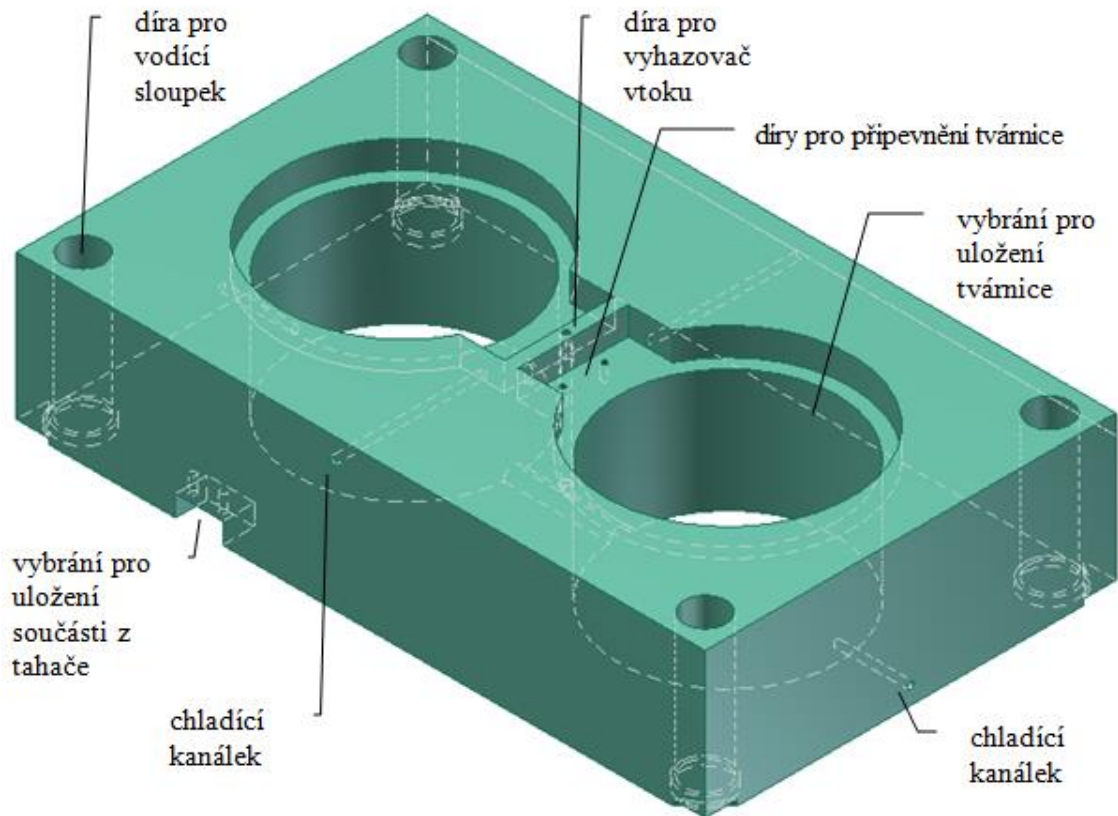
7.7.2. Pohyblivá část formy

Mezilehlá deska

Mezilehlá deska o rozměrech 496x296x108 mm bude nakupovaná součást, ve které budou již zhotoveny průchozí díry pro vodící sloupky. Po vodících sloupcích se posouvají jednotlivé desky formy, a tím je zajištěno vystředění desek mezi sebou. Dále se budou muset obrobit vybrání pro uložení tvárnic. Kvůli tvaru tvárnic je lze vložit do mezilehlé desky jenom jedním způsobem a tvárnice jsou přišroubovány do mezilehlé desky, aby nemohly vypadnout při otevření formy. Dále se budou muset vyvrtat díry pro přívod a odvod chladicí kapaliny, zhotovit díru uprostřed desky pro vyhazovač vtoku, obrobit drážku pro vtokový kanál a odebrat materiál z boku desky pro uložení součásti z tahače.



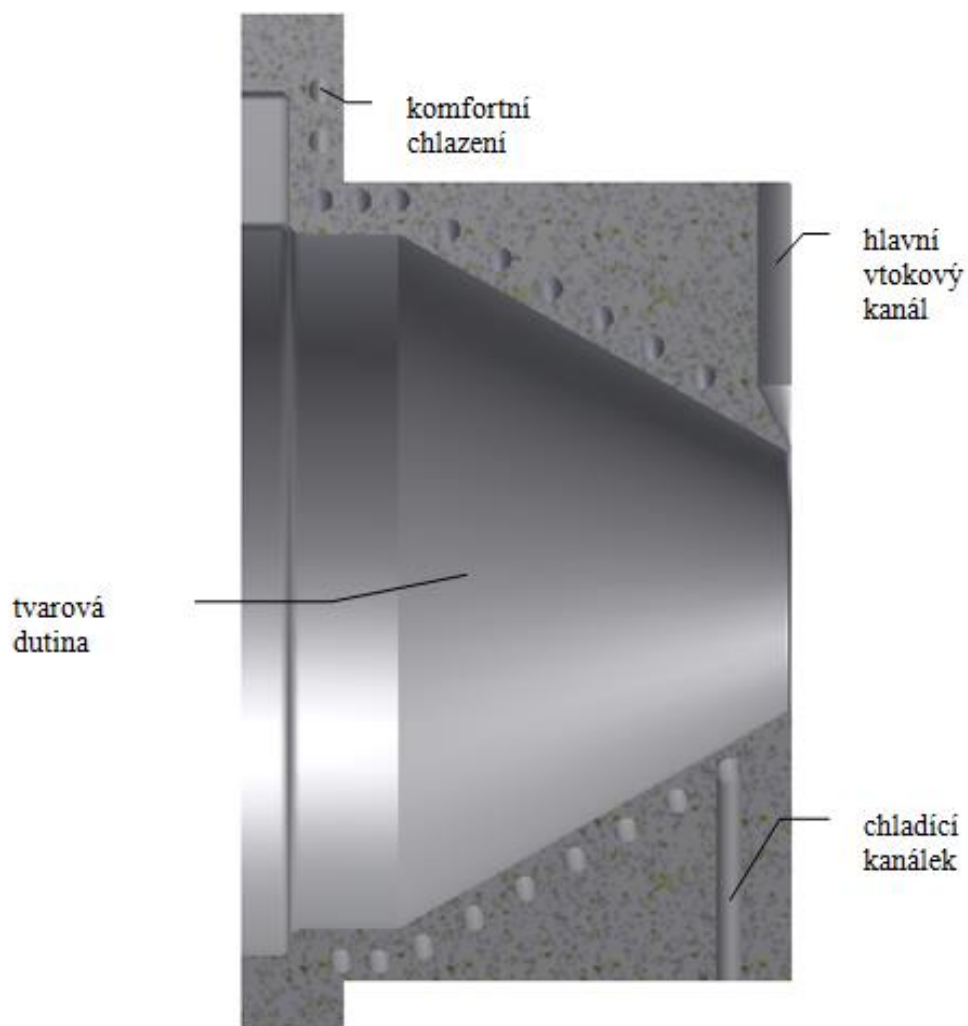
Obrázek 50 - Mezilehlá deska z pohledu zprava



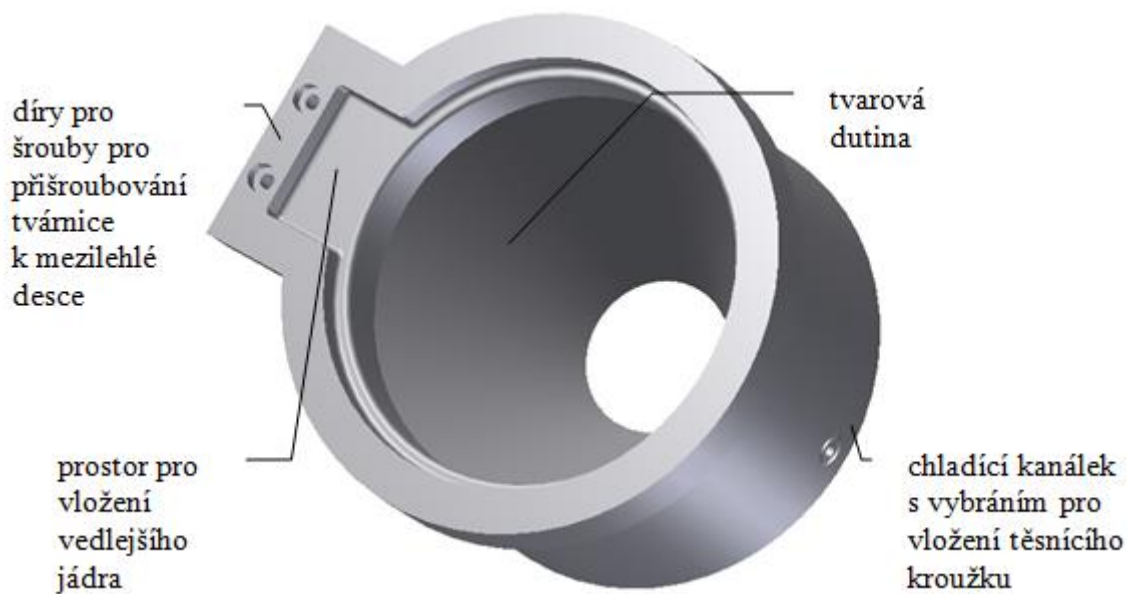
Obrázek 51 - Mezilehlá deska z pohledu zleva

Tvárnice

Dutina tvárnice, která odpovídá částečnému vnějšímu tvaru výrobku je zvětšena o 2,3%. Z důvodu smrštění výrobku po ochlazení. Chlazení dutiny je provedeno pomocí tzv. konformního chlazení. Jedná se o chladicí kanálek, který se vine ve spirále kolem dutiny. Do dutiny tvárnice se vloží hlavní jádro a vedlejší jádro, která odpovídají vnitřním tvarům výrobku. Vzniknou tedy prostory mezi dutinou tvárnice a hlavním (vedlejší) jádrem. Tyto prostory odpovídají částečně tvaru výrobku, který je zvětšený o 2,3%. Chladicí kapalina, která odchází z kanálku tvárnice ven z formy prochází přes mezilehlou desku. Proto je v přechodu mezi tvárnicí a mezilehlou deskou vložen těsnicí kroužek. Tvárnice se bude vyrábět na principu 3D tisku.



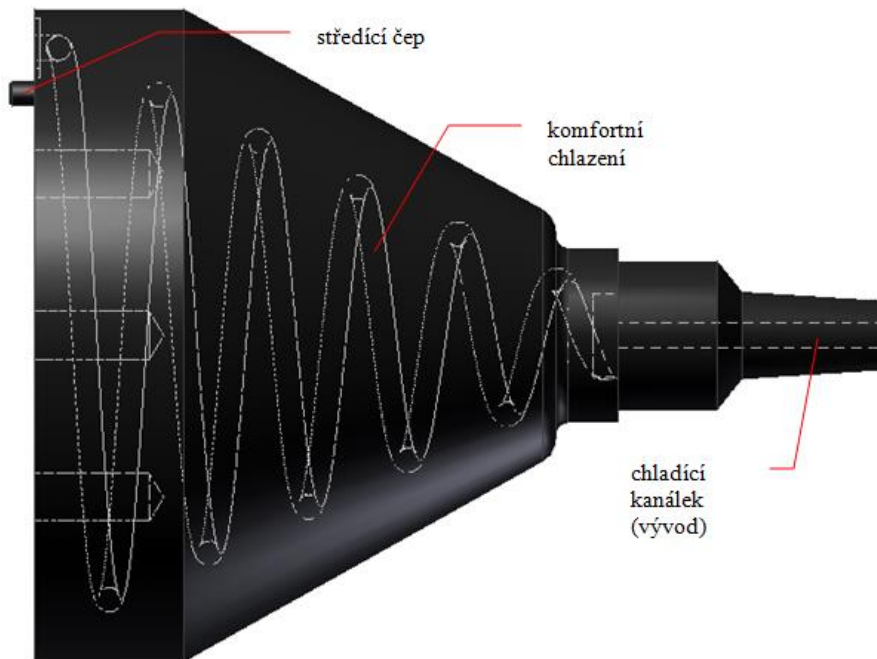
Obrázek 52 – Tvárnice v řezu



Obrázek 53 – Tvárnice

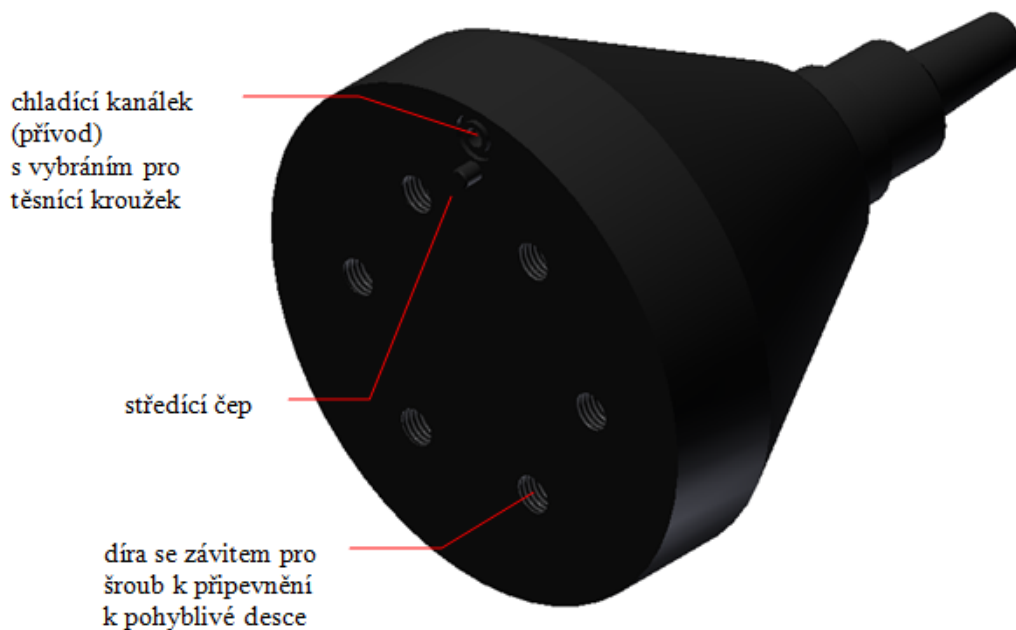
Hlavní jádro

Hlavní jádro je chlazeno konformně. Je připevněno pomocí šroubů k pohyblivé desce. Přesné vymezení polohy je zajištěno středícím čepem. Přívod chladicí kapaliny je z pohyblivé desky a vývod chladicí kapaliny je přes tvárnici v pevné desce a přes kanálek v pevné desce.



Obrázek 54 - Hlavní jádro

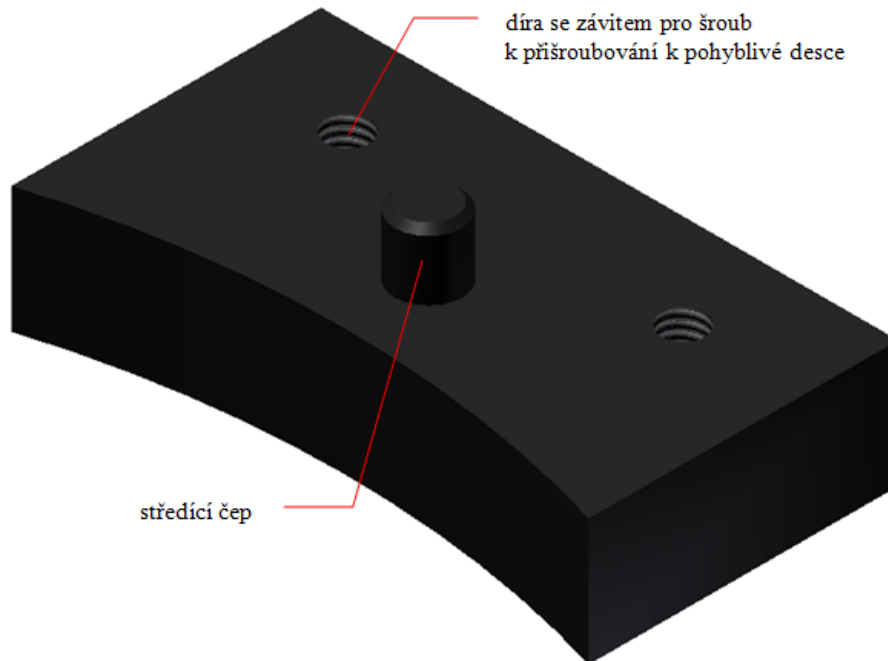
Jelikož chladicí kapalina prochází z pohyblivé desky do hlavního jádra je v místě styku vložen těsnící kroužek.



Obrázek 55 - Hlavní jádro

Vedlejší jádro

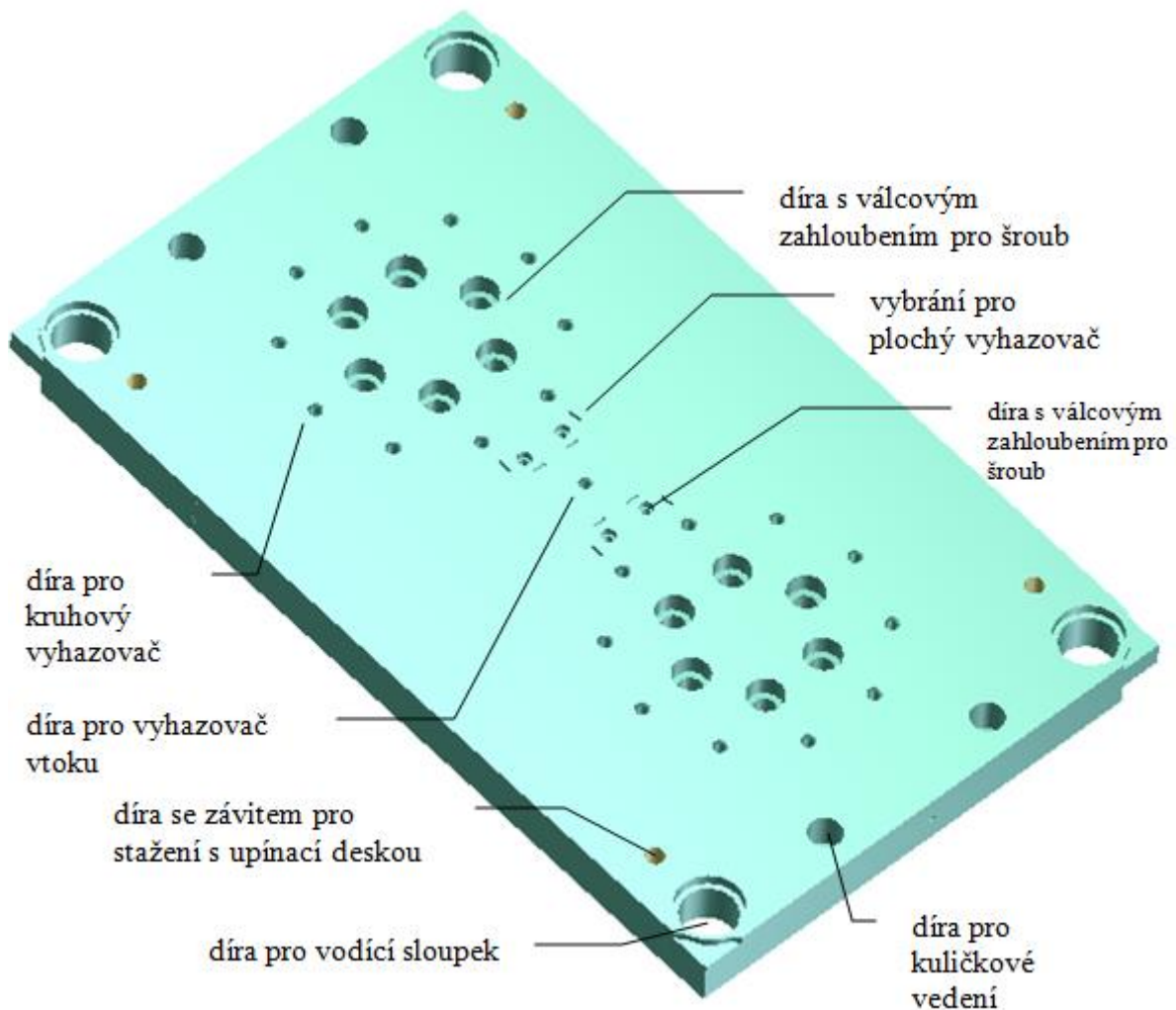
Prostor mezi vedlejším jádrem a tvárnici po zalití taveninou a vychladnutí vytvoří úchytku na součásti. Středící čep a dva šrouby přesně vymezí jednoznačnou polohu vedlejšího jádra vůči tvárnici. Vedlejší jádro se přišroubuje k pohyblivé desce.



Obrázek 56 – Vedlejší jádro

Pohyblivá deska

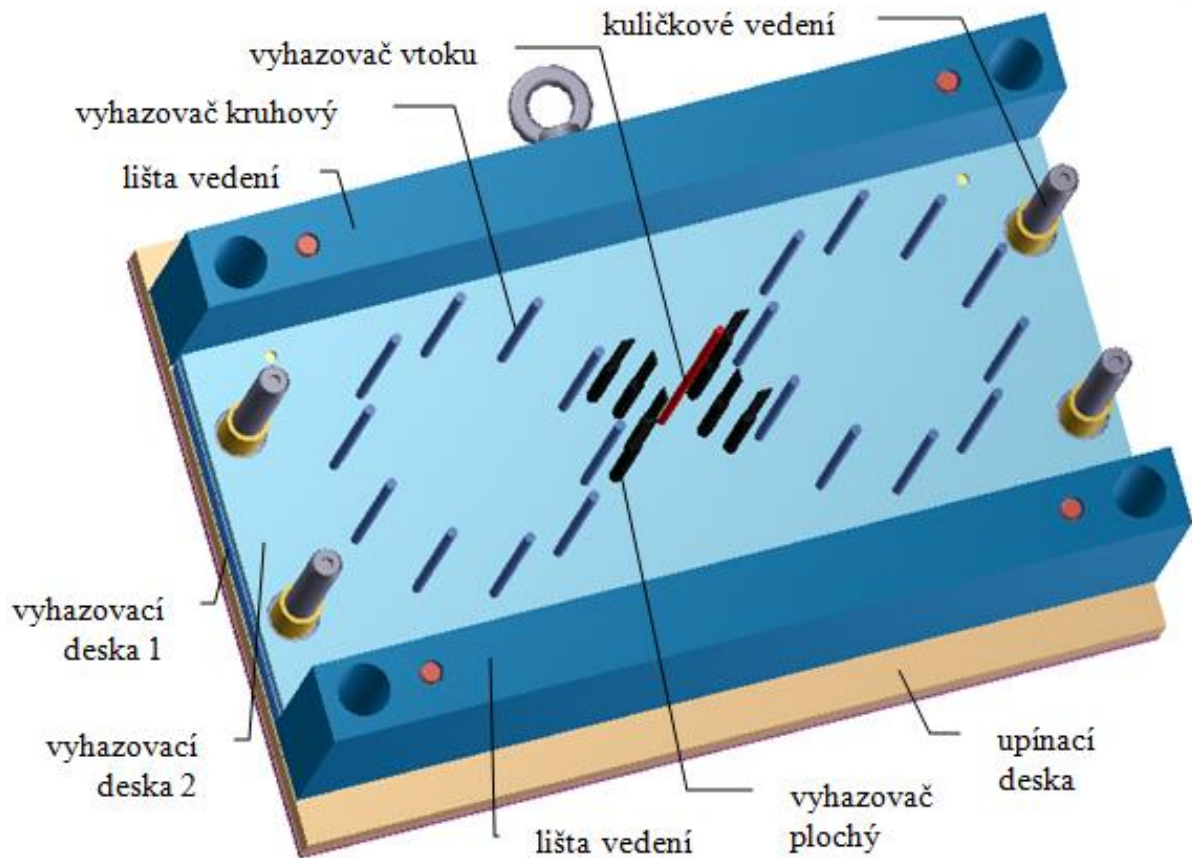
Pohyblivá deska o rozměrech 496x296x30 mm bude nakupovaná součást, ve které budou již zhotoveny průchozí díry pro vodící sloupky a neprůchozí díry se závity pro sešroubování s upínací deskou. Po vodících sloupcích se posouvají jednotlivé desky formy, a tím je zajištěno vystředění desek mezi sebou. Dále se bude muset vyvrtat dvacet děr pro kruhové vyhazovače, jedna díra pro vyhazovač vtoku, čtyři neprůchozí díry pro kuličkové vedení, dvanáct děr s válcovým zahloubením pro šrouby připevňující hlavní jádro, čtyři díry s válcovým zahloubením pro šrouby připevňující vedlejší jádro a osm obdélníkových vybrání pro ploché vyhazovače. Z boků desky se budou muset zhotovit díry pro přívod chladicí kapaliny, která prochází přes desku do hlavního jádra. Vyrobí se díry pro středící čepy, které budou na druhé straně desky a slouží pro jednoznačné vymezení polohy hlavního a vedlejšího jádra vůči tvárnici.



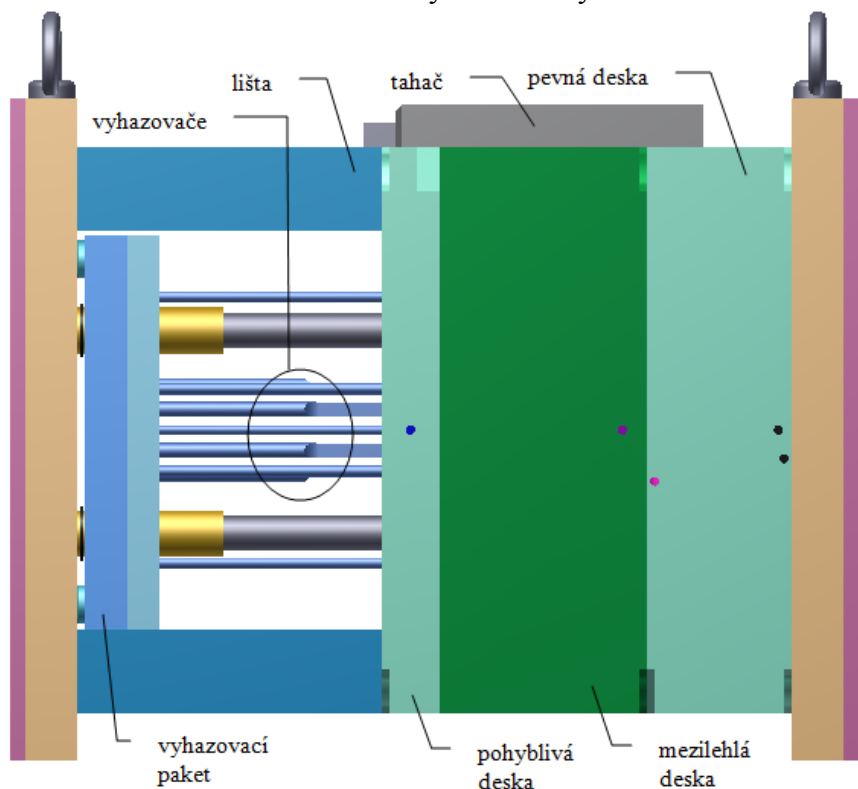
Obrázek 57 - Pohyblivá deska

7.8. Vyhazovací systém

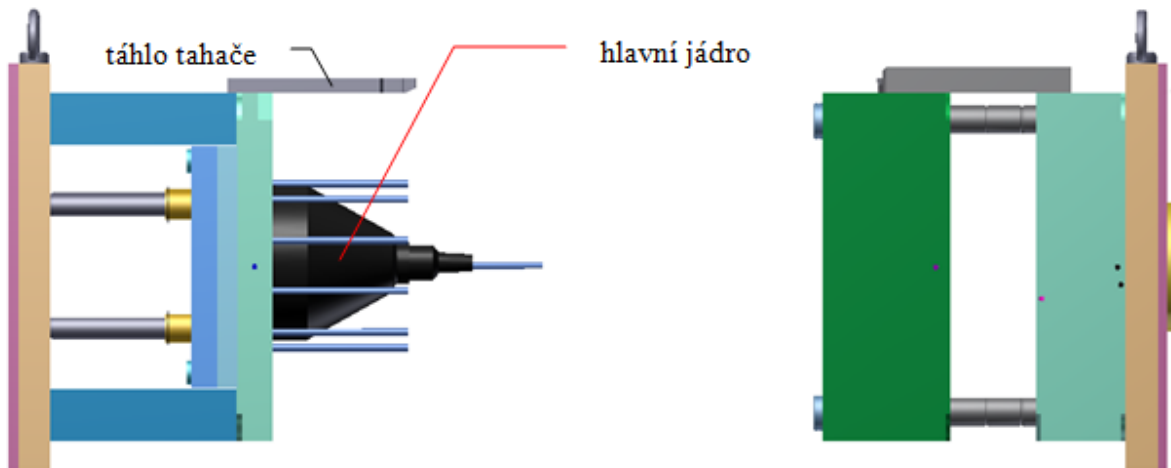
Vyhazovací systém je tvořen dvěma lištami, mezi kterými se pohybuje vyhazovací paket, v kterém jsou uloženy vyhazovače a kuličkové vedení. Vyhazovací paket jsou dvě desky, které jsou spolu sešroubované. Ve vyhazovací desce 2 jsou uloženy vyhazovače. Vyhazovací deska 1 neumožňuje vyhazovačům vypadnout a ve vyhazovací desce 2 neumožňuje vyhazovačům vypadnout osazení. Jsou navrženy dva typy vyhazovačů. Prvním typem jsou vyhazovače kruhové (modré). Ty vyhazují čelo trychtýře a je jich celkem dvacet pro dva výstřiky. Druhým typem jsou vyhazovače ploché (černé). Ty vyhazují úchytku trychtýře a je jich celkem osm pro dva výstřiky. Nesmíme zapomenout na vyhazovač vtoku (červený), který je uložen uprostřed desky. Musel být navržen také tahač, aby došlo k správnému vyhození výstřiku. Tato součástka se montuje na horní stranu formy a její funkcí je odsunout mezilehlou desku od pevné desky. Pak dochází k odjetí pohyblivé části formy a vyjetí vyhazovacího paketu, který vyhodí výstřiky a odtrhne od nich vtokový stromeček.



Obrázek 58 - Vyhazovací systém



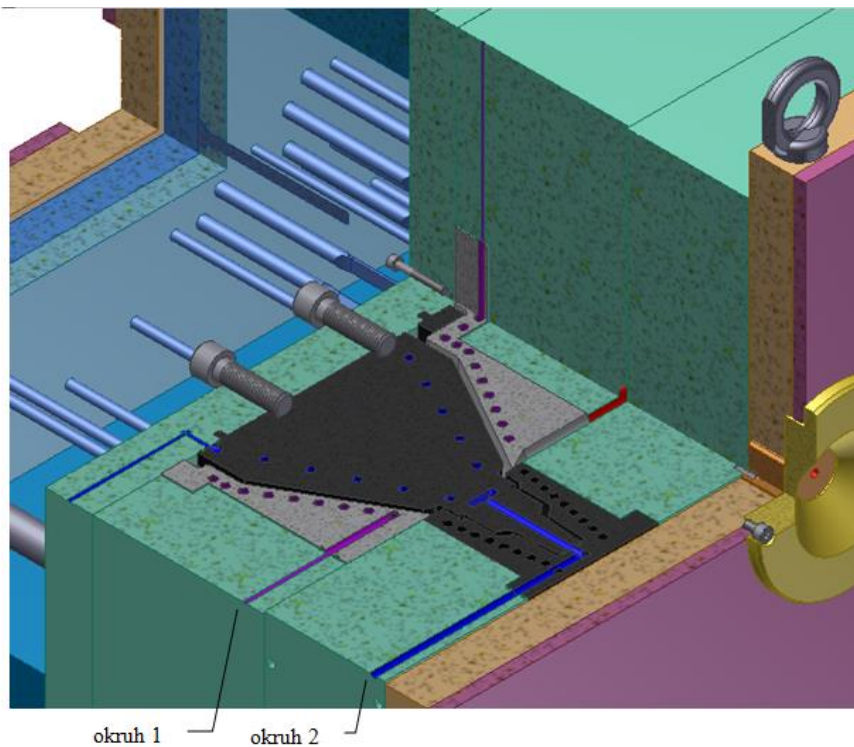
Obrázek 59 - Zavřená forma



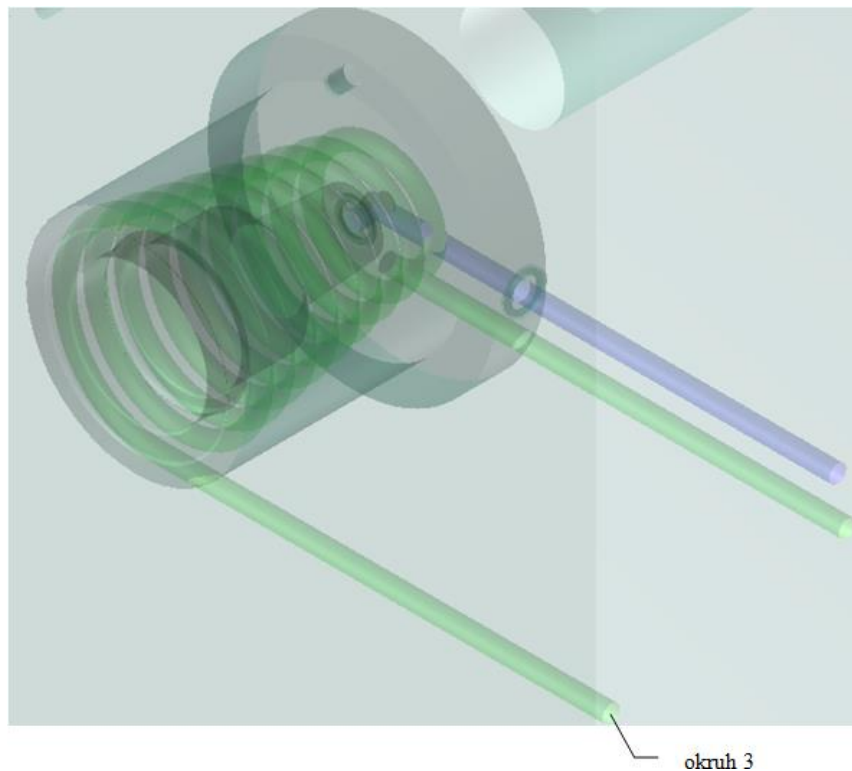
Obrázek 60 - Otevřená forma

7.9. Chladicí (temperační) systém

Temperační systém formy je tvořen kanálky o průměru 5 mm. Je navržen na tři okruhy. První okruh (fialový) slouží k chlazení tvárnice, která je uložena v mezilehlé desce. Druhý okruh (modrý) je navržen pro chlazení hlavního jádra. Třetí okruh (zelený) slouží k chlazení tvárnice, která je uložena v pevné desce. U všech třech okruhů je použito konformní chlazení. Při přechodu kanálku z jedné součásti do druhé je navržen těsnící kroužek, aby nedocházelo k úniku chladicí kapaliny.



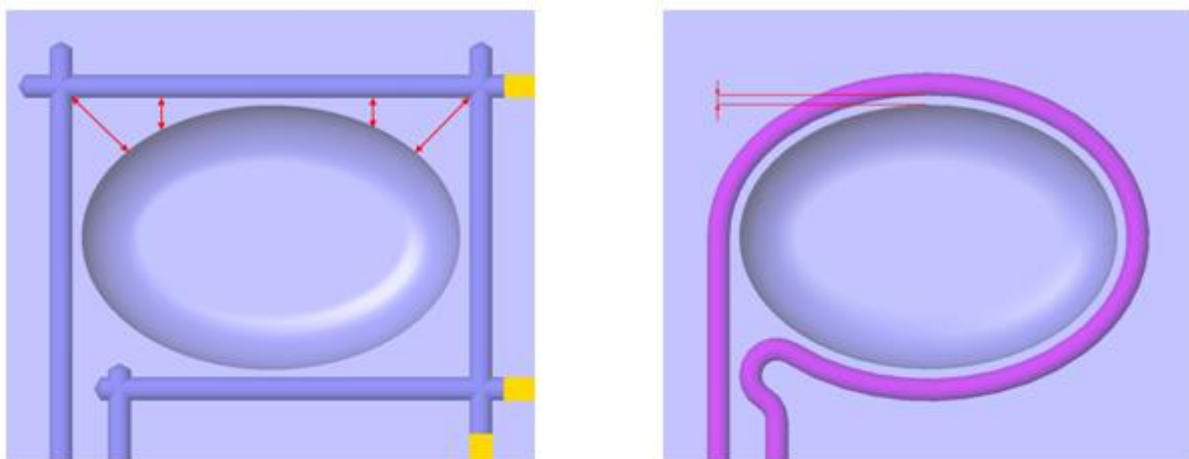
Obrázek 61 - Chladicí systém okruh 1 a 2



Obrázek 62 - Chladicí systém okruh 3

7.9.1. Konformní chlazení

Konformní chlazení je chladicí okruh navržený tak, že v nejkratší možné vzdálenosti od stěny výstřiku kopíruje jeho povrchový tvar. Chladicí kanály konformního chlazení lze ošetřit antikorozní povrchovou úpravou. [8]



Obrázek 63 - klasicky vrtaný chladicí okruh (vlevo) a konformní chlazení (vpravo) [8]

výhody konformního chlazení

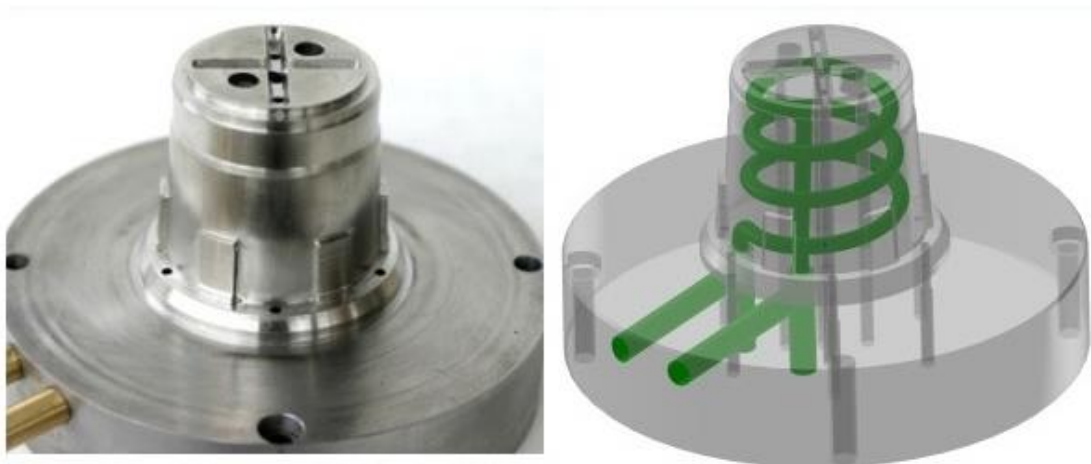
- snížení chladicího cyklu až o 50 %
- snížení deformací výstřiku
- homogenní odvod tepla z dutiny formy
- optimalizace chladicího okruhu dle výstřiku ne dle výrobních možností
- absolutní volnost při návrhu tvaru a průběhu chladicího okruhu

technická specifikace pro konformní chlazení

- výrobní technologie: DMLS - Direct Metal Laser Sintering
- vstupní formát 3D dat: *.stl
- materiál vložek s aplikovaným konformním chlazením: MS1 - 1.2709
- garantovaný minimální průměr chladicího kanálu: 3 mm
- garantovaná minimální vzdálenost stěny kanálu od stěny dutiny formy: 3 mm
- na vyžádání lze na povrch kanálu aplikovat antikorozi povrchovou úpravu
- možnost následného tepelného zušlechťení až na 54 HRC
- doporučen přídavek pro následné přebrobení (CNC, EDM, leštění atd.)
- možnost napojení se na stávající klasicky vrtaný chladicí okruh

výrobní technologie DMLS - Direct Metal Laser Sintering

Princip DMLS spočívá v postupném tavení kovového prášku ve vrstvách vlivem laserového paprsku v pracovní komoře. Pro většinu materiálů je pracovní komora vyplněná dusíkem, který chrání díl proti oxidaci. Základem pro DMLS jsou 3D CAD data v příslušném zařízení, kde je počítačový model rozřezán na velmi tenké vrstvičky. Dávkovací zařízení nastaví množství prášku pro jednu vrstvu a rameno s keramickým břitkem rozprostře na povrch ocelové základové desky kovový prášek podle vrstvy. Následně dochází k tavení prášku pomocí laseru a to v konturách řezu. Takto pokračuje postupné spojování kovového prášku do vrstev, včetně protavení k podkladové vrstvě až do finálního celku dílu. Tloušťka vytvářených vrstev 0,02 až 0,04 mm. Výrobek dosáhne požadované tvrdosti následným tepelným zpracováním. [8]



Obrázek 64 - Konformní chlazení [8]

8. Výkresová dokumentace vstřikovací formy

Výkresová dokumentace vstřikovací formy je k nalezení v příloze. Obsahuje výkres sestavy vstřikovací formy, seznam položek vstřikovací formy a výrobní výkres pohyblivé desky.

9. Závěr

Zadáním pro tuto bakalářskou práci byl návrh vstřikovací formy se studenou vtokovou soustavou. Před samotným konstrukčním návrhem zde byly popsány všeobecné poznatky o polymerech, technologii vstřikování plastů, vstřikovacích strojích a vstřikovacích formách.

Praktickou částí práce bylo vypracování modelu formy pro plastové díly. Pro konstrukci byl použit stavebnicový rám a součásti z normy Meusburger. Dalším úkolem bylo vypracovat výkresovou dokumentaci k sestavě formy, seznam položek vstřikovací formy a výrobní výkresy pohyblivé desky.

Při simulaci vstřikovacího procesu se vyskytl problém, a to nekvalitní plochy na výrobku, proto se musely upravit vstřikovací podmínky a zaoblit ostré hrany. Další problematikou při řešení návrhu formy bylo samotné zaformování výrobku. Aby docházelo k správnému vyhození výrobku, musel se použít tahač, který zajistí, aby se forma otevírala dvakrát.

Zbylé součásti formy byly vybrány z Meusburgeru a upraveny pro naši konstrukci. Pro vypracování modelu a výkresové dokumentace byl použit Autodesk Inventor Professional 2012.

Další částí práce byla výkresová dokumentace. Na výkresu sestavy formy jsou udělané řezy tak, aby bylo vidět jednotlivé součásti formy a jejich pozice. Na výrobním výkresu jsou zpracované rozměry s tolerancemi a drsnost ploch.

Použitá literatura a zdroje

- [1] LENFELD, P. *Interaktivní skripta Technologie II*, TU Liberec,
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [2] PROKEŠ, J. *Bakalářská práce: Návrh vstřikovací formy s horkou vtokovou soustavou pro výlisek z termoplastu*. Plzeň: ZČU, 2014
- [3] AUTODESK. *Autodesk Moldflow Adviser* [online]. 2013 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.albateknoloji.com/content/154/simulation-moldflow.html?prevId=151>
- [4] LIN., CIXI SANPEI MACHINE CO., LTD. *Cixi Sanpei Machine Co., Ltd.* [online]. China, 2015 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.cixisp.com/en/plant.php?id=3&name=Mould%20R&D>
- [5] Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni. *Konstruování z nekonvenčních materiálů* Presentace [online]. Dostupné z WWW: <<https://portal.zcu.cz/wps/myportal/.../>>.
- [6] LPM s.r.o., Technické díly z plastů. *Polypropylen odolný vůči hoření (PP V2)* [online]. 2003 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1508&lng=1>
- [7] MEUSBURGER GEORG GMBH & CO KG. *Výroba nástrojů a forem* [online]. 2015 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.meusburger.com/cz/produkty/vyroba-nastroju-a-forem.html>
- [8] INNOMIA A.S. *Konformní chlazení* [online]. 2012 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlazení>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma vstřikovacího stroje [2].....	15
Obrázek 2 - Vstřikovací jednotka [1]	16
Obrázek 3 - Zakončení šneků a druhy šneků [1].....	17
Obrázek 4 - Diferenciální šnek a jeho části [1].....	17
Obrázek 5 - Uzavírací jednotka [1]	18
Obrázek 6 - Části formy [2]	19
Obrázek 7 - Ukázka řešení vtokové soustavy [3].....	20
Obrázek 8 - Tvářecí části [1].....	21
Obrázek 9 - Ukázka chladicího systému [4]	22
Obrázek 10 - Vyhazovací systém [5]	23
Obrázek 11 - Příklady upnutí formy [5]	24
Obrázek 12 - Umístění tvarových dutin v řadě (červená) a do hvězdy (zelená) [5]	25
Obrázek 13 - Originální součást (vlevo) a upravená součást (vpravo)	27
Obrázek 14 - Import modelu do programu Autodesk Simulation Moldflow Adviser 2015 ...	27
Obrázek 15 – Výběr analýzy (vlevo) a výběr algoritmu (vpravo)	28
Obrázek 16 – Výběr materiálu (vlevo) a nastavení procesních podmínek (vpravo).....	28
Obrázek 17 - Nastavení záložky Accuracy	29
Obrázek 18 - Výsledek analýzy Gate Location.....	29
Obrázek 19 - Umístění vtoku na součásti	30
Obrázek 20 – Vybraná analýza (vlevo) a zvolena povrchová úprava (vpravo).....	30
Obrázek 21 - Nastavení přesnosti měření	31
Obrázek 22 – Výsledek analýzy Molding Window (licí okno)	31
Obrázek 23 – Výběr analýzy (vlevo) a výběr materiálu (vpravo)	32
Obrázek 24 – Nastavení procesu (vlevo) a nastavení přesnosti měření (vpravo)	32
Obrázek 25 – Výsledek analýzy Quality Prediction (předpokládaná kvalita)	33
Obrázek 26 – Výsledek analýzy Quality Prediction (předpokládaná kvalita) po úpravě.....	34
Obrázek 27 - Výsledek analýzy Confidence of Fill (důvěra výplně).....	34
Obrázek 28 - Výsledek analýzy Fill time (čas plnění)	35
Obrázek 29 - Výsledek analýzy Injection Pressure (vstřikovací tlak)	35
Obrázek 30 – Výsledek analýzy Air traps (vzduchové kapsy)	36
Obrázek 31 - Výsledek analýzy Weld lines (studené spoje)	36
Obrázek 32 – Výběr analýzy (vlevo) a nastavení přesnosti měření (vpravo).....	37
Obrázek 33 – Výsledek analýzy Cooling time variance (rozdílné chlazení v čase)	37
Obrázek 34 – Výběr analýzy (vlevo) a výběr materiálu (vpravo)	38
Obrázek 35 – Nastavení procesu (vlevo) a nastavení přesnosti měření (vpravo).....	38
Obrázek 36 – Výsledek analýzy Sink marks estimate (odhad propadlin)	39
Obrázek 37 – Výstřik.....	40
Obrázek 38 - Mechanické vlastnosti PP [6].....	40
Obrázek 39 - Teplotní vlastnosti PP [6]	41
Obrázek 40 - Stavebnicový rám od firmy Meusburger [7].....	41
Obrázek 41 - Volba dělicí roviny	42
Obrázek 42 - Řez vstřikovací formy zepředu	43
Obrázek 43 - Řez vstřikovací formou shora	43
Obrázek 44 - Vtokový systém.....	44
Obrázek 45 - Příklad vtokové soustavy bez ústí vtoku [5]	44
Obrázek 46 - Pevná deska.....	46
Obrázek 47 - Tvárnice v řezu.....	47

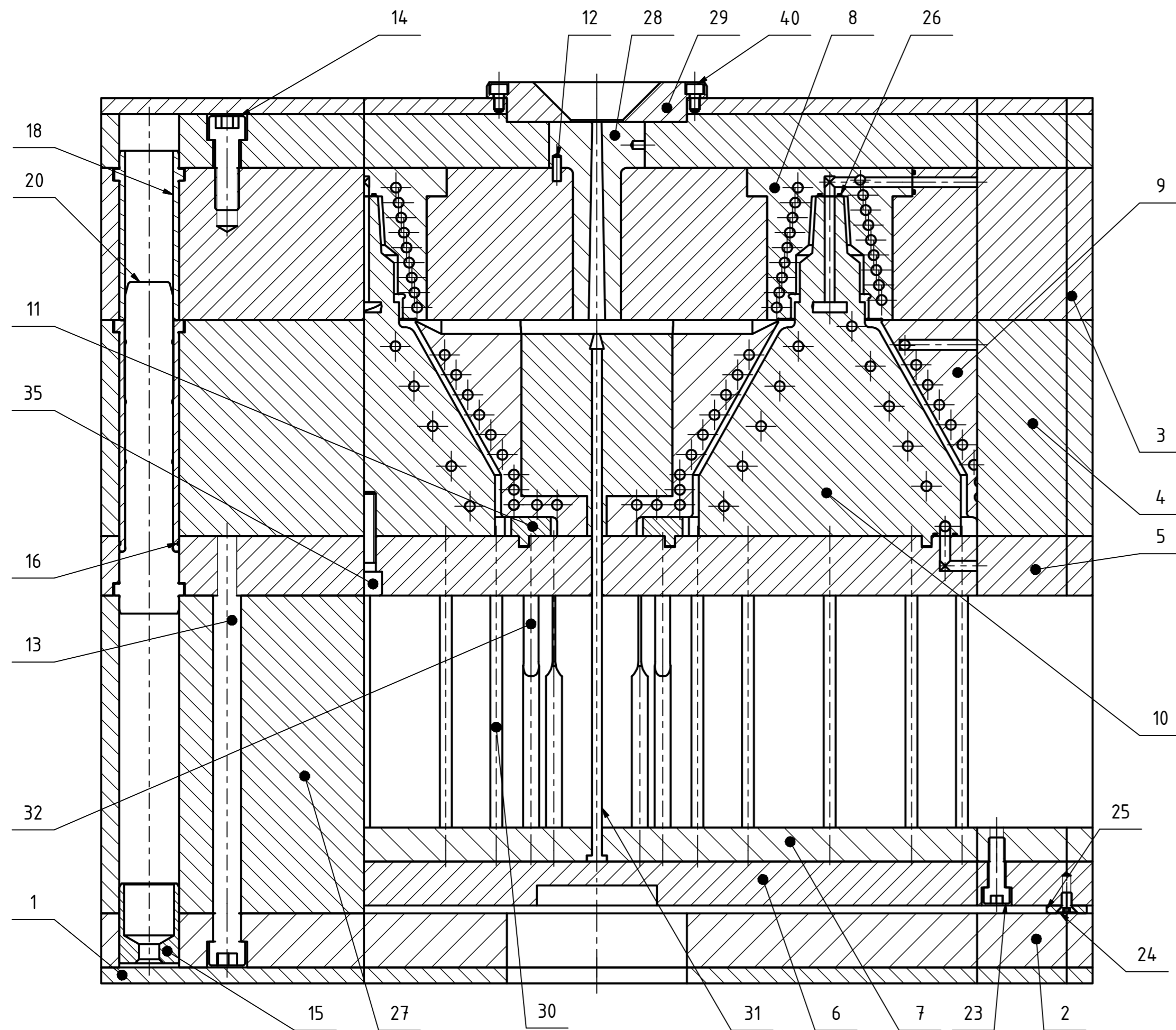
Obrázek 48 - Upínací deska	48
Obrázek 49 - Izolační deska.....	48
Obrázek 50 - Mezilehlá deska z pohledu zprava	49
Obrázek 51 - Mezilehlá deska z pohledu zleva.....	50
Obrázek 52 – Tvárnice v řezu	51
Obrázek 53 – Tvárnice	51
Obrázek 54 - Hlavní jádro	52
Obrázek 55 - Hlavní jádro	52
Obrázek 56 – Vedlejší jádro	53
Obrázek 57 - Pohyblivá deska	54
Obrázek 58 - Vyhazovací systém.....	55
Obrázek 59 - Zavřená forma	55
Obrázek 60 - Otevřená forma.....	56
Obrázek 63 - Chladicí systém okruh 1 a 2.....	56
Obrázek 64 - Chladicí systém okruh 3	57
Obrázek 61 - klasicky vrtaný chladicí okruh (vlevo) a konformní chlazení (vpravo) [8]	57
Obrázek 62 - Konformní chlazení [8].....	58

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení a zkratky termoplastů [1]	12
Tabulka 2 - Rozdělení a zkratky reaktoplastů [1]	13
Tabulka 3 - Závislost průměru a průřezu vtokových kanálů na hmotnosti výstřiku [5]	45
Tabulka 4 - Závislost průměru vtokového kanálu na jeho délce [5]	45
Tabulka 5 - Koeficient vlivu násobnosti formy dle počtu rozváděcích kanálů [5]	46

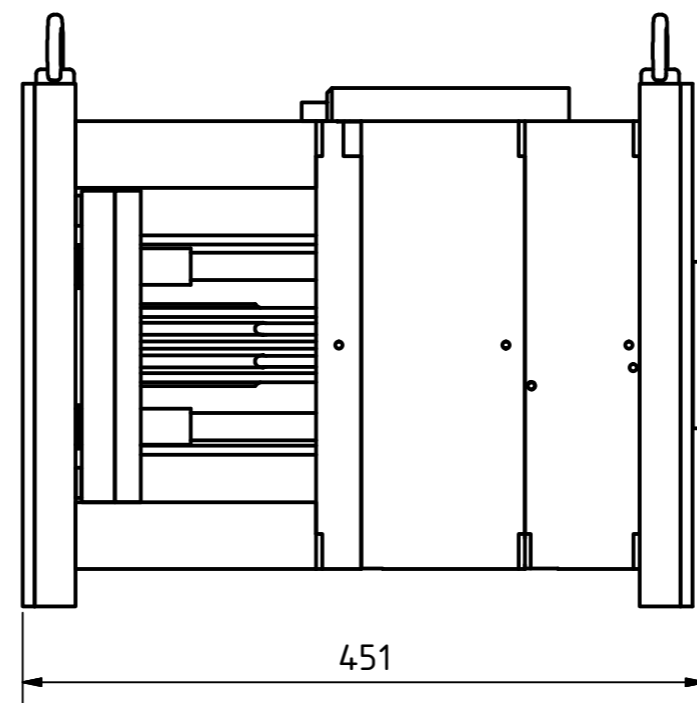
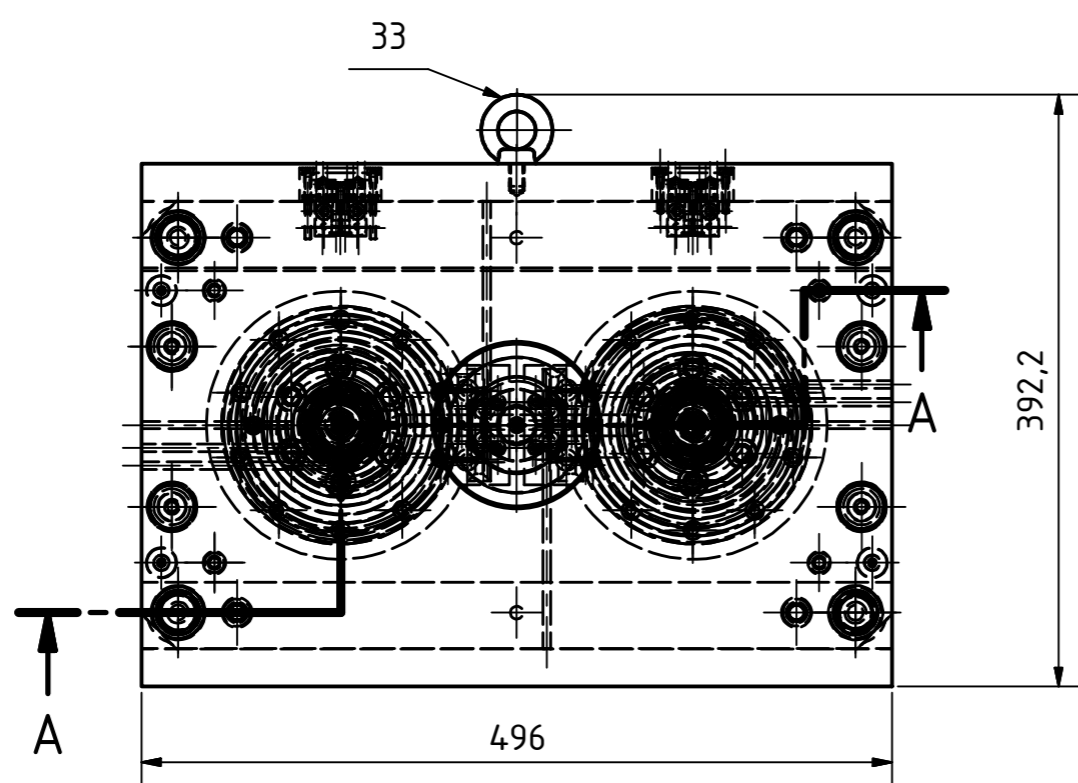
Seznam příloh

Výkres sestavy vstřikovací formy
Výkres pohyblivé desky



1 : 5

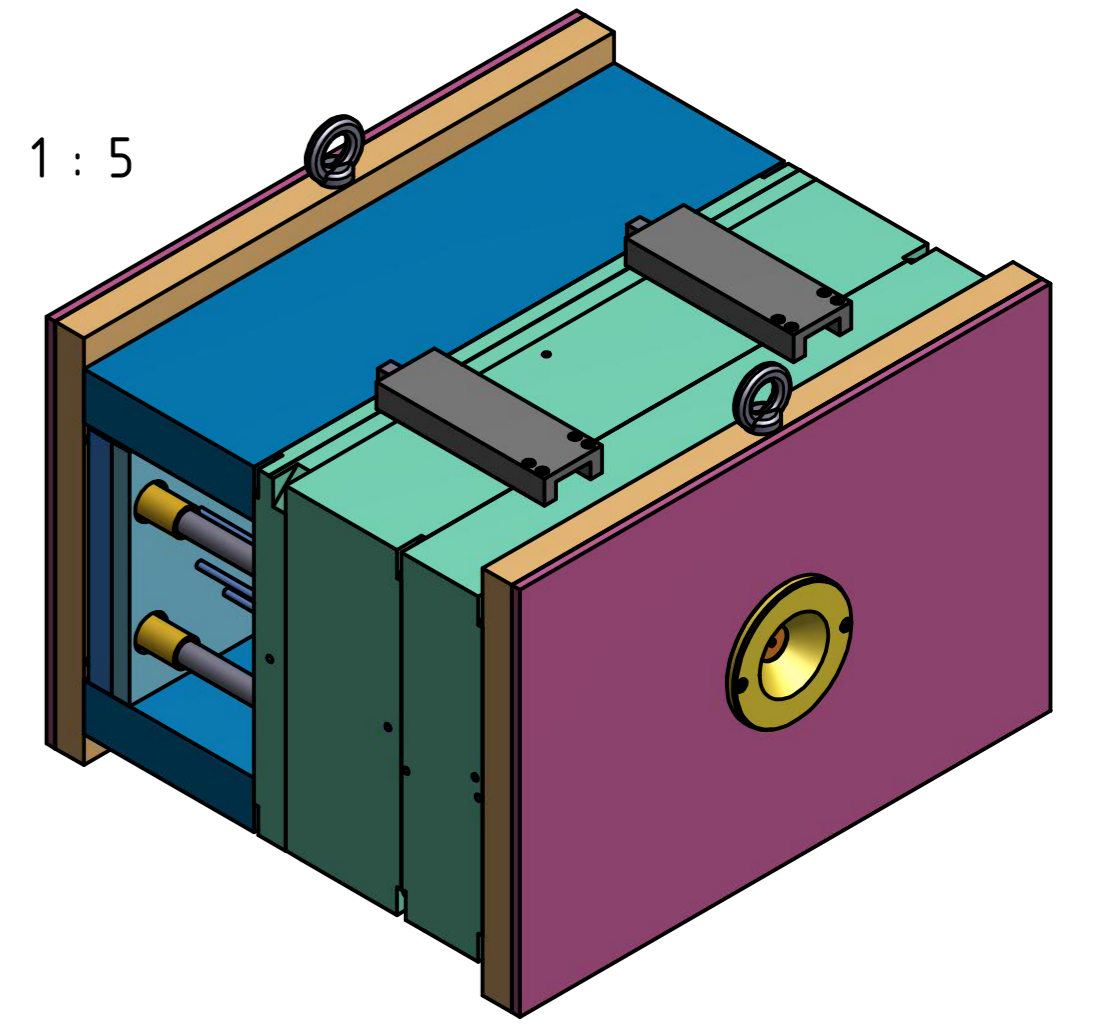
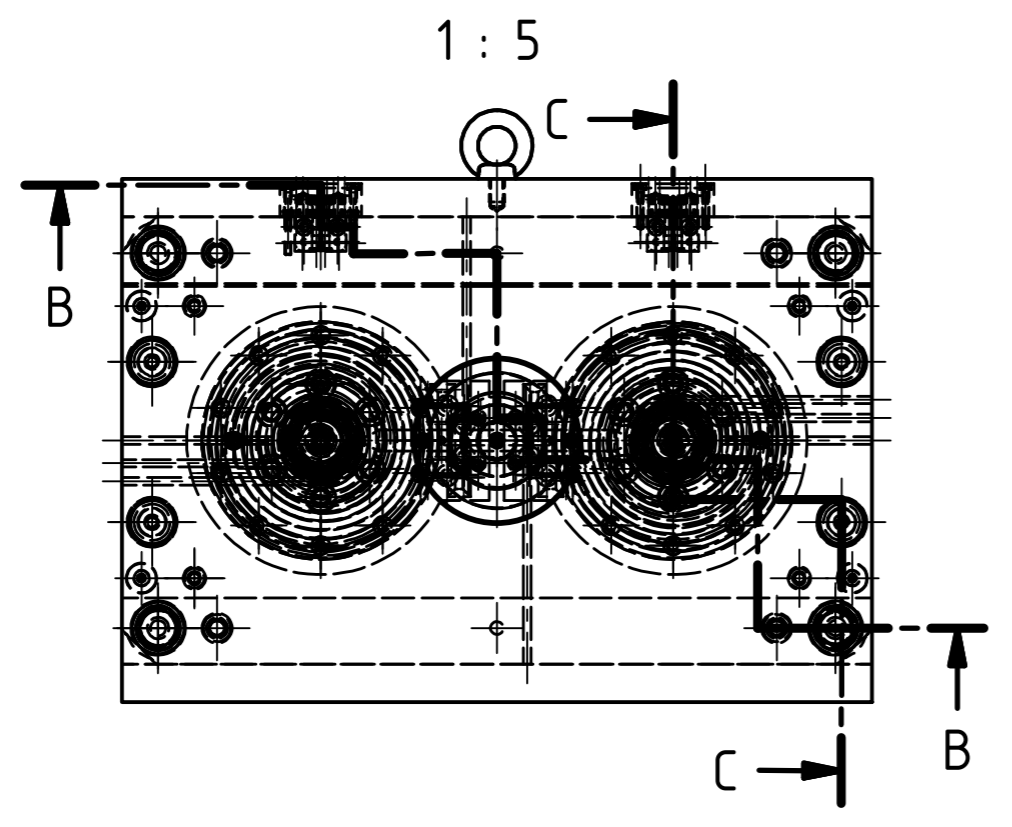
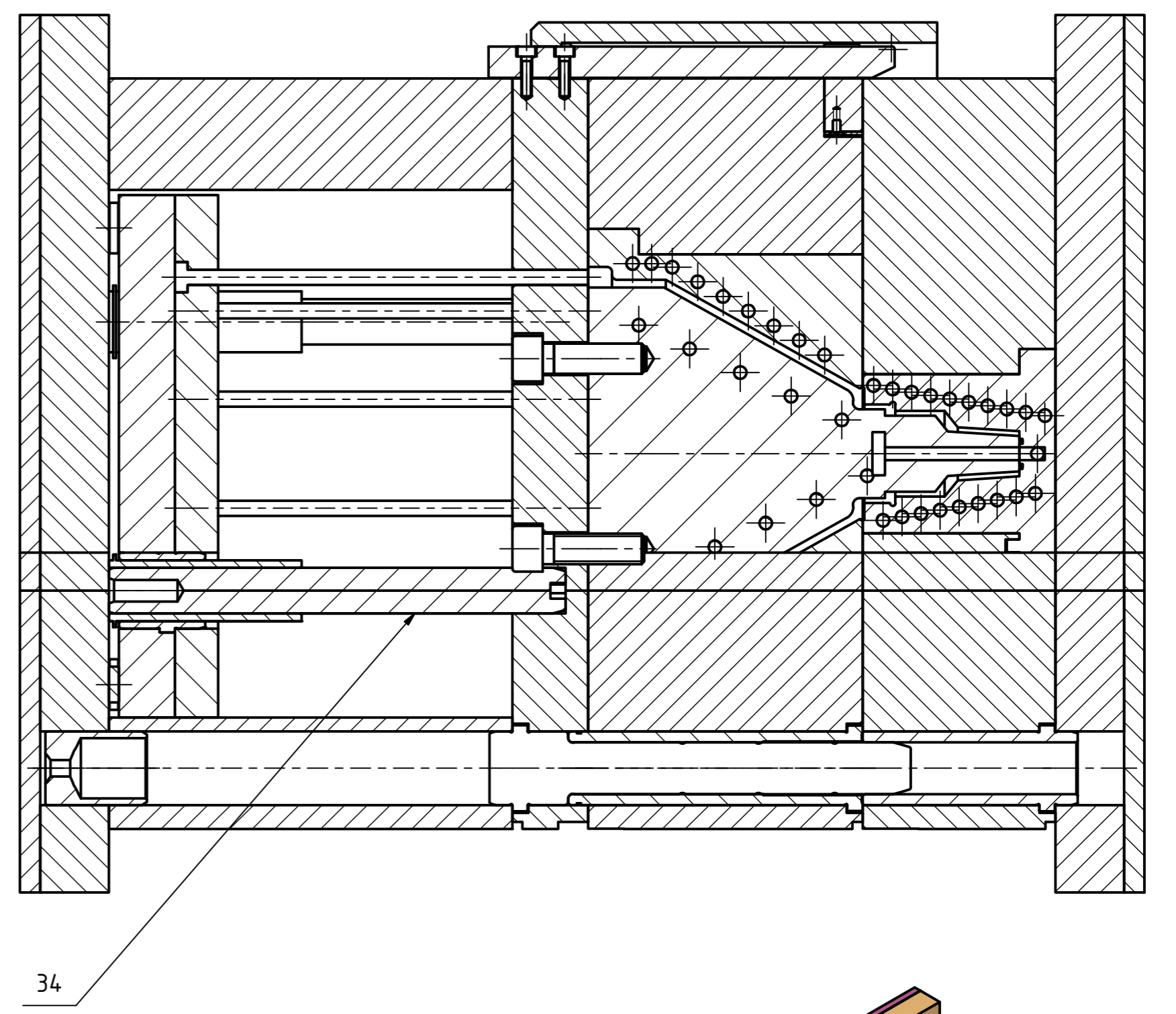
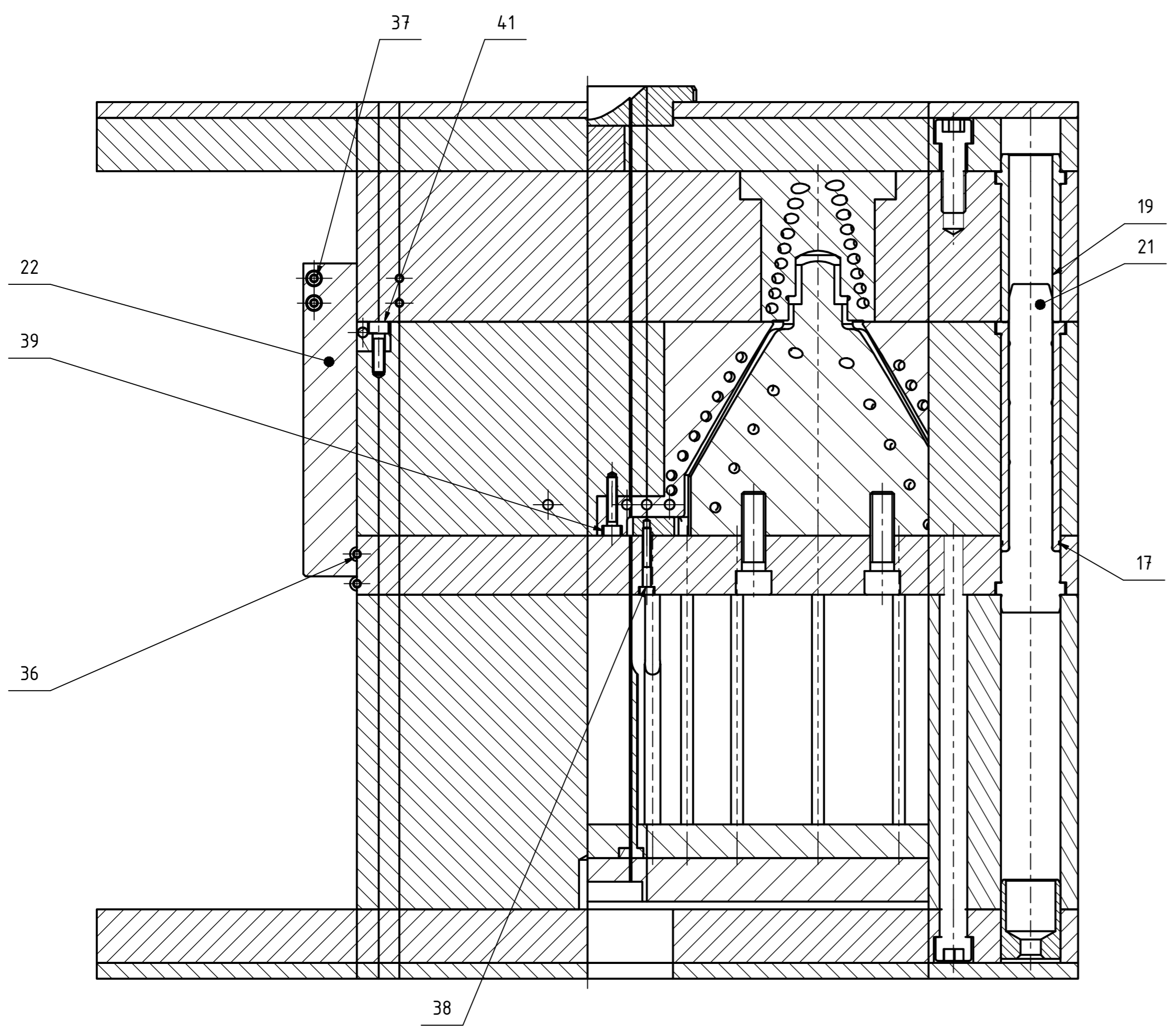
1 : 5



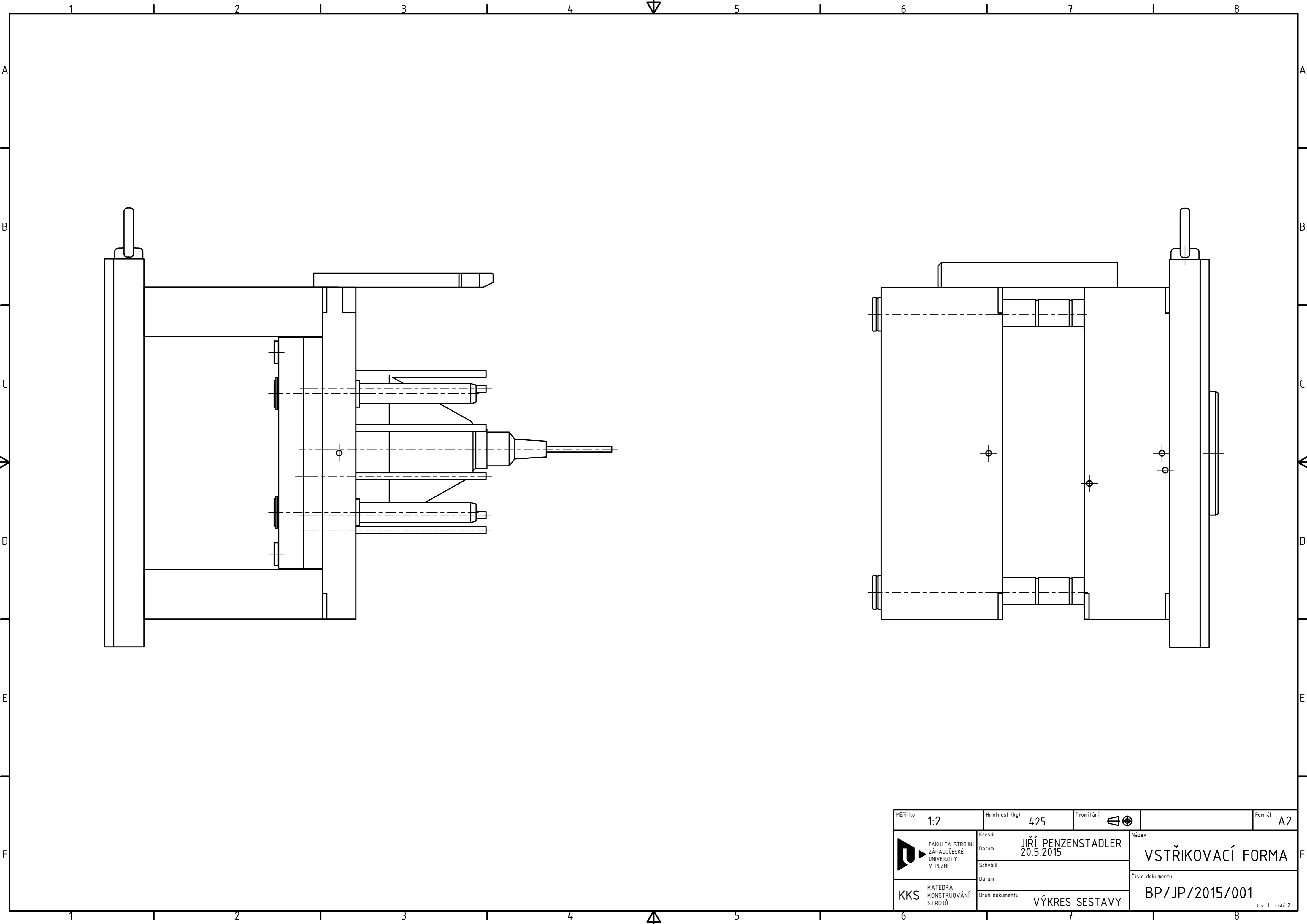
41	ŠROUB M6x20	ISO 4762 - M6x20			4
40	ŠROUB M5x8	ISO 4762 - M5x8			2
39	ŠROUB M5x25	ISO 4762 - M5x25			4
38	ŠROUB M4x30	ISO 4762 - M4x30			4
37	ŠROUB M4x25	ISO 4762 - M4x25			12
36	ŠROUB M4x16	ISO 4762 - M4x16			4
35	ŠROUB M12x40	ISO 4762 - M12x40			13
34	E_1330_18x180_90_1	MEUSBURGER			4
33	E_1272_10	MEUSBURGER			2
32	E_1725_7.5_1.5x200	MEUSBURGER			8
31	E_1710_5x315	MEUSBURGER			1
30	E_1710_6x200	MEUSBURGER			20
29	E_1362_110_90_26x20	MEUSBURGER			1
28	E_1600_24x116_5	MEUSBURGER			1
27	F_70_296_496_44_116	MEUSBURGER			2
26	E_2130_8x1.5	MEUSBURGER			8
25	E_1500_20	MEUSBURGER			4
24	E_1220_5x10	MEUSBURGER			4
23	E_1200_8x25	MEUSBURGER			4
22	E_1820_54_160_0_1	MEUSBURGER			2
21	E_1000_22-22_135	MEUSBURGER			1
20	E_1000_24-22_135	MEUSBURGER			3
19	E_1100_22-76	MEUSBURGER			1
18	E_1100_24-76	MEUSBURGER			3
17	E_1110_22-116	MEUSBURGER			1
16	E_1110_24-116	MEUSBURGER			3
15	E_1160_30x40	MEUSBURGER			4
14	E_1200_12x35	MEUSBURGER			4
13	E_1200_12x150	MEUSBURGER			4
12	ČEP	BP/JP/2015/014	11 500	0,001 kg	1
11	VEDLEJŠÍ JÁDRO	BP/JP/2015/013	19 520	0,066 kg	2
10	HLAVNÍ JÁDRO	BP/JP/2015/012	19 520	7,098 kg	2
9	VLOŽKA 2	BP/JP/2015/011	19 520	8,771 kg	2
8	VLOŽKA 1	BP/JP/2015/010	19 520	1,553 kg	2
7	VYHAZOVAČÍ DESKA 2	BP/JP/2015/009	19 083	13,006 kg	1
6	VYHAZOVAČÍ DESKA 1	BP/JP/2015/008	19 083	16,825 kg	1
5	POHYBLIVÁ DESKA	BP/JP/2015/006	19 083	32,532 kg	1
4	MEZILEHLÁ DESKA	BP/JP/2015/005	19 083	86,568 kg	1
3	PEVNÁ DESKA	BP/JP/2015/004	19 083	81,149 kg	1
2	UPÍNAČÍ DESKA 1	BP/JP/2015/003	19 083	35,045 kg	1
1	IZOLAČNÍ DESKA	BP/JP/2015/002	19 083	10,378 kg	2
POZICE	POPIS	ČÍSLO SOUČÁSTI	MATERIÁL	HMOTNOST	KS

SEZNAM POLOŽEK

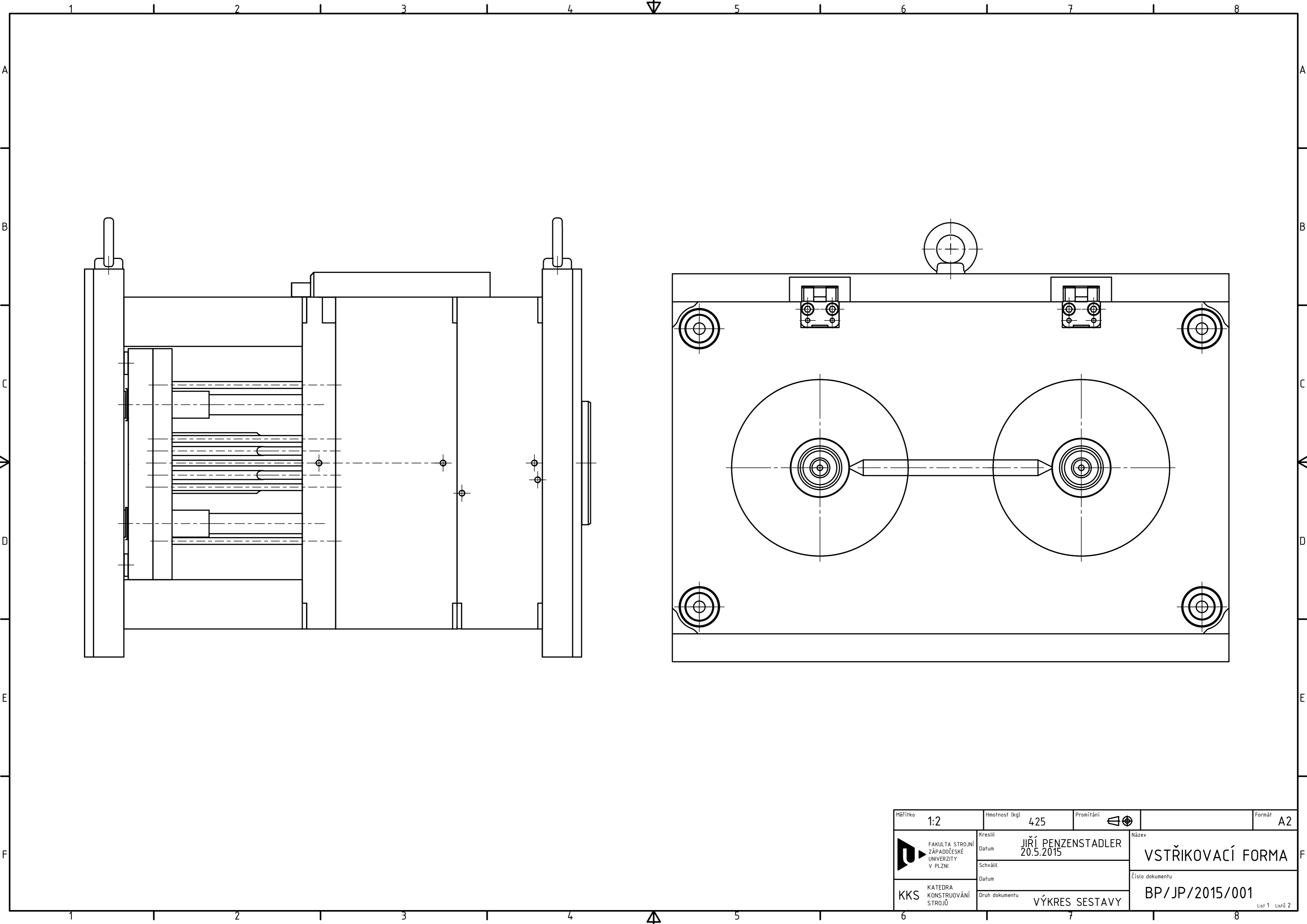
Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	425	Promítání		Formát	A2
Kreslil	JIRÍ PENZENSTADLER	Název	VSTŘIKOVACÍ FORMA				
Datum	20.5.2015	Schválil					
Datum		Číslo dokumentu	BP/JP/2015/001				
KKS	KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY				



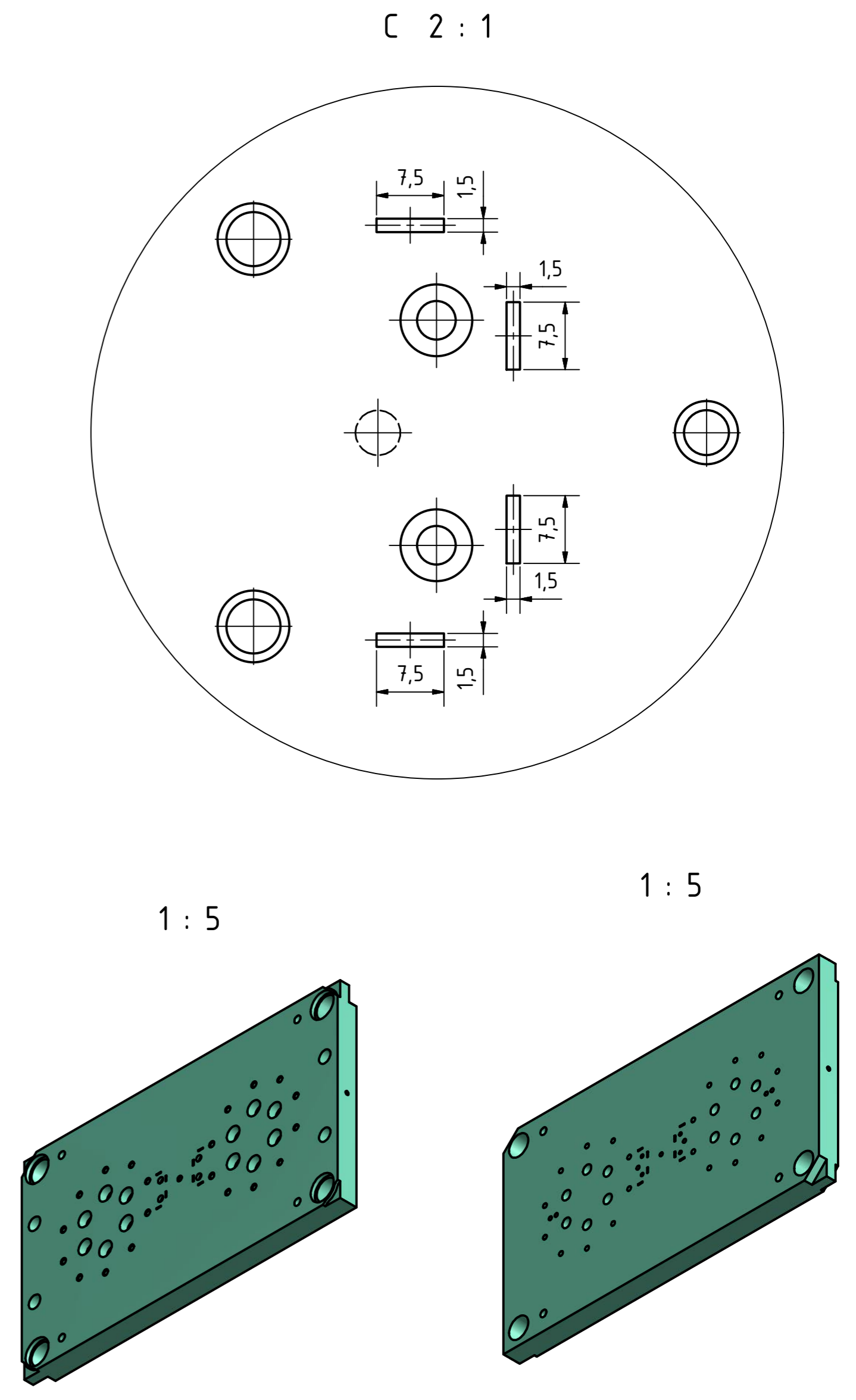
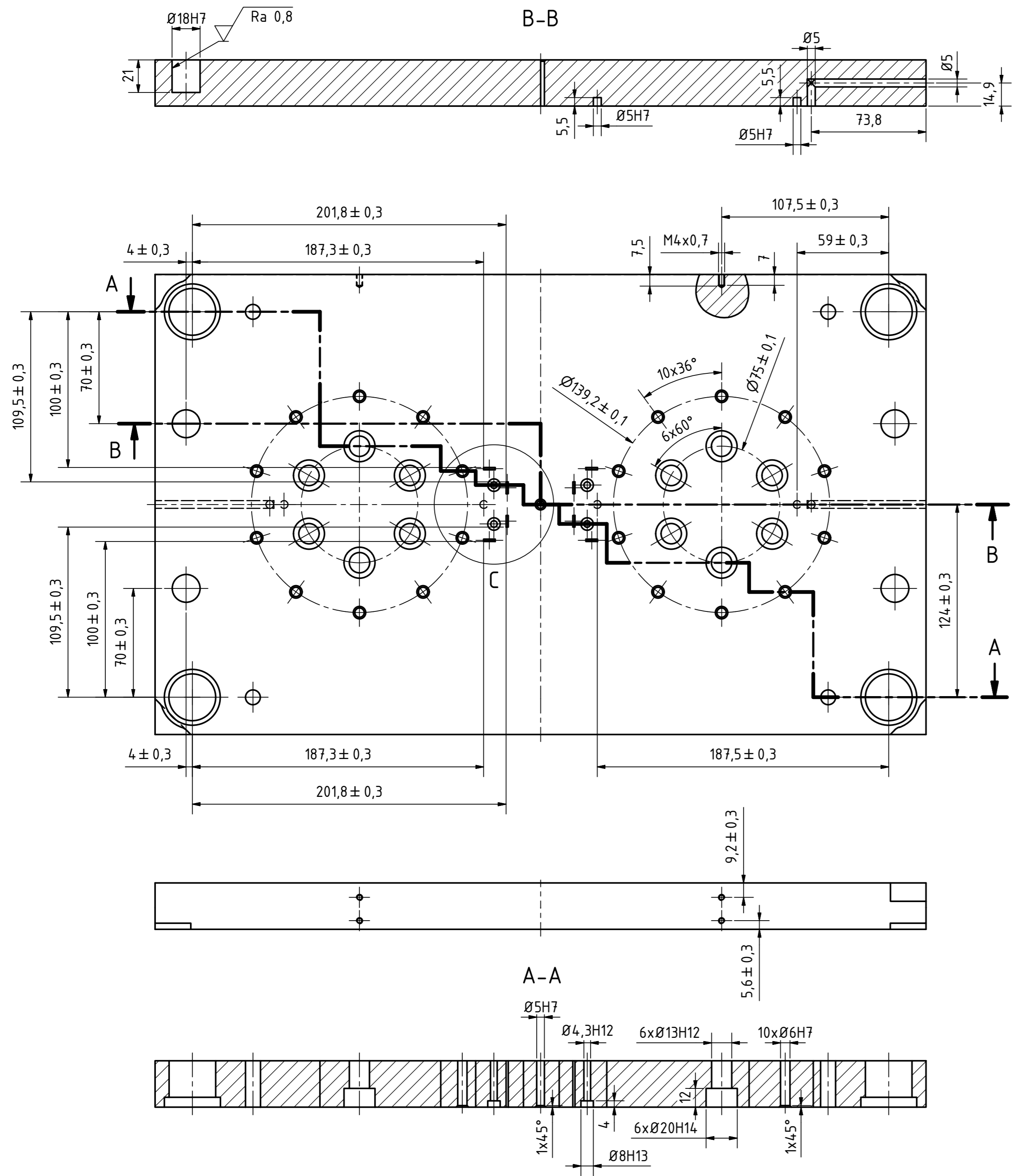
Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	425	Promítání		Formát	A2
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	JIŘÍ PENZENSTADLER		Název		VSTŘIKOVACÍ FORMA	
	Datum	20.5.2015		Schválil		Číslo dokumentu	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Datum			Druh dokumentu		BP/JP/2015/001	
			VÝKRES SESTAVY				List 1 Listů 2



Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	425	Promítání		Formát	A2
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	JIŘÍ PENZENSTADLER		Název		VSTŘIKOVACÍ FORMA	
	Datum	20.5.2015		Číslo dokumentu		BP/JP/2015/001	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Druh dokumentu		VÝKRES SESTAVY	
	Datum					List 1 List 2	



Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	425	Promítání		Formát	A2
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	JIRÍ PENZENSTADLER		Název		VSTŘIKOVACÍ FORMA	
	Datum	20.5.2015		Číslo dokumentu		BP/JP/2015/001	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Druh dokumentu		VÝKRES SESTAVY	
	Datum					List 1 List 2	



Textura povrchu $\sqrt{Ra 3,2}$ (✓)	Hrany ISO 13715 $-0,4$ $+0,4$	Měřítko 1:2	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 32,533	Tolerování ISO 8015
			Promítání
Materiál - Polotovár F 50_296_496_22		Formát A2	
	Kreslil JIRÍ PENZENSTADLER Datum 20.5.2015	Název POHYBLIVÁ DESKA	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu BP/JP/2015/006	