

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vícenásobná vstřikovací forma pro výrobek z plastu

Autor: **Lukáš VÍTEK**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Martin HYNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš VÍTEK**

Osobní číslo: **S16B0164P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**

Název tématu: **Vícenásobná vstřikovací forma pro výrobek z plastu**

Zadávací 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:

Navrhněte vícenásobnou vstřikovací formu pro zadaný díl. Při konstrukci zohledněte tvar výrobku a zvolte tak optimální konstrukci formy. Součástí práce je vypracování výrobní výkresové dokumentace formy, provedení potřebných výpočtů a případně i analýz, které poslouží ke kontrole funkce a správnosti návrhu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků
2. Konstrukční návrh formy
3. Ověření konstrukce pomocí výpočtů, či analýz
4. Zhodnocení práce, závěr

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

KRAHN, H., EH, D., VOGEL, H. *1000 Konstruktionsbeispiele für den Werkzeug- und Formenbau beim Spritzgießen.* München: Hanser, 2008

ZHENG, R., TANNER, R. I., FAN, X. *Injection molding: integration of theory and modeling methods.* Berlin: Springer, 2011

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Kučera**
WITTE Nejdek, spol. s r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vítek	Jméno Lukáš	
STUDIJNÍ OBOR	23-35-8 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulu) Doc. Ing. Hynek, Ph.D.	Jméno Martin	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vícenásobná vstřikovací forma pro výrobek z plastu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	135	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	88
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato bakalářská práce popisuje konstrukční návrh vícenásobné vstřikovací formy pro výrobek z plastu. Teoretická část se zabývá problematikou návrhu plastů, technologií vstřikování a konstrukcí vstřikovacích forem a strojů. Hlavní část práce se zabývá požadovanou úpravou zadaného výrobku a konstrukcí vícenásobné vstřikovací formy, návrhy výrobku a formy jsou ověřovány analýzami. V závěru této práce je vytvořena výkresová dokumentace a technicko-ekonomické zhodnocení. Struktura návrhu je tvořena logickými celky a je vhodná zejména pro začínající konstruktéry. K práci jsou připojeny 3D modely a 2D výkresová dokumentace.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Vstřikování plastů, více dutin, analýza, tvárnice, tvárník, Catia, Solidworks, Moldex3D

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vítek	Name Lukáš	
FIELD OF STUDY	23-35-8 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, Ph.D.	Name Martin	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Multiple molding mold for a plastic product		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	135	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	88
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor thesis describes a construction design of a multiple injection mold for a plastic product. The theoretical part deals with the design of plastics, technology of an injection molding and injection molds and machines. The main part of the work deals with the required modification of a given part and the design of a multiple injection molds, the product design and the multiple injection molds are verified by analyses. At the end of this work is created technical documentation and technical-economic evaluation. The design structure is made up of logical units and is particularly suitable for junior engineers. 3D models and 2D technical documentation are attached to the thesis.</p>
KEY WORDS	Injection molding, multiple cavity, analysis, cavity, core, Catia, Solidworks, Moldex3D

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Martinovi Hynkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a věnovaný čas při konzultacích, dále konzultantovi Ing. Janu Kučerovi a odborníkům ze společnosti WITTE Nejdek, spol. s.r.o. za odbornou podporu a praktická doporučení.

Obsah

Obsah.....	8
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	11
Úvod.....	13
Teoretická část	14
1 Polymerní materiály	14
1.1 Význam syntetických polymerů ve strojírenství	14
1.2 Obecné vlastnosti syntetických polymerů a jejich struktura	14
1.3 Rozdělení syntetických polymerů.....	14
1.3.1 Elastomery	14
1.3.2 Plasty	14
1.3.3 Termoplast PA 6 GF30.....	15
1.4 Mechanické vlastnosti a chování polymerů.....	15
1.4.1 Pevnost plastů.....	15
1.4.2 Mechanické chování plastů v krátkém časovém úseku.....	16
1.4.3 Mechanické chování plastů v dlouhém časovém úseku.....	16
1.5 Technologické hlediska, ovlivňující mechanické vlastnosti.....	16
2 Vstříkovaní plastů.....	17
2.1 Problematika spolehlivosti výrobků z plastů	17
2.1.1 Mezní stavy kvalitativní	17
2.1.2 Mezní stavy kvantitativní	17
2.2 Typy porušení a jejich možné příčiny.....	17
2.2.1 Lom.....	17
2.2.2 Tvorba krezů a separace	17
2.2.3 Tečení (creep).....	17
2.2.4 Deformace	17
2.2.5 Ztráta stability.....	18
2.2.6 Nadměrná smrštění.....	18
2.2.7 Změny vzhledu, optické vady.....	18
2.2.8 Toxicita.....	18
2.3 Dimenzování tvaru výrobků z hlediska tuhosti a pevnosti.....	18
2.4 Smrštění	19
2.5 Požadavky vstříkovaných dílů.....	19

2.5.1	Konstruování dílu	19
2.5.2	Tloušťka stěn	19
2.5.3	Úkosy	20
2.5.4	Zaoblení dílu a ostré hrany	20
2.5.5	Žebrování	21
2.5.6	Otvory a drážky	22
2.5.7	Dělicí rovina	22
3	Technologie vstřikování termoplastů	23
3.1	Princip technologie vstřikování	23
3.2	Vstřikovací cyklus	23
3.2.1	Fáze vstřikovacího cyklu	24
4	Vstřikovací forma	26
4.1	Materiál vstřikovacích forem	27
4.2	Výpočty forem	27
4.2.1	Uzavírací síla	27
4.2.2	Násobnost formy	27
4.3	Odvzdušňování vstřikovacích forem	29
4.4	Vtokový systém forem	29
4.4.1	Studený	29
4.4.2	Vyhříváný	29
4.5	Temperační systém forem	29
4.6	Vyhazovací systém forem	30
4.6.1	Mechanické vyhazování	30
4.6.2	Hydraulické vyhazování	30
4.6.3	Pneumatické vyhazování	30
5	Vstřikovací stroj (vstřikolis)	31
	Praktická část práce	32
6	Zadání a specifikace požadavků	32
7	Konstrukční návrh výrobku pro vstřikovací formu	33
7.1	Použité softwary	33
7.2	Výrobek pro vstřikování	33
7.2.1	Funkční plochy	33
7.2.2	Formovací směr	34
7.2.3	Dělicí rovina	34

7.2.4	Úkosity a jejich analýza.....	35
7.2.5	Tloušťka stěn.....	36
7.3	Analýza a optimalizace návrhu dílu.....	36
7.4	Zaoblení dílu.....	37
8	Konstrukční návrh vstřikovací formy.....	38
8.1	Předběžný návrh vtokového ústí.....	38
8.2	Násobnost formy.....	39
8.3	Vtokový systém.....	40
8.4	Tvárník a tvárnice.....	43
8.5	Vyhazovací systém.....	44
8.6	Temparační systém.....	45
8.7	Vedení formy a vyhazovacího paketu.....	47
8.8	Odvzdušnění formy.....	47
8.9	Transport formy.....	48
8.10	Podsestava tvárníku a tvárnice.....	48
8.11	Sestava formy.....	49
9	Volba vstřikovacího stroje.....	50
10	Ověření konstrukce formy.....	51
10.1	Analýza vstřikovacího procesu navržené formy.....	51
10.2	Výkresová dokumentace.....	54
11	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	55
11.1	Porovnání vlastností technických systémů.....	55
11.2	Náklady technických systémů.....	56
12	Závěr.....	57
13	Citovaná literatura.....	59
14	Seznam obrázků.....	60
15	Seznam grafů.....	61
16	Seznam tabulek.....	61
17	Seznam příloh.....	62

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol / zkratka	Název
např.	Například
tzn.	To znamená
tzv.	Tak zvaný
tj.	To jest
atd.	A tak dále
apod.	A podobně
č.	Číslo
TS	Technický systém
Kč	Koruna česká
PA	Polyamid
PA-6	Polyamid 6
PA-66	Polyamid 66
GF	Glass fiber (skleněné vlákno)
GF30	30 % Glass fiber (skleněných vláken)
PC	Polykarbonát
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
PMMA	Polymethylmethakrylát
PVC	Polyvinylchlorid
mm	Milimetr
mm ²	Milimetr čtvereční
mm ³	Milimetr krychlový
Pa	Pascal
MPa	Megapascal
N	Newton
kN	Kilonewton
s	Sekunda

Tabulka 1: Seznam použitých symbolů a zkratek 1/2

Symbol / zkratka	Název
h	Hodina
t	Tuna
T	Termodynamická teplota
v	Měrný objem
p_i	Tlak
°C	Stupeň celsia
ks	Kus
n, n ₁ , n ₂ , n ₃ , n ₄ , n _{opt}	Násobnost formy
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu
g	Gram
°	Stupeň
%	Procento
∅	Průměr
±	Plus mínus
μ	Mikro
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným

Tabulka 2: seznam použitých symbolů a zkratk 2/2

Úvod

Tato bakalářská práce bude tvořena na téma „Vícenásobná vstřikovací forma pro výrobek z plastu“.

Produkce plastových dílů začala expandovat v polovině dvacátého století a zvyšuje se dodnes, tento trend umožnil různým průmyslovým podnikům vytvářet zázemí pro zpracovatelské, výrobní, konstrukční, návrhové a výpočetní centra. Tyto podniky se často neobejdou bez konstruktéra a dalších odborníků.

Moderní konstruktér by měl být obeznámen s problematikou návrhu plastových dílů a měl by být schopný předejít zásadním prohřeškům. Návrhy technických produktů jsou často víceoborové a tudíž i složité pro jednoho konstruktéra, proto se zpravidla vytváří celé týmy, které řeší tyto problémy kolektivní součinností během celého procesu.

Tuto práci bych rád doporučil zejména začínajícím konstruktérům, kteří se potýkají s problematikou návrhu plastových výrobků, ale i ostatním čtenářům, kterým tato práce může rozšířit obzory a přinést nové znalosti nebo dovednosti.

Cílem této bakalářské práce bude vytvoření vícenásobné vstřikovací formy pro výrobek z plastu za použití vhodné literární rešerše, poté tento návrh vstřikovací formy a výrobku ověřit analýzami, nebo vhodnými výpočty a na závěr vypracovat jeho výkresovou dokumentaci a technicko-ekonomické zhodnocení. Práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část bude tvořena se zřetelem na požadavky a znalosti, které budou potřeba k vytvoření praktické části. Bude orientována na problematiku polymerních materiálů, konstrukce plastových dílů, technologie vstřikování termoplastů a rozsáhleji na vstřikovací formy a stroje.

Znalostí a aplikací správných přístupů od samého začátku návrhu lze vytvořit efektivní proces, kterým lze snižovat náklady na celkový vývoj technických produktů, tato myšlenka bude s vysokým úsilím aplikována v druhé části práce.

Praktická část bude vytvořena na základě cílů a požadavků pro zadaný výrobek. Tento výrobek bude dle požadavku přetvořen a po tomto ustanovení vznikne hlavní část práce, ve které se navrhne konstrukce vícenásobné vstřikovací formy. Návrh konstrukce a jeho ověřování bude realizováno pomocí různých programů (Catia V5 R26 a R24, Solidworks 2018 a Moldex3D), díky čemuž lze v práci vidět variace analýz k návrhu plastových výrobků a vstřikovacích forem. Na závěr praktické části bude vytvořena výkresová dokumentace a technicko-ekonomické zhodnocení.

Toto téma mi při výběru bakalářské práce bylo blízké svým komplexním řešením problému, a to především specifikací požadavků, návrhem, konstrukcí, analýzami a technicko-ekonomickým zhodnocením. Dále bylo vybráno, protože znalost a problematika návrhu plastových výrobků je dnes velmi aktuálním požadavkem v mnoha průmyslových odvětvích, včetně automobilového, který tvoří podstatnou část mého studia a má potenciál budoucího uplatnění na trhu práce.

Teoretická část

1 Polymerní materiály

Polymerní materiály lze rozdělit na přírodní a syntetické, vzhledem k probírané problematice se tato práce zaměří pouze na syntetické. [1]

1.1 Význam syntetických polymerů ve strojírenství

Vývoj polymerů mělo a stále má značný význam ve strojírenství. V minulosti docházelo k vícero etapám vývoje. Z počátku vstřikováním se polymery uplatnily zejména ve spotřebním zboží, tyto výrobky neměly velké nároky na funkční vlastnosti. Od počátku tohoto vývoje byly zejména důležité vlastnosti jako např. odolnost proti korozi a nízká hmotnost. Později došlo k rozvoji lehčených plastů, fólií, trubek a dalších. [2]

Více problematická byla aplikace ve strojírenství, kde jsou obecně kladeny velké nároky na mechanické a tepelné namáhání, vysoké hodnoty pevnosti, modulu pružnosti a také na rozměrové a tvarové přesnosti. [2]

Zavádění plastů do výroby se stalo ekonomicky přínosným procesem, spolu s touto výhodou však přicházely nové jevy, nové konstrukce a nemalé výdaje na jejich vývoj. Výrobní náklady se snižovali a snižují dodnes, jako příklad mohou být samomazné ložiska z plastů namísto bronzových, kde se nahradilo mazání bronzových a ušetřilo se na materiálu. [2]

1.2 Obecné vlastnosti syntetických polymerů a jejich struktura

Plasty neboli makromolekulární látky (polymery) jsou tvořeny makromolekulárními řetězci, jsou to dlouhé molekuly s opakujícími se základními strukturními řetězci, často bývají spojené chemickými vazbami. [2]

Lineární polymery jsou jednak hladké, nebo s bočními chemickými skupinami, řetězce jsou výsledkem Brownova pohybu, vytváří pak již dobře známé nepravidelné uspořádané řetězce, s tím souvisí i jejich amorfní struktura. [2]

1.3 Rozdělení syntetických polymerů

Polymery se mohou rozdělit na elastomery, disponující pouze skupinou kaučuků, dále na plasty, které mají dvě podskupiny, tj. termoplasty a reaktoplasty. [1]

1.3.1 Elastomery

Jedná se o polymery s vysokou elastickou schopností, za normálních podmínek lze poměrně malou silou značně měnit tvar bez jejich porušení a přetváření je z velké části vratné. Největší skupinou jsou kaučuky, které zastupuje např. pryž. [2]

1.3.2 Plasty

V normálních podmínkách se jedná o tvrdé polymery, často povahově křehké. Při zvyšování teploty se mění jejich konzistence, vzniká plastická hmota, podle toho se také nazývají plasty. Dle přechodu z plastického do tuhého stavu rozlišujeme dva druhy plastů. [1]

První skupinou jsou reaktoplasty, tyto plasty mají přechod z plastického do tuhého stavu nenávratný, např. bakelit. [1]

Druhou skupinkou jsou termoplasty, ty jsou naopak specifické vratnou přechodovou změnu z plastického do tuhého stavu, jedná se např. o polyetylen a polypropylen. [1]

1.3.3 Termoplast PA 6 GF30

Tento materiál je blíže specifikován, protože je výchozím materiálem ke vstřikování součásti v praktické části.

Jedná se o zástupce semikrystalických termoplastů, který je taktéž jeden z mnoha polyamidů. Číselným označením se charakterizuje výchozí počet monomerů podle počtu uhlíků v jejich molekulách, tzn. PA-6, neboli taktéž PA-66 má 6 atomů uhlíku s kyselinou adipovou, obsahující taktéž 6 atomů uhlíku v molekule. [3] Označení GF 30 znamená polyamid s přísadkou 30 % skleněných vláken. [4]

Díky složení, tedy obsahem polárních atomů kyslíku a dusíku, se vyznačují snadným příjmem vody z atmosféry a podobně i v přímém kontaktu. Polyamidy obecně mají větší sklon k tečení za studena, tzv. „kríp“, protože vlhkost snižuje modul pružnosti a teplotu zesklenní, ale naopak mají dobré kluzné vlastnosti. [3]

Optimální drsnost oceli pro tuto kombinaci termoplastu je Ra 0,12 až 0,25 μm a přípustná teplota 95°C, při vyšších drsnostech by se mohla ocel do plastu zařezávat a rostl by součinitel tření. [2]

Další specifikace lze nalézt v materiálových tabulkách výrobců, např. v publikaci č. [5].

1.4 Mechanické vlastnosti a chování polymerů

V současné době jsou na plasty kladeny vysoké nároky ve všech směrech, je proto nezbytné mít povědomí o základních druzích plastů a jejich vhodné použití pro daný typ zatěžování a další podmínky, jako např. klimatické.

Z hlediska praxe rozdělujeme plasty na základní, speciální a plněné typy. Plněné plasty, které jsou i výchozím materiálem pro tuto práci, se také nazývají tzv. částicové kompozity (v polymerní matici jsou rozptýlené částice plniva). Plniva jsou často skleněná vlákna nebo mletá minerální plniva v různých poměrech. Plněné plasty dominují svou tuhostí a méně svou pevností a houževnatostí. [6]

1.4.1 Pevnost plastů

Při konstrukci plastových výrobků je časová mez pevnosti jeden z určujících parametrů spolehlivosti pro dané vnější podmínky. Obecně lze říct, že u plastů se snižující se teplotou klesá tažnost a roste pevnost. [6]

Z hlediska spolehlivosti by se měly vždy vyšetřit místa, zejména *studené spoje*, které budou náchylné na porušení, tyto místa jsou výsledkem např. styku dvou čel proudů taveniny nebo místo opětovného spojení proudu taveniny po obtékání překážky (jádra). Studené spoje, můžeme částečně označovat za koncentrátory napětí. [6]

1.4.2 Mechanické chování plastů v krátkém časovém úseku

Konstrukční materiály specifikujeme zejména pevností a tuhostí, přičemž tuhost je poměr působícího mechanického zatížení vůči deformaci výrobku, která je vyvolána tímto zatížením. Dle zatížení tělesa lze charakterizovat deformace na vratné, po zatížení se ztrácí a materiály pak označujeme za pružná, neboli elastická. Po překročení určité meze zatížení se deformace stávají nevratné, v tělese vzniká napjatost, pokud je nezávislá na čase, může nastat trvalá část deformace, neboli plastická, pokud se zmenšuje s časem, jde o tzv. vazkou (viskózní) deformaci. Při spojení deformací pak toto mechanické chování nazýváme tzv. elastoplastické. [6]

1.4.3 Mechanické chování plastů v dlouhém časovém úseku

Pro dlouhodobé zatížení nelze vycházet pro směrodatný odhad chování konstrukce uvažovat krátkodobé materiálová data. Byly vytvářeny i zkoušky pro dlouhodobé zatížení, tyto hodnoty lze najít např. v normě EN 1778 pro termoplasty. S časem se mění struktura plastů, u termoplastů dochází např. k *degradačním* procesům, tyto procesy se popisují tzv. degradačními modely stěn, které určují diferenci určitého fyzikálního parametru v závislosti na čase a hloubce pod povrchem. [6]

1.5 Technologické hlediska, ovlivňující mechanické vlastnosti

Technologické činitele ovlivňují zejména tažnost a pevnost. Struktura mění při zpracování svou orientaci a to způsobuje zejména zvýšení pevnosti ve směru orientace a snížení ve směru příčném. *Tavenina* by měla téct co nejvyšší možnou rychlostí s vysokou teplotou a tlakem, s nízkou viskozitou a tím by měl být spoj spolehlivější. V opačném případě vznikají potenciální zdroje porušení, tzv. *studené spoje*, kdy čela dvou proudů jsou na čele ochlazená, to způsobí méně kvalitní spoj proudů, při povrchu dutiny může být uzavřen i vzduch a to může vytvářet vruby tvaru v (koncentrátory napětí). [6]

2 Vstřikování plastů

2.1 Problematika spolehlivosti výrobků z plastů

Již od počátku návrhu plastového výrobku musí být určeny parametry, pro které se výrobek navrhuje, jedním z nich jsou spolehlivost a doba životnosti. Požaduje se tak, aby výrobek neselhal ve své funkci po dobu předpokládanou při návrhu. Selhání se v praxi nazývají *mezními stavy* výrobku, je to odchylka od normálního stavu, která působí na užité vlastnosti natolik, že zabraňuje další použití výrobku. [6]

2.1.1 Mezní stavy kvalitativní

Při docílení tohoto stavu nastává *náhlá kvalitativní* změna vlastností výrobku, do této skupiny patří např. lomy. [6]

2.1.2 Mezní stavy kvantitativní

Při vyvrcholení tohoto stavu se některé aspekty výrobku změni natolik, že tento rozsah je již brán za *nepřípustný*, z hlediska dalšího využití výrobku. Do této skupiny patří např. deformace, netěsnosti, propustnosti anebo například ještě změny barev. [6]

2.2 Typy porušení a jejich možné příčiny

Vznik mezních stavů je zapříčiněn různými příčinami, jejich kombinace způsobuje výsledné poruchy, jinak také mezní stavy. [6]

2.2.1 Lom

Vzniká, pokud se navrhne špatný tvar zároveň s jeho dimenzováním, které neodpovídá danému zatížení. Z dlouhodobého hlediska a působení vnějších podmínek vzniká vlivem *degradace* stárnutím anebo zkrěhnutím. Při opakujících se rázových namáhání nebo dlouhodobém cyklickém zatížení se vytvoří *únavový lom*. [6]

2.2.2 Tvorba krevzů a separace

Krevzy mohou být trhliny nebo popraskání. Za působení nízké adhezivní pevnosti se vrstvy mohou separovat, neboli roztrhat. [6]

2.2.3 Tečení (creep)

Při vystavení výrobku vysokým teplotám, anebo když nebude mít výrobek teplotní odolnost pro dané podmínky, vzniká creep. [6]

2.2.4 Deformace

Jde o zborcení, neboli zprohýbání a distorze. Může to být způsobeno podmínkami technologického procesu, orientací toku taveniny, nevhodným tvarem výrobku, nepřiměřenou tuhostí výrobku anebo nerovnoměrných ohřevem výrobku. [6]

2.2.5 Ztráta stability

Jde o zborcení (zprohýbání, distorze), či dokonce destrukce tenkostěnných výrobků a přidružených částí při zatíženích, od kterého vznikají převážně tlakové složky napjatosti. Toto porušení zejména způsobují nedostatečné tuhosti, zvýšené teploty a nerovnoměrný ohřev. [6]

2.2.6 Nadměrná smrštění

Smrštění je způsobeno technologickým procesem, který vnáší do výrobku orientační stupeň a vnitřní pnutí, to za vyšších teplot mění tvar výrobku. [6]

2.2.7 Změny vzhledu, optické vady

Patří sem změna barev, vyblednutí a optické povrchové vady, mají mnoho příčin vzniku. Při násilném vyjímání vylisku mohou vznikat viditelná poškození, při vyhazování mohou zůstat stopy po vyhazovačích, při nedostříknutí dílů se může vytvořit nerovný povrch, mohou být rozdíly v lesku, nebo propadliny. [6]

2.2.8 Toxicita

Jde o pronikání toxických substancí do potravin, vody a dalších produktů ze stěn skladovacích a provozních nádrží. [6]

2.3 Dimenzování tvaru výrobků z hlediska tuhosti a pevnosti

Navrhování produktu je jistě spojené s úsporou, to znamená, že se vytváří konstrukce např. žebrované a tenkostěnné, při návrhu těchto prvků je dobré znát obecné souvislosti. [6]

Při změně tloušťky tenkostěnného prvku při daných okrajových podmínkách (uložení, zatížení) hodnoty ohybových napětí závisejí nepřímo na kvadrátu poměru změny tlouštěk, tj.

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2, [6].$$

Kde σ_1 a σ_2 jsou napětí a S_1 a S_2 jsou průřezy stěn. Z tohoto vztahu vyplývá, že při zvýšení tloušťky stěny např. o 50 %, (1,5krát), poklesne ohybové napětí o 2,25krát. [6]

Ohybové deformace (průhyb) se mění s diferencí tloušťky výrazněji (se třetí mocninou poměru změny tlouštěk), to znamená, že pokud se zvýší tloušťka stěny o 50 % (1,5krát), ohybové deformace se zmenší 3,375krát. [6]

Při zatěžování produktů v praxi převládá ohybové namáhání. U nevyztužené hladké tenké stěny jsou únosnost a ohybová tuhost poměrně nízká, materiál stěn bývá při přenosu ohybových momentů málo využitý, je to dáno geometrickým uspořádáním hmoty stěny vůči její střednici (neutrální plochy). Platí tedy, že zvyšování pevnosti stěny a ohybové tuhosti zvětšováním jejich tlouštěk je neúčinné a neekonomické. [6]

2.4 Smrštění

Jedná se o jeden z činitelů, který ovlivní jakost plastového výrobku. Velikost smrštění je ovlivněna zvoleným materiálem, druhem konstrukce výrobku a technologií vstřikování. [7]

Při porovnání smrštění ve formě a následného smrštění, je velikost smrštění v první fázi několikanásobně větší než v druhé, přičemž následné smrštění probíhá delší dobu (až v řádech měsíců), tato doba je zapříčiněna postupným uvolňováním vnitřního pnutí vzniklého při procesu vstřikování. [7]

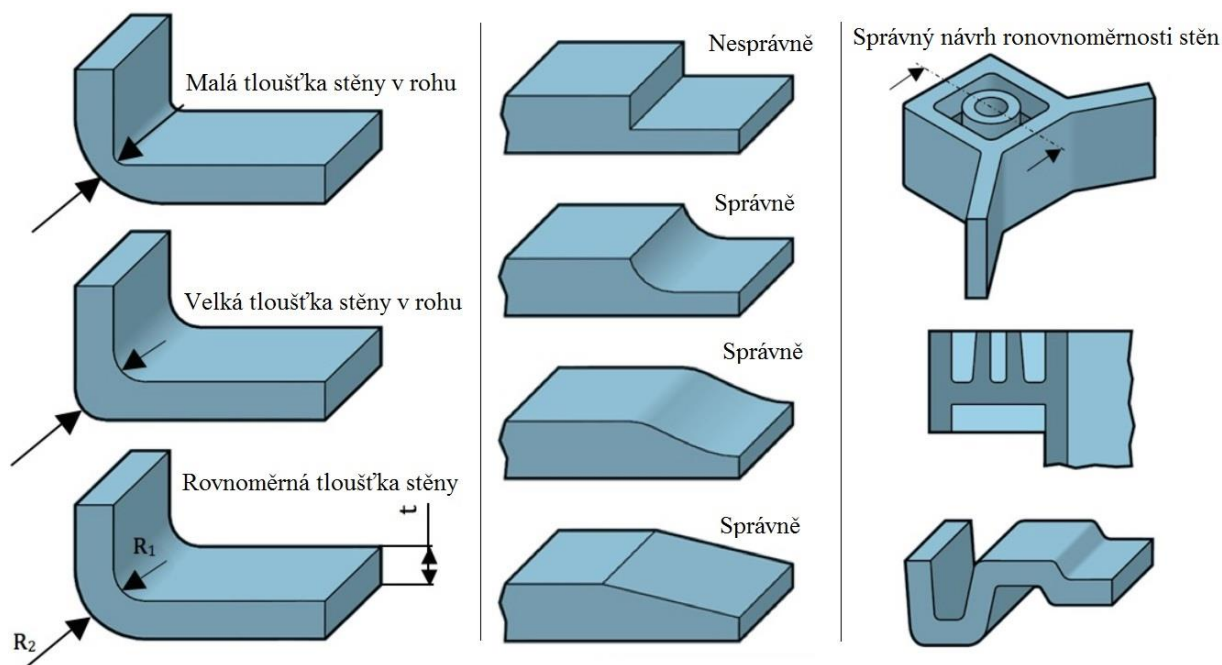
2.5 Požadavky vstřikovaných dílů

2.5.1 Konstruování dílu

Při konstrukci formy se musí dbát na správný tvar vstřikovaného dílu. Proto by konstruktér měl mít dostatečný přehled o zásadách a pravidlech návrhu vstřikovaného dílu a definovat tak jednotlivé parametry před samotnou výrobou formy, výrazně se tak snižují náklady na její případnou opravu.

2.5.2 Tloušťka stěn

Tloušťka stěny je významným činitelem kvality produktu, ovlivňuje mnoho charakteristik, jako např. designové, mechanické, zpracovatelské a ekonomické. Volí se zejména podle požadavku cena proti trvanlivosti, nebo dle požadované pevnosti v porovnání s hmotností. Rozvahou se můžou v budoucnu ušetřit velké náklady na opravy forem. [8]



Obrázek 1: Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstřikovaného dílu, přechody různých tlouštěk stěn a správný návrh s ohledem na rovnoměrnost tloušťky stěny [8]

Při navrhování plochých dílů zvýšení tloušťky o 10 % způsobuje zvýšení tuhosti přibližně o 33 %. S přidáním materiálů samozřejmě roste i jeho cena, proto se v praxi běžně používá žebrování. [8]

Při konstrukčním požadavku různé tloušťky stěn je zapotřebí, aby přechody byly plynulé. [9]

Při konstrukci je tedy dobré dodržovat pár hlavních zásad a to, udržet pokud možno maximálně rovnoměrnou tloušťku stěny, nevytvářet oblasti s vyšší tloušťkou stěny a vyhýbat se frekventovanějším změnám tlouštěk z nižších na vyšší. [8]

Díly s tloušťkou stěny do 0,6 mm často vyžadují vysoce výkonné vstřikovací stroje, které svým tlakem mohou naplnit kvalitně dutiny formy, může to vést ke zvýšení nákladů na výrobu formy. [8]

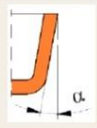
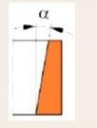

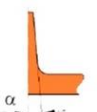
U plněných plastů lze připustit změnu tloušťky stěny do cca 25 % bez většího negativního vlivu na deformační a plnicí vlastnosti vstřikování, naopak u neplněných je tato hodnota kolem 10 % až 15 %. Tyto hodnoty jsou určeny zejména pro hlavní stěny vstřikovaného dílu. [8]

2.5.3 Úkosy

Úkosy se vytváří na stěnách výrobku z více důvodů. Zaprvé z technologických (např. odformování) a zadruhé z konstrukčních (funkce vzhledu, požadavků apod.). [9]

Pro žebrování se doporučuje minimální úkos 0,5° na každé straně, přičemž úkos vyšší než 1° na každé straně může způsobit problémy s plněním formy a ovlivnění nerovnoměrnosti tloušťky stěny. [8]

Pro úkosování lze vycházet z řady doporučení na volbu úkosů (Tabulka 3) tyto doporučení jsou vyzkoušeny, odvíjí se dle odformovatelnosti, tvaru dílu, polohy plochy apod.

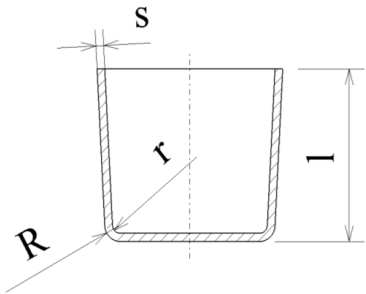
směr úkosu	úhel sklonu	směr úkosu	úhel sklonu
	vnější plochy 30', 1°, 2°		otvory do hloubky 2D 30', 1°
	vnitřní plochy 30', 1°, 2°, 3°		žebra, nálitky, ... 2°, 3°, 5°, 10°

Tabulka 3: Doporučené úkosy pro vstřikované díly [9]

2.5.4 Zaoblení dílu a ostré hrany

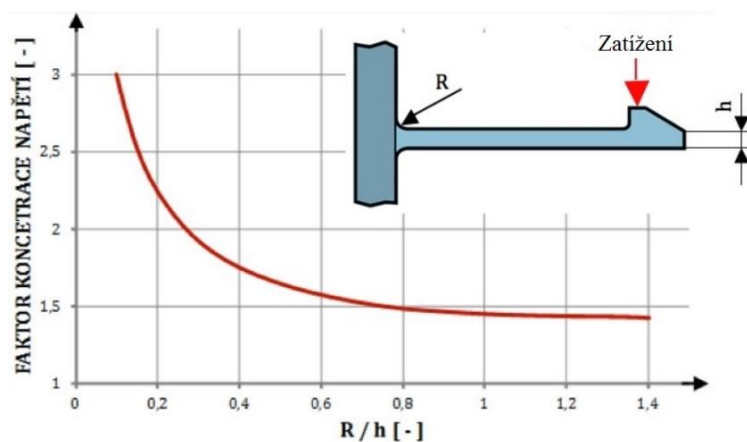
Vstřikovaný díl by měl být vhodně konstruovaný se zaoblením a minimalizací ostrých rohů, v ostrém rohu dochází ke koncentraci napětí. Při volbě rádiusů je dobré zvážit, zda se jedná o namáhaný spoj, nebo jestli protilehlá plocha bude pohledová, dle těchto parametrů lze pak volit rádius, doporučená hodnota je přibližně 0,15 poměru vnějšího zaoblení k výšce dílu. [8]

Pro snížení vstřikovacích tlaků a dalších zlepšení zmíněných výše se vytvořila i doporučené tabulka zaoblení hran a rohů (Tabulka 4). [7]

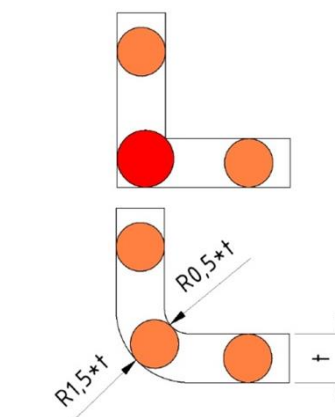
Minimální poloměr			Doporučený poloměr		
Plast	r	R		l	r
Plněné PA, PC	1,5	r+s		>50	1,6
				50-100	2,5
				100-150	4
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6-1	r+s		150-200	5
				200-250	6
				250-300	8
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0.5	r+s	300-400	12	
			400-500	20	

Tabulka 4: Zaoblení hran a rohů [7]

Při konstrukci platí, že je dobré začínat s menšími rádiusy (pro vnější tvary) a většími rádiusy (pro vnitřní tvary), při nesprávné funkci lze tak formu změnit s menší námahou. Vnější rádiusy se většinou tvoří o jednu tloušťku stěny větší než vnitřní. Při konstrukci se má dbát na vyrobiteľnost formy, proto není vždy vhodné automaticky rádiusy přidávat. [8]



Obrázek 2: Vliv velikosti rádiusu na koncentraci napětí, ukázka klip [8]



Obrázek 3: Rádiusy pro vstřikované díly [9]

Výhody zaoblení jsou zejména, lepší jakost výrobku, menší vnitřní tření, zmenšení víření proudící hmoty, lepší vyrobiteľnost forem, platí i tzv. „pravidlo koulí“ (Obrázek 3). [9]

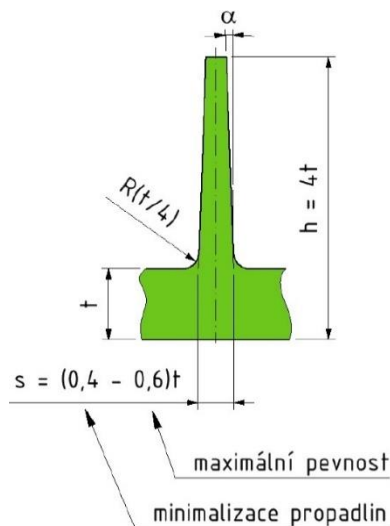
2.5.5 Žebrování

Konstrukce žebrování vytváří pevnější a tužší konstrukci vstřikovaného dílu bez nutnosti zvyšování tloušťky stěn, dále může sloužit k zajištění vzájemné polohy dílů, vedení mechanismů anebo např. jako lícování. [8]

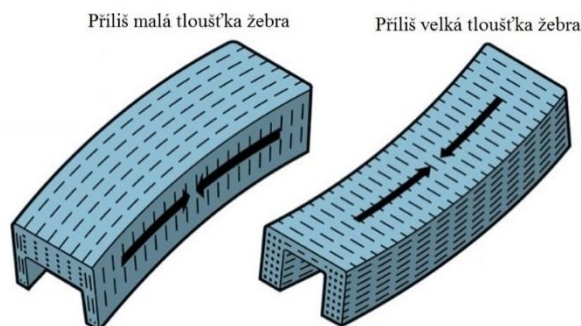
Žebrování (Obrázek 4, Obrázek 5) rozdělujeme dle funkce na technická, která zvyšují pevnost a vyztužují, technologická, která optimalizují deformace pnutím a nerovnoměrné smrštění při chladnutí a nakonec ozdobná, které pro velké plochy vytvářejí lepší vzhled. [9]

Při návrhu se musí správně zohlednit parametry, patří sem např. tloušťka, umístění, počet, vyrobiteľnost a výška. Tímto se předchází vadám dílu. [8]

Obecně lze tvrdit, že s výškou žebra roste účinnost vyztužení, aby se zabránilo problémům s plněním, odformováním a odvzdušněním, mělo by se konstruovat žebro do maximálně trojnásobku tloušťky stěny žebra u základny. [8]



Obrázek 4: Základní rozměry žebra, [9]



Obrázek 5: vliv tloušťky žebra na deformaci u plněných plastů [8]

2.5.6 Otvory a drážky

Je doporučeno volit tyto tvary tak, aby netvořili při výrobě formy, pokud možno žádné potíže, hlavním faktorem zde je především poloha vzhledem k zaformování. [7]

2.5.7 Dělicí rovina

Jedná se o kontaktní plochu mezi pohyblivou a pevnou částí vstřikovací formy. Nedůležitějším účelem dělicí roviny je, aby utěsnila dutiny vstřikovací formy a zabránila tak úniku taveniny plastu. Důležitým parametrem je uzavírací síla, která zajišťuje dostatečný přítlak obou desek a působí kolmo na rovinu. [8]

Tvar dělicí roviny lze rozdělit na rovinný a obecný, čím bude jednodušší, tím lze zajistit kvalitnější utěsnění a vyrobitelnost, návrhu dělicí roviny předchází návrh hlavního formovacího směru otevírání vstřikovací formy. [8]

Styčné plochy, které tvoří dělicí rovinu, by měly být v maximálním možné přesnosti shodné, nevytvoří tak v dělicí rovině spáry, kterými by mohla unikat tavenina a vytvořit tak tzv. „zástřík“. [8]

Vždy zde bude mírná stopa po dělicí rovině, ovlivňuje jí řada nepřesností, ať už nepřesnost obrábění, opotřebení a apod. Správnou přesností a provozem vstřikovací formy lze zajistit i kvalitnější stopy. [8]

3 Technologie vstřikování termoplastů

Tento relativně komplikovaný fyzikální proces je jeden z nejrozšířenějších způsobů výroby plastů, vzniká díky provázané funkci polymeru, formy a vstřikovacího stroje. [7]

Výrobky vyráběné touto technologií mají v konečné fázi vysokou tvarovou i rozměrovou přesnost. Musí se vynaložit velké počáteční náklady na nákup potřebných technologií a vybavení, je proto vhodná zejména pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [10]

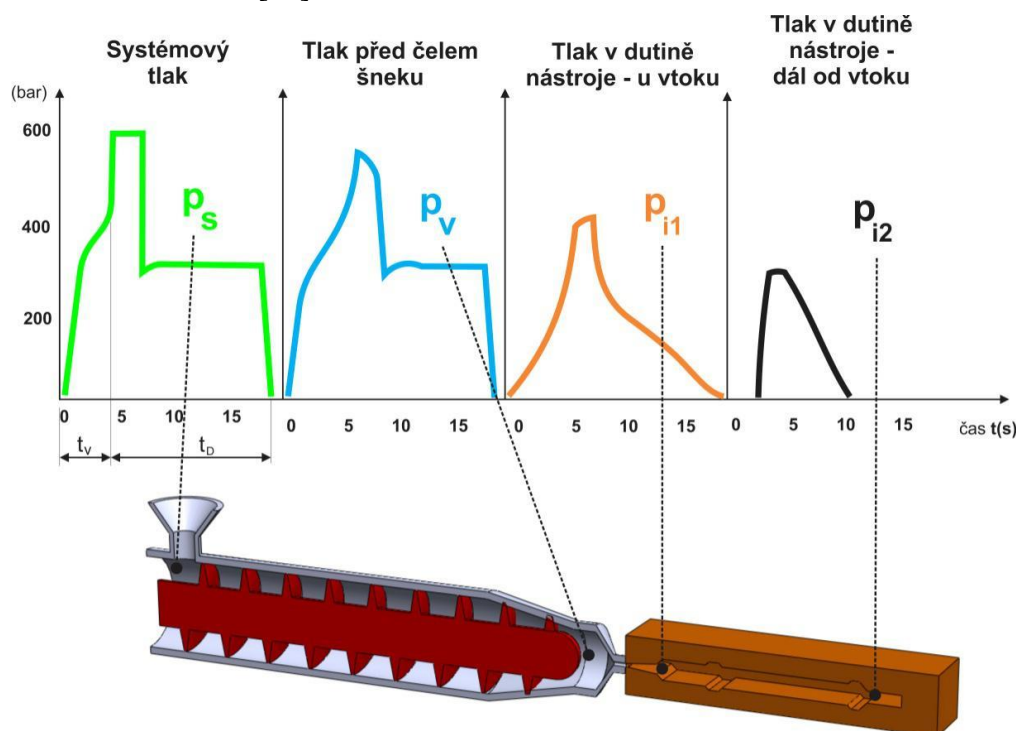
3.1 Princip technologie vstřikování

„Princip technologie vstřikování je následující: plast (nejčastěji v podobě granulí), recyklát nebo granulát je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a získá její tvar a objem. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a postupným ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý výrobní proces se cyklicky opakuje.“ [10]

3.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je tvořen ze sledů specifických, za sebou jdoucích kroků a fází, kterými se docílí vytvoření vstřikovaného dílu. Během vstřikovacího cyklu plast prochází tlakovým a teplotním cyklem. [10]

Pro lepší porozumění je dále nutné definovat několik pojmů. Je důležité určit počátek vstřikovacího cyklu, může to být např. okamžik, kdy se pomocí vnějšího impulsu začne zavírat vstřikovací forma. [10]



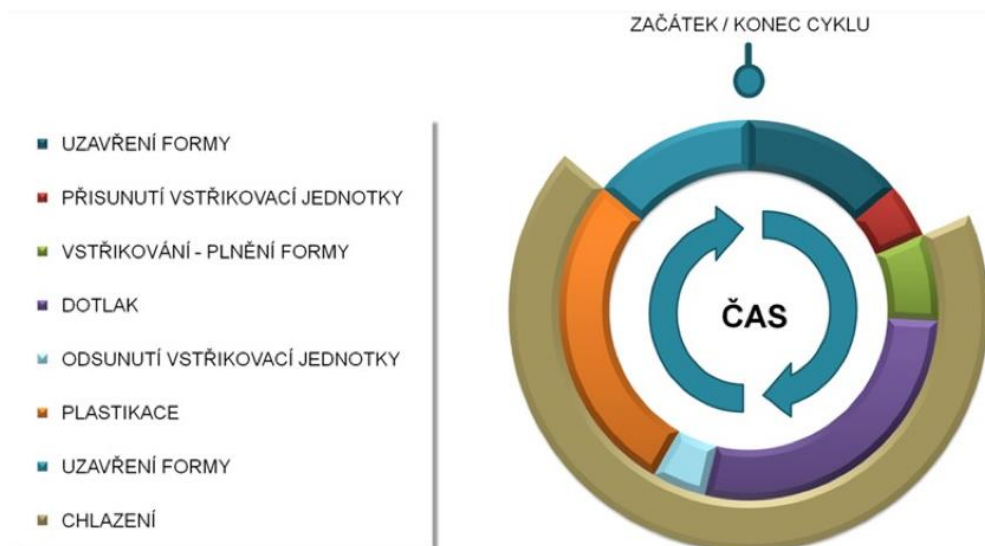
Obrázek 6: Tlaky při procesu vstřikování [10]

Poté je nutné znát jednotlivé tlaky v cyklu (Obrázek 6), tj.: Systémový (hydraulický) tlak, který je definovaný pro hydraulický systém vstřikovacího stroje, dále vnitřní vstřikovací tlak, který nabývá hodnot během procesu vstřikování uvnitř dutiny a dále ještě vnější vstřikovací tlak, který udává velikost vztaženou na jednotku plochy průřezu šneku před čelem šneku. [10]

Vstřikovací cykly se zobrazují v diagramech, mohou to být grafické závislosti jako např. p-t diagramy a nebo p-v-T diagramy. [10]

3.2.1 Fáze vstřikovacího cyklu

Jedná se o určitý počet za sebou jdoucích operací, které jsou popsány níže a také zobrazeny na obrázku (Obrázek 7) vedoucí k výrobě vstřikovaného dílu, zejména jej ovlivňují tyto faktory [10]: materiál, konstrukce vstřikovaného dílu, technologie vstřikování, konstrukce formy a typ stroje.



Obrázek 7: Vstřikovací cyklus [8]

První fáze je *zavření formy*. Je snaha docílit co nejkratšího možného výrobního času, nesmí dojít k poškození formy jejím uzavřením, a proto jsou kladeny i nároky na plynulé dosednutí a zároveň rychlé přijetí formy. Síla uzavření je probrána v kapitole 4.2.1. [10]

Druhou fází může být *přisunutí plastifikační jednotky* k uzavřené vstřikovací formě, poté teprve začíná fáze vstřikování taveniny přes trysku stroje a vtokový systém do tvarové dutiny vstřikovací formy a tyto fáze jsou pak specifické strojními časy. [10]

Třetí fáze je *vlastní plnění tvarové dutiny* vstřikovací formy, je důležité, aby došlo k celkovému naplnění dutiny, zároveň se ovlivňují vlastnosti vstřikovaného dílu. Nesmí zatuhnout čelo taveniny a fáze by měla být tak rychlá, aby nedošlo k přílišnému ochlazení taveniny, což by ovlivnilo samotnou tekutost. Optimálním plněním by se dutina plnila postupně, tok taveniny by byl laminární, v opačném případě by se jednalo o volný tok. [10]

Čtvrtá fáze se nazývá fáze *dotlaku*. Kompenzuje zmenšení objemu (smrštění) při chladnutí materiálu ve formě a je ho možné provádět pouze po dobu dodávání taveniny do dutiny, tato doba většinou končí např. z důvodu zatuhnutí plastu ve vtokovém systému, je však výhodné skončit dříve, aby nedošlo k „přetlačení“ taveniny kolem vtoku (vznik velkého pnutí). Dalším úkolem této fáze je snížení tlaku uvnitř dutiny vstřikovací formy, sníží se tím namáhání ve formě. Při špatném nastavení dotlaku může docházet k nedostříknutí dílu (předčasný dotlak), nebo v opačném případě (opožděný dotlak) k velkému pnutí ve výrobku či dočasnému otevření formy v dělicí rovině. [10]

Pátá fáze se nazývá *plastikace*. Neovlivní celkovou délku cyklu, protože probíhá při fázi chlazení vstřikovacího cyklu a jejím úkolem je nadávkování stejnoměrného množství taveniny plastu pro další cyklus vstřikování před čelo šneku. Během této fáze se plast působením pohybu šneku převádí do taveniny (teplem od tření a od elektrických topných těles). Optimálně by tavenina měla být homogenní o dané teplotě vhodné pro vstřikování s postačujícím objemem. [10]

Šestá fáze může být fáze *odsunutí plastikační jednotky* od uzavřené vstřikovací formy. [10]

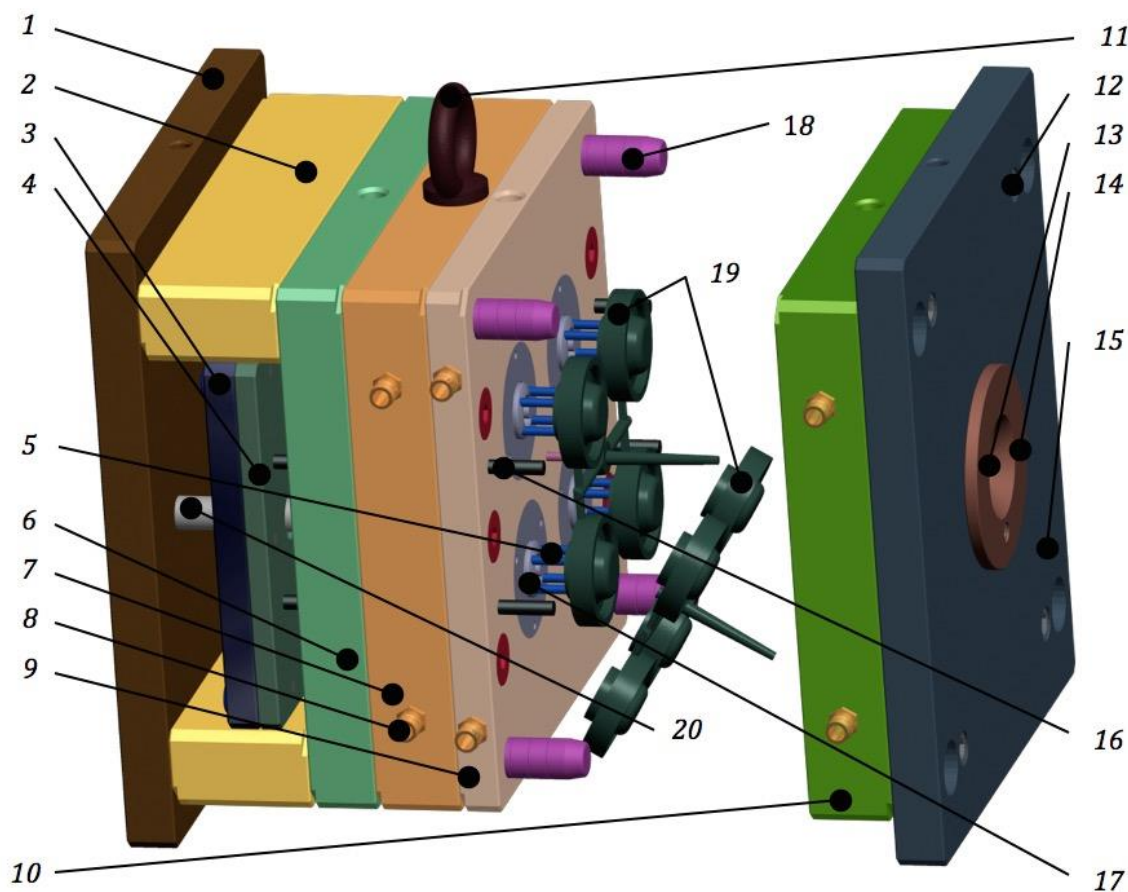
Sedmá fáze, která trvá nejdéle ze všech, je *chlazení*. V této fázi se chladí tavenina plastu v dutině vstřikovací formy, proto aby byl výrobek tuhý při vyhození formy. Fáze začíná s prvním kontaktem taveniny s chladnější formou, pokračuje při fázi dotlaku a probíhá až do úplného ztuhnutí plastu v dutině. Teplota by měla při vyhození zaručit to, že nedojde k deformaci výrobku při dalších manipulacích. Rozdíl teplot média na vstupu a výstupu by neměl být vyšší než 3°C. Chlazení vysoce ovlivňuje náklady, s vhodným chlazením lze uspořit až 40% a také vlastnosti výrobku (smrštění, deformace, kvalitu povrchu atd.). [10]

Po *otevření vstřikovací formy* dochází k *vyhození výstřiku*, tyto kroky lze považovat za poslední fázi. Velikost vyhození musí být tak velká, aby nedošlo k vzpříčení výrobku při vyhození, přičemž dále může být přizpůsobená dle manipulátorů. [10]

4 Vstřikovací forma

Vstřikovacích forem je více druhů, nejjednodušší varianta je dvoudesková forma (Obrázek 8). Často se lze setkat s různým pojmenováním komponent, např. u dodavatelů (Meusburger, Hasco a dalších). Obrázek 8 popisuje jednotlivé komponenty, pojmenování se tedy může lišit, např. v praxi se lze běžně setkat s pojmem tvárník (pozice 9, Obrázek 8) či tvárnice (pozice 10, Obrázek 8).

„Popis formy (Obrázek 8): 1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16 – vracecí kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupky, 19 – vstřikovaný díl, 20 – podpěrné válce“ [8]



Obrázek 8: Otevřená dvoudesková vstřikovací forma [8]:

4.1 Materiál vstřikovacích forem

Materiál se volí dle požadavků na kvalitu, životnost, pořizovacích nákladů a dále pak dle provozních podmínek vstřikovací formy (druh plastu, požadavky na výstřik apod.). Výběr je prováděn i dle funkce vstřiku a funkce jednotlivých komponent ve formě. Požadavky na materiál jsou pak zejména dobrá obrobitelnost a vhodná mechanická pevnost. [11]

V praxi se používají např. tyto skupiny ocelí [11]:

- Konstrukční oceli (třída 11, př. ČSN 11373) – méně namáhané díly (šrouby)
- Cementační oceli (třída 12,14,19) – různá použití (pouzdra)
- Kalitelné oceli (třídy 12,19,...) – různá použití (vyhazovače)
- Antikorozní oceli (nepoužívanější ČSN 17 029) – tvarové části formy

Dále se používají i různé slitiny, která jsou specifické svými fyzikálními či technologickými vlastnostmi, např. slitiny mědi mají dobrou tepelnou vodivost a dobrou chemickou odolnost, zkracují tak pracovní cyklus kratšími chladicí časy apod. [11]

4.2 Výpočty forem

V této podkapitole bude uveden pouze výčet vztahů, další je možné dohledat například v publikaci [11].

4.2.1 Uzavírací síla

Jedná se o sílu, která je nutná k udržení uzavřené vstřikovací formy během procesu vstřikování a dotlaku. Uzavírací síla F_u [N] je výsledkem součinu průmětu plochy výrobků ve směru působící síly S [m²] a tlaku v dutině formy p_i [Pa]. [10]

$$F_u = S \cdot p_i \text{ [N]}$$

4.2.2 Násobnost formy

K určení vhodné násobnosti předchází správné hodnocení všech hledisek, které ji mohou ovlivňovat, tyto hlediska jsou [7]: velikost a kapacita vstřikovacího stroje, charakter a přesnost výstřiku, požadované množství, ekonomické hodnocení výroby, požadovaný termín dodávky.

Obecně lze říct, že rozměrově velké součásti se vyrábějí v jednonásobných formách. Platí, že s rostoucí násobností klesá kvalita výstřiku a jednotlivou násobností se vnáší do formy faktor chyby. [7]

Velikost vstřikovacího stroje musí spolehlivě plnit dutinu, je zde vyžadovaná rezerva uzavírací síly nejméně 20 %. [7]

Násobnost dle vstřikovací kapacity stroje [7]:

$$n_1 = \frac{0,8 \cdot M}{A \cdot G},$$

M...vstřikovací objem stroje (gramáž) [g]

G...hmotnost výstřiku [g]

A...koeficient vtokového zbytku [-]

(bez vtoku, jinak se pohybuje v rozmezí 1,05 až 2)

Násobnost dle plastifikačního výkonu [7]:

$$n_2 = \frac{0,8 \cdot Q_p \cdot t_c \cdot 1000}{A \cdot G \cdot 3600},$$

Q_p...Plastifikační výkon stroje [kg/hod]T_c...celková doba cyklu [s]

G...hmotnost výstřiku [g]

A...koeficient vtokového zbytku [-]

(bez vtoku, jinak se pohybuje v rozmezí 1,05 až 2)

Násobnost dle velikosti uzavírací síly [7]:

$$n_3 = \frac{0,8 \cdot F}{S \cdot p_v},$$

F...uzavírací síla stroje [MN]

S...plocha dutin a kanálů v dělicí rovině kolmá na směr uzavírací síly [m²]p_v...vstřikovací tlak [MPa]

Spolehlivost uzavření formy je dána rezervou 20 %

Násobnost dle termínu dodávky [7]:

$$n_4 = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K \cdot 3600},$$

N...celková požadovaná produkce [ks]

t_c...celková doba cyklu [s]T_p...doba produkce [hod]

K... koeficient využití času [0,7 až 0,9]

Násobnost optimální dle ekonomického hodnocení [7]:

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{t_c \cdot K_p \cdot N}{T_p \cdot K \cdot 3600}},$$

K_p...provozní náklady formy [Kč]

N...celková produkce životnosti formy [ks]

T_c...doba cyklu [s]K_f...míra amortizace formy [-]**Poměr vstřikovací kapacity a plastifikačního výkonu [7]:**

$$n_2 \leq 4 \cdot n_1,$$

Při překročení této hodnoty může dojít k barevným diferencím nebo k degradaci vstřikovaného materiálu.

Vhodná násobnost je nejnižší hodnota z množiny násobností n_1 až n_3 , pokud by byla určená násobnost větší než n_4 , je žádoucí volit odlišný vstřikovací stroj.

4.3 Odvzdušňování vstříkovacích forem

Při vstupu taveniny do dutiny vstříkovací formy je vzduch, který byl před vstříkáním v dutině, nadměrně rychle vytlačovaný před taveninou. Tento vzduch může částečně unikat přes dělicí rovinu, vodící plochy vyhazovačů a pohyblivé jádra, pokud toto odvzdušnění není dostatečné, lze přidat i další konstrukční prvky. [8]

Nejjednodušší pravděpodobnost účinnějšího odvzdušnění je přidání odvzdušňovacích ploch do dělicí roviny, jednoduše se vyrábějí a jsou přímou cestou pro vzduch vytlačovaný taveninou. Dle materiálu se jejich šířka volí od 0,05 mm (např. plněný PA) až 0,1 mm (strukturní pěny), rozmístění je také specifikováno a doporučováno, např. je vhodné umístění těchto odvzdušňovacích ploch do poslední zaplňované oblasti v dutině, pokud by toto místo nebylo odvzdušněné vhodně, může dojít k uzavírání vzduchu v dutině a to by mohlo vést k neúplnému naplnění dutiny formy a případný vznik diesel efektu (spálenina plastu). [8]

4.4 Vtokový systém forem

4.4.1 Studený

Vtokový systém zprostředkovává vedení taveniny od vstříkovacího stroje do dutiny formy, má proběhnout v nejkratším čase s minimálními odpory, u vícenásobných forem je požadavek, aby tavenina tekla rovnoměrně do všech dutin. [7]

Vtokový systém se skládá z vtokového kanálu, rozváděcího kanálu a vtokového ústí, všechny tyto části se nazývají vtokový zbytek. [7]

Funkční řešení zajišťuje [7]: nejkratší dráhu toku, bez zbytečných tlakových a časových ztrát, stejně dlouhou dráhu pro ke všem dutinám, neboli rovnovážné plnění.

4.4.2 Vyhřívání

Tento systém na rozdíl od studeného nevytváří vtokový zbytek a lze tak uspořít materiál. Tento systém má plno výhod, např.: Automatizace výroby, zkrácení výrobních časů, snížení spotřeby plastu, snížení náklady na odstranění vtokových zbytků. Naopak je vhodný pro velkosériové výroby, protože je mnohonásobně dražší než studený vtokový systém. [7]

4.5 Temperační systém forem

Temperace má za hlavní úkol především udržovat konstantní teplotní režim formy a požaduje se od ní optimálně krátký pracovní cyklus vstříkování, a navíc by měl dodržovat technologické požadavky výroby. Dle těchto požadavků se ochlazuje, nebo vyhřívá.

Temperace tedy zajišťuje [11]: rovnoměrnou teplotu formy, odvod tepla z dutiny formy a tím snížení délky pracovního cyklu

Předchází se tak velkým lokálním, délkovým a tvarovým, nepřesnostem. Je snaha dosáhnout malého kolísání teplot dutin při vstříkování. [11]

Temperační okruhy jsou umístěny v pevné i pohyblivé části formy. Množství okruhů je možno také spočítat, platí vztahy pro tepelnou bilanci formy. [11]

4.6 Vyhazovací systém forem

Tato činnost následuje po otevření vstřikovací formy a zajišťuje vyhození výstříku. Základní podmínkou k vyhození je hladký povrch a vhodné úkosování. [11]

Skládá se ze dvou fází [11]: dopředný pohyb, tzv. vlastní vyhazování, zpětný pohyb, tzn. návrat vyhazovacího systému do původní polohy.

4.6.1 Mechanické vyhazování

Tento systém vyhazován se používá nejčastěji.

Konstrukce se liší dle provedení, patří sem tyto druhy vyhazování [11]:

- Pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích desek nebo trubkových vyhazovačů
- Šikmé vyhazování
- Postupné vyhazování
- Speciální vyhazování
- Bez použití vyhazovačů

Mechanické vyhazování pak lze dále kombinovat s vyhazováním hydraulickým i pneumatickým. [11]

4.6.2 Hydraulické vyhazování

Tento systém se nejčastěji používá k ovládní mechanických vyhazovačů, umožní pružnější pohyb a flexibilitu. Podrobnější výklad lze najít v publikaci. [11]

4.6.3 Pneumatické vyhazování

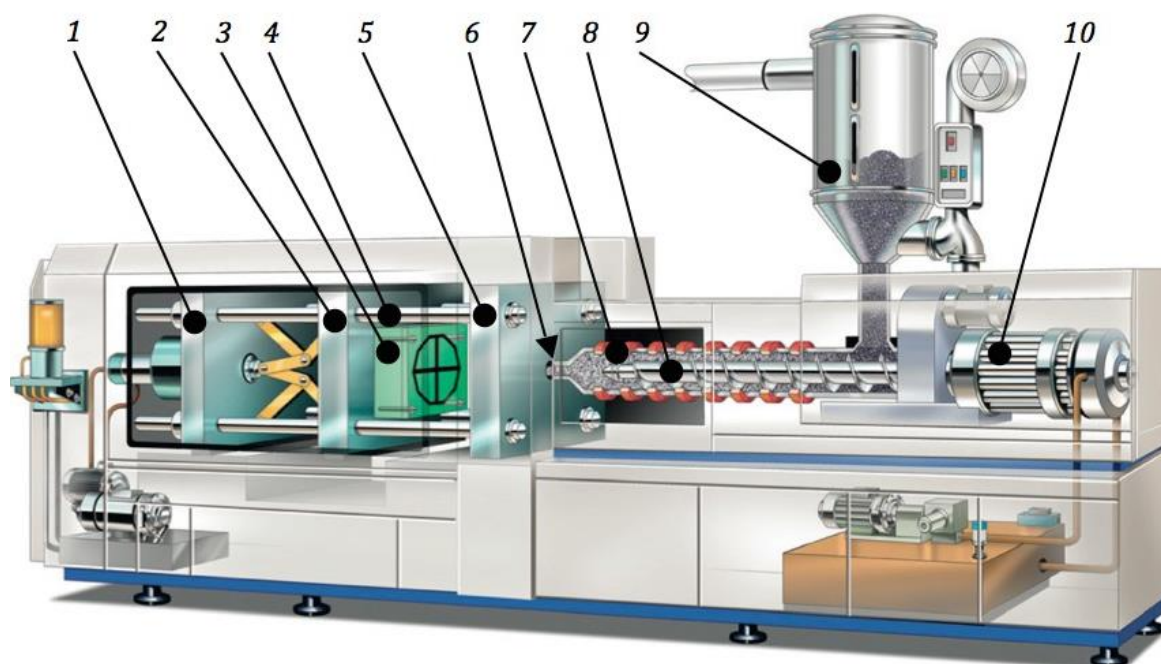
Tento systém vyhazování je vhodný především pro slabostěnné výstříky větších rozměrů ve tvaru nádob, vyžadují zavzdušnění během procesu vyhazování, aby nedocházelo k deformaci dílu. Při vyhazování není tlak lokální, je lépe rozložený, tím pak nevznikají stopy po vyhazovačích. [11]

5 Vstřikovací stroj (vstříkolis)

Navržená vstřikovací forma musí být konstruována nebo ověřována dle parametrů dostupného vstřikovacího stroje, tento návrh musí splňovat zadané požadavky, nebo tyto požadavky svým návrhem vytvoří. Základním požadavkem při zvolení sloupkového vstřikovacího stroje je splnění maximálních rozměru mezi jeho sloupky, k tomu slouží výkresová dokumentace dodávána obvykle se strojem, ta obsahuje důležité rozměry pro vstřikovací formu.

Vstřikovací proces je prováděn na mnoho typech vstřikovacích strojů, tyto typy lze najít např. u výrobců Arburg, či Engel, nejčastěji se skládají z částí popsaných dle obrázku níže (Obrázek 9).

Popis částí vstříkolisu (Obrázek 9): 1- uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstříkolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstříkolisu, 5 – pevná upínací deska vstříkolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstříkolisu, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku [8]



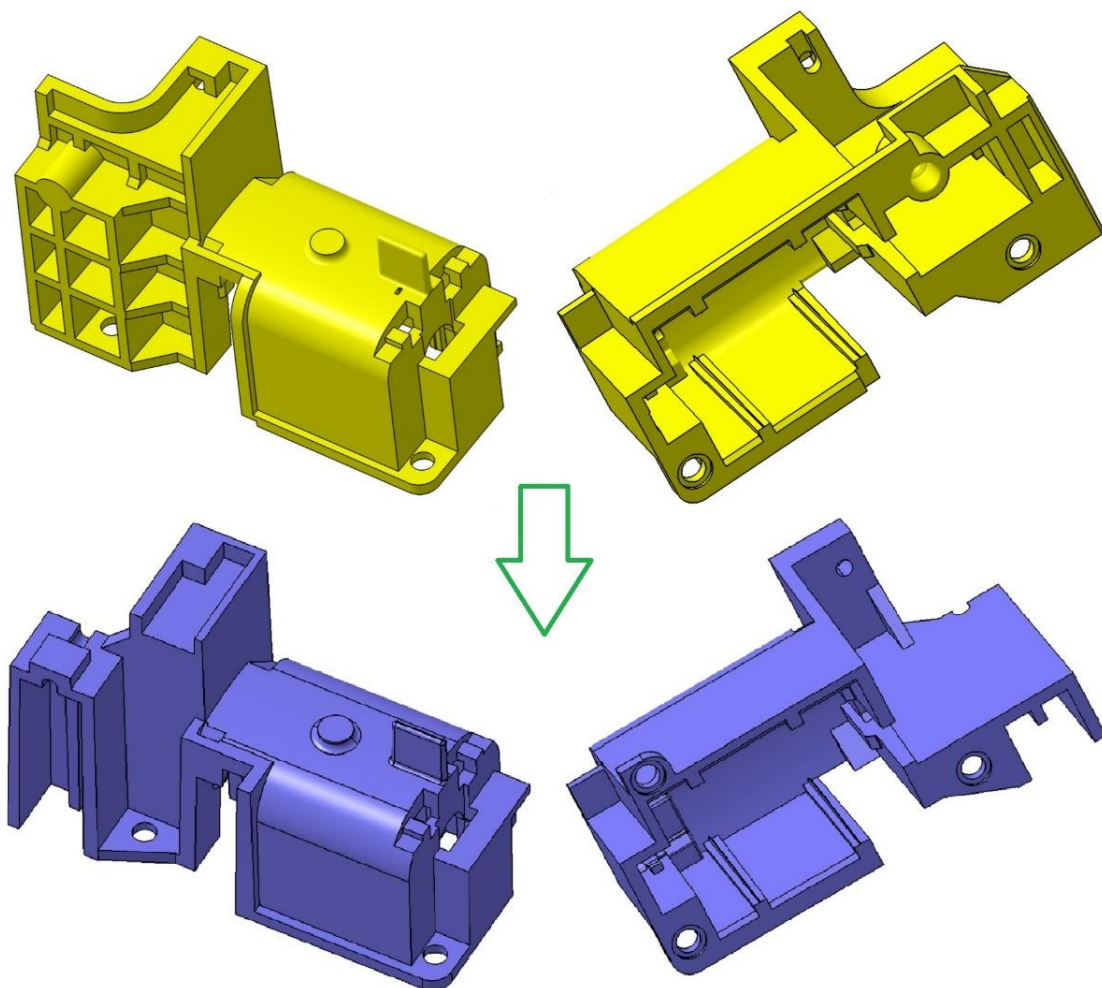
Obrázek 9: Vstřikovací stroj (vstříkolis) [8]

Praktická část práce

6 Zadání a specifikace požadavků

Díl s názvem Cradle byl zadán firmou WITTE Nejdek, spol. s r.o., při tomto zadání bylo požadováno, aby byl díl přemodelován (dále pouze navržený díl) na pouze jeden směr formování (tzv. hlavní), tudíž konstrukce bude bez vedlejších formovacích směrů (forma bez tzv. „šíbrů“).

Jeden formovací směr výrazně sníží počáteční náklady formy. Pro zachování původní funkční a orgánové struktury dílu lze odebrané prvky navrhnout na vztažné díly v sestavě.



Obrázek 10: Požadované přemodelování původního (žlutého) dílu na díl (modrý)

Materiál dílu byl zadán, jedná se o PA6 GF30, obchodní název také jako ULTRAMID B3EG6, tento materiál je podrobněji analyzován v kapitole 1.3.3. a materiálový list je v Příloze 1. Požadavkem je navrhnout vstřikovací formu pro výrobu 50 000 ks upraveného zadaného dílu.

Při zadávání dílu se upřesnily konstrukční požadavky a určily funkční plochy, které jsou dány povahou dílu v sestavě (dále je tato problematika popsána v kapitole 7.2.1). Po domluvě s konzultantem bylo možné tyto požadavky dále specifikovat i v průběhu práce.

Zadáním a specifikací požadavků se vytvořily základní předpoklady pro další konstrukční činnost, analýzy, technickou dokumentaci a technicko-ekonomické zhodnocení.

7 Konstrukční návrh výrobku pro vstřikovací formu

7.1 Použité softwary

Hlavní konstrukční práce byla tvořena v CATIA V5 R24 a R26. V tomto programu se upravoval model ke vstřikování, navrhovala celá forma, tvořily úkosové analýzy, výkresová dokumentace a poté i kinematické animace pro prezenční účely.

Další částí této práce bylo vytvoření jednotlivých analýz vstřikování, k těmto účelům byl použit modul Plastics v programu SolidWorks (2016 a 2018) a program Moldex3D.

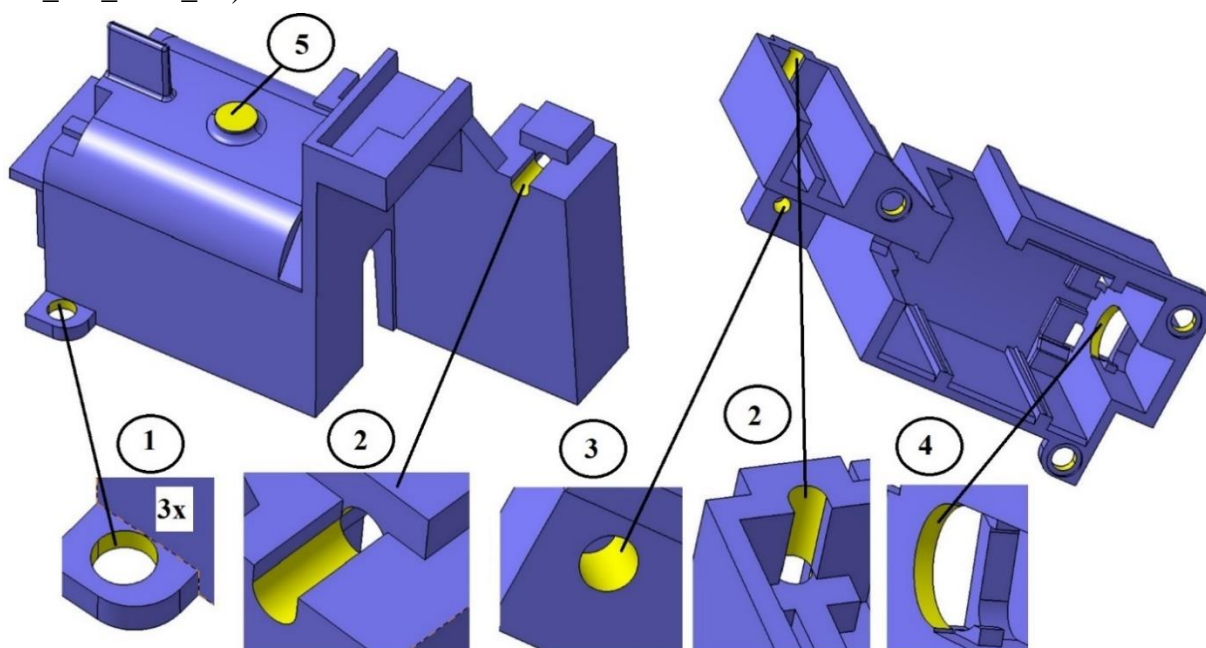
7.2 Výrobek pro vstřikování

Zadaný díl slouží pro uložení elektro motoru, horizontální vačkové hřídele a vertikálního šneku se šnekovým kolem. Poslední dvě uložení jsou realizovány pomocí dalších dílů v sestavě.

Výrobek byl třeba konstrukčně připravit pro návrh formy, ten by měl splňovat základní parametry vstřikovaného dílu, tzn., musí se navrhnout a vytvořit vhodný směr formování, dělicí rovina, úkosování, zaoblení a tento návrh paralelně kontrolovat analýzami.

7.2.1 Funkční plochy

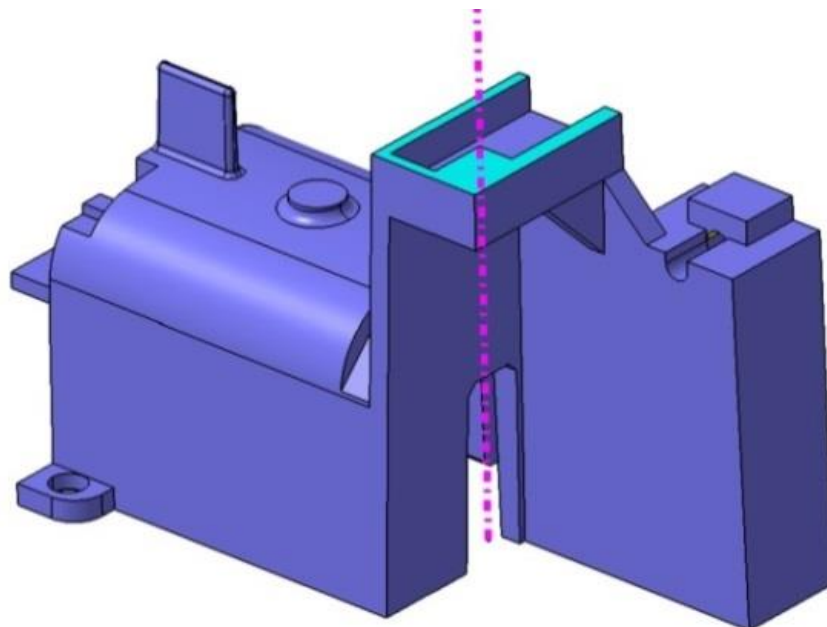
Před další úpravou modelu bylo nutné zvážit funkční plochy výrobku. Tyto plochy vycházejí z definice pozice dílu v sestavě (viz kapitola 7.2), jsou vymezeny požadavky ve výkrese a kontrolovány oddělením kvality. Četnost kontrol je přizpůsobena požadavkům zákazníka a předchází distribuci nekvalitních dílů. V případě neshody požadovaných a změřených rozměrů musí být zákazník včas informován, tato neshoda může být časem způsobena mnoha faktory, jedním z nich je např. opotřebení formy nebo i teplota v místnosti. Funkční prvky byly označeny číslem v kroužku (Obrázek 11), přesné rozměry se shodným označením v kroužku lze nalézt ve výkrese navrženého Cradlu (Příloha, číslo výkresu BP_LV_2019_IN).



Obrázek 11: Funkční plochy výrobku

7.2.2 Formovací směr

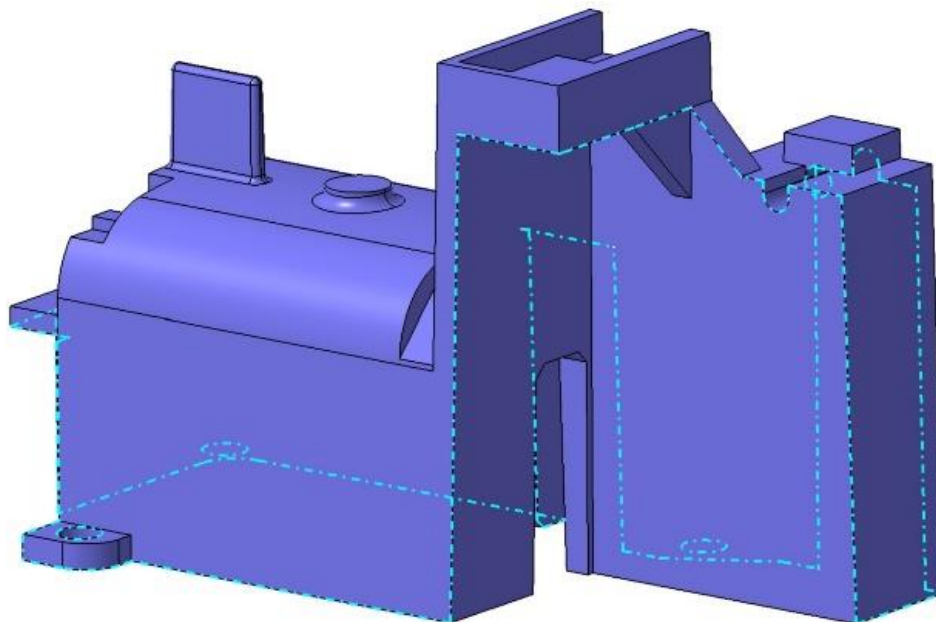
Navržený díl má pouze jeden formovací směr, tzv. hlavní, tento směr je kolmý na dělicí rovinu a zastupuje směr posuvu tvárníku a tvárnice. Hlavní formovací směr (fialová čerchovaná čára) je kolmý na podstavu dílu, která je rovnoběžná s plochou označenou světle modrou barvou (Obrázek 12).



Obrázek 12: Hlavní formovací směr

7.2.3 Dělicí rovina

Obecná dělicí rovina (čerchovaná čára, Obrázek 13) je zvolena dle tvaru dílu a určena na základě jednoho formovacího směru (viz kapitola 7.2.2). Dle její struktury se později postupovalo např. při volbě úkosů a zaoblení.

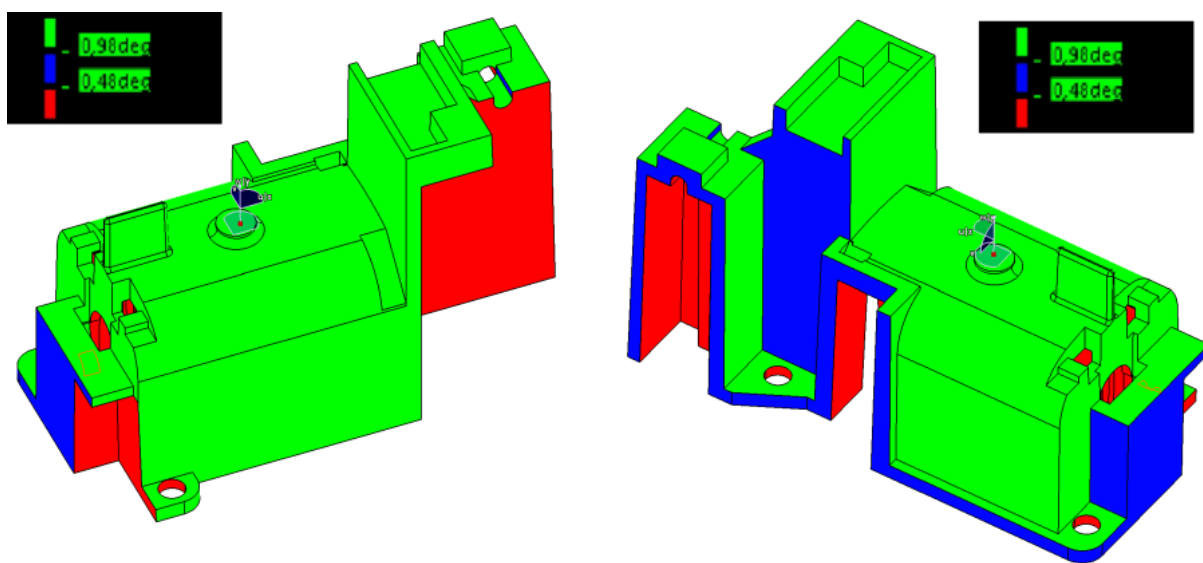


Obrázek 13: Dělicí rovina

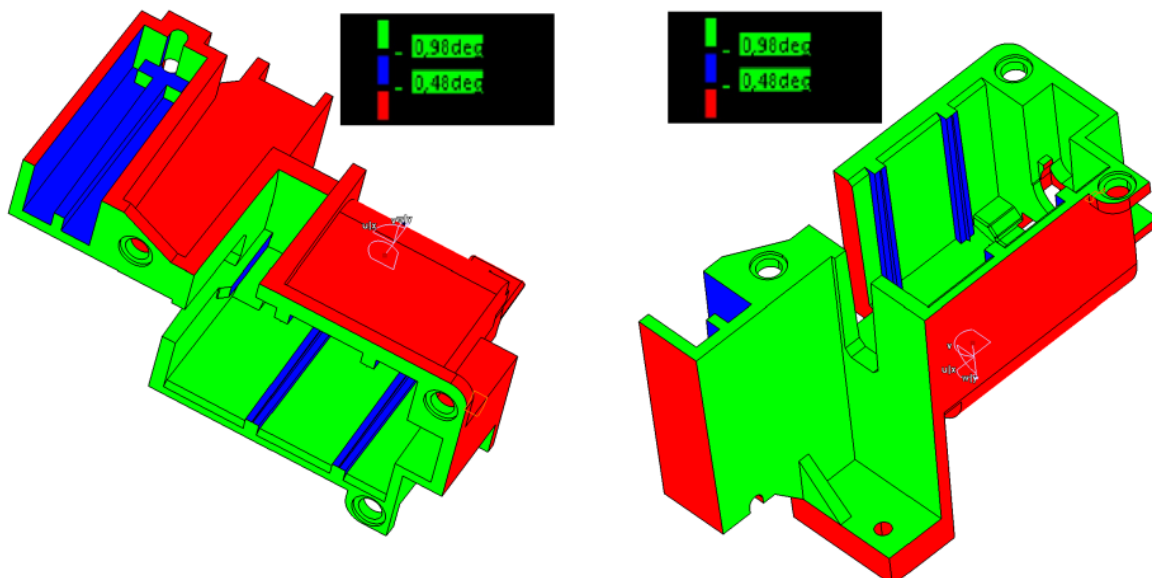
7.2.4 Úkosy a jejich analýza

Při volení úkosů bylo vycházeno z kapitoly 2.5.3 a byla již zvolena dělicí rovina. Minimální úhel dílu byl volen $0,5^\circ$ a maximální 1° (pro lepší formovatelnost a vyjimatelnost z formy), použily se tedy jenom dvě velikosti úhlů. Tyto dva úhly jsou zobrazeny v úkosové analýze (Obrázek 14, Obrázek 15), pomocí které lze přehledně vidět škálu úkosů.

Vysvětlivky k analýze (Obrázek 14, Obrázek 15): úkosy jsou zde zobrazeny ve třech intervalech a ve dvou směrech (směr je vždy totožný pro jeden obrázek a zobrazuje ho praporek), tato škála zobrazuje *zeleně* úkosy větší než $0,98^\circ$ (úhel 1°), poté *modře* $0,48^\circ$ až $0,98^\circ$ (úhel $0,5^\circ$) a *červeně* úhly menší než $0,48^\circ$ (tzv. *negativní* úhly).



Obrázek 14: Úkosová analýza pro první polovinu formy (tvárnici)



Obrázek 15: Úkosová analýza pro druhou polovinu formy (tvárník)

7.2.5 Tloušťka stěn

Minimální tloušťka stěny je pro plněný materiál PA6 pouze 0,4 mm, doporučená tloušťka je 1,6 mm a maximální tloušťku stěny je možno volit až do cca 3,2 mm. [9]

Doporučená tloušťka stěn žebor u základny je pro plněný PA maximálně 50 % (nepatrná propadlina stěny), a 66 % (způsobí mírnou propadlinu). [8]

Nominální tloušťka dílu je 2 mm, důraz je kladen na rovnoměrné přechody tlouštěk a správné úkosování.

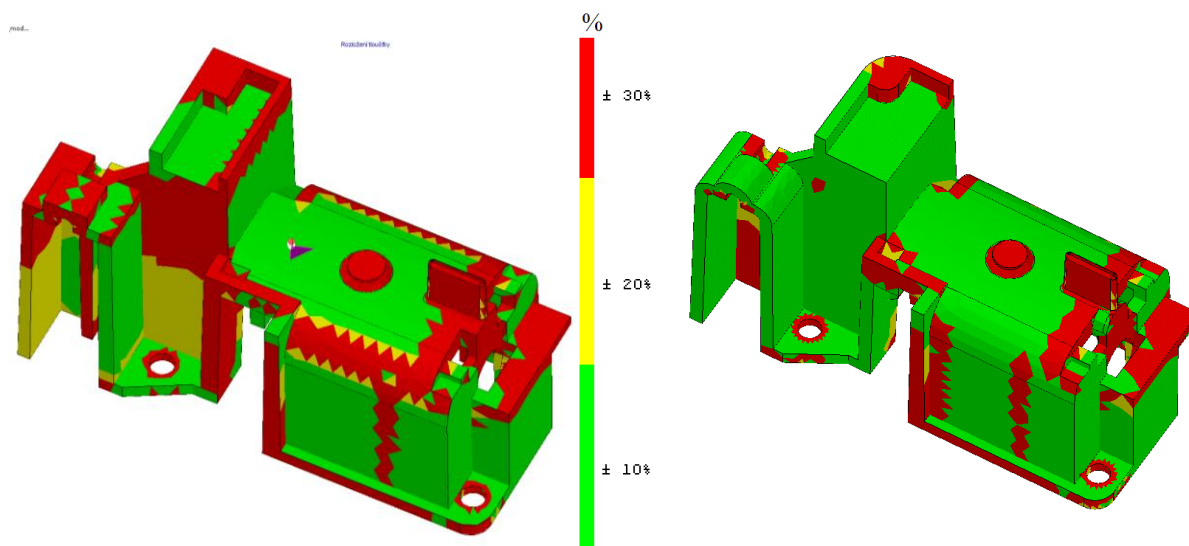
7.3 Analýza a optimalizace návrhu dílu

Cílem analýzy návrhu bylo zjistit, zda navržený díl odpovídá zásadám návrhu konstrukce plastových dílů (více o této problematice v kapitole 2.5).

Dalším bodem bylo zjistit vyrobiteľnost dosavadního stavu navrhovaného dílu a zlepšit tento stav dle analýz. Navrhovaný díl je důležité analyzovat před samotným návrhem vstřikovací formy, celkový proces návrhu formy je tímto efektivnější, předchází se drahým opravám formy a vedlejším nákladům spojených s těmito úkony.

Před samotnými analýzami měl navrhovaný stav dílu základní úkosy a ostré hrany. Bylo zjištěno, že model nemá rovnoměrně rozloženou tloušťku stěn. Tímto by mohly vznikat nežádoucí účinky, jako např. propadliny, nerovnoměrná deformace dílu a další.

Popis (Obrázek 16): Červená barva značí rozdíly tlouštěk stěn o $\pm 30\%$, žlutá o $\pm 20\%$ a zelená o $\pm 10\%$ od nominální tloušťky stěny 2 mm.

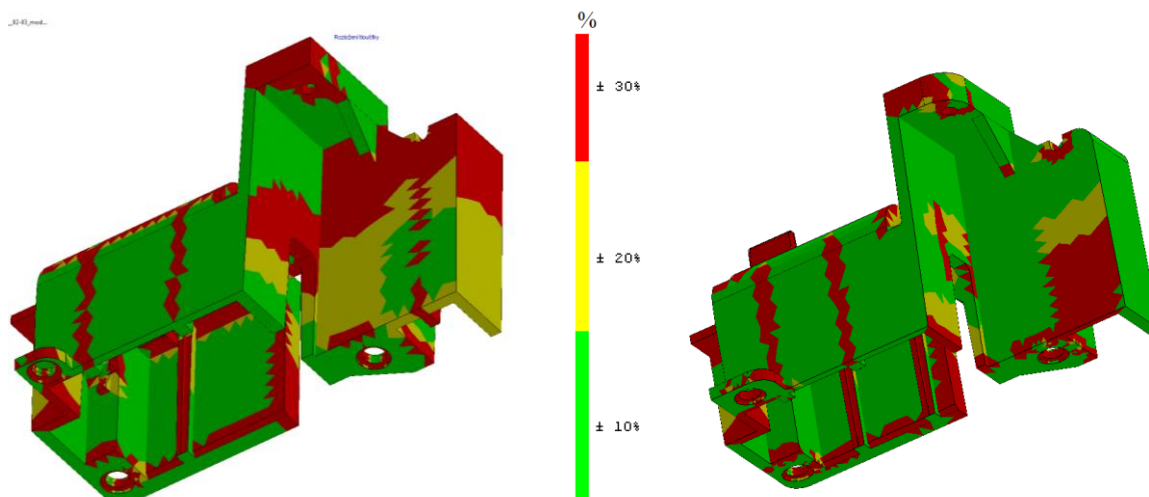


Obrázek 16 :Porovnání rozložení tloušťky stěn (1/2), původní (vlevo) a finální (vpravo)

Při analyzování byly zjištěny nedostatky modelu, které byly následně opraveny. Provedly se tyto změny: 2 x zaoblení kolem vertikální funkčního otvoru $\varnothing 2,4\text{ mm}$, odstranění nefunkční plochy nad $\varnothing 2,4\text{ mm}$, snížení výšky nad funkčním otvorem $\varnothing 2,4\text{ mm}$ (dle doporučené tloušťky stěny u slepého otvoru), zaoblení kolem horizontálního funkčního otvoru $\varnothing 2,4\text{ mm}$, posun funkčních děr u pinů, přidáno žebro na motor a jeho vertikální zajištění, změna poloměrů v oblasti motoru a změny v úkosování (změna neutrálních rovin).

Navrhovaný díl byl během oprav průběžně kontrolován pomocí úkosových analýz. Po výše uvedených změnách došlo k významnému zlepšení rozložení tloušťek stěn (Obrázek 17), tím se zvýšila kvalita vstřikovacího procesu, což snížilo výskyt potenciálních vad a nepřesností u výrobku. I přes všechny opravy jsou zde místa, kde není rozložení tloušťek stěn rovnoměrné, jsou to místa s žebry, výstupky nebo místa s opačným směrem úkosování na stejné ploše, tyto prvky tvoří funkční části, či základní geometrii dílu, proto je nelze eliminovat.

Popis (Obrázek 17): Červená barva značí rozdíly tloušťek stěn o $\pm 30\%$, žlutá o $\pm 20\%$ a zelená o $\pm 10\%$ od nominální tloušťky stěny 2 mm.

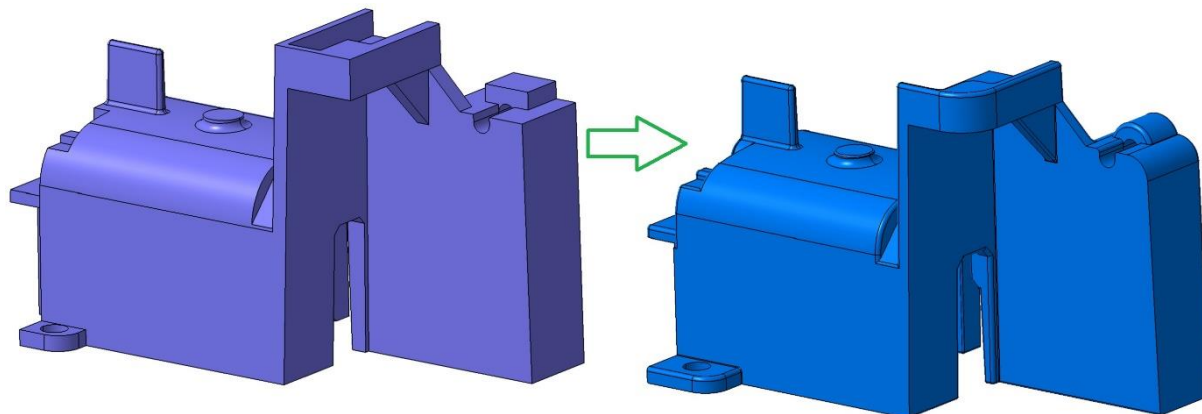


Obrázek 17: Porovnání rozložení tloušťky stěn (2/2), původní (vlevo) a finální (vpravo)

Optimalizací dílu dle analýz byl návrh dílu upraven, především byla zlepšena rovnoměrnost rozložení tloušťky stěn (Obrázek 16, Obrázek 17). Model se dále zaobloval a poté byl vytvořen základní plošný negativ pro geometrii tvárníku a tvárnice.

7.4 Zaoblení dílu

Zaoblením (Obrázek 18) zaručujeme vyrobiteľnost formy (z hlediska technologie obrábění), tímto lze výrazně ovlivnit rovnoměrnost tloušťky stěn (optimalizace nedostatků, Obrázek 17) a také zlepšit tok plastického materiálu. V praxi se často minimální zaoblení nedělají, konstruktér výrobku tedy vytvoří jen ty důležité a dále tento stav předá konstruktérovi formy. Zaoblený díl byl vstupním modelem pro návrh vstřikovací formy.



Obrázek 18: Model před zaoblením (vlevo) a po zaoblení (vpravo)

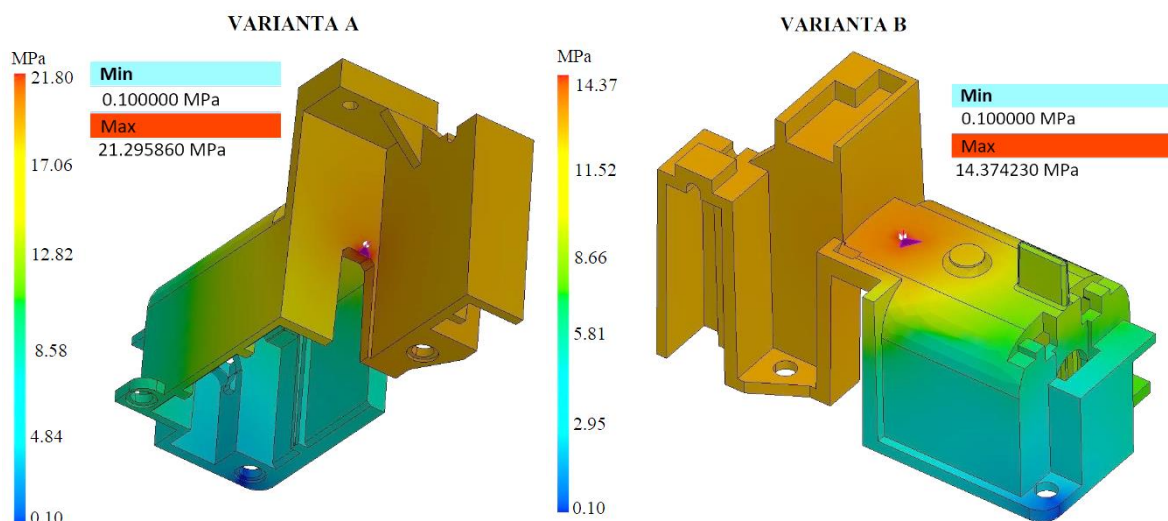
8 Konstrukční návrh vstřikovací formy

8.1 Předběžný návrh vtokového ústí

Cílem předběžného návrhu vtokového ústí pro vstřikovaný díl bylo navrhnout varianty umístění, které se porovnají pomocí vtokových analýz a dle těchto výsledků zvolit umístění pro další návrh.

Analýzy byly provedeny pro dvě varianty vtoku (Obrázek 19), které vycházejí jednak z automatického (doporučeného) a jednak manuálně určeného umístění vtokového ústí. Další nastavení a jednotlivé výsledky variant lze nalézt v Příloze 4.

Varianta A vtokového ústí byla vytvořena na vnitřní straně vstřikovaného dílu automaticky, *varianta B* byla umístěna manuálně na vnější straně dílu.



Obrázek 19: Varianty umístění vtokového ústí, Tlak na konci plnění [MPa]

Název parametru	Varianta A	Varianta B
Doba plnění [s]	2,414	2,409
Tlak na konci plnění [MPa]	21,296	14,374
Smykové napětí na konci plnění [MPa]	0,802	0,863
Smyková rychlost na konci plnění [s^{-1}]	3212,297	2323,825
Upínací (uzavírací) síla ve směru Z [t]	2,835	2,023
Snadnost plnění [-]	Jednoduchá	Jednoduchá
Doba cyklu [s]	16,33	19,32

Tabulka 5: Porovnání variant umístění vtoku a doby cyklu

Porovnáním těchto dvou variant (Tabulka 5) bylo zjištěno, že *varianta B* převážila, mimo smykového napětí, všechny zjišťované hodnoty vlastností a z tohoto důvodu je *varianta B* vhodnějším návrhem vtokového ústí. Přestože *varianta B* je vhodnějším návrhem, obě tyto varianty splňují maximální dovolené hodnoty vstřikovaného polymeru (ULTRAMID B3EG6, Příloha 1), proto není vyloučené použití i *varianty A*, jen je zapotřebí počítat s požadavkem na vyšší uzavírací sílu a tlak ve formě.

Celková doba cyklu u *varianty A* byla 16,33 s. Tato doba vznikla na základě nižší předpovídané doby chlazení dílu (detailněji v Příloze 4), je hlavním předpokladem pro minimální procesní čas a z tohoto důvodu byla *varianta A* vybrána pro výpočet násobnosti.

8.2 Násobnost formy

Tyto výpočty byly vytvořeny na základě teorie v kapitole 4.2.2. Násobnost byla počítána dle termínu dodávky.

Zadanou hodnotou byla pouze celková požadovaná produkce N [ks].

Doba produkce T_p je zvolena jako hodnota 112,5 h (3 týdny, 7,5 h/den, 5 dnů/týden).

Celková doba cyklu t_c [s] byla určena dle analýzy (viz kapitola 7.3), ve které byla doba cyklu (včetně chlazení) 16,33 s, tato hodnota se vzhledem k absenci vtokového zbytku a dalších třech dutin zaokrouhlila na 20 s.

koeficient využití času K byl zvolen hodnotou 0,8, předpokládala se efektivní výroba, bez značných ztrát (max. 20 %), časová ztráta tak bude zejména při montáži formy apod., zároveň se nepředpokládá významná poruchovost stroje.

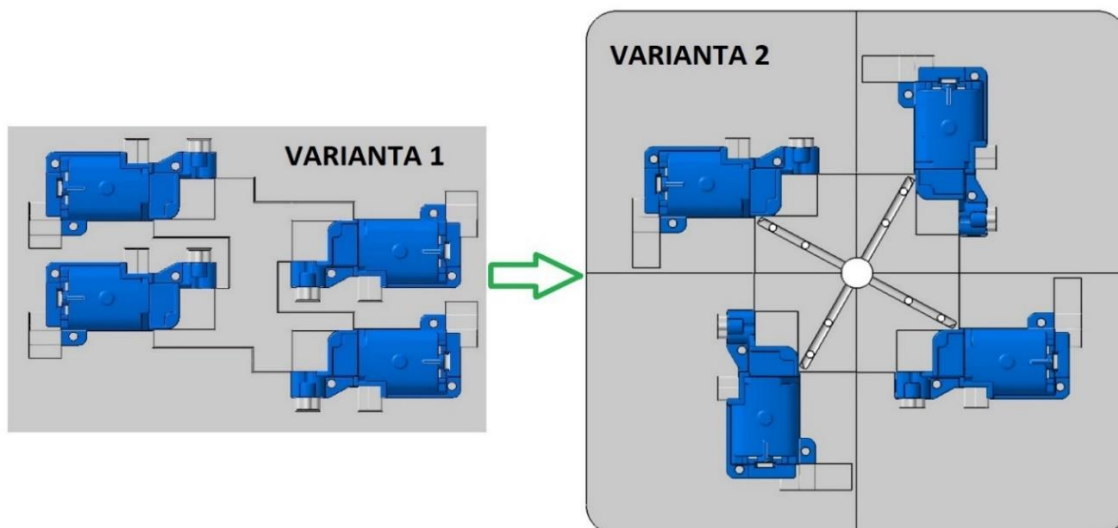
Vstupní hodnoty pro výpočet: $N = 50000$ ks; $t_c = 20$ s, $T_p = 112,5$ h, $K = 0,8$

$$n_4 = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{50000 \cdot 20}{112,5 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 3,09 [-]$$

Násobnost n_4 byla zvolena pro zajištění požadavku jako nejbližší vyšší hodnota, $n_4 = 4$.

Pro vypočtenou násobnost byly vytvořeny dvě varianty rozmístění dutin. Oba návrhy byly navrženy dle polohy vtokového ústí *varianty A* (viz kapitola 8.1), která dominovala nižší dobou vstřikovacího cyklu, zároveň splňovali požadavek rovnoměrné délky toku taveniny.

Při použití stavebnicových dílů od firmy Meusburger bylo výhodnější použít *variantu 2* (symetrická dle osy rotace). U *varianty 1* by musely být díly vzdáleny dále od sebe (pro umístění vtoku a temperace) a navíc by bylo komplikované umístění temperačního okruhu ke středům dílů, z těchto důvodů by velikost formy byla větší v jednom směru oproti *variantě 2*, z tohoto důvodu byla *varianta 2* použita pro konstrukční řešení vstřikovací formy.



Obrázek 20: Násobnost ve dvou variantách, původní (vlevo), konečná (vpravo)

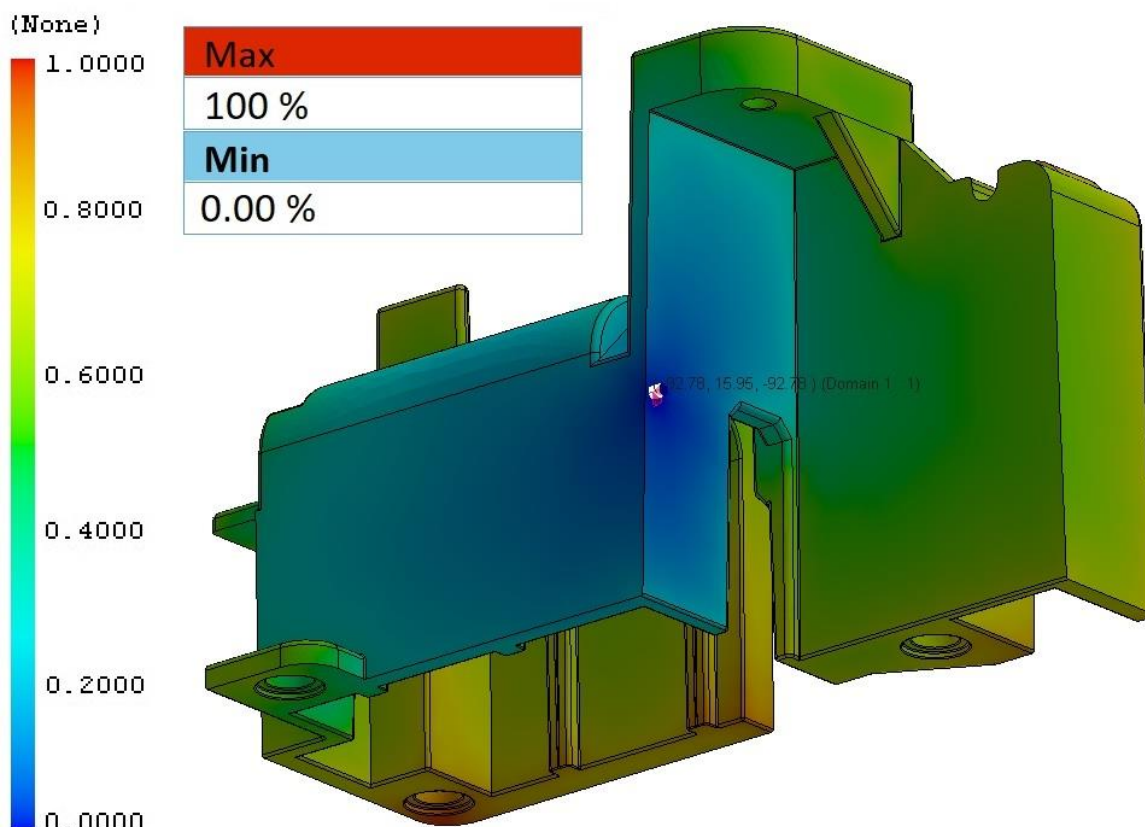
8.3 Vtokový systém

Dle kvalifikovaného odhadu byl pro počet 50 000 ks vstřikovaných dílů zvolen studený koncept vtokové soustavy, který nemá tak vysoké počáteční náklady jako koncepce formy s horkým vtokem.

Vtokový systém byl vytvořen dle spočtené násobnosti pro symetrickou variantu umístění dutin ve formě (viz kapitola 8.2) a byl konstruován pro rovnoměrnou délku toku taveniny.

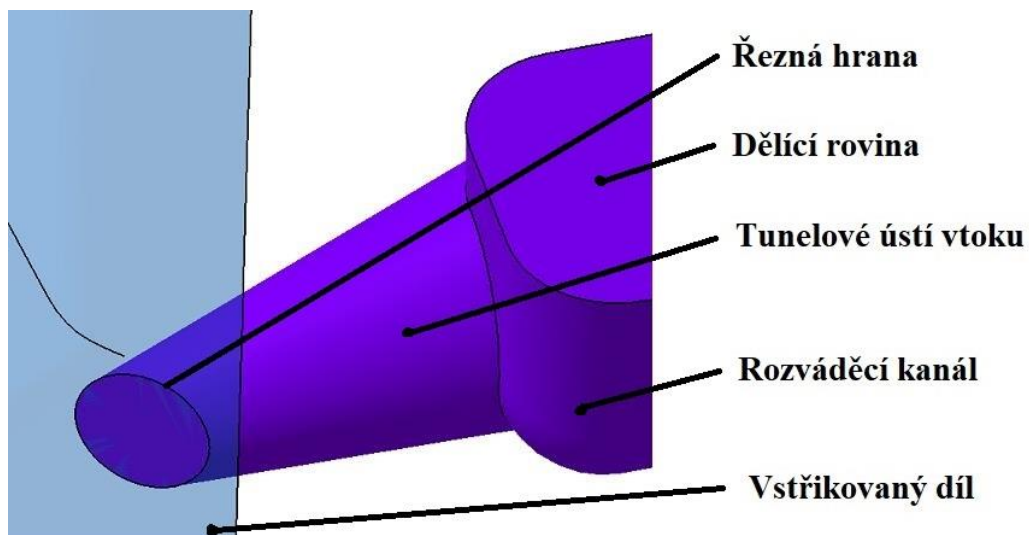
Pozice vtokového ústí byla zvolena dle násobnosti *varianty 2*, předběžná vtoková analýza byla provedena v kapitole 8.1, díky této analýze bylo již známo, že v této oblasti lze vtok konstruovat.

Hrubou strukturou navrženého tvárníku (*varianta 2*, Obrázek 20) byla nalezena pouze orientační poloha, z tohoto důvodu byla provedena jednoduchá analýza predikce toku (Obrázek 21) a tím byla nalezena přesná pozice vtokového ústí s výškou přibližně 16 mm od spodní základny dílu, kterou se dutina bude plnit taveninou plastu rovnoměrně s dobou plnění přibližně 2,55 s.



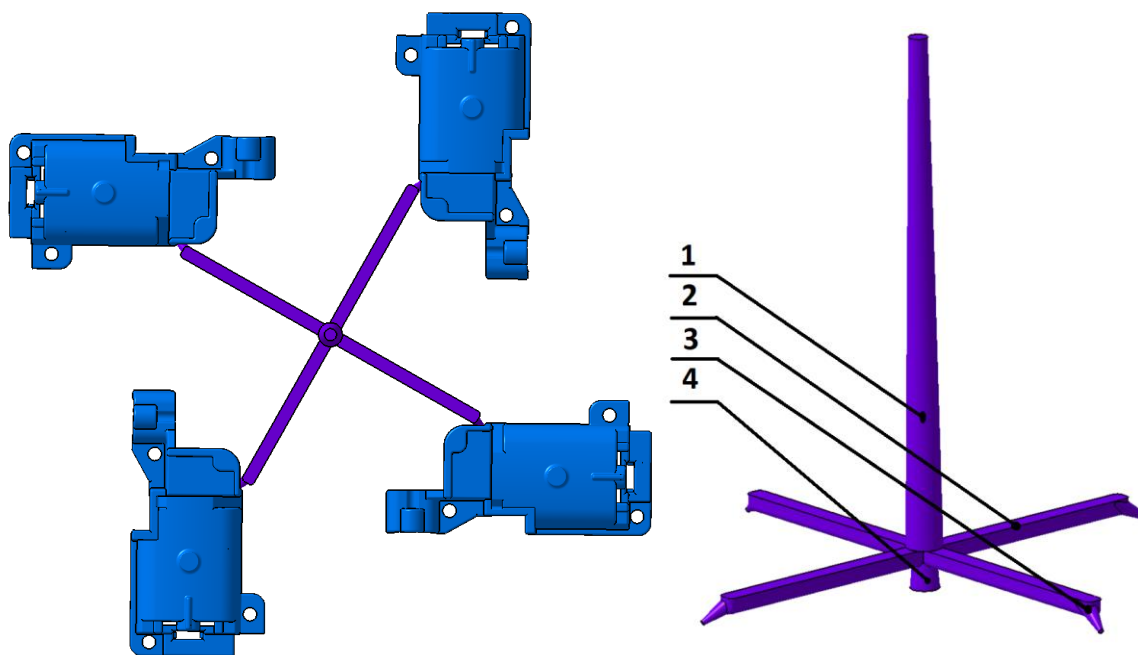
Obrázek 21: Predikce toku pro pozici vtokového ústí [%]

Vtokové ústí (Obrázek 22) bylo navrženo jako tzv. tunelové ústí. Tímto ústím vtoku je plnění dutiny uskutečňováno mimo dělicí rovinu a při vyhazování dochází k samostatnému oddělení vtokové soustavy od dutin vstříkovaných výrobků pomocí tzv. řezné hrany (Obrázek 22), která je součástí tunelového ústí vtoku. Nezbytnou součástí je zde také přídržovač vtoku, který udržuje vtokový systém na pohyblivé straně vstříkovací formy.



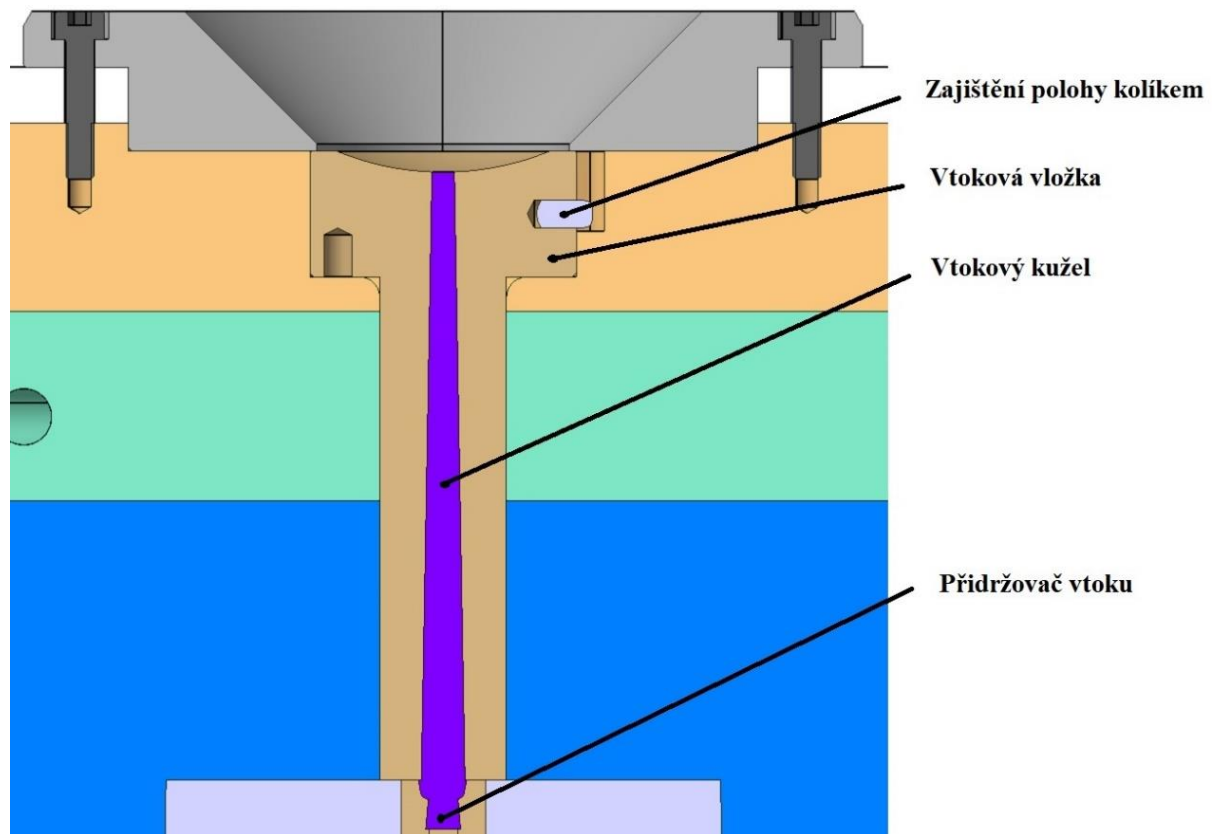
Obrázek 22: Tunelové ústí vtoku

Popis (Obrázek 23): 1 – vtokový kužel, 2 – rozváděcí kanál, 3 – tunelové vtokové ústí, 4 – přídržovač vtoku



Obrázek 23: Vtoková soustava (vlevo) a vtokový zbytek (vpravo)

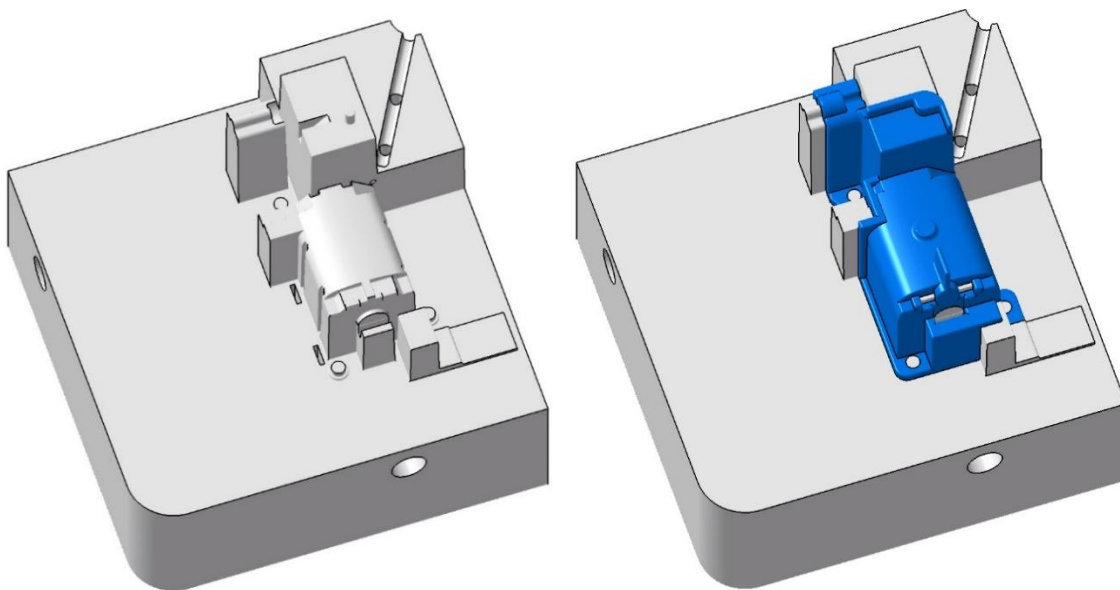
Obrázek 24 zobrazuje zajištění vtokové vložky a podkos přídržovače vtoku, který udržuje pozici vtokového systému na pohyblivé straně formy. Je vytvořen negativem tvaru pouzdra, který je umístěný mezi vložkami tvárníku v pohyblivé části formy.



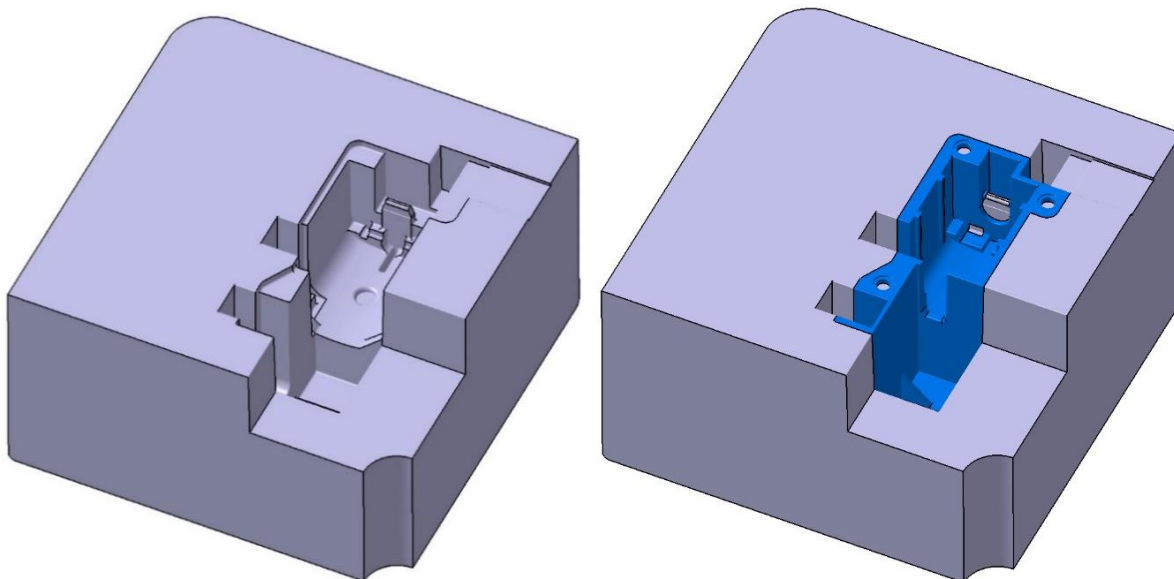
Obrázek 24: Umístění vtokové vložky v pevné části formy

8.4 Tvárník a tvárnice

Forma je navrhována na vstřikování 50 000 ks výrobků, pokud by se tvárník s tvárnicí vytvořily z jednoho kusu materiálu, je zde pravděpodobnost chyby (při výrobě, opotřebením, poškozením apod.), která by mohla zvýšit celkové náklady na formu. Ze zmíněných důvodů bylo navrženo 8 tvarových vložek (čtyři tvárníky a tvárnice), které se umísťují do tvarových desek, s nimiž jsou vzájemně spojeny šrouby (každá vložka čtyřmi).



Obrázek 25: Tvárník (vlevo) a tvárník se vstřikovaným dílem (vpravo)



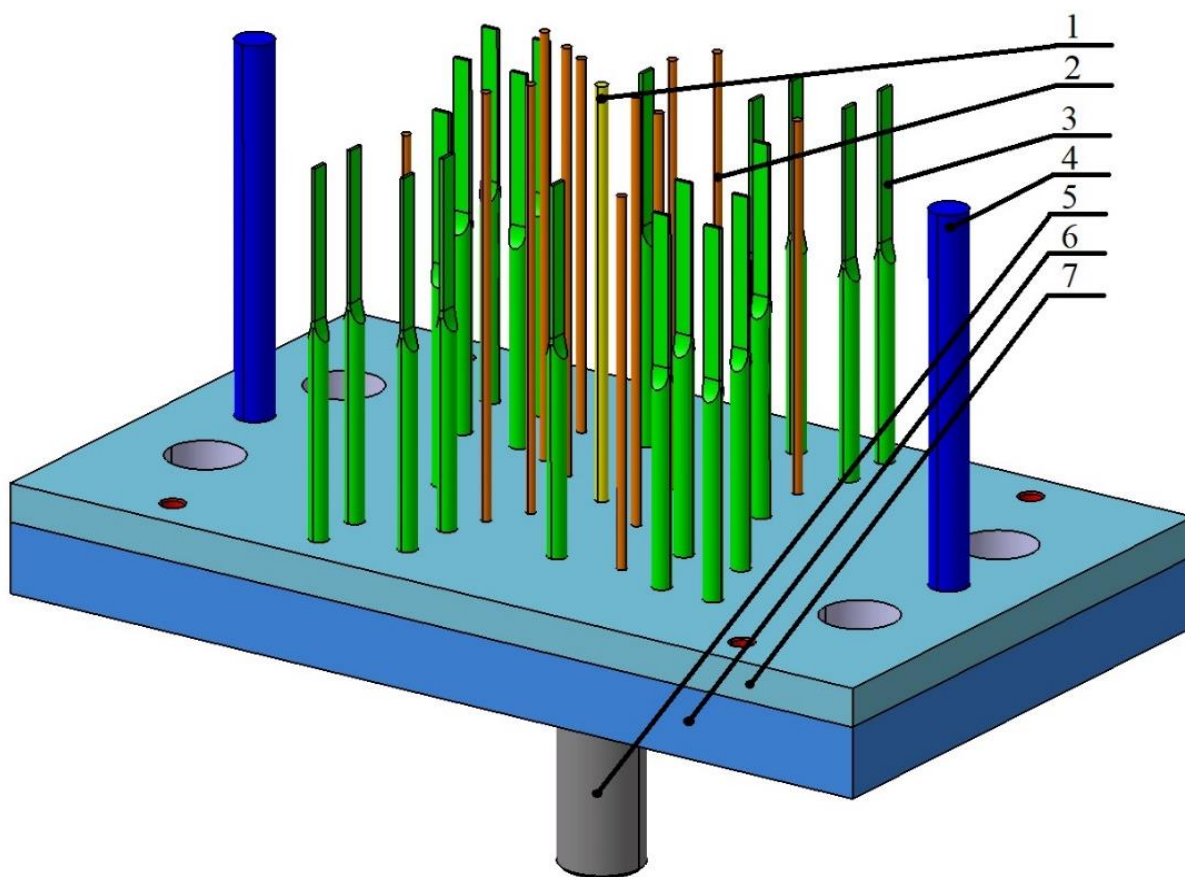
Obrázek 26: Tvárnice (vlevo) a tvárnice se vstřikovaným dílem (vpravo)

Další pohledy na tvárník a tvárnici lze nalézt v kapitole 8.10 (podstava s temperačním okruhem) a v Příloze 3, která zobrazuje 3D pohledy těchto vložek ve formě.

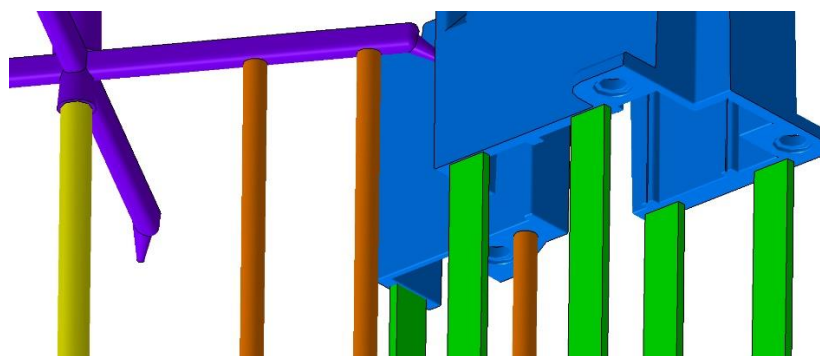
8.5 Vyhazovací systém

Navržený vyhazovací systém (Obrázek 27) se skládá ze součástí, které zajišťují vlastní vyhazování vtokového zbytku (pozice 1 a 2), přidržovače vtoku (pozice 1) a vstříkovaných dutin (detail, Obrázek 28). Dva kalené vyhazovače (pozice 4) zajišťují zpětný pohyb vyhazovacího paketu. Celkový popis vyhazovacího systému lze vidět na obrázku níže a podrobné informace o této problematice lze nalézt v kapitole 4.6.

Popis (Obrázek 27): 1, 2, 4 – vyhazovač kalený, 3 – plochý vyhazovač kalený, 5 – závitová vložka pro vyhazovací paket, 6 – vyhazovací (kotevní) deska, 7 – základní vyhazovací deska



Obrázek 27: Vyhazovací systém



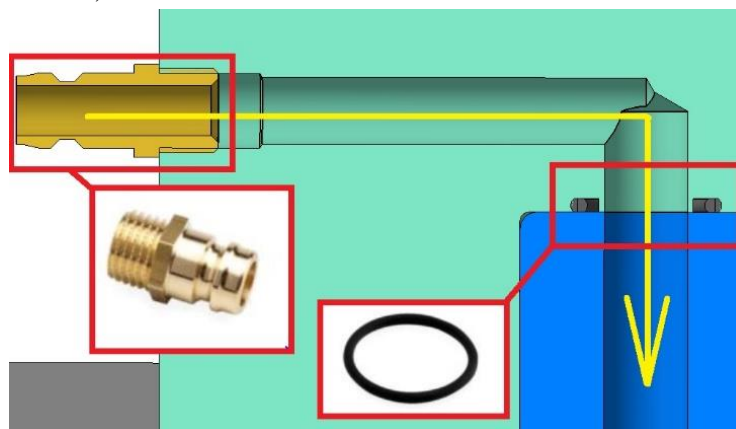
Obrázek 28: Detail pozic vyhazovačů

8.6 Temperační systém

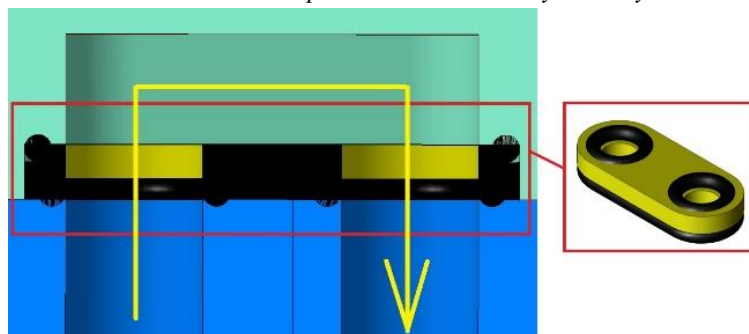
Navržený temperační systém se skládá ze dvou okruhů, které temperují pohyblivé a pevné části formy. Temperačním médiem byla zvolena voda o vstupní teplotě 85°C. Základní poznatky a doporučení pro návrh temperačních systémů lze nalézt v kapitole 4.5.

Utěsnění přechodů jednotlivých částí temperačních okruhů bylo zajištěno pomocí těsnících kroužků (Obrázek 29) a překlenovacích elementů (Obrázek 30).

Vstup a výstup byl realizován pomocí přípojek (Obrázek 29) a temperování jádra přepážkami (Obrázek 32).

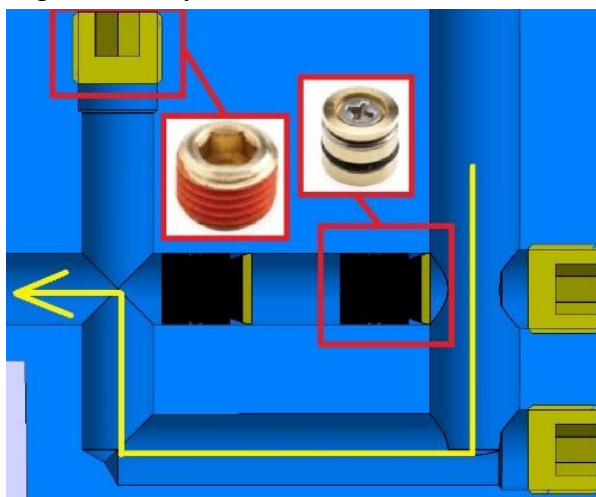


Obrázek 29: Temperování tvarové desky a vložky

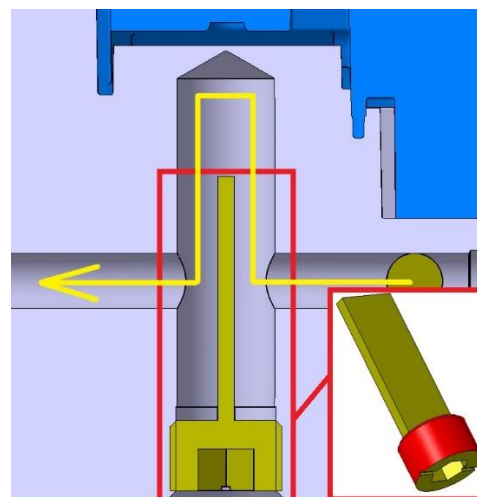


Obrázek 30: Přechod okruhu přes tvarovou desku

Tok temperačního média byl usměrňován záslepkami, uzavíracími šrouby a geometrií temperačních systémů (viz Obrázek 31).

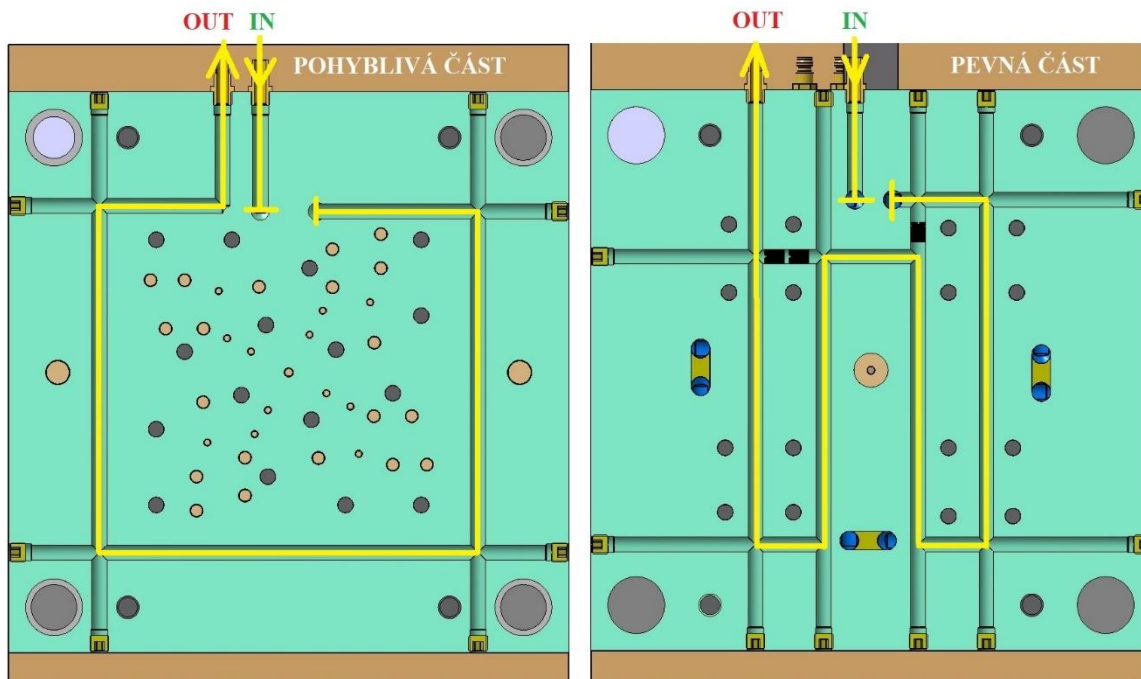


Obrázek 31: Prvky temperačního systému



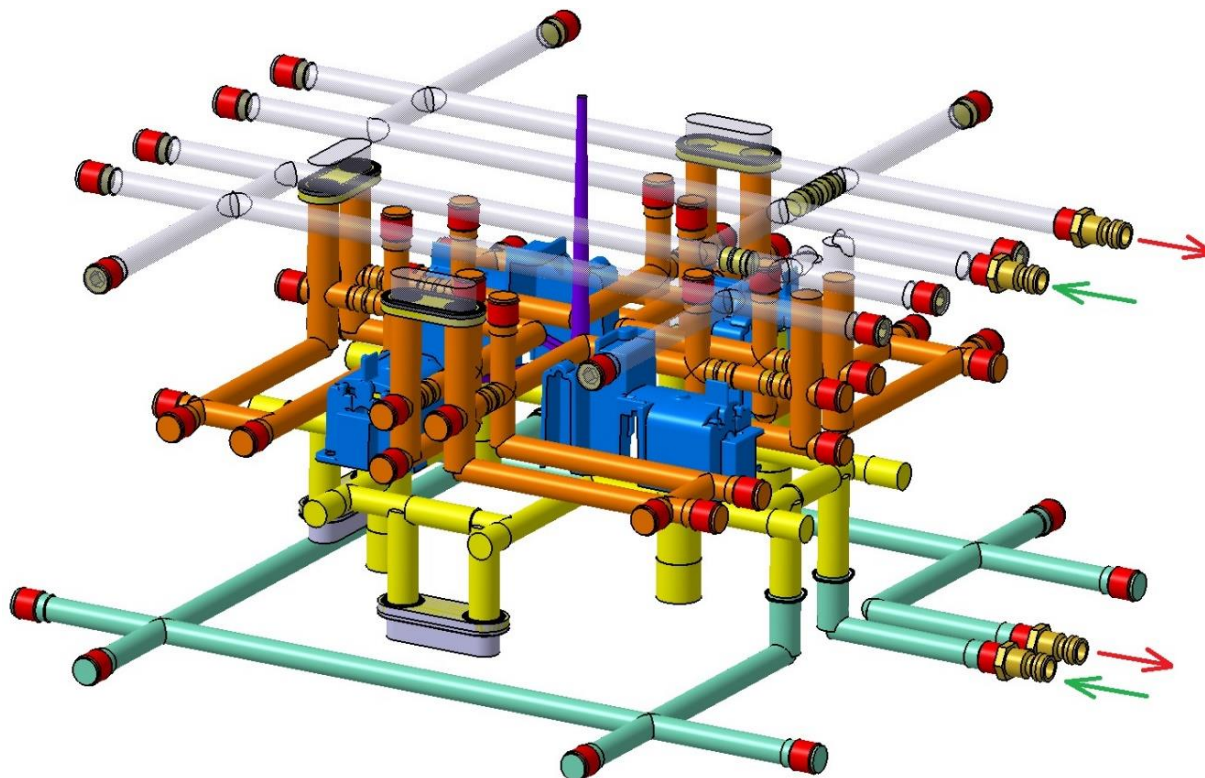
Obrázek 32: Temperování jádra

Obrázek 33 zobrazuje geometrii temperačních kanálů v tvarových deskách a zároveň je zde lomenou čarou zobrazen přechod do temperačních okruhů vložek. Návrh temperačních kanálů znesnadňoval velký počet šroubů, vyhazovačů a základních prvků stavebnicového rámu.



Obrázek 33: Temperační okruh formy s přechodem do vložek

Popis (Obrázek 34): průhledná šedá – tvarová deska tvárnice, oranžová – tvárnice, žlutá – tvárník, zelená – tvarová deska tvárníku

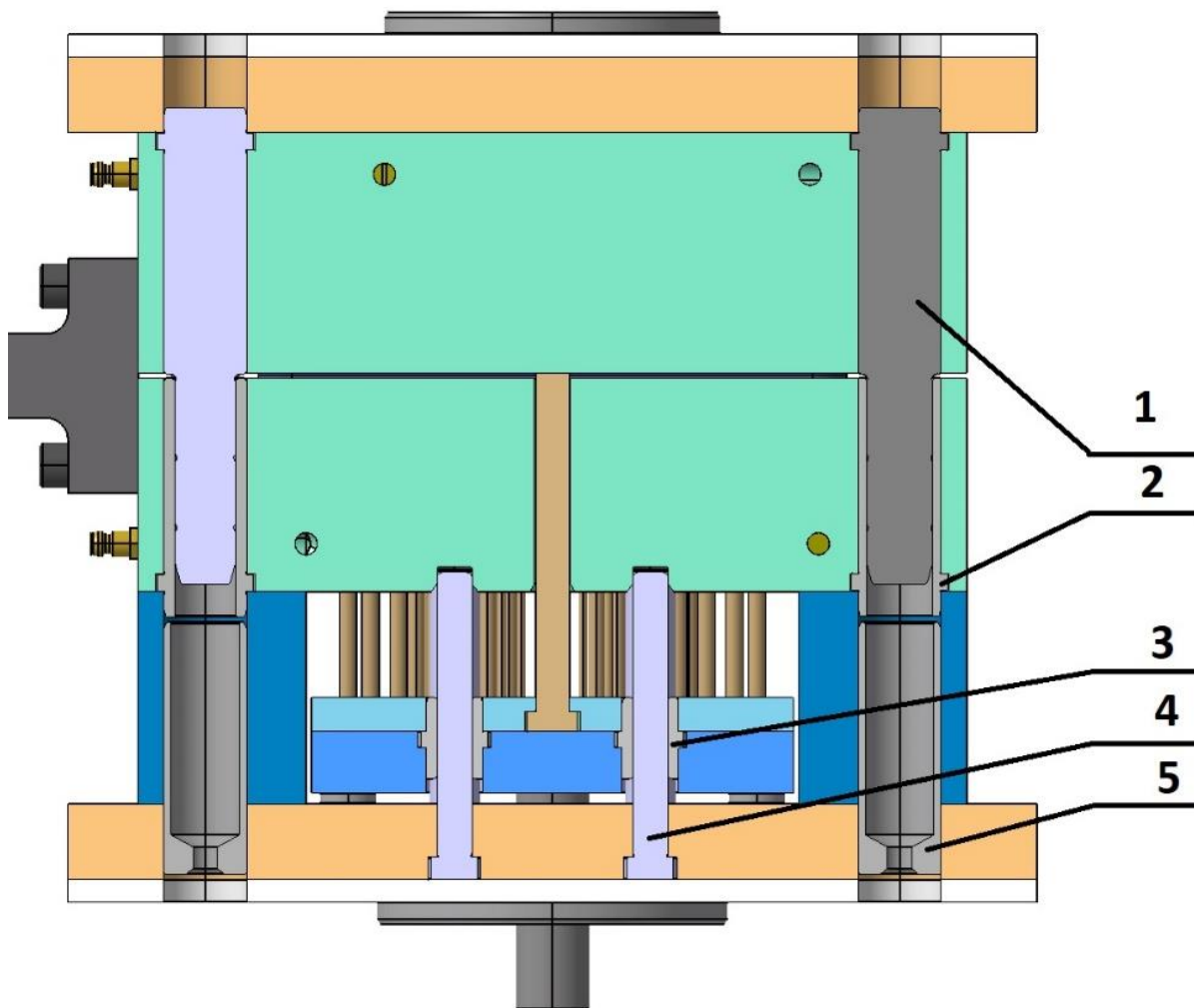


Obrázek 34: Temperační systém formy

8.7 Vedení formy a vyhazovacího paketu

Koncept vedení formy a vyhazovacího paketu (Obrázek 36) zajišťuje stálou polohu formy během procesu vstřikování, kvalita tohoto návrhu vedení má značný vliv na kvalitu vstřikovaného dílu. Pro nezaměnitelnost polohy při montáži jsou vodící sloupky s nákrůžkem a jejich vodící pouzdra navrhovány s jedním párem jiných rozměrů.

Popis (Obrázek 38): 1 – vodící sloupek s nákrůžkem, 2 – vodící pouzdro s nákrůžkem, 3 – vodící pouzdro, 4 – šikmý kolík s nákrůžkem, 5 – centrovací pouzdro



Obrázek 35: Řez sestavou: vedení formy a vyhazovacího paketu

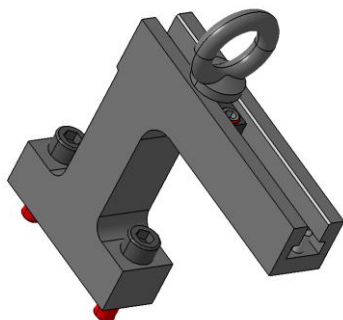
8.8 Odvzdušnění formy

Při plnění dutiny, která je před vstřikovacím cyklem naplněna vzduchem, se tento vzduch zahřívá, při špatném odvzdušnění by mohlo dojít k neúplnému zaplnění dutiny anebo spálení termoplastu (tzv. diesel efekt), další informace o této problematice lze najít v kapitole 4.3.

Navržená vstřikovací forma nemá speciální prvky pro odvzdušení, je uskutečňováno pomocí tvarově složité dělicí roviny a vyššího počtu vodících ploch vyhazovačů, přičemž některé z nich jsou umístěny poblíž posledních plněných míst v dutinách formy, kde by se zahřátý vzduch měl dle provedených analýz akumulovat a mohl by vytvářet zmíněné problémy.

8.9 Transport formy

Pro bezpečnost při manipulaci s formou je nutné zvážit i druh konstrukce manipulačního zařízení. Pro tento návrh vstřikovací formy bylo zvoleno transportní rameno přestavitelné (katalogové číslo: E 1930/64/97) od firmy Meusburger.



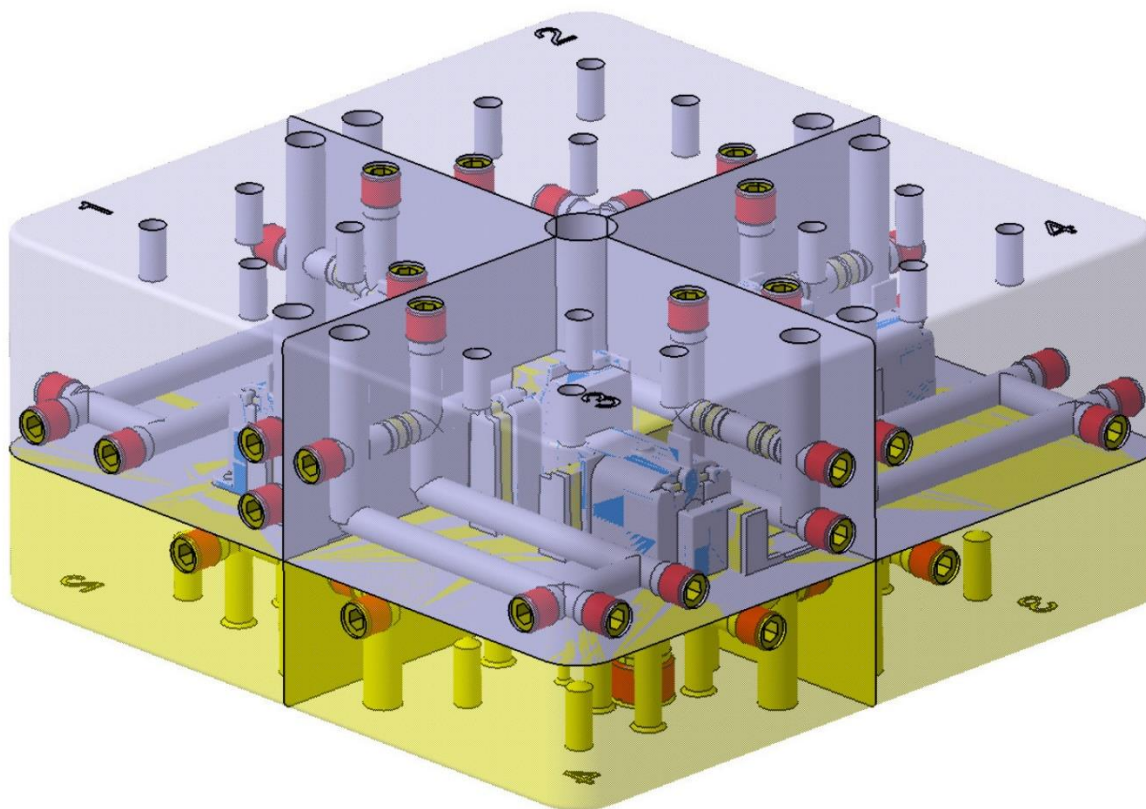
Obrázek 36: Transportní sestava od firmy Meusburger

Tento návrh kombinuje uzavírací a transportní pojistku včetně možnosti nastavení a upevnění těžiště. [12]

Navržená vstřikovací forma má hmotnost 201 kg a z hlediska bezpečnosti je požadováno, aby byla tato hodnota uvedena i na tvarové desce pevné části formy, transportní rameno má maximální nosnost 230 kg.

8.10 Podsestava tvárníku a tvárnice

Podsestava se skládá z osmi vložek, které jsou tvořeny ze čtyř tvárníc a tvárníků. Obrázek 37 zobrazuje podsestavu včetně náhledu na koncept temperačního systému, lze vidět i číslování vložek, které definuje jejich jednoznačnou polohu v jejich tvarových deskách, tato poloha je blíže specifikována v Příloze ve výkrese sestavy formy s číslem výkresu BP_LV_2019_00.



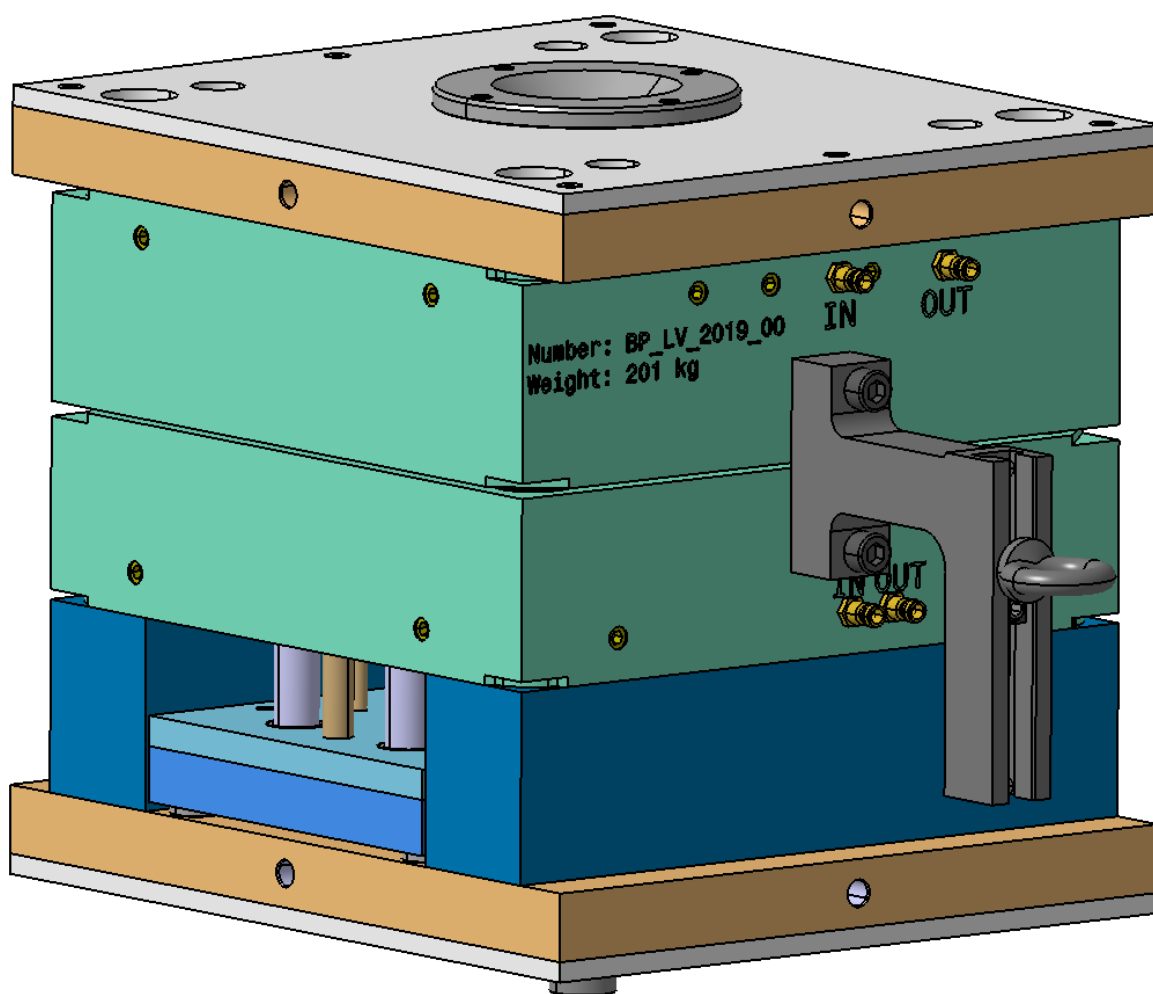
Obrázek 37: Podsestava tvárníku a tvárnice

8.11 Sestava formy

Navržená čtyřnásobná forma se studeným vtokem je sestavena ze stavebnicového rámu od společnosti Meusburger, jediné nenormované součásti byly vložky tvárníku a tvárnice. Některé normální a díly by musely být zpracovány různými technologiemi obrábění.

Tento návrh (Obrázek 38) disponuje celkovou hmotností 201 kg s maximálními rozměry 296 mm x 346 mm x 310 mm, byl konstruován pro vstřikovaný objem materiálu PA6 GF30 o hmotnosti 68,3 g o objemu 50 200 mm³.

Další pohledy, rozložení a detaily formy lze nalézt v Příloze 3.



Obrázek 38: Sestava vstřikovací formy

9 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj byl vybírán z hlediska uzavírací síly, která byla popsána blíže v kapitole 4.2.1, rozměrů formy a vstřikovaného objemu plastu.

Vypočtená hodnota uzavírací síly je s přídatkem 20 %, tudíž bezpečnost k je 0,8. Tlak p_i ve formě pro kompaktní plasty se udává v rozmezí 50 až 80 MPa, průmět S vtokového systému, spočtený v softwaru CATIA je po zaokrouhlení 7000 mm² včetně průmětu vtokového systému.

$$F_u = S \cdot p_i \cdot k = 7000 \cdot 80 \cdot 0,8 = 448 \text{ kN}$$

$$m = \frac{F_u}{g} = \frac{448000}{9,81} \approx 45668 \text{ kg} = 45,668 \text{ t}$$

Potřebný vstřikovací stroj musí mít uzavírací sílu vyšší než 45,668 t.

Parametry pro určení vstřikovacího stroje:

- Uzavírací síla: 45,668 t
- Maximální rozměr formy (šířka x délka x výška): 296 mm x 346 mm x 310 mm
- Výrobek s vtokovou soustavou: 50200 mm³, 68,3 g

Na základě parametrů pro určení vstřikovacího stroje byl zvolen stroj Arburg Allrounder 370 E. Tento stroj má uzavírací sílu 600 kN, vyhovující rozměry pro upnutí formy a správné parametry pro vstřikovaný objem plastu. Další specifikace vstřikovacího stroje jsou uvedeny v Příloze 2.



Obrázek 39: Arburg Allrounder 370 E [13]

10 Ověření konstrukce formy

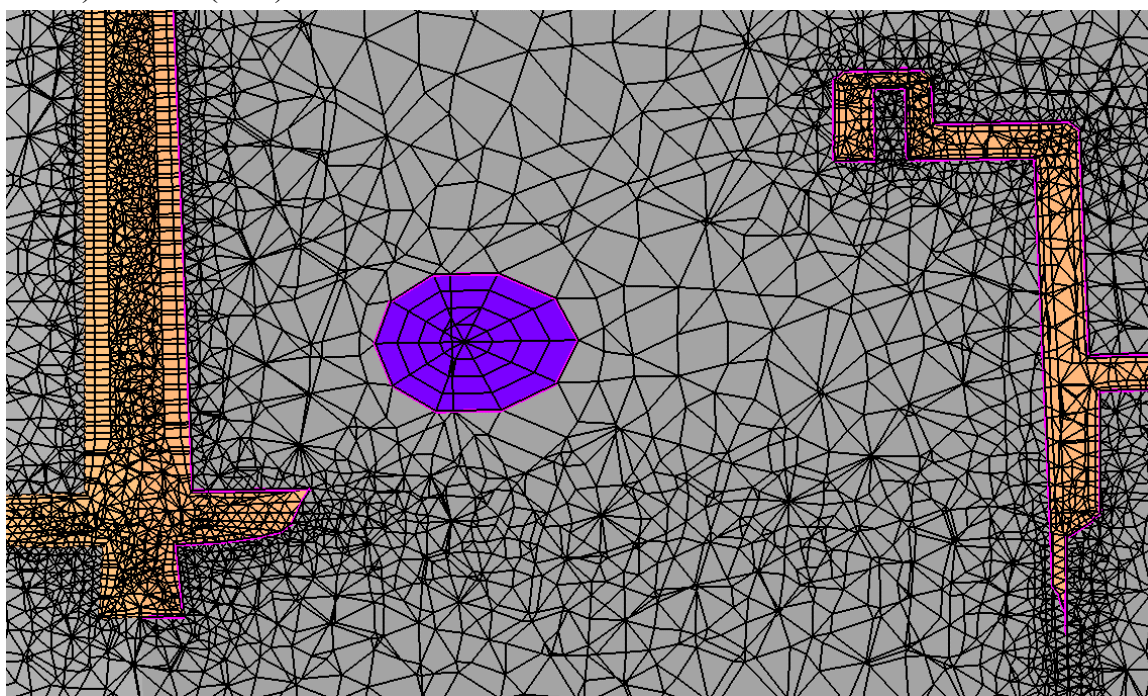
10.1 Analýza vstřikovacího procesu navržené formy

Analýzy byly provedeny ve dvou programech, program Solidworks 2018 (modul Plastics) a program Moldex3D. Podrobně popsané výsledky jsou k dispozici v Příloze 5.

Pro analýzu byla vytvořena 3D síť, tzv. hybridní, která zobrazuje výsledek nejpřesněji v porovnání s jinými druhy 3D sítí, je tvořena hraničními prvky na povrchu a čtyřstěnnými prvky v jádru. V určitých místech došlo k manuálnímu zjemnění sítě, v dalších místech byla síť vytvořena v ručním typu domény automaticky pro zadané diference zjemnění a velikosti elementů. Model je tvořen celkově z 2 206 503 elementů a 510 352 uzlů.

Vytvořená síť byla vodotěsná (nenacházejí se v ní díry) a obsahovala akceptovatelný minimální počet špatných prvků (<15 %), velmi špatné prvky se odstranily zpřesněním a úpravou sítě, maximální poměr stran elementů byl pod 20, což bylo také akceptovatelné.

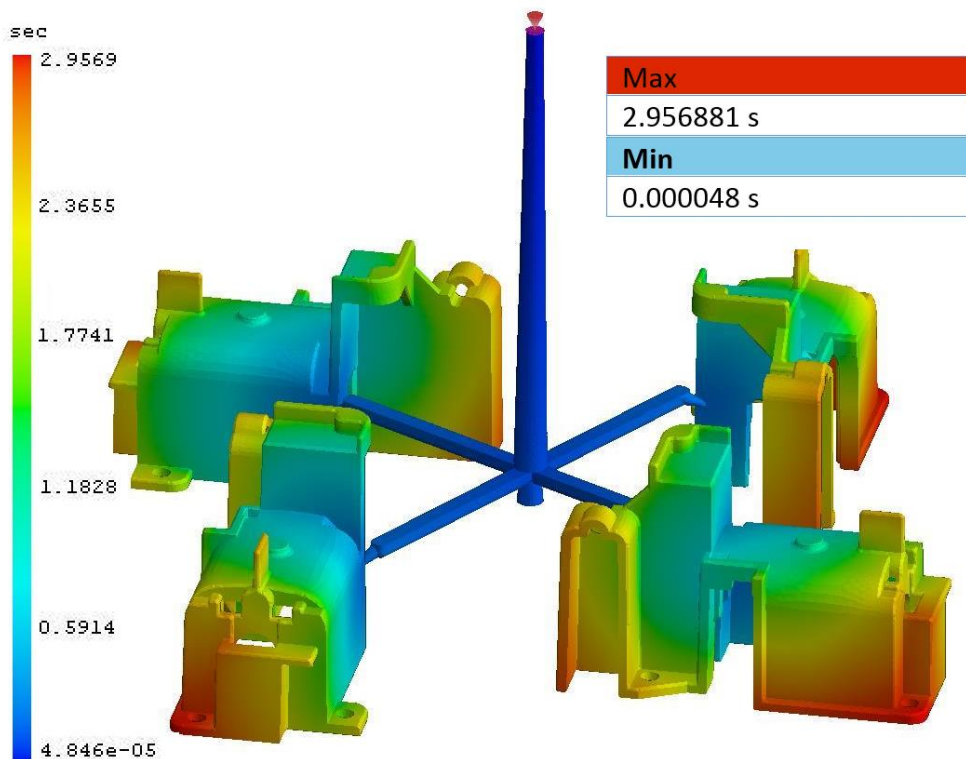
Síť byla rozdělena na domény typů (Obrázek 40): dutina (oranžová), chladicí kanál (fialová) a forma (šedá).



Obrázek 40: Hybridní síť analyzovaného modelu

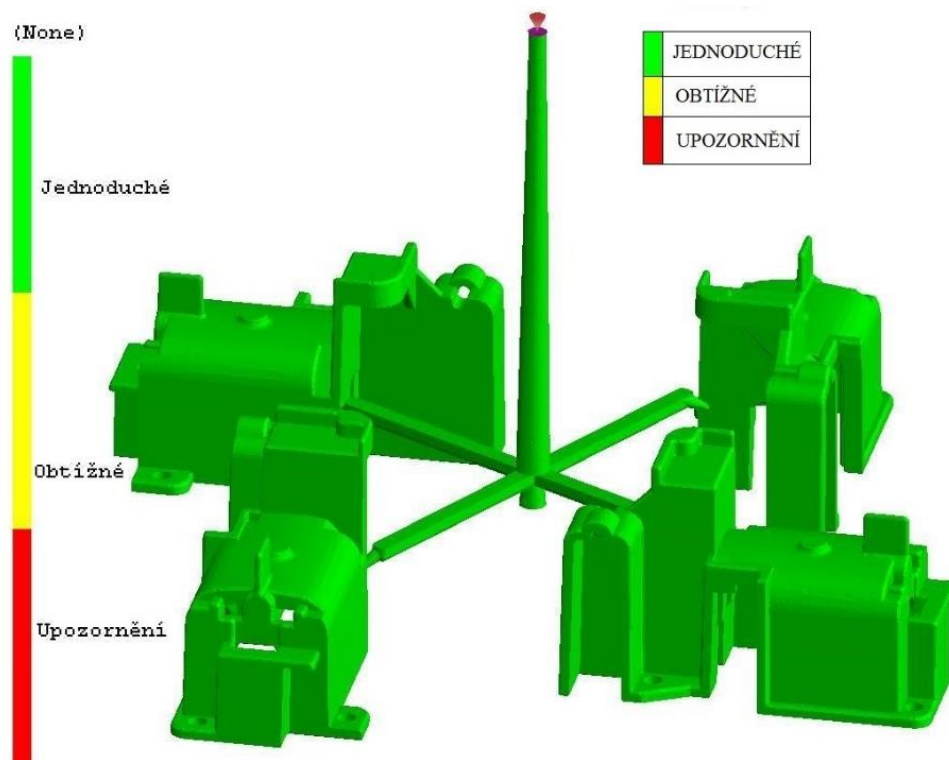
Vstřikovanou soustavu (vtokový kužel, vtokové kanály, dutiny) lze úspěšně vyplnit vstřikovacím tlakem 38,1 MPa při době vstřikovacího cyklu 24,98 s. Technologické podmínky byly nastaveny pro vstřikovaný materiál PA6 GF30 (ULTRAMID B3EG6, Příloha 1), maximální hodnoty smykového napětí (0,36 MPa) a smykové rychlosti (12736,3 s⁻¹) ve vstřikovacím procesu nepřesahují maximální dovolené hodnoty dle materiálového listu nastaveného polymeru.

Výsledky plnění zobrazují průběh a konce fáze plnění. Celková doba plnění vtokové soustavy trvala přibližně 2,96 s (Obrázek 41), celková doba čistého chlazení 12 s, doba dotlaku 5 s a čas otevření formy 5 s. Tlak na konci plnění měl hodnotu 38 MPa.



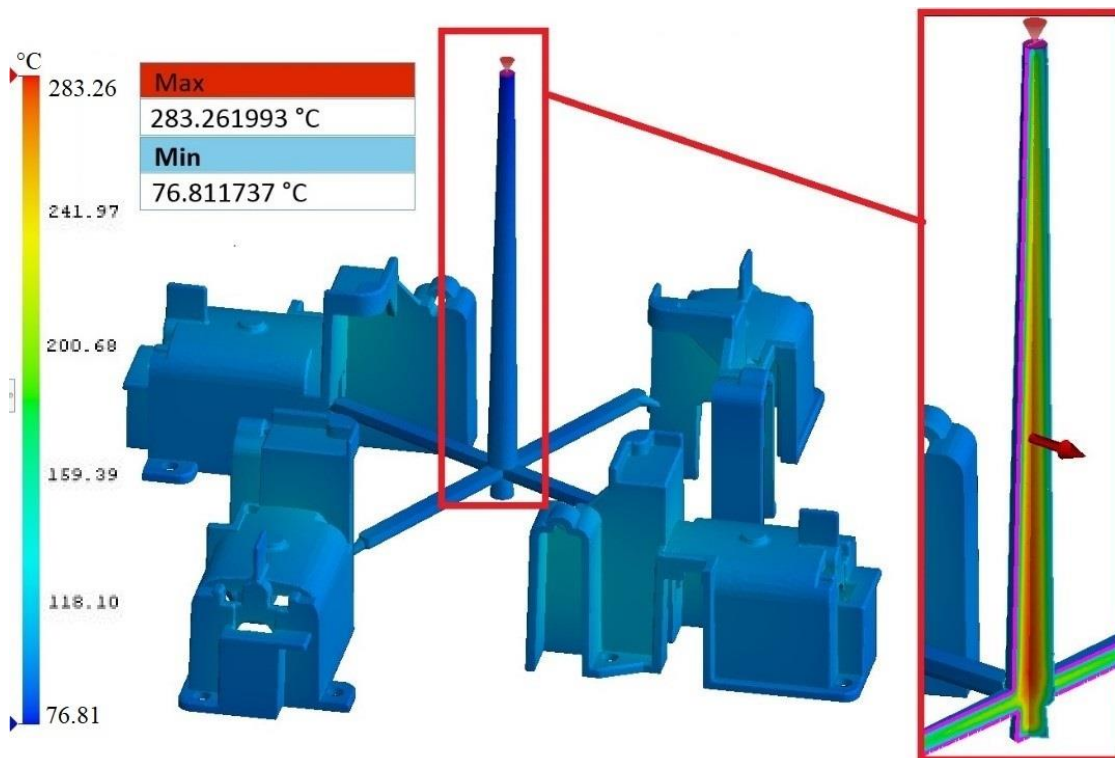
Obrázek 41: Doba plnění [s]

Analýzou plnění bylo zjištěno, že snadnost plnění vtokového systému je jednoduchá (Obrázek 42).



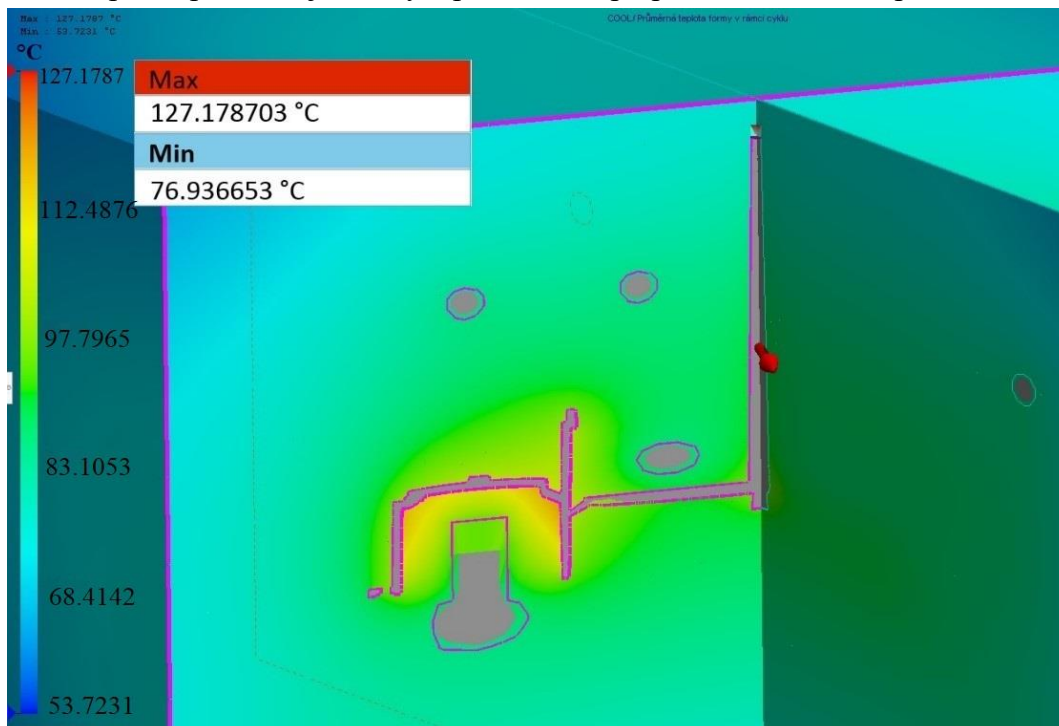
Obrázek 42: Snadnost plnění [-]

Teplota na konci dotlaku byla rovnoměrně rozložena s výjimkou vtokového kužele. Intenzita chlazení byla v této oblasti zvýšena vhodným návrhem temperačního okruhu již při konstrukci formy. Tímto byla snížena doba chlazení a zefektivněn vstřikovací proces, další úpravy již nebyly nutné, protože se nejedná o dutiny dílů.



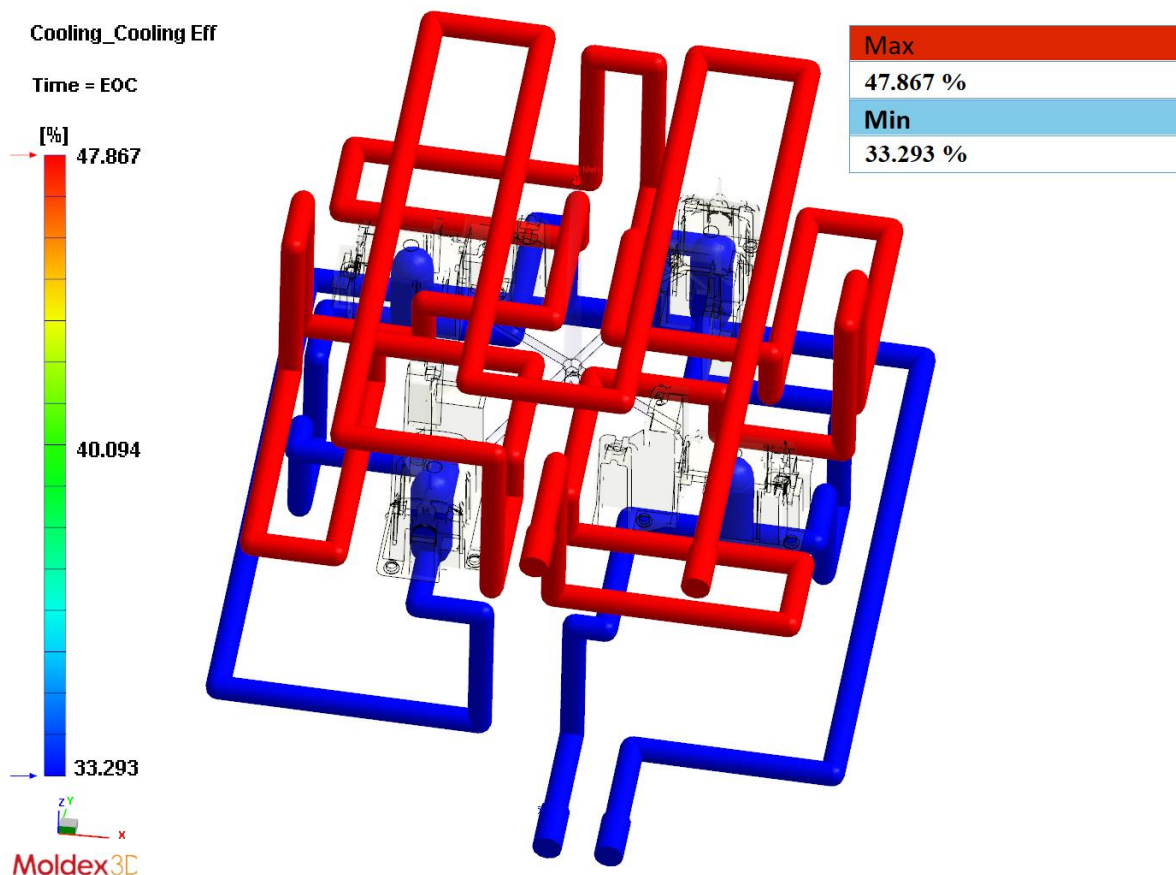
Obrázek 43: Teplota dílu na konci chlazení [°C]

Průměrná teplota formy v rámci cyklu (Obrázek 44) zobrazuje rozložení teplot ve formě. Lze vidět, že největší teplota je v jádře vstřikovaného dílu, kde je také vhodně zvolen koncept temperování jádra, byla použita tzv. přepážka, která toto teplo odebírá.



Obrázek 44: Průměrná teplota formy v rámci cyklu [°C]

Navržené okruhy temperačních systémů dosahují přibližné efektivity 33 % a 48 %, tato hodnota je, dle kvalifikovaného odhadu, vysoká a v praxi se lze setkat běžně s nižší účinností temperování, může to být zapříčiněno např. požadavkem nižších nákladů na výrobu formy.



Obrázek 45: Efektivita chladicích okruhů [%]

V analýze byla ověřena maximální velikost uzavírací síly a maximálního přivodního tlaku, tyto hodnoty se zobrazují v grafech v závislosti na čase vstřikovaného cyklu. Maximální hodnota uzavírací síly, dle analýzy, byla 18,6 t a maximální přivodní tlak 38,1 MPa. Tlak byl orientačně určen v kapitole 9 velikostí 80 MPa a spočtená hodnota uzavírací síly byla 45,668 t. Při porovnání těchto hodnot uzavírací síly a maximálního přivodního tlaku bylo zjištěno, že spočtené hodnoty vyhovují analyzovanému stavu. Vstřikovací stroj by mohl být i s nižší uzavírací silou, poté by při jeho výběru bylo nutné dát pozor na maximální upínací rozměry pro vstřikovací formu a další parametry.

Zadání analýzy bylo splněné, vstřikovací forma je funkčně navržena a technologické parametry jsou, dle kvalifikovaných odhadů, použitelné i v praxi.

10.2 Výkresová dokumentace

K této práci byla vypracována výkresová dokumentace vstřikovaného navrženého dílu, sestavy formy, tvarové desky a vložky tvárnice.

Tato výkresová dokumentace je k dispozici v Příloze s čísly výkresů: BP_LV_2019_IN, BP_LV_2019_00, BP_LV_2019_01 a BP_LV_2019_07.

11 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení bylo vypracováno na základě skutečných cen, parametrů a kvalifikovaných odhadů pro technické systémy (také jako TS) původního a navrženého stavu formy a dílu.

Cenové kalkulace komponent (od firem Meusburger a Feron), jednotlivé vlastnosti a jejich parametry včetně kvalifikovaných odhadů lze nalézt v Příloze 6.

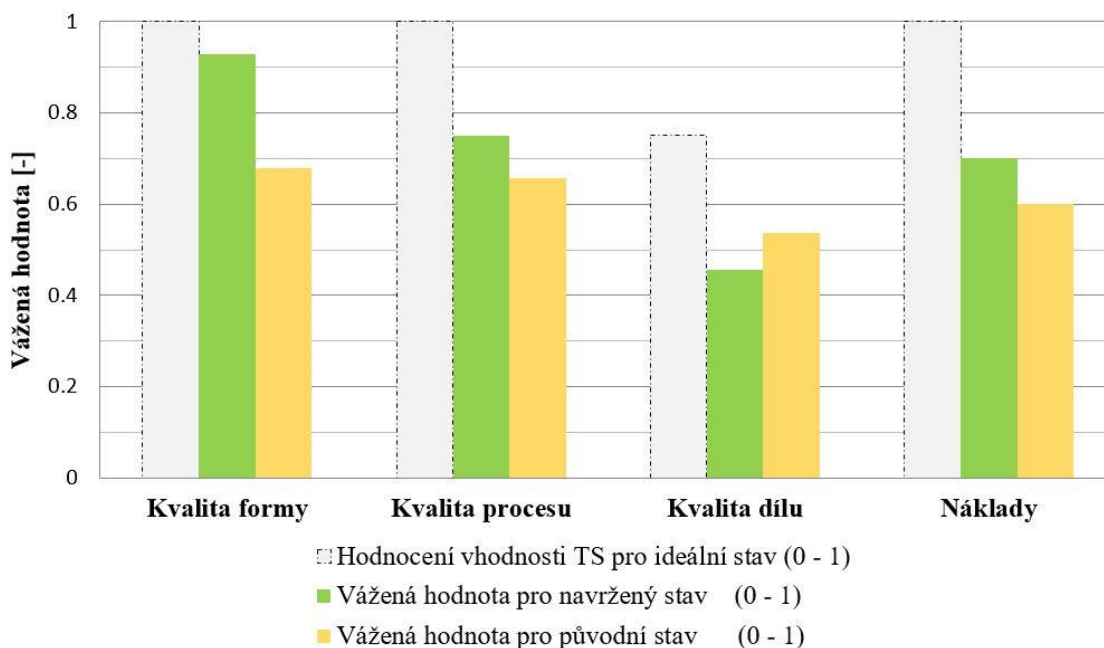
11.1 Porovnání vlastností technických systémů

Porovnávanými vlastnostmi navrženého a původního technického systému jsou kvalita formy, kvalita procesu, kvalita dílu, a náklady.

Původní díl byl vstřikován externí specializovanou firmou, tato firma navrhla formu, která byla jednonásobná s horkým vtokem a třemi formovacími směry (dále jen původní stav).

Navržený díl byl konstruován z původního dílu a byla pro něj navrhována čtyřnásobná vstřikovací forma se studeným vtokem a jedním formovacím směrem (dále jen navržený stav).

Technicko ekonomické hodnocení navrženého a původního řešení



Požadavky a vlastnosti TS	Kvalita formy	Kvalita procesu	Kvalita dílu	Náklady
Hodnocení vhodnosti TS pro ideální stav (0 - 1)	1	1	0.75	1
Vážená hodnota pro navržený stav (0 - 1)	0.93	0.75	0.46	0.70
Vážená hodnota pro původní stav (0 - 1)	0.68	0.66	0.54	0.60

Graf 1: Technicko-ekonomické hodnocení

Graf 1 zobrazuje porovnávané skupiny (navržený a původní stav) s hodnocením splnění požadavků a vlastností od 0 (vyhovuje nepostačujícím způsobem) do 1 (vyhovuje velmi dobře) a s hodnocením vhodnosti TS pro ideální stav (1 – velmi důležité kritérium,

0,75 – středně důležité kritérium). Tento graf vychází z tabulky v Příloze 6, kde lze nalézt další podskupiny těchto vlastností včetně přesných číselných dat.

Hodnoty původního stavu převyšovali navržený stav pouze ve vlastnostech kvality dílu, pro které bylo přiděleno středně důležité kritérium, tento stav byl způsoben nižším vstřikovacím tlakem, smykovým napětím, deformací dílu a vhodným umístěním vtoku.

V dalších skupinách, s velmi důležitým kritériem, získal navržený stav většinu bodů. Tyto hodnoty byly získány na základě parametrů navrženého stavu. Většina bodů byla získána díky nižší hmotnosti dílu o přibližně 25 %, 3,5 krát rychlejší výrobě vstřikovaných dílů a celkovým nákladům na vstřikování 50 000 ks, které jsou v porovnání s původním stavem o 211 000 Kč (podrobněji o těchto nákladech v kapitole 11.2).

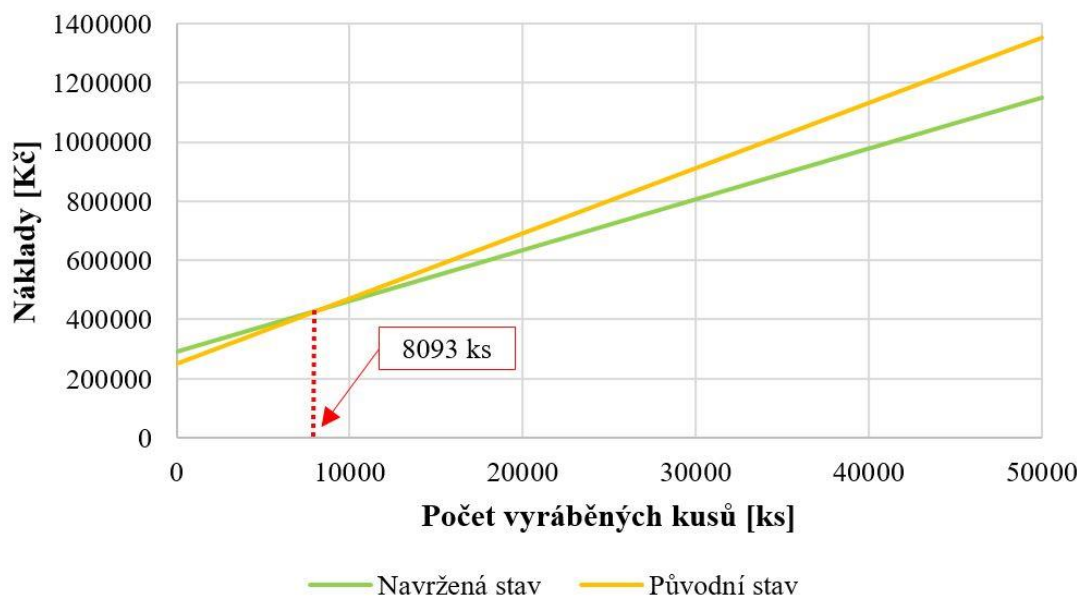
11.2 Náklady technických systémů

Náklady na technické systémy byly rozděleny na tři skupiny, přímé, nepřímé a amortizace (přenášení hodnoty odpisovaného hmotného majetku) formy do ceny dílů. Jednotlivé hodnoty a kalkulace dílů lze najít v Příloze 6.

Původní návrh byl vyráběn externí firmou, která vytvořila nabídku. Z této nabídky bylo možné zjistit cenu dílu a cenu formy, další náklady nebylo možné zjistit a proto byly určeny kvalifikovaným odhadem.

Pro navržený stav byla kalkulována cena komponent od firem Meusburger a Feron, další hodnoty byly určeny kvalifikovaným odhadem.

Ekonomické porovnání variant



Graf 2: Ekonomické porovnání variant

Graf 2 zobrazuje vývoj nákladů v závislosti na počtu vyráběných kusů vstřikovaných dílů. Počáteční náklady původního stavu byly 292 000 Kč, což je přibližně o 40 000 Kč méně než u navrženého stavu, tento stav má nižší náklady až do 8093 ks. Při výrobě více než 8093 ks je vhodnější zvolit navržený stav a to zejména z důvodu nižší jednotkové ceny vstřikovaného dílu. Navrženým stavem formy se při výrobě 50 000 ks ušetří přibližně 201 000 Kč.

12 Závěr

Bakalářská práce, složená z teoretické a praktické části, byla vypracována dle stanovených cílů vycházejících z oficiálního zadání.

V teoretické části byla popsána literární rešerše k problematice polymerních materiálů, vstřikování plastů, technologii vstřikování termoplastů, vstřikovacích forem a strojů. Tato rešerše byla tvořena dle tematiky bakalářské práce a byla doplněna o informace, které byly potřeba k tvoření praktické části.

Praktická část byla rozdělena do šesti hlavních celků, které společně vytvářejí úplnou strukturu konstrukčního řešení technického systému vícenásobné vstřikovací formy.

Na počátku praktické části bylo definováno zadání a základní specifikace požadavků. Díl s názvem Cradle, který byl vstřikován jednonásobnou formou s horkým vtokem, byl zadán firmou WITTE Nejdek, spol. s.r.o. s požadavkem přemodelování dílu na jeden formovací směr. Tímto zadáním byla definována i výroba s počtem 50 000 ks, které by byly vstřikovány termoplastem s názvem polyamid PA 6 plněný skleněným vláknem z 30 % (s obchodním názvem Ultramid B3EG6, viz Příloha 1).

Poznámka: Zadaný díl včetně jeho formy bude dále označován jako „původní stav“ a díl navržený včetně jeho formy bude dále nazýván jako „navržený stav“.

Práce je dále zaměřena na samotný návrh a přemodelování zadaného dílu. V této části byly určeny funkční plochy dílu, hlavní formovací směr, dělicí rovina a tvoření probíhalo dle zásad konstrukce plastových dílů. Návrh byl poté kontrolován úkosovou analýzou, která ověřovala formovatelnost dílu a analýzou rovnoměrnosti tloušťek stěn, pomocí které byl díl optimalizován. Kombinací analýz bylo dosaženo vhodného návrhu dílu, který byl po následném zaoblení připraven pro konstrukci formy.

V další části, která obsahuje řešení stěžejních cílů, bylo vytvoření konstrukčního návrhu vícenásobné vstřikovací formy dle navrženého dílu. Před samotným návrhem byla předběžně analyzována poloha vtokového ústí a celková doba vstřikovacího cyklu, pomocí které se na základě termínu dodávky vypočítala násobnost formy, čímž forma byla dále koncipována jako čtyřnásobná. Rozmístění dutin bylo vypracováno ve dvou variantách, přičemž finální variantou pro hrubé konstrukční řešení se stalo symetrické rozmístění dutin s polohou ústí vtoku na vnitřní straně dílu. Pro tuto polohu byla vytvořena základní analýza předpovědi toku a tím nalezena optimální výška pro danou oblast vtokového ústí. Dle této koncepce byla navržená konstrukce osmi vyměnitelných vložek tvárníku a tvárnice, vybrán stavebnicový rám od firmy Meuburger, navržen vyhazovací systém společně s jeho vedením a poté i dvouokruhový temperační systém s temperováním osmi vložek (včetně jejich jader) a dvou tvarových desek. Po hrubém konstrukčním návrhu byla sestava formy detailována a bylo navrženo i nezbytné manipulační zařízení v podobě představitelného transportního ramena od firmy Meusburger, který zajistí bezpečnost při manipulaci s formou. Souhrnně lze toto řešení technického systému nazvat konstrukčním návrhem čtyřnásobné vstřikovací formy.

Po části konstrukčního návrhu byla spočítána uzavírací síla a dle rozměrů vstřikovací formy a vstřikovaného objemu termoplastu PA6 GF30 (Ultramid B3EG6, Příloha 1) byl vybrán vstřikovací stroj Arburg Allrounder 370 E (viz Příloha 2).

Další část byla zaměřena na kontrolu a to z důvodu nutného ověření konstrukčního návrhu vstřikovací formy. Z tohoto důvodu byla provedena rozsáhlejší vtoková analýza vtokové soustavy, temperačního okruhu a jednoduchého bloku formy. V této analýze bylo zjištěno, že vtokovou soustavu lze úspěšně vyplnit se vstřikovacím tlakem 38,1 MPa za dobu vstřikovacího cyklu 24,98 s. Navržené okruhy temperačních systémů dosahovaly přibližné efektivity 33 % a 48 %, což je v praxi považováno za vysokou efektivitu. Zároveň byly zkontrolovány maximální hodnoty smykového napětí a smykové rychlosti, které byly nižší než dovolené hodnoty v materiálovém listu vstřikovaného polymeru a hodnoty uzavírací síly včetně maximálního přívodního tlaku, které také vyhovovaly maximálním dovoleným hodnotám dle katalogového listu zvoleného stroje. Dle této analýzy bylo zjištěno, že konstrukční návrh vstřikovací formy, zejména tedy vtokové soustavy a temperačního systému lze považovat za funkčně navržený.

Poslední praktickou částí bylo technicko-ekonomické zhodnocení, které bylo vypracováno na základě skutečných cen, parametrů a kvalifikovaných odhadů pro původní a navržený stav formy a dílu. Tímto bylo zjištěno, že lepší hodnocení měl původní stav pouze ve skupině kvality dílu, v dalších skupinách (kvalita formy, kvalita procesu a nákladů) získal navržený stav lepší hodnocení, a to především díky nižší hmotnosti dílu o přibližně 25 %, 3,5 krát rychlejší výrobě a celkovým nižším nákladům pro vstřikování 50 000 ks. Počáteční náklady původního stavu byly 252 000 Kč, což je přibližně o 40 000 Kč méně než u navrženého stavu, původní stav měl nižší náklady až do 8 093 ks. Při výrobě více než 8 093 ks by bylo vhodnější zvolit navržený stav a to zejména z důvodu nižší jednotkové ceny vstřikovaného dílu. Navrženým stavem formy by se při výrobě 50 000 ks ušetřilo přibližně 201 000 Kč.

Všechny cíle bakalářské práce považuji za splněné. Struktura práce by mohla být použita i v praxi, a to zejména začínajícími konstruktéry. Metodika je vytvořena na základě zásad konstrukce plastových dílů a vstřikovacích forem, analýzy sloužily ke kontrole návrhu, které jsou v celém procesu velmi důležité, a jejím dodržováním lze předejít chybám, kterými lze snížit celkové náklady na vývoj technických produktů.

13 Citovaná literatura

1. **KŘENEK, Tomáš.** Portál ZČU. [Online] [Citace: 20. říjen 2018.] <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kmm/sma/prednasky.html>.
2. **KOLOUCH, Jan.** *Strojní součásti z plastů*. Praha : SNTL, 1981.
3. **BĚHÁLEK, Luboš.** Polymery. *publi.cz*. [Online] [Citace: říjen. 20 2018.] <https://publi.cz/books/180/18.html>. 978-80-88058-68-7.
4. **TENART.** Technické plasty. *Tenart*. [Online] [Citace: 20. říjen 2018.] <http://tenart.cz/technicke-plasty/wp-content/uploads/PA-6-GF30.pdf>.
5. **TENART .** Technické plasty. *Tenart*. [Online] [Citace: 20. říjen 2018.] <http://tenart.cz/technicke-plasty/produkty/polyamid-pa-6-pa-66/>.
6. **ŠUBA, Oldřich.** *Dimenzování a navrhování výrobků z plastů*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005. ISBN 80-7318-287-4 .
7. **BOBČÍK, Ladislav a kol.** *Formy pro zpracování plastů I.díl-Vstřikování termoplastů*. Brno : Uniplast, 1999.
8. **BOBEK, Jiří.** *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Svitavy : Code Creator, s.r.o., 2016. 978-80-88058-65-6.
9. **KRÓNEROVÁ, Eva.** Výukové materiály předmětu KNM. *Portál ZČU Courseware*. [Online] <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/knm/prednasky.html>.
10. **LENFELD, Petr.** *Technologie vstřikování*. Svitavy : Code Creator, 2016. 978-80-88058-74-8.
11. **BOBČÍK, Ladislav a kol.** *Formy pro zpracování plastů II.díl - Vstřikování termoplastů*. Brno : Uniplast, 1999.
12. **Meusbarger.** [Online] 2019. [Citace: 2. květen 2019.] <https://www.meusbarger.com/>.
13. **Arburg.** [Online] 2019. [Citace: 9. duben 2019.] <https://www.arburg.com>.
14. **Corporation, BASF.** Ultramid B3EG6. [Online] 2019. [Citace: 6. listopad 2018.] <http://iwww.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso¶m=Ultramid+B3EG6>.
15. **Solidworks.** [Online] 2019. [Citace: 5. březen 2019.] <https://www.solidworks.com>.

14 Seznam obrázků

Obrázek 1: Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstřikovaného dílu, přechody různých tloušťek stěn a správný návrh s ohledem na rovnoměrnost tloušťky stěny [8].....	19
Obrázek 2: Vliv velikosti rádiusu na koncentraci napětí, ukázka klip [8].....	21
Obrázek 3: Rádiusy pro vstřikované díly [9].....	21
Obrázek 4: Základní rozměry žebra, [9].....	22
Obrázek 5: vliv tloušťky žebra na deformaci u plněných plastů [8].....	22
Obrázek 6: Tlaky při procesu vstřikování [10].....	23
Obrázek 7: Vstřikovací cyklus [8].....	24
Obrázek 8: Otevřená dvoudesková vstřikovací forma [8]:.....	26
Obrázek 9: Vstřikovací stroj (vstřikolis) [8].....	31
Obrázek 10: Požadované přemodelování původního (žlutého) dílu na díl (modrý).....	32
Obrázek 11: Funkční plochy výrobku	33
Obrázek 12: Hlavní formovací směr.....	34
Obrázek 13: Dělicí rovina.....	34
Obrázek 14: Úkosová analýza pro první polovinu formy (tvárnici).....	35
Obrázek 15: Úkosová analýza pro druhou polovinu formy (tvárník).....	35
Obrázek 16 :Porovnání rozložení tloušťky stěn (1/2), původní (vlevo) a finální (vpravo)	36
Obrázek 17: Porovnání rozložení tloušťky stěn (2/2), původní (vlevo) a finální (vpravo)	37
Obrázek 18: Model před zaoblením (vlevo) a po zaoblení (vpravo).....	37
Obrázek 19: Varianty umístění vtokového ústí, Tlak na konci plnění [MPa]	38
Obrázek 20: Násobnost ve dvou variantách, původní (vlevo), konečná (vpravo).....	39
Obrázek 21: Predikce toku pro pozici vtokového ústí [%].....	40
Obrázek 22: Tunelové ústí vtoku.....	41
Obrázek 23: Vtoková soustava (vlevo) a vtokový zbytek (vpravo)	41
Obrázek 24: Umístění vtokové vložky v pevné části formy.....	42
Obrázek 25: Tvárník (vlevo) a tvárník se vstřikovaným dílem (vpravo)	43
Obrázek 26: Tvárnice (vlevo) a tvárnice se vstřikovaným dílem (vpravo)	43
Obrázek 27: Vyhazovací systém.....	44
Obrázek 28: Detail pozic vyhazovačů	44
Obrázek 29: Temperování tvarové desky a vložky	45
Obrázek 30: Přechod okruhu přes tvarovou desku	45
Obrázek 31: Prvky temperačního systému	45
Obrázek 32: Temperování jádra	45

Obrázek 33: Temperační okruh formy s přechodem do vložek.....	46
Obrázek 34: Temperační systém formy	46
Obrázek 35: Řez sestavou: vedení formy a vyhazovacího paketu.....	47
Obrázek 36: Transportní sestava od firmy Meusburger	48
Obrázek 37: Podsestava tvárníku a tvárnice	48
Obrázek 38: Sestava vstřikovací formy	49
Obrázek 39: Arburg Allrounder 370 E [13].....	50
Obrázek 40: Hybridní síť analyzovaného modelu	51
Obrázek 41: Doba plnění [s].....	52
Obrázek 42: Snadnost plnění [-]	52
Obrázek 43: Teplota dílu na konci chlazení [°C]	53
Obrázek 44: Průměrná teplota formy v rámci cyklu [°C].....	53
Obrázek 45: Efektivita chladících okruhů [%]	54

15 Seznam grafů

Graf 1: Technicko-ekonomické hodnocení.....	55
Graf 2: Ekonomické porovnání variant	56

16 Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam použitých symbolů a zkratk 1/2	11
Tabulka 2: seznam použitých symbolů a zkratk 2/2	12
Tabulka 3: Doporučené úkosy pro vstřikované díly [9]	20
Tabulka 4: Zaoblení hran a rohů [7]	21
Tabulka 5: Porovnání variant umístění vtoku a doby cyklu	38
Tabulka 6: Seznam příloh	62

17 Seznam příloh

Číslo	Název	Počet listů
1	Vstřikovaný polymer PA6 GF30 (ULTRAMID B3EG6), [14]	3
2	Vstřikovací stroj (ARBURG ALLROUNDER 370E), [13]	6
3	3D pohledy	2
-	- Celá navržená vstřikovací forma	1
-	- Rozložená vstřikovací forma, tvárník a tvárnice	1
4	Vtoková analýza umístění vtokového ústí	20
5	Vtoková analýza navržené vstřikovací formy	24
6	Podklady pro technicko-ekonomické zhodnocení	3
-	Výkresy vstřikovací formy a vstřikovaného dílu	4
-	- Čtyřnásobná forma, formát A0, BP_LV_2019_00	1
-	- Tvarová deska, formát A1, BP_LV_2019_00	1
-	- Vložka tvárnice 1/2/3/4, formát A1, BP_LV_2019_07	1
-	- Cradle, formát A1, BP_LV_2019_IN	1
-	DVD disk	-
-	- Textová část BP (.docx /.pdf)	-
-	- 3D model všech součástí a výrobku (.CATPart)	-
-	- 3D model vstřikovací formy (.CATProduct)	-
-	- DR model výkresu vstřikovaného dílu (.CATDrawing)	-
-	- DR model výkresů vstřikovací formy (.CATDrawing)	-

Tabulka 6: Seznam příloh

PŘÍLOHA č. 1

**Vstřikovaný polymer PA6 GF30
(ULTRAMID B3EG6)**

Ultramid® B3EG6

Polyamide 6



Product Description

Ultramid B3EG6 is a 30% glass fiber reinforced injection molding PA6 grade.

Applications

Typical applications include industrial articles and electrical insulating parts.

PHYSICAL	ISO Test Method	Property Value	
Density, g/cm ³	1183	1.36	
Moisture, %	62		
(50% RH)		2.1	
(Saturation)		6.6	
RHEOLOGICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Melt Volume Rate (275 C/5 Kg), cc/10min.	1133	50	-
MECHANICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Tensile Modulus, MPa	527		
23C		9,500	6,200
Tensile stress at break, MPa	527		
23C		185	115
Tensile strain at break, %	527		
23C		3.5	8.0
Flexural Strength, MPa	178		
23C		270	180
Flexural Modulus, MPa	178		
23C		8,600	5,000
IMPACT	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Izod Notched Impact, kJ/m ²	180		
23C		15	20
Charpy Notched, kJ/m ²	179		
-30C		11	-
23C		15	30
Charpy Unnotched, kJ/m ²	179		
-30C		80	-
23C		95	110
THERMAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Melting Point, C	3146	220	-
HDT A, C	75	210	-
HDT B, C	75	220	-
Coef. of Linear Thermal Expansion, Parallel, mm/mm C		0.23 X10 ⁻⁴	-
Coef. of Linear Thermal Expansion, Normal, mm/mm C		0.65 X10 ⁻⁴	-
ELECTRICAL	ISO Test Method	Dry	Conditioned
Volume Resistivity (Ohm-m)	IEC 60093	1E13	1E10

Dielectric Constant (1 MHz)	IEC 60250	3.8	6.8
Dissipation Factor (100 Hz), E-4	IEC 60250	230	2,200
Dissipation Factor (1 MHz), E-4	IEC 60250	230	2,200

UL RATINGS	UL Test Method	Property Value	
Relative Temperature Index, 0.75mm	UL746B		
Electrical, C		120	
Flammability Rating, 1.5mm	UL94	HB	
Relative Temperature Index, 1.5mm	UL746B		
Mechanical w/o Impact, C		130	
Mechanical w/ Impact, C		95	
Electrical, C		120	
Flammability Rating, 3.0mm	UL94	HB	
Relative Temperature Index, 3.0mm	UL746B		
Mechanical w/o Impact, C		130	
Mechanical w/ Impact, C		95	
Electrical, C		120	

Processing Guidelines

Material Handling

Max. Water content: 0.15%

Material is supplied in sealed containers and drying prior to molding in a dehumidifying or desiccant dryer is recommended. Drying parameters are dependent upon the actual percentage of moisture in the pellets and typical pre-drying conditions are 2-4 hours at 180F (83C). Recommended moisture levels for achieving optimum surface qualities and mechanical properties is 0.05% - 0.12%. Further information concerning safe handling procedures can be obtained from the Safety Data Sheet (MSDS), or by contacting your BASF representative.

Typical Profile

Melt Temperature 270-295C (518-563F)

Mold Temperature 80-95C (176-203F)

Injection and Packing Pressure 35-125 bar (500-1500 psi)

Mold Temperatures

This product can be processed over a wide range of mold temperatures; however, for applications where aesthetics are critical, a mold surface temperature of 80-95C (176-203F) is recommended.

Pressures

Injection pressure controls the filling of the part and should be applied for 90% of ram travel.

Packing pressure affects the final part and can be used effectively in controlling sink marks and shrinkage. It should be applied and maintained until the gate area is completely frozen off.

Back pressure can be utilized to provide uniform melt consistency and reduce trapped air and gas. Minimal back pressure should be utilized to prevent glass breakage.

Fill Rate

Fast fill rates are recommended to ensure uniform melt delivery to the cavity and prevent premature freezing. Surface appearance is directly affected by injection rate.

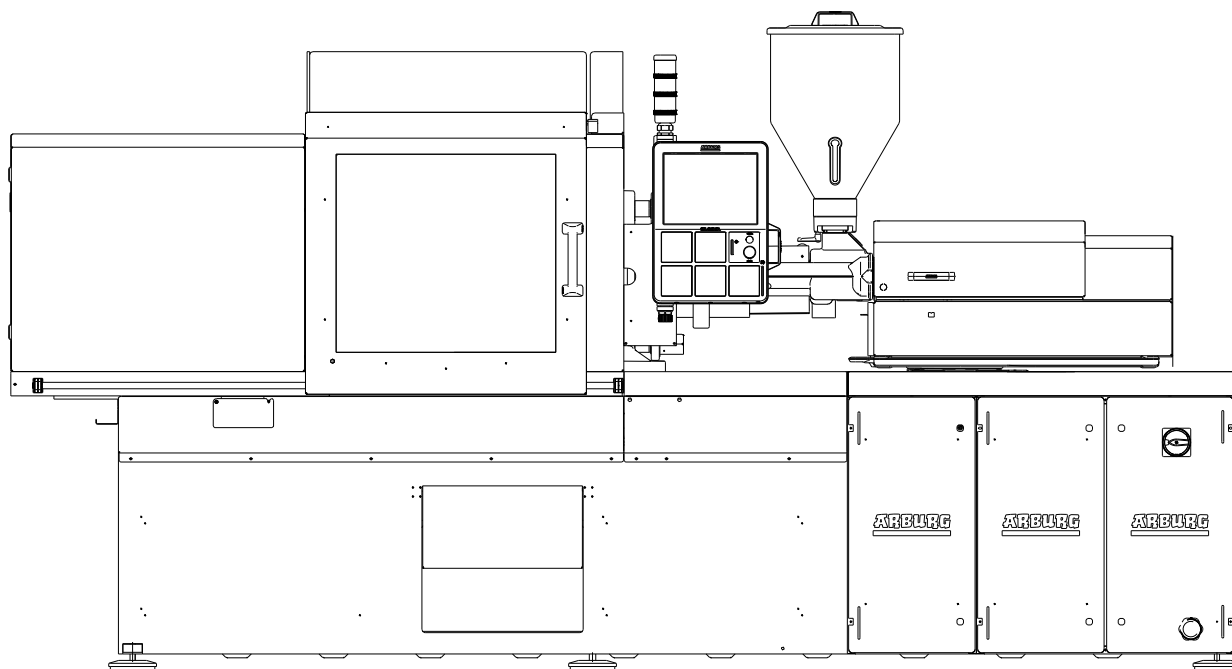
Note

Note

Although all statements and information in this publication are believed to be accurate and reliable, they are presented gratis and for guidance only, and risks and liability for results obtained by use of the products or application of the suggestions described are assumed by the user. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH. Statements or suggestions concerning possible use of the products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that toxicity data and safety measures are indicated or that other measures may not be required.

PŘÍLOHA č. 2

**Vstřikovací stroj
(ARBURG ALLROUNDER 370E)**



ALLROUNDER 370 E

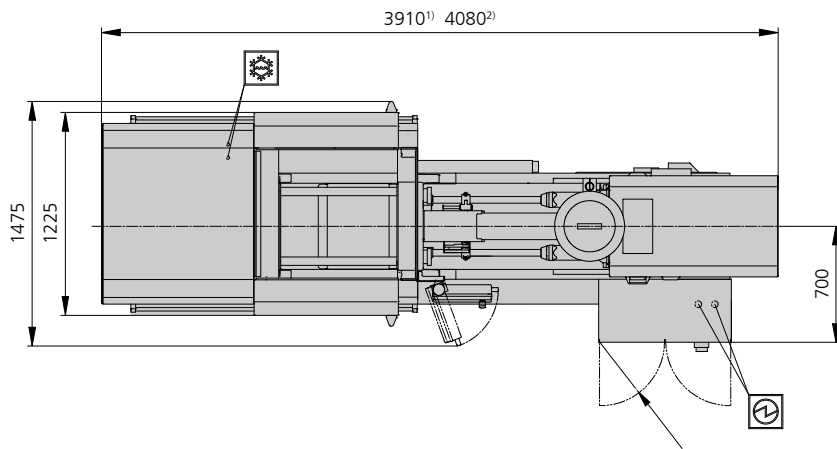
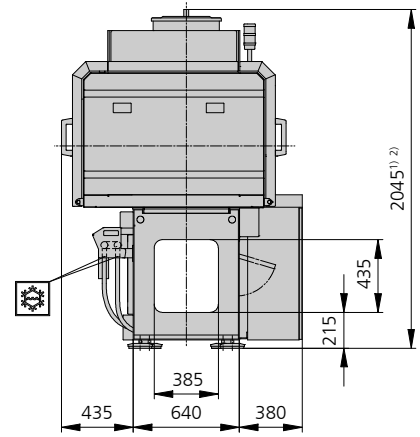
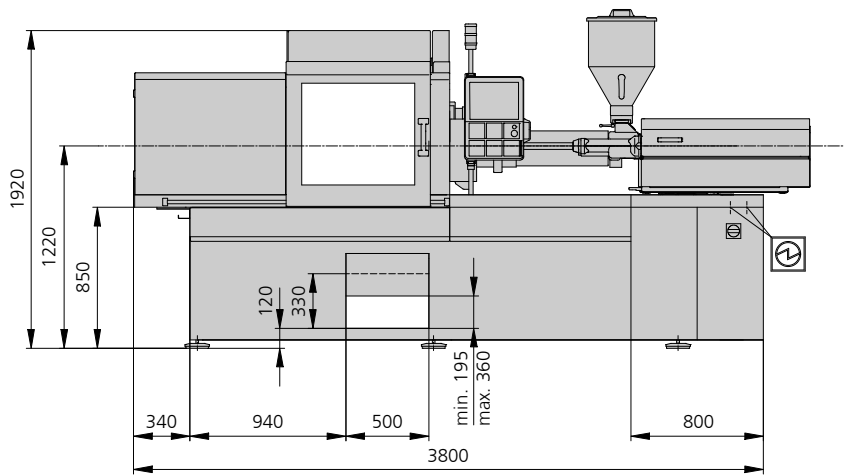
Distance between tie bars: 370 x 370 mm

Clamping force: 600 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 170, 290

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 370 E



Electrical connection



Cooling water connection

1) injection unit 170
2) injection unit 290

TECHNICAL DATA | 370 E

Clamping unit		370 E	
with clamping force	max. kN	600	
Opening force stroke	max. kN mm	--- 300	
Mould height, fixed variable	min. mm	--- 200-400	
Platen daylight fixed variable	max. mm	--- 500-700	
Distance between tie bars (w x h)	mm	370 x 370	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	510 x 510	
Weight of movable mould half	max. kg	360	
Ejector force stroke	max. kN mm	25 100	
Dry cycle time EUROMAP ²	min. s - mm	1,2 - 259	

Injection unit		170			290			
with screw diameter	mm	25	30	35	30	35	40	
Effective screw length	L/D	24	20	17	23,3	20	17,5	
Screw stroke	max. mm	120			150			
Calculated stroke volume	max. cm ³	59	85	115	106	144	188	
Shot weight	max. g PS	54	77	105	97	132	172	
Material throughput	max. kg/h PS	10	13,5	16	17	20,5	24,5	
	max. kg/h PA6.6	5	7	8	8,5	10,5	12,5	
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1470	2500	2000	1530	
Holding pressure	max. bar	2300	1600	1170	2180	1600	1220	
Injection flow ²	Standard	max. cm ³ /s	78	114	154	98	134	176
	Version	max. cm ³ /s	102	148	202	128	176	230
Screw circumferential speed ²	max. m/min	31	37	44	28	33	37	
Screw torque	max. Nm	210	250	290	320	380	430	
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	50 300			50 300			
Heating capacity zones	kW	9,4 5			6,4 5			
Feed hopper	l	50			50			

Drive and connection		170		290	
with injection unit		170		290	
Net weight of machine	kg	3700		3750	
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	58 3		58 3	
Electrical connection ³		19		17	
	Total	63		50	
	Machine	---		---	
	Heating	---		---	
Cooling water connection	max. °C	30		30	
	min. Δp bar	1,5 DN 25		1,5 DN 25	

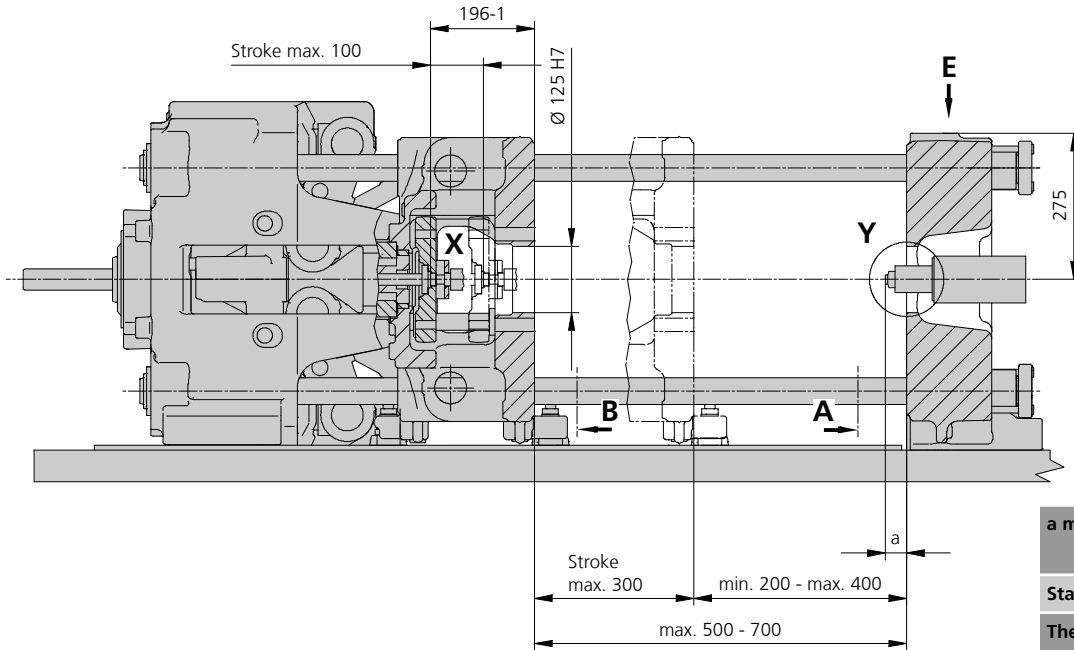
Machine type
with EUROMAP size designation ¹
370 E 600-170 | 290

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.

All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

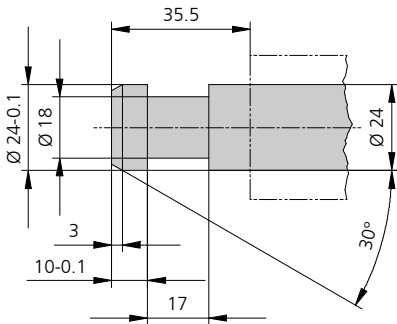
- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 370 E

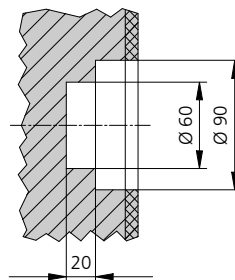


a max.	Injection unit
	170 / 290
Standard	40
Thermoset	20

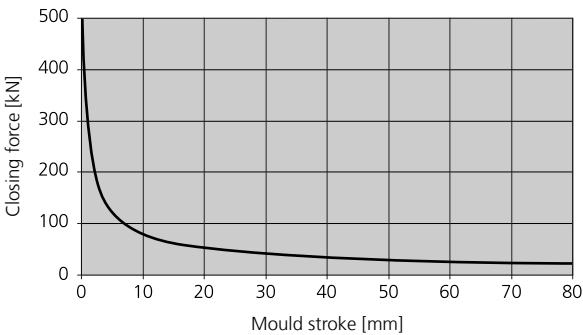
Ejector bolt | X



Bore in mould (if required) | Y

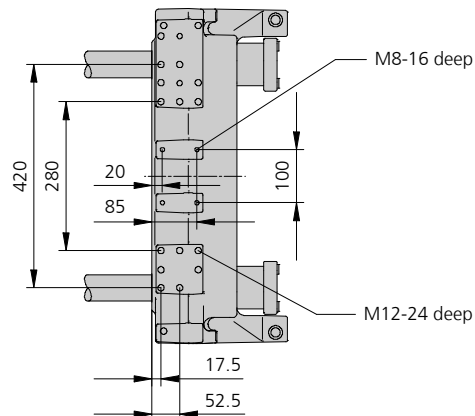


Closing force for spring moulds*



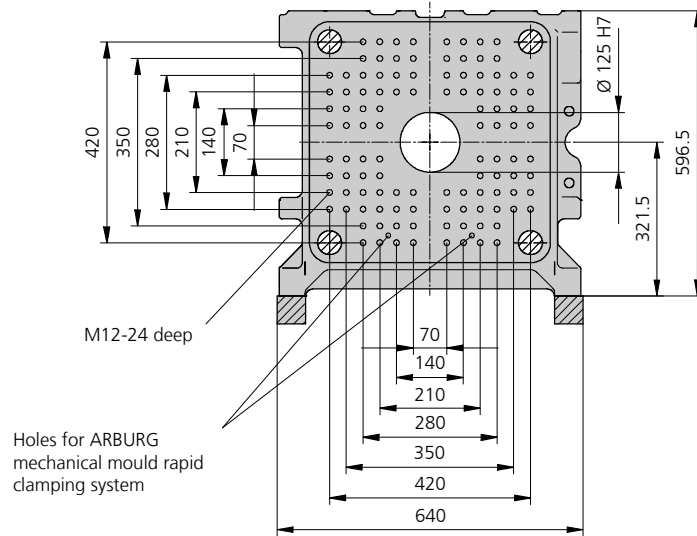
* automatic clamping force control requirement

Robotic system mounting | E

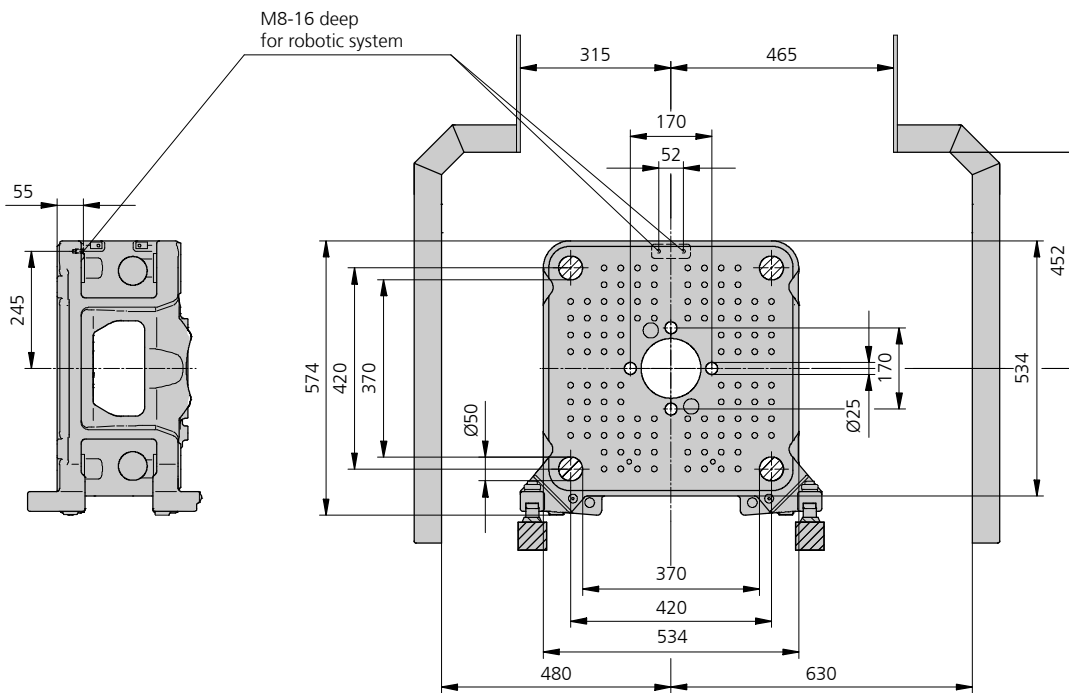


MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 370 E

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



SHOT WEIGHTS | 370 E

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

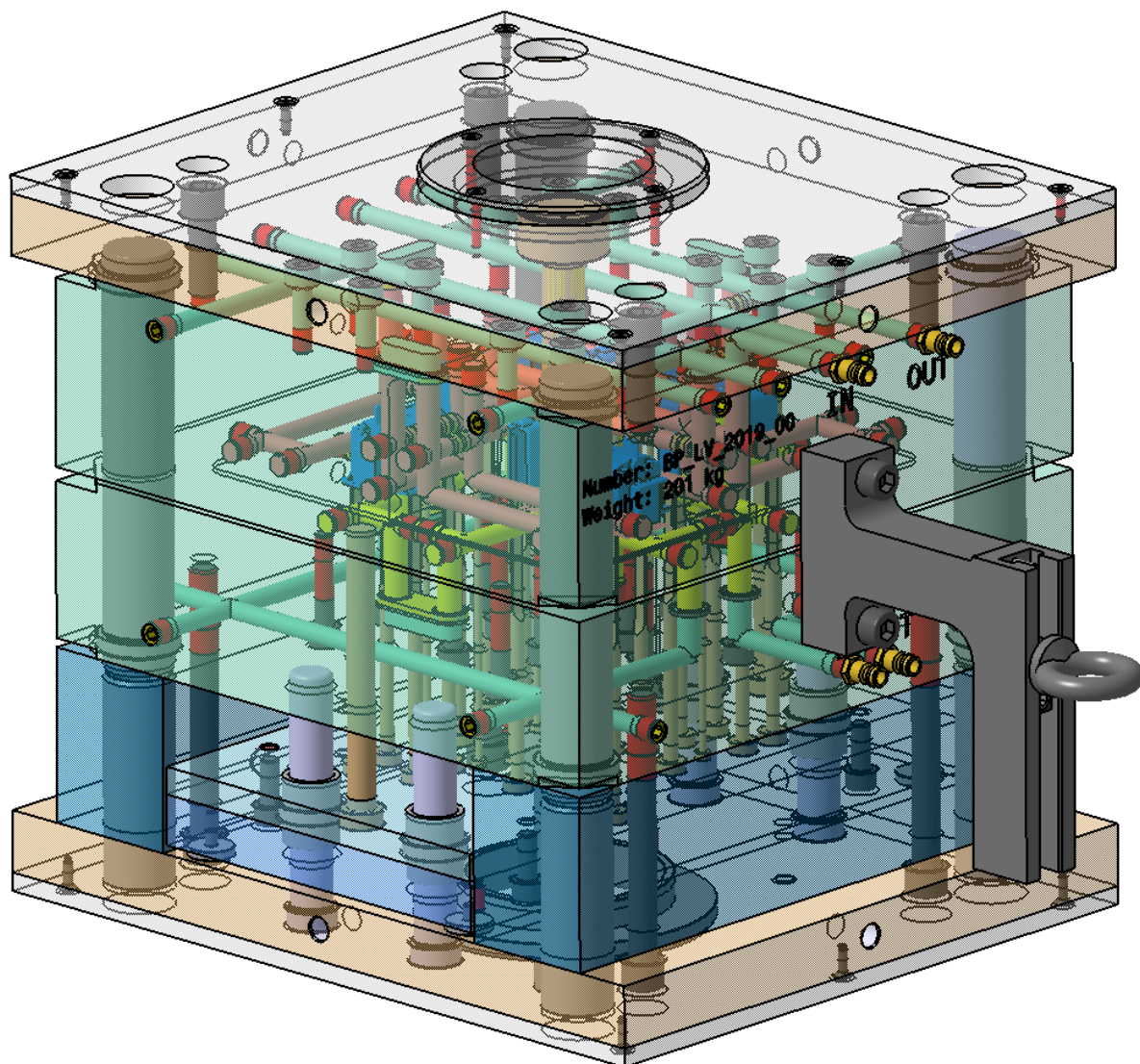
Injection units according to EUROMAP		170			290		
Screw diameter	mm	25	30	35	30	35	40
Polystyrene	max. g PS	54	77	105	97	132	172
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	53	76	103	95	129	168
	max. g SAN, ABS ¹⁾	52	74	101	93	126	165
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	61	87	119	109	148	194
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	56	81	110	101	138	180
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	56	80	109	100	136	178
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	50	72	98	90	122	160
Polycarbonate	max. g PC	57	81	111	102	139	181
Polysulphone	max. g PSU	58	84	115	105	143	187
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	53	77	104	96	131	171
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	50	72	98	90	122	160
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	66	96	130	120	163	213
Polyethylene terephthalate	max. g PET	64	92	126	115	157	205
Polyethylene	max. g PE-LD	41	59	80	73	100	130
	max. g PE-HD	42	60	82	76	103	134
Polypropylene	max. g PP	43	62	84	77	105	137
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	86	124	169	155	211	276
	max. g ETFE	76	109	148	136	185	242
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	65	94	127	117	159	208
	max. g PVC-P ¹⁾	60	87	118	108	147	192

1) average value

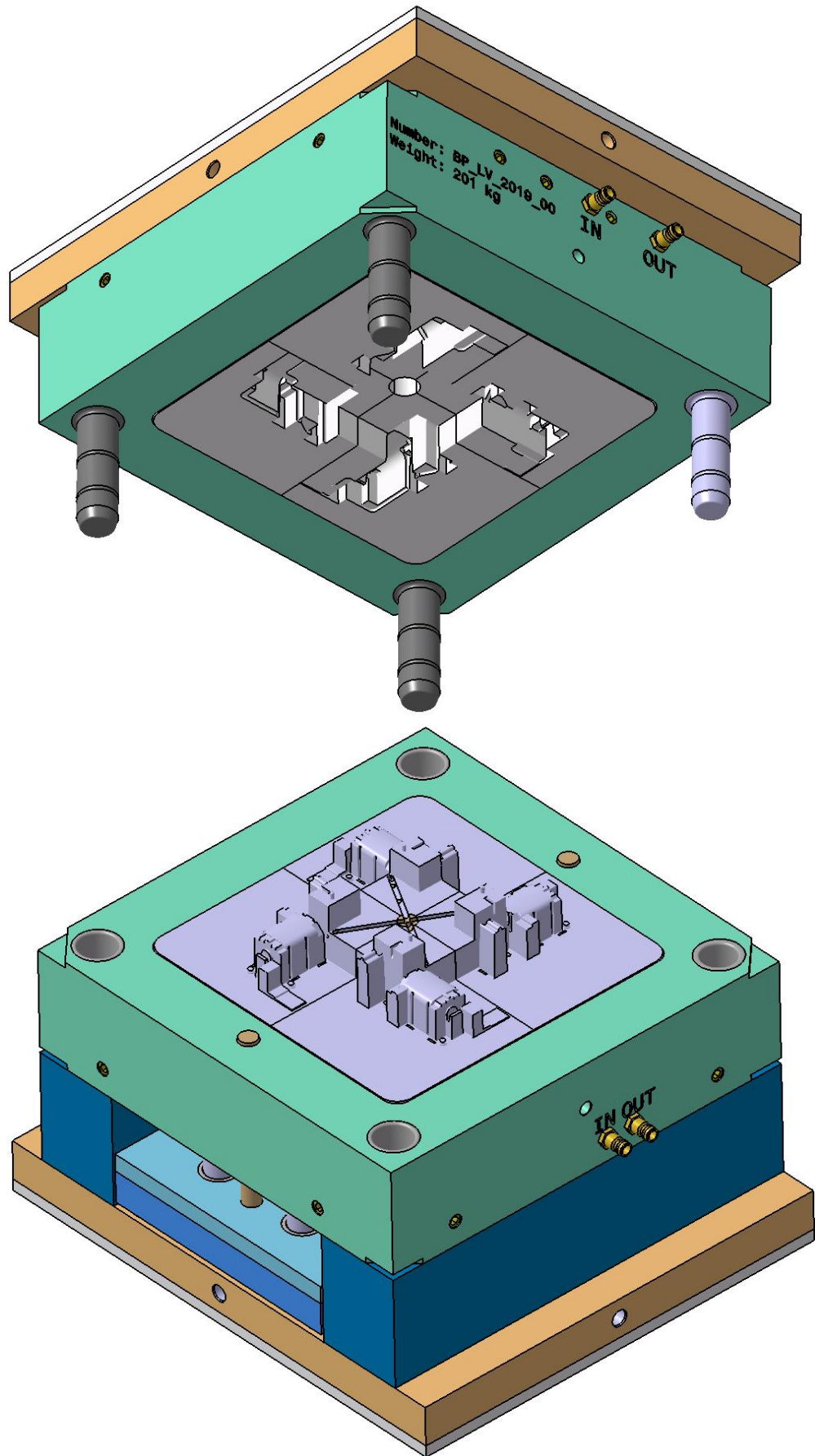
ARBURG GmbH + Co KG
 Arthur-Hehl-Strasse
 72290 Lossburg
 Tel.: +49 7446 33-0
 www.arburg.com
 contact@arburg.com

PŘÍLOHA č. 3

3D pohledy navržené vstřikovací formy



Obrázek 1: 3D pohled na celou navrženou vstřikovací formu



Obrázek 2: 3D pohled na tvárnici a tvárník v tvarových deskách

PŘÍLOHA č. 4

Vtoková analýza umístění vtokového ústí

Obsah

Obsah	1
Úvod a základní popis zadání	2
Zadání výpočtové analýzy:	2
1 Parametry analýzy	3
1.1 Model CAD.....	3
1.2 Solidworks plastics	3
1.3 Výběr materiálu	3
1.3.1 Data křivky materiálu:	4
1.4 Síťování a informace o modelu.....	5
1.5 Nastavení parametrů plnění	6
1.6 Umístění vtokového ústí	7
2 Vtoková analýza varianty A	7
2.1 Výčet z analýzy.....	7
2.2 Výsledky (varianta A).....	11
3 Vtoková analýza varianty B	12
3.1 Výčet z analýzy.....	13
3.2 Výsledky analýzy (Varianta B).....	17
4 Závěr analýzy umístění vtokového ústí	18
Citovaná literatura	19
5 Seznam obrázků.....	20
6 Seznam tabulek.....	20
7 Seznam grafů	20

Úvod a základní popis zadání

Cílem této přílohy bylo vytvořit analýzy umístění vtokového ústí pro zadaný výrobek z plastu a zjistit celkovou dobu cyklu pro výpočet násobnosti formy.

Dále se naučit nastavit simulaci a hledat ve zdrojích hlavní parametry vstřikování a z toho pak vyvodit požadované výstupy analýz komplexního procesu vstřikování.

Zadání výpočtové analýzy:

Popsat základní materiál, nastavení analýzy, sítě a další atributy.

Porovnat více variant řešení vtoku a navrhnout jeho vhodné umístění.

Zjistit celkovou dobu vstřikovacího cyklu pro výpočet násobnosti formy.

1 Parametry analýzy

1.1 Model CAD

Model je ve fázi po vytvoření úkosů a před samotnou volbou zaoblení, je modelován v CATII, zadaný materiál je PA 6 GF30.

Před samotnou analýzou se model musel převést z formátu catia part do formátu STP, který lze otevřít v Solidworks, jedná se o díl typu „mrtvola“, nelze tedy editovat jeho původní strom v Solidworksu.

1.2 Solidworks plastics

Jedná se o modul programu Solidworks, který umí simulovat tok roztaveného plastu během vstřikování do vstřikovací formy. Dokáže tak předpovědět vady dílů a formy při výrobě. Zrychlí tak běh procesu při navrhování vstřikovaného dílu a lze ním snížit celkové náklady.

1.3 Výběr materiálu

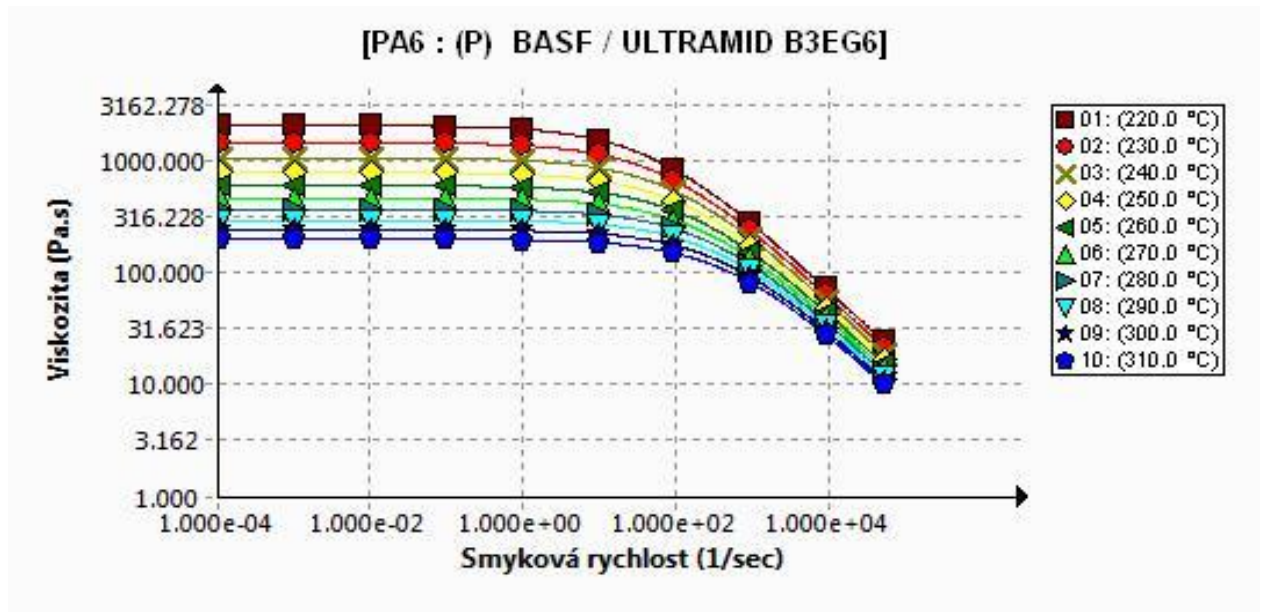
Dle zadaného materiálu PA 6 GF30 lze najít v katalogu SOLIDWORKS více materiálových listů, pro analýzy variant byl zvolen materiál Ultramid B3EG6, který je taktéž v zadání bakalářské práce, materiálový list je dostupný např. z [1].

Název materiálu	PA6
Název produktu	(P) BASF / ULTRAMID B3EG6
Teplota taveniny	268.00 °C
Teplota formy	90.00 °C
Teplota vyhazování	185.00 °C
Teplota přechodu na sklovitost	218.00 °C
Měrné teplo	2.760000e+007 erg/(g-C)
Tepelná vodivost	1.250000e+004 erg/(sec-cm-K)
Youngův modul pružnosti	4.100000e+010 dyne/cm ²
Poissonova konstanta	5.400000e-001

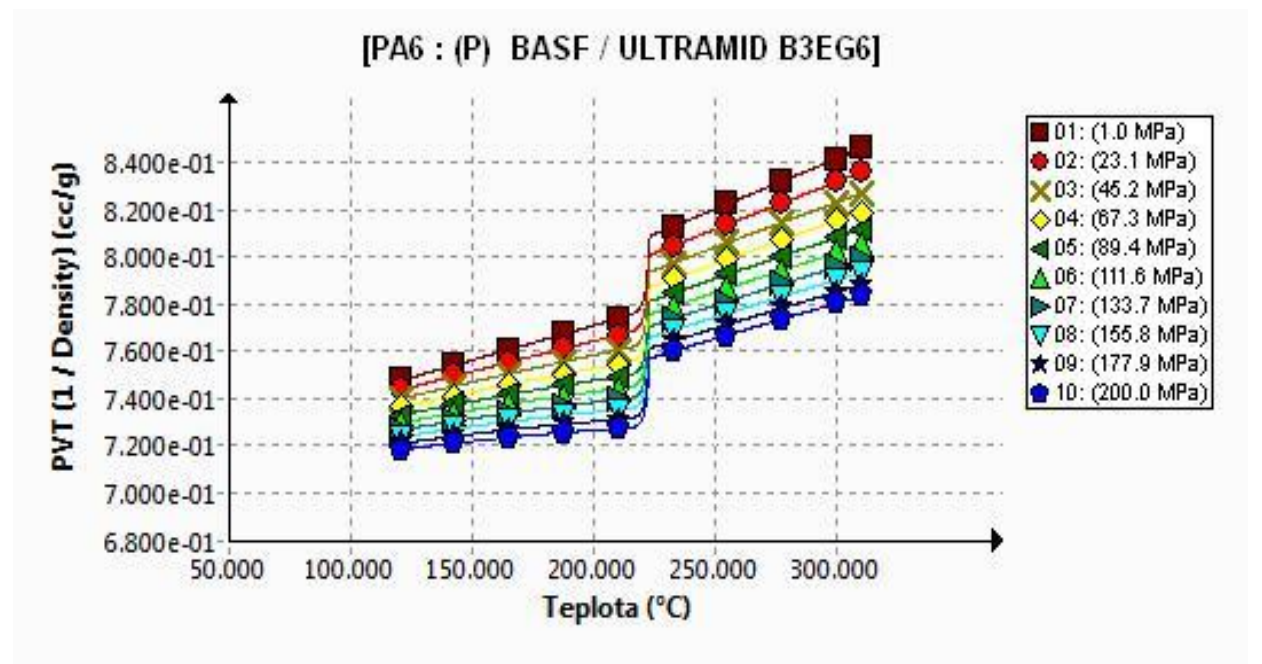
Tabulka 1: Vlastnosti materiálu Ultramid B3EG6

1.3.1 Data křivky materiálu:

Tyto údaje jsou dle Solidworks plastics 2018 pro materiál ULTRAMID B3EG6 [1]. Grafy polymeru mohou být i dalších typů, zde jsou pro názornost zobrazeny pouze dva



Graf 1: Viskozita polymeru



Graf 2: Specifický objem polymeru

Dále zde v programu nalézt závislosti: Graf modulu pružnosti polymeru, Graf koeficientu lineární tepelné roztažnosti polymeru, Graf Poissonovy konstanty polymeru, Graf měrného tepla polymeru a Graf tepelné vodivosti polymeru.

1.4 Síťování a informace o modelu

Pro analýzy byla zvolena 3D hybridní síť, která je nejdetailejší (v porovnání s 1D a 2D a 2.5D), ale naopak její výpočet trvá nejdéle.

Pro plochy byl zvolen typ prvku jednorozměrné sítě trojúhelník o velikosti 2 mm a pro funkční plochy stejný prvek o velikosti 0,5 mm, prvek při tvoření objemové sítě zvolen čtyřstěn.

Název	Výchozí
Typ	Tělo
Prvek	36052
Uzel	15280
Plocha symetrie	Ne
Objem	12.06 (cm ³)
Hmotnost	16.60 (g)
Velikost	67.38 (mm) x 42.80 (mm) x 32.58 (mm)

Tabulka 2: Informace o modelu pro variantu A

Název	E0501103211__02-05_modified_2analyza
Aktuální konfigurace	Výchozí
Název	Výchozí
Typ	Tělo
Prvek	53210
Uzel	22194
Plocha symetrie	Ne
Objem	11.56 (cm ³)
Hmotnost	15.90 (g)
Velikost	67.38 (mm) x 42.60 (mm) x 34.08 (mm)

Tabulka 3: Informace o modelu pro variantu B

1.5 Nastavení parametrů plnění

Tyto parametry se nastavují před samotným spuštěním simulace, základní nastavení je dle použitého vstřikovaného dílu, dále se dají i manuálně měnit a specifikovat dle dalších požadavků.

Doba plnění	2.54 s
Teplota taveniny hlavního materiálu	268 °C
Teplota stěny formy	90 °C
Mezní vstřikovací tlak	100 MPa
Limit průtoku	194 cc/s
Bod přechodu plnění/dotlak (% vyplněného objemu)	100 %
Doba udržování tlaku	3.73 s
Celkový čas ve fázi dotlaku	16.3 s
% vláken (od 0 do 100)	30 %
Automatický čas plnění (1: Ano, 0: Ne)	1
Automatický čas dotlaku (1: Ano, 0: Ne)	1
Analýza odvzdušnění (1: Ano, 0: Ne)	0
Počáteční tlak vzduchu dutiny	0.1 MPa
Počáteční teplota vzduchu dutiny	25 °C
Kritéria teploty pro nedolisky (1: Ano, 0: Ne)	1
Kritéria teploty pro nedolisky	218 °C
Limit upínací (uzavírací) síly	100 t
Teplota vzduchu	30 °C

Tabulka 4: Nastavení parametrů procesu varianty A

Doba plnění	2.54 s
Teplota taveniny hlavního materiálu	268 °C
Teplota stěny formy	90 °C
Mezní vstřikovací tlak	100 MPa
Limit průtoku	194 cc/s
Bod přechodu plnění/dotlak (% vyplněného objemu)	100 %
Doba udržování tlaku	3.73 s
Celkový čas ve fázi dotlaku	16.3 s
% vláken (od 0 do 100)	30 %
Automatický čas plnění (1: Ano, 0: Ne)	1
Automatický čas dotlaku (1: Ano, 0: Ne)	1
Analýza odvzdušnění (1: Ano, 0: Ne)	0
Počáteční tlak vzduchu dutiny	0.1 MPa
Počáteční teplota vzduchu dutiny	25 °C
Kritéria teploty pro nedolisky (1: Ano, 0: Ne)	1
Kritéria teploty pro nedolisky	218 °C
Limit upínací (uzavírací) síly	100 t
Teplota vzduchu	30 °C

Tabulka 5: Nastavení parametrů procesu varianty B

1.6 Umístění vtokového ústí

Jedná se o místo, kde roztavený plast proudí z vtokové soustavy do dutiny dílu.

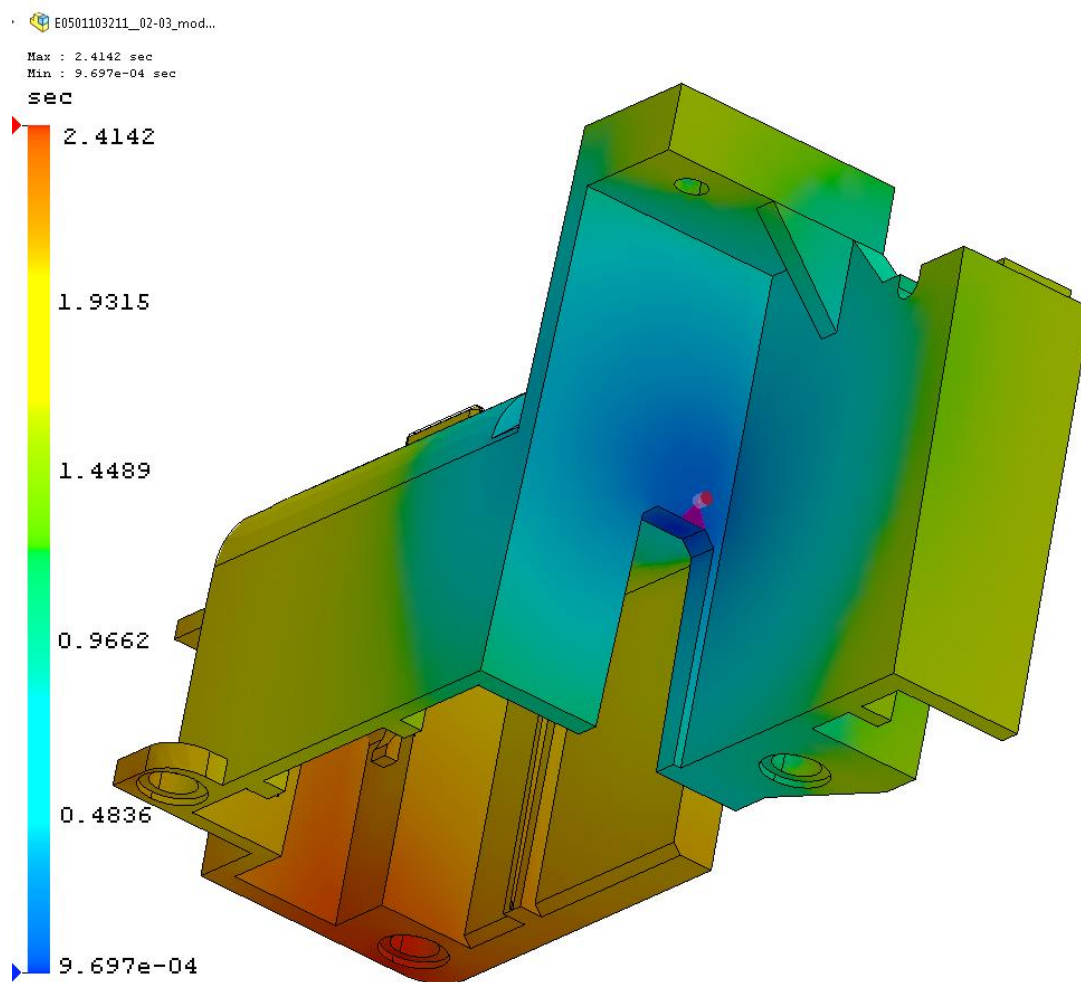
Pro tento model budou analyzovány dvě varianty (varianta A a varianta B) vtokového ústí, umístěných do uzlů sítě.

2 Vtoková analýza varianty A

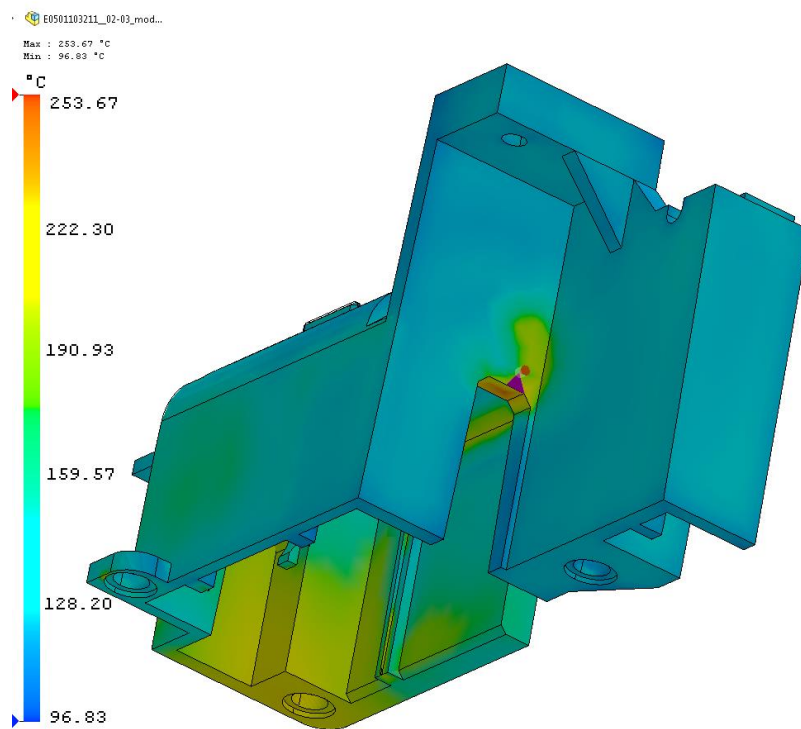
Tato kapitola zobrazuje výsledky analýz pro variantu A umístění vtokového ústí. Vtokové ústí bylo navrženo automaticky (Obrázek 1).

2.1 Výčet z analýzy

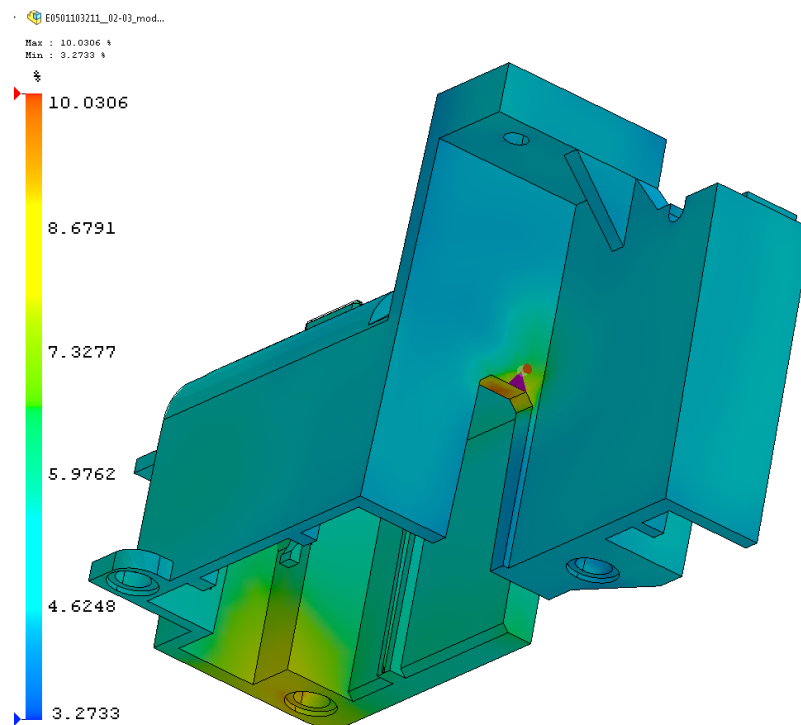
Číselné vyjádření maximálních hodnot jednotlivých analýz včetně výsledků je zobrazeno v kapitole 2.2 (Tabulka 6).



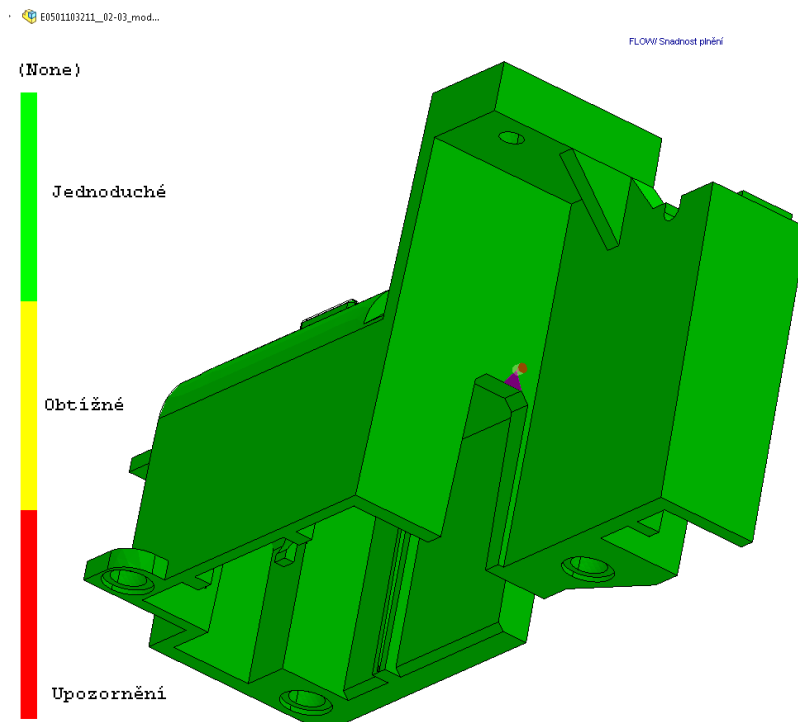
Obrázek 1: Doba plnění [s], (Varianta A)



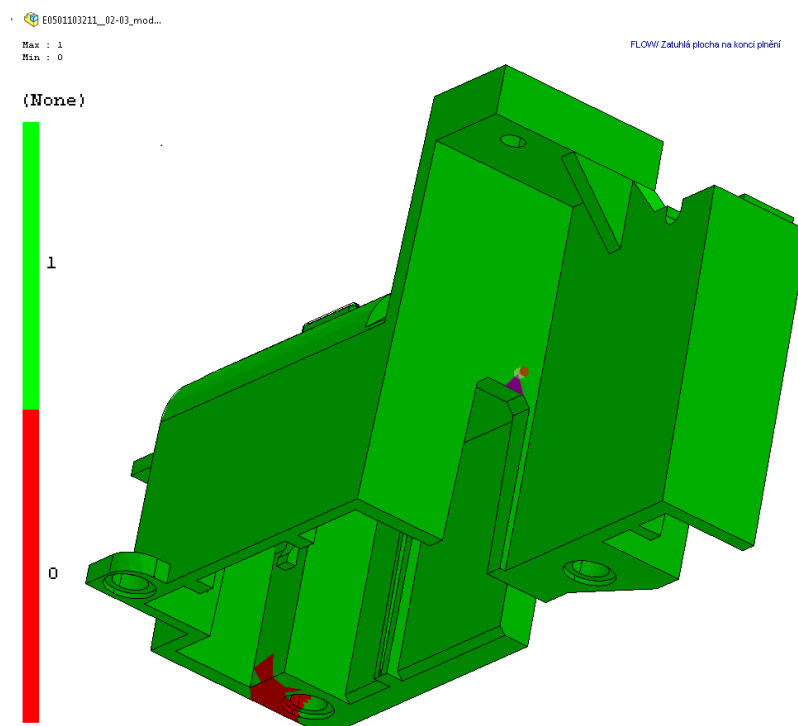
Obrázek 2: Teplota na konci plnění [°C], (Varianta A)



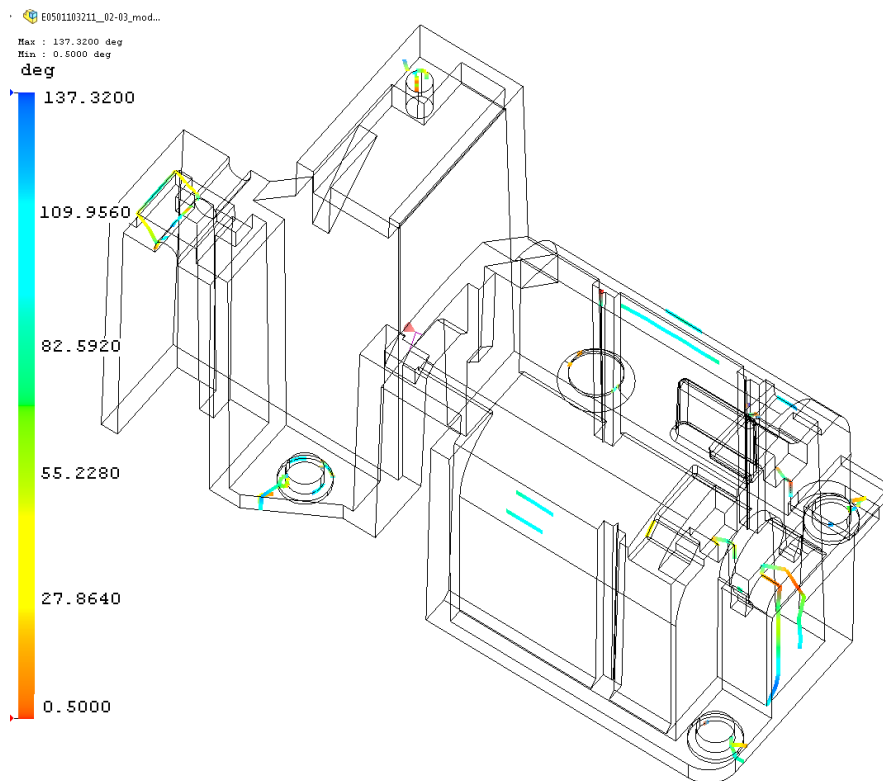
Obrázek 3: Objemové smrštění na konci plnění [%], (Varianta A)



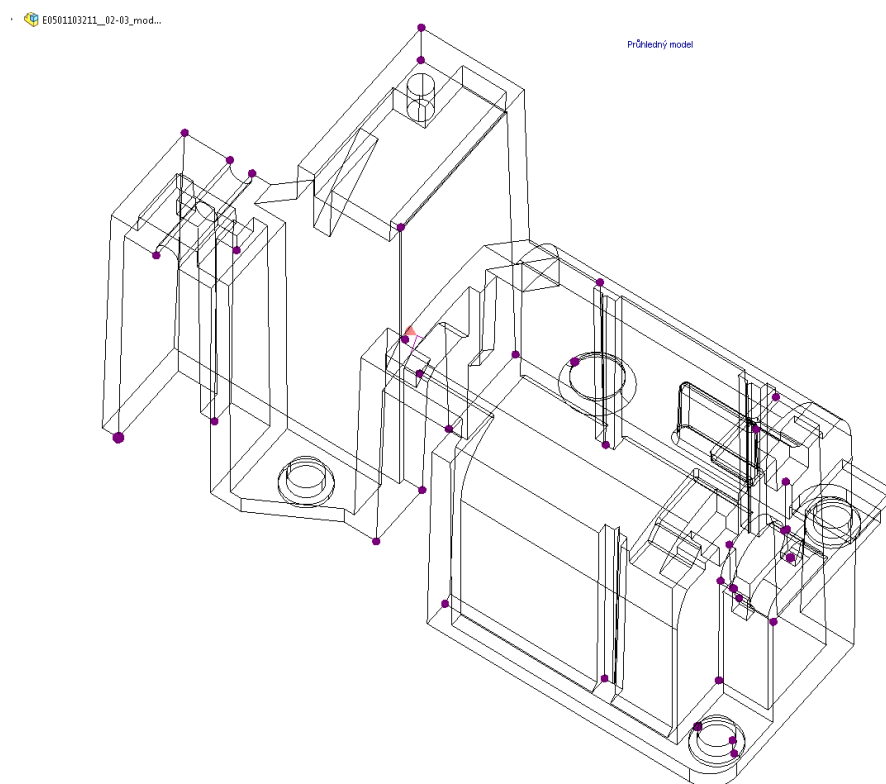
Obrázek 4, Snadnost plnění [-], (Varianta A)



Obrázek 5: Zatuhlá plocha na konci plnění [-], (Varianta A)



Obrázek 6: Studené spoje [°], (Varianta A)



Obrázek 7: Vzduchové kapsy [-], (Varianta A)

2.2 Výsledky (varianta A)

„Tento díl je možné úspěšně vyplnit s použitím vstřikovacího tlaku 21.3 MPa (3089.39 psi).

Tlak vstřikování potřebný pro vyplnění je nižší než 66% mezního maximálního tlaku vstřikování určeného pro analýzu, což znamená, že je výrazně pod určeným limitem.

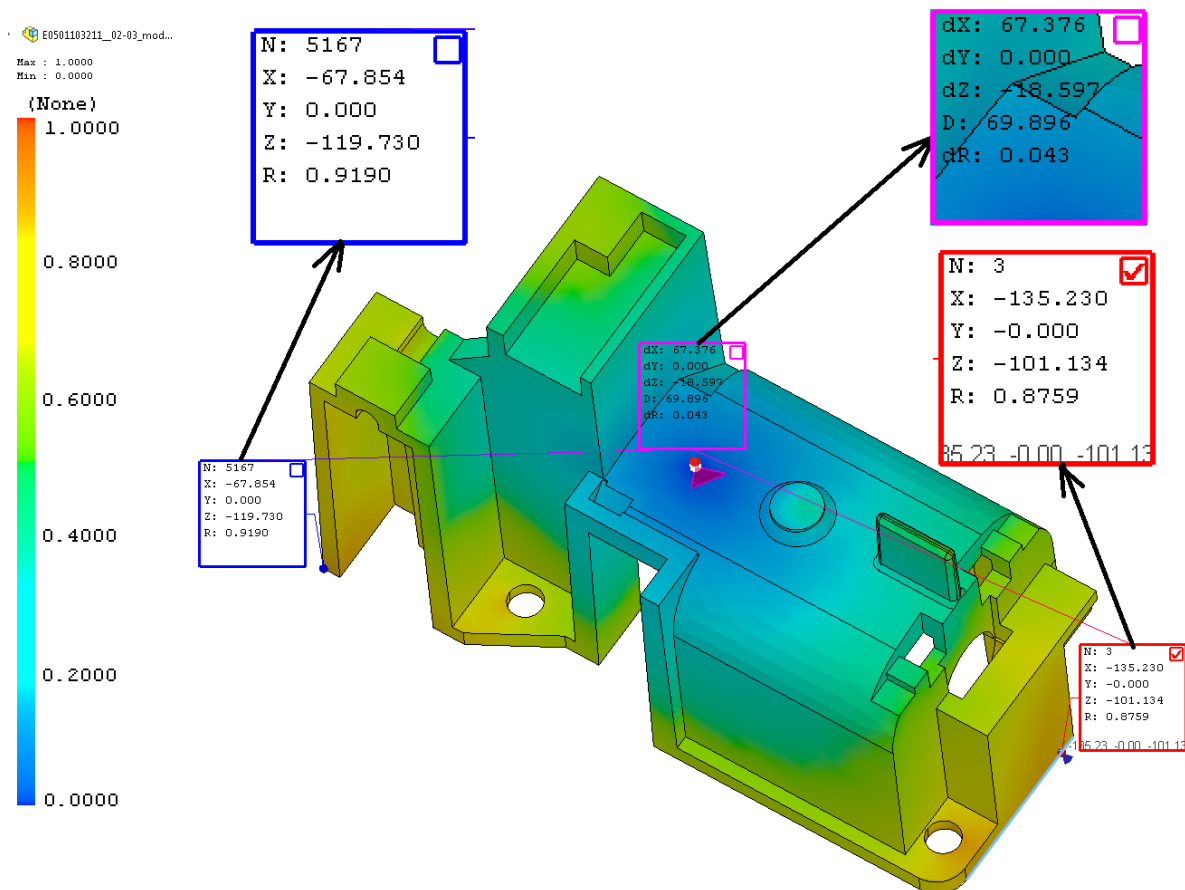
Predikovaná doba chlazení je určena ve chvíli, kdy je 90% teploty dílu nižší než teplota vyhazování materiálu.“ [2]

Upínací (uzavírací) síla ve směru X	2.6621 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Y	1.5375 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Z	2.8348 t
Vyžadovaný tlak vstřikování	21.2959 MPa
Max. reálná teplota	253.8209 °C
Max. střední objemová teplota	263.0452 °C
Max. smykové napětí	0.8017 MPa
Max. smyková rychlost	3212.2970 1/s
Čas procesoru	165.75 s
Doba cyklu	16.33 s
- 1. Doba plnění	2.41 s
- 2. Doba chlazení	8.91 s
- 3. Čas otevření formy	5.00 s

Tabulka 6: Výsledky analýzy pro variantu A

3 Vtoková analýza varianty B

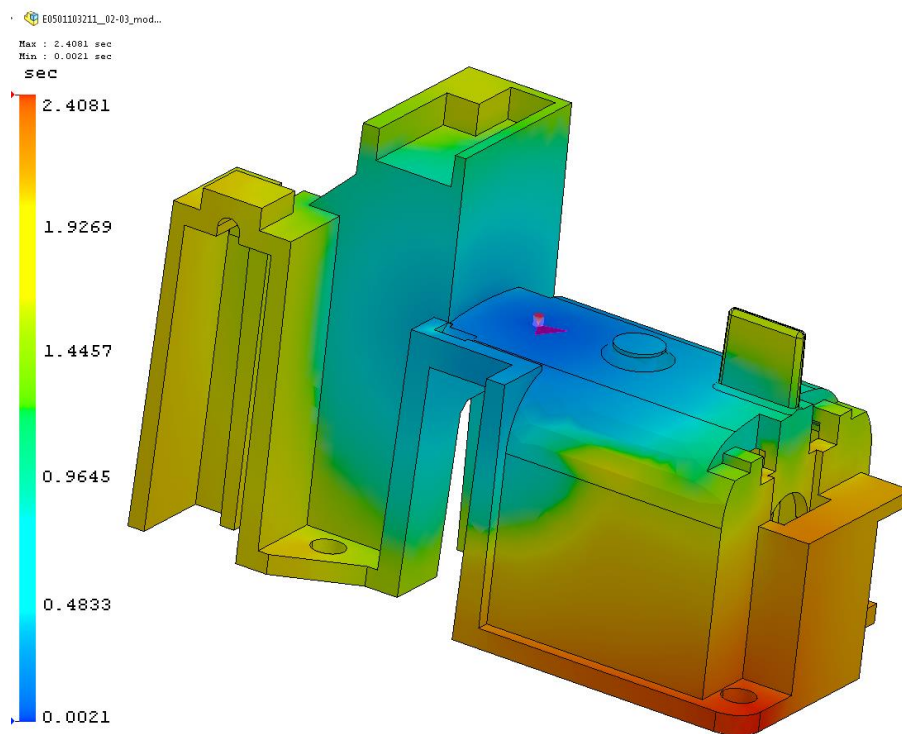
Při této analýze byl vtok umístěn na základě rozdílu průběhu toku, disponoval nepatrnou diferencí v okrajových místech (Obrázek 8). Díl je tímto vstříkovaný rovnoměrně.



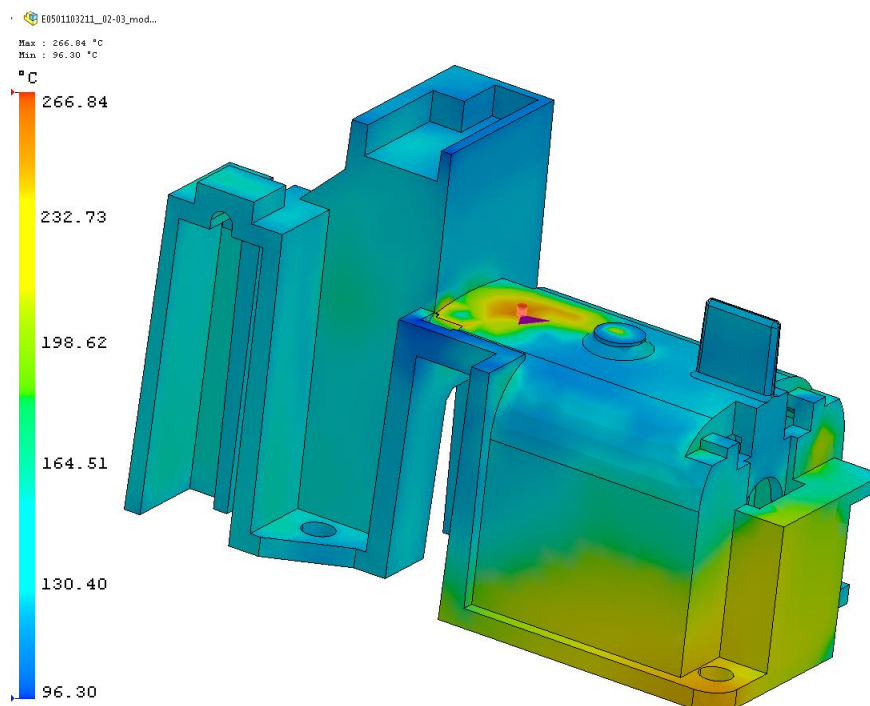
Obrázek 8: Určení průběhu vtoku [-], (Varianta B)

3.1 Výčet z analýzy

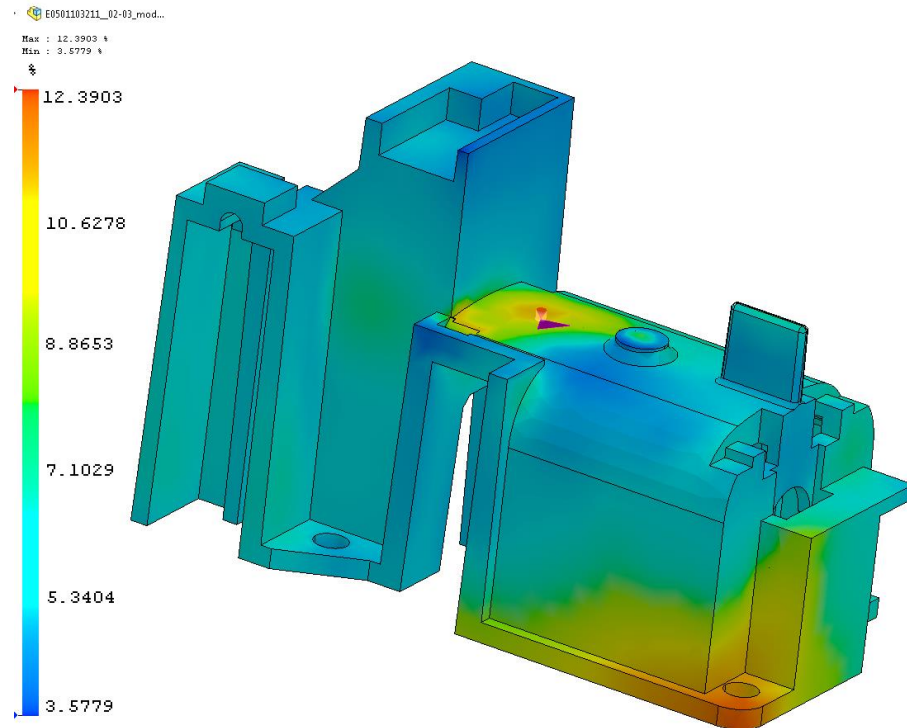
Číselné vyjádření maximálních hodnot včetně výsledků jednotlivých analýz je zobrazeno v kapitole 3.2 (Tabulka 7).



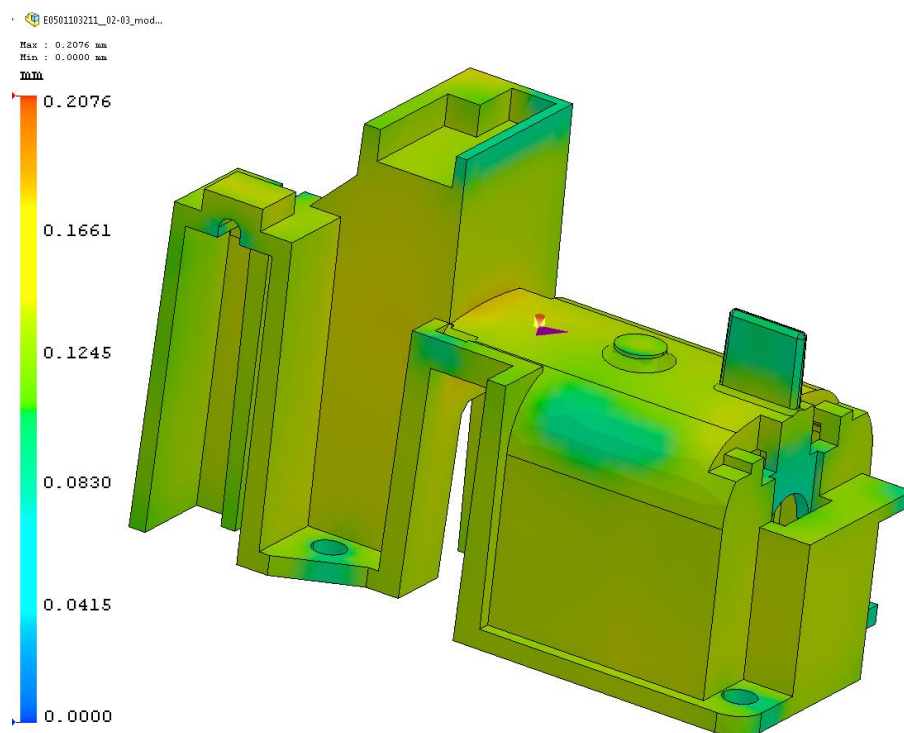
Obrázek 9: Doba plnění [s], (Varianta B)



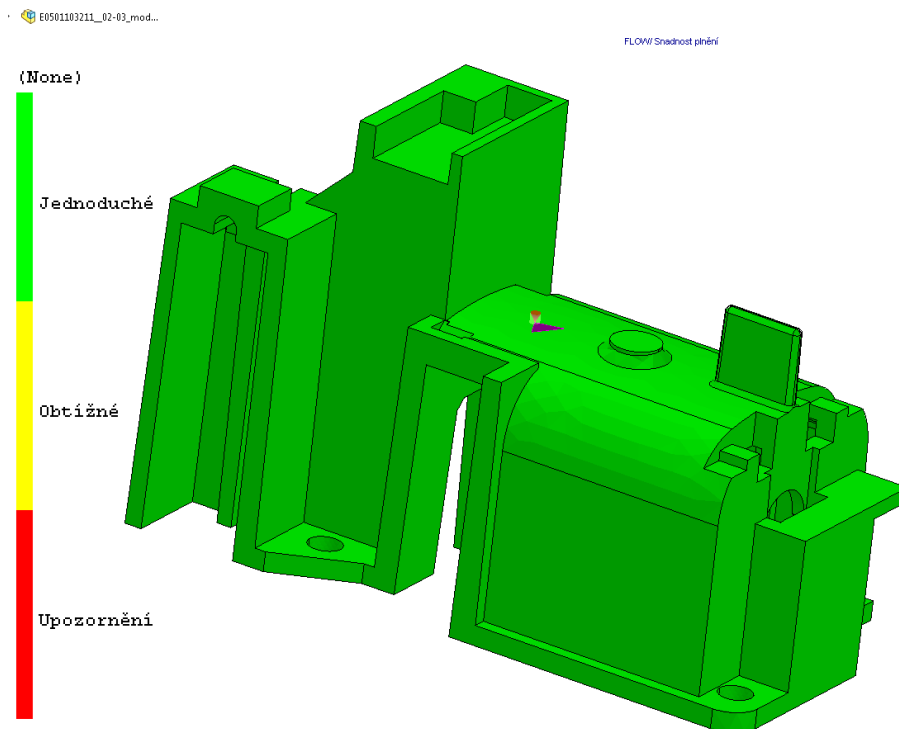
Obrázek 10: Teplota na konci plnění [°C], (Varianta B)



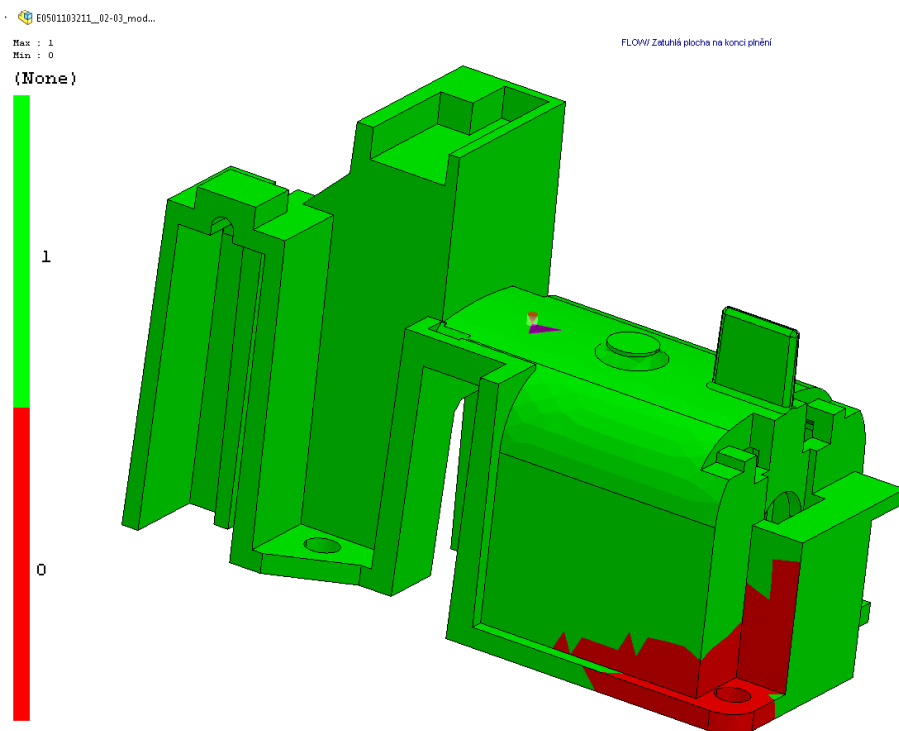
Obrázek 11: Objemové smrštění na konci plnění [%], (Varianta B)



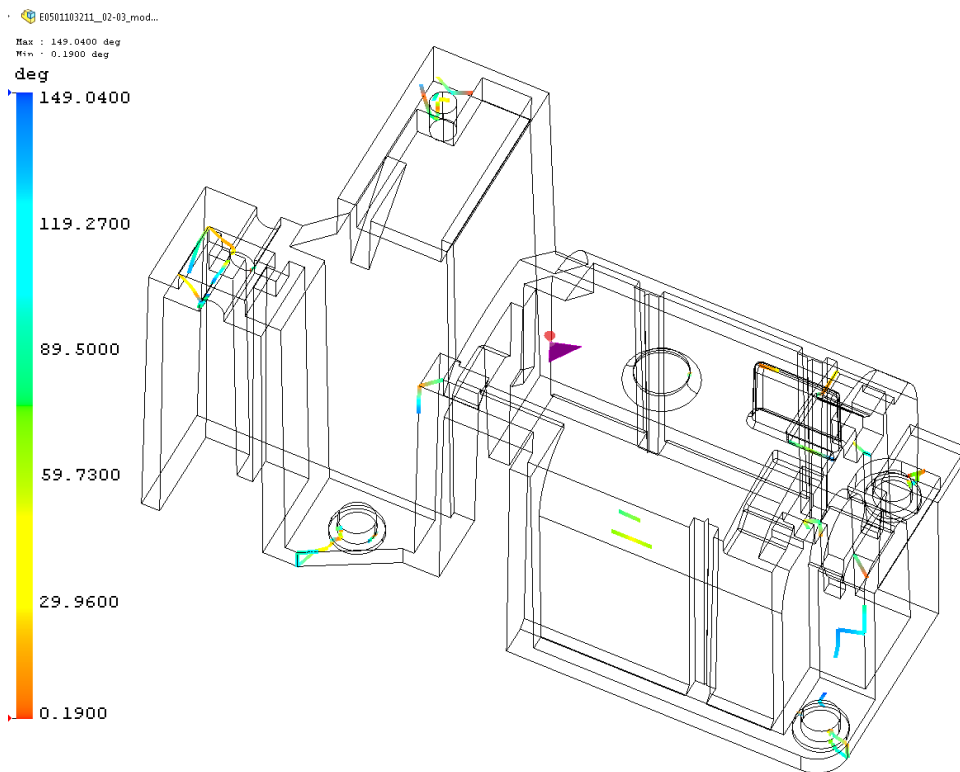
Obrázek 12: Propadliny [mm], (Varianta B)



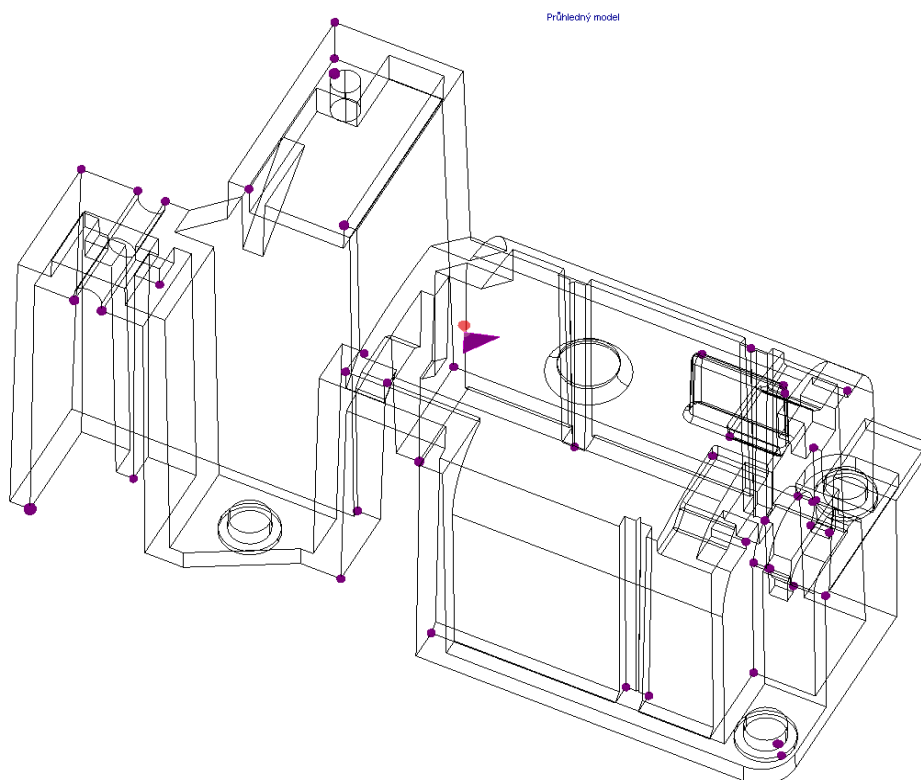
Obrázek 13: Snadnost plnění [-], (Varianta B)



Obrázek 14: Zatuhlá plocha na konci plnění [-], (Varianta B)



Obrázek 15: Studené spoje [-], (Varianta B)



Obrázek 16: Vzduchové kapsy [-], (Varianta B)

3.2 Výsledky analýzy (Varianta B)

„Tento díl je možné úspěšně vyplnit s použitím vstřikovacího tlaku 14.4 MPa (2085.27 psi).

Tlak vstřikování potřebný pro vyplnění je nižší než 66% mezního maximálního tlaku vstřikování určeného pro analýzu, což znamená, že je výrazně pod určeným limitem.

Predikovaná doba chlazení je určena ve chvíli, kdy je 90% teploty dílu nižší než teplota vyhazování materiálu.“ [2]

Upínací (uzavírací) síla ve směru X	1.8757 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Y	1.2019 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Z	2.0233 t
Vyžadovaný tlak vstřikování	14.3742 MPa
Max. reálná teplota	266.9884 °C
Max. střední objemová teplota	267.4501 °C
Max. smykové napětí	0.8629 MPa
Max. smyková rychlost	2323.8250 1/sec
Čas procesoru	199.79 s
Doba cyklu	19.32 s
- 1. Doba plnění	2.41 s
- 2. Doba chlazení	11.91 s
- 3. Čas otevření formy	5.00 s

Tabulka 7: Výsledky analýzy varianty B

4 Závěr analýzy umístění vtokového ústí

Analýza dvou variant umístění vtokového ústí byly vytvořena v programu Solidworks 2018 (modul Plastics). Cíle dle zadání byly splněné.

Porovnáním variant A a B (Tabulka 8) bylo zjištěno, že varianta B převážila, mimo smykového napětí, všechny zjišťované vlastnosti, z tohoto důvodu je vhodnějším návrhem vtokového ústí varianta B.

Přestože varianta B je vhodnějším umístěním vtokového ústí, obě tyto varianty splňují maximální dovolené parametry dle materiálového listu [1] a proto není vyloučené použití i varianty A, jen je zapotřebí počítat s požadavkem na vyšší uzavírací síly a tlaky ve formě.

Název parametru	Varianta A	Varianta B
Doba plnění [s]	2,414	2,409
Tlak na konci plnění [MPa]	21,296	14,374
Smykové napětí na konci plnění [MPa]	0,802	0,863
Smyková rychlost na konci plnění [s^{-1}]	3212,297	2323,825
Upínací (uzavírací) síla ve směru Z [t]	2,835	2,023
Snadnost plnění [-]	Jednoduchá	Jednoduchá
Doba cyklu [s]	16,33	19,32

Tabulka 8: Porovnání variant umístění vtoku

Celková doba cyklu u varianty A byla 16,33 s, tato doba byla z důvodu nižší předpovídáné doby chlazení dílu, která je hlavním předpokladem pro minimální procesní čas, vybrána pro výpočet násobnosti.

Citovaná literatura

1. **Corporation, BASF.** Ultramid B3EG6. *plasticsportal*. [Online] 14. listopad 2018.
<http://iwww.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso¶m=Ultramid+B3EG6>.
2. **Solidworks.** Plastics. *Poradce pro výsledky* . 2018.

5 Seznam obrázků

Obrázek 1: Doba plnění [s], (Varianta A).....	7
Obrázek 2: Teplota na konci plnění [°C], (Varianta A).....	8
Obrázek 3: Objemové smrštění na konci plnění [%], (Varianta A).....	8
Obrázek 4, Snadnost plnění [-], (Varianta A).....	9
Obrázek 5: Zatuhlá plocha na konci plnění [-], (Varianta A).....	9
Obrázek 6: Studené spoje [°], (Varianta A).....	10
Obrázek 7: Vzduchové kapsy [-], (Varianta A).....	10
Obrázek 8: Určení průběhu vtoku [-], (Varianta B).....	12
Obrázek 9: Doba plnění [s], (Varianta B).....	13
Obrázek 10: Teplota na konci plnění [°C], (Varianta B).....	13
Obrázek 11: Objemové smrštění na konci plnění [%], (Varianta B).....	14
Obrázek 12: Propadliny [mm], (Varianta B).....	14
Obrázek 13: Snadnost plnění [-], (Varianta B).....	15
Obrázek 14: Zatuhlá plocha na konci plnění [-], (Varianta B).....	15
Obrázek 15: Studené spoje [-], (Varianta B).....	16
Obrázek 16: Vzduchové kapsy [-], (Varianta B).....	16

6 Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti materiálu Ultramid B3EG6	3
Tabulka 2: Informace o modelu pro variantu A	5
Tabulka 3: Informace o modelu pro variantu B.....	5
Tabulka 4: Nastavení parametrů procesu varianty A.....	6
Tabulka 5: Nastavení parametrů procesu varianty B.....	6
Tabulka 6: Výsledky analýzy pro variantu A	11
Tabulka 7: Výsledky analýzy varianty B.....	17
Tabulka 8: Porovnání variant umístění vtoku.....	18

7 Seznam grafů

Graf 1: Viskozita polymeru	4
Graf 2: Specifický objem polymeru.....	4

PŘÍLOHA č. 5

Vtoková analýza navržené vstřikovací formy

Obsah

Obsah.....	1
Úvod.....	2
Zadání analýzy	2
1 Simulace vstřikování	3
2 Základní popis analýzy.....	3
2.1 CAD model.....	3
2.2 Příprava dat.....	3
3 Informace a parametry analýzy (Solidworks 2018)	3
3.1 Informace o modelu	3
3.2 Informace o materiálu.....	3
3.3 Parametry procesu.....	4
3.3.1 Nastavení plnění	4
3.3.2 Nastavení deformace	4
3.3.3 Nastavení formy	4
3.3.4 Nastavení chlazení.....	4
4 Příprava analýzy (Solidworks 2018)	5
4.1 Síťování modelu.....	5
4.2 Umístění vtoku.....	5
5 Výsledky analýzy (Solidworks 2018)	6
5.1 Výsledky plnění	6
5.2 Výsledky dotlaku	11
5.3 Výsledky deformace	13
5.4 Výsledky chlazení (temperování)	14
5.5 Grafické závislosti	17
5.6 Pomocné analýzy	18
6 Výsledky analýzy (Moldex)	19
6.1 Nastavení analýzy	19
6.2 Výsledky analýzy.....	20
7 Závěr.....	21
8 Citovaná literatura	22
9 Seznam obrázků.....	23
10 Seznam tabulek.....	24
11 Seznam grafů	24

Úvod

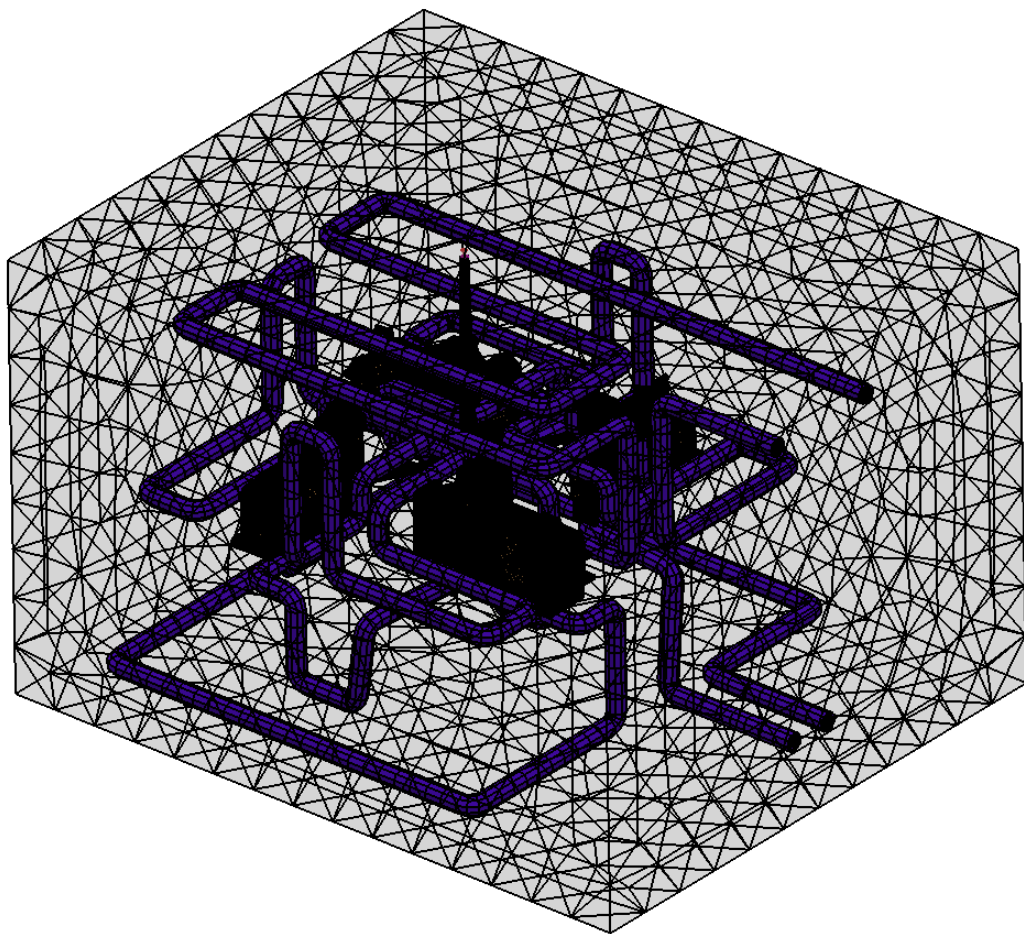
Simulační analýza tečení plastů (také jako vtoková analýza) pomáhá předejít výrobním vadám vstříkovaných výrobků, snižuje riziko vedlejších nákladů např. na opravy forem a jejím aplikováním lze docílit efektivnějšího procesu navrhování vstříkovací formy.

Cílem této zprávy bylo vytvořit analýzy vstříkování pro navržený stav formy včetně temperačního okruhu a jednoduchého bloku formy.

Vtoková analýza byla provedena v programech Solidworks 2018 (modul Plastics) a Moldex3D, přičemž v programu Moldex3D byla analýza uskutečněna společně s odborníkem ze společnosti Witte Nejdek, spol. s.r.o.

Zadání analýzy

- Popsat základní materiál, nastavení analýzy, sítě a další atributy
- Provést analýzu v programech: Solidworks 2018, Moldex
- Zhodnotit a popsat průběh vstříkovacího procesu navržené formy pro sekvence:
 - Tok (Plnění)
 - Dotlak
 - Deformace
 - Chlazení



Obrázek 1: Model pro analýzu vstříkovacího cyklu, Solidworks 2018

1 Simulace vstřikování

Cílem této analýzy je provést analýzu přenosu tepla a zjistit šíření teploty ve formě pro všechny sekvence.

2 Základní popis analýzy

2.1 CAD model

Model vstřikovaného dílu je dokončen a na jeho vstřikování je navržená vstřikovací forma v programu Catia V5 R26.

2.2 Příprava dat

Vtokový systém včetně dutin byl převeden na formát *.STP a křivky chlazení na formát *.IGS, tyto formáty lze otevřít v programu Solidworks 2018 a Moldex.

3 Informace a parametry analýzy (Solidworks 2018)

3.1 Informace o modelu

Typ	Tělo
Počet prvků	2206503
Počet uzlů	510352
Plocha symetrie	Ne
Objem	49.98 (cm ³)
Hmotnost	68.77 (g)
Velikost	164.61 x 164.61 x 107.03 (mm)

Tabulka 1: Informace o modelu

3.2 Informace o materiálu

Název materiálu	PA6GF30
Název produktu	(P) BASF / ULTRAMID B3EG6 [1]
Teplota taveniny	268.00 °C
Teplota formy	90.00 °C
Teplota vyhazování	185.00 °C
Teplota přechodu na sklovitost	218.00 °C
Měrné teplo	2.760000e+007 erg/(g-C)
Tepelná vodivost	1.250000e+004 erg/(s-cm-K)
Youngův modul pružnosti	4.100000e+010 dyne/cm ²
Poissonova konstanta	5.400000e-001

Tabulka 2: Informace o materiálu

3.3 Parametry procesu

3.3.1 Nastavení plnění

Doba plnění	2.57 s
Teplota taveniny hlavního materiálu	280 °C
Teplota stěny formy	85 °C
Mezní vstříkovací tlak	150 MPa
Limit průtoku	194 cc/s
Bod přechodu plnění/dotlak (% vyplněného objemu)	100 %
Doba udržování tlaku	4.78 s
Celkový čas ve fázi dotlaku	16.98 s
% vláken (od 0 do 100)	30 %
Automatický čas plnění (1: Ano, 0: Ne)	1
Automatický čas dotlaku (1: Ano, 0: Ne)	0
Analýza od vzdušnění (1: Ano, 0: Ne)	0
Počáteční tlak vzduchu dutiny	0.1 MPa
Počáteční teplota vzduchu dutiny	25 °C
Kritéria teploty pro nedolisky (1: Ano, 0: Ne)	1
Kritéria teploty pro nedolisky	100 °C
Limit upínací (uzavírací) síly	100 t

Tabulka 3: Nastavení plnění

3.3.2 Nastavení deformace

Teplota vzduchu	25 °C
-----------------	-------

Tabulka 4: Nastavení deformace

3.3.3 Nastavení formy

Velikost bloku formy	190 x 246 x 295 mm
Materiál formy	Ocel, 420SS

Tabulka 5: Nastavení formy

3.3.4 Nastavení chlazení

Teplota taveniny	280 °C
Min. teplota chladiwa	85 °C
Teplota vzduchu	25 °C
Čas otevření formy	5 s
Průměrný průtok chladiwa	125 cc/s
Typ regulace (1: Teplota vyhaz., 2: Čas chlazení)	1
Teplota vyhazování (pokud je typ řízení "1")	185 °C
Doba chlazení (pokud je typ řízení "2")	19.55 s
Chladičí médium	Voda

Tabulka 6: Nastavení chlazení

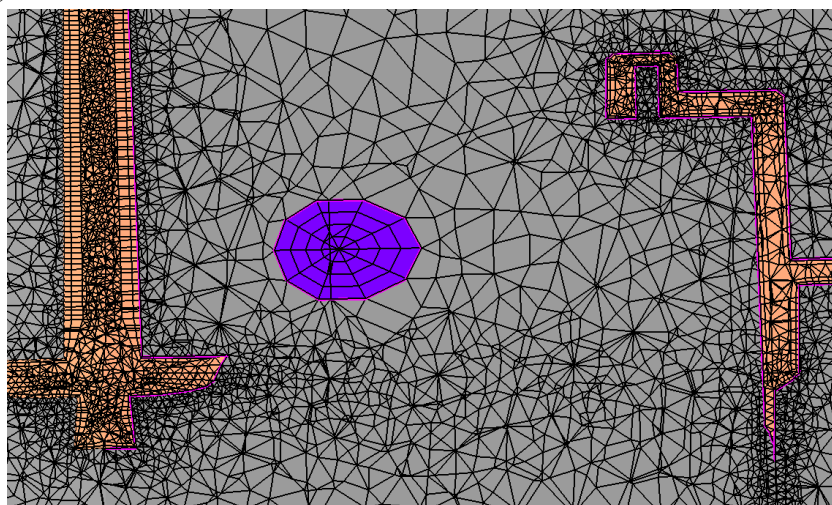
4 Příprava analýzy (Solidworks 2018)

4.1 Síťování modelu

Pro analýzu byla vytvořena 3D síť, tzv. hybridní, která zobrazuje výsledek nejpřesněji v porovnání s jinými druhy 3D sítí, je tvořena hraničními prvky na povrchu a čtyřstěnnými prvky v jádru. V určitých místech došlo k manuálnímu zjemnění sítě, v dalších místech byla síť vytvořena v ručním typu domény automaticky pro zadané diference zjemnění a velikosti elementů. Model je tvořen celkově z 2 206 503 elementů a 510 352 uzlů.

Vytvořená síť byla vodotěsná (nenacházejí se v ní díry) a obsahovala akceptovatelný minimální počet špatných prvků (<15 %), velmi špatné prvky se odstranily zpřesněním a úpravou sítě, maximální poměr stran elementů byl pod 20, což bylo také akceptovatelné.

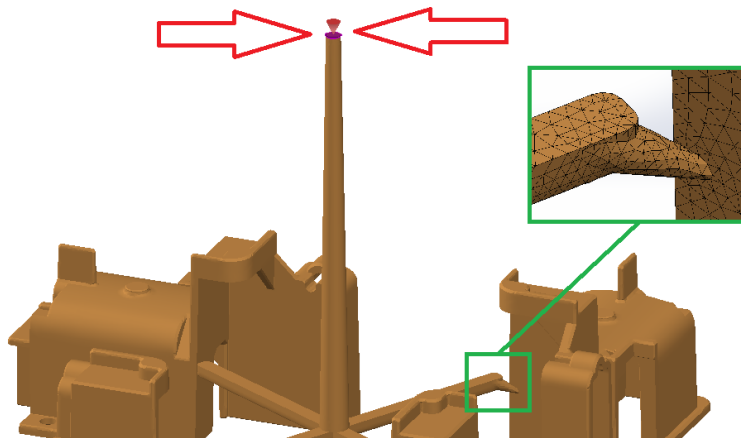
Rozdělení sítě na domény typů (Obrázek 2): dutina (oranžová), chladicí kanál (fialová) a forma (šedá)



Obrázek 2: Hybridní síť analyzovaného modelu

4.2 Umístění vtoku

Jedná se o místo, kde roztavený plast proudí z vtokové soustavy (rozváděcích kanálů) do dutin dílů. Při simulaci bylo použito místo vrcholu vtokového kuželu pro vtokovou soustavu, která je složená z vtokového zbytku a čtyř dutin, proudění z vtokového zbytku do dutin je zprostředkováno tunelovým ústím vtoku (viz detail, Obrázek 3).



Obrázek 3: Zobrazení umístění vtoku pro analýzu a vtokového ústí (vpravo)

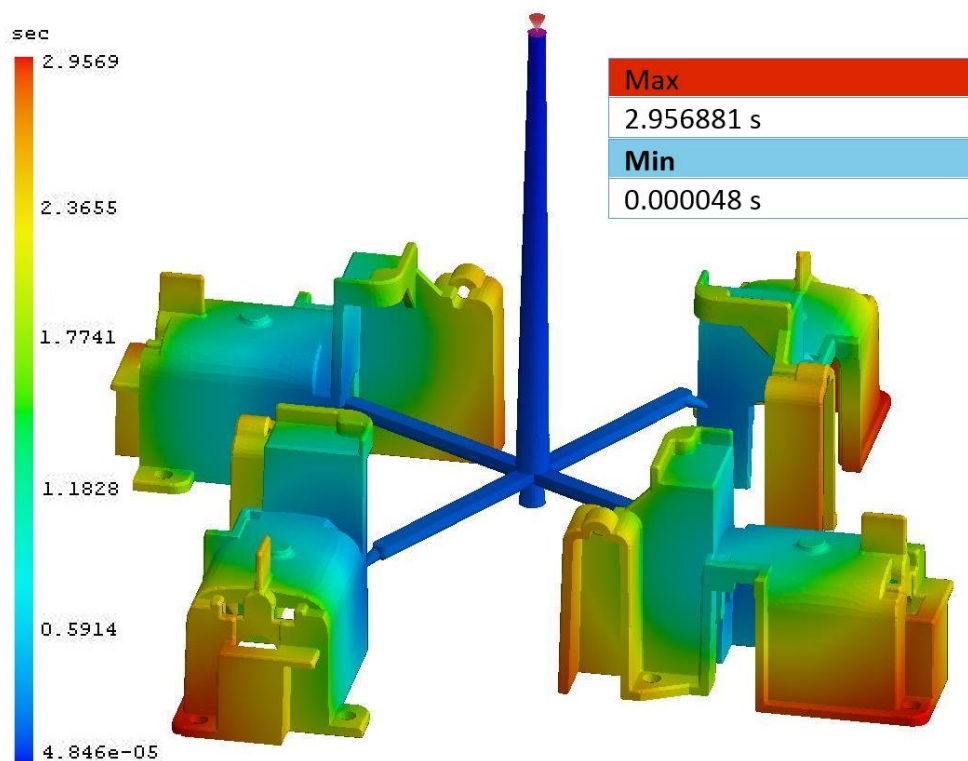
5 Výsledky analýzy (Solidworks 2018)

5.1 Výsledky plnění

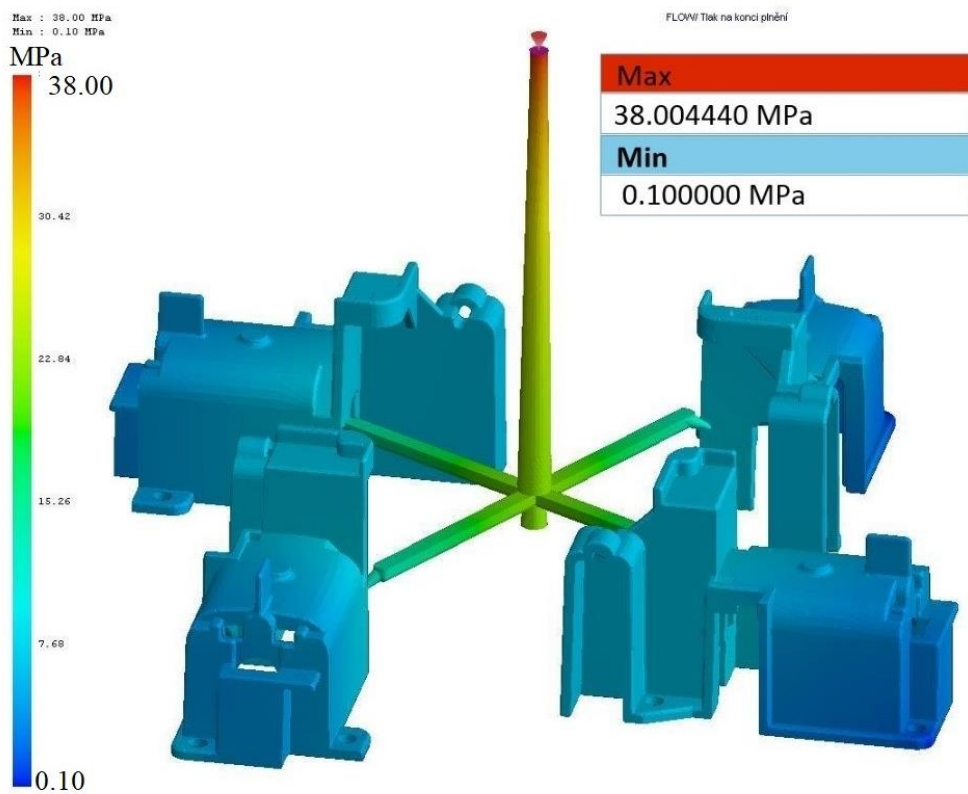
Tato část analýzy zobrazuje výsledky v průběhu a na konci fáze plnění. Doba plnění vtokové soustavy trvala přibližně 2,96 s (Obrázek 4), celková doba čistého chlazení 12 s, doba udržování tlaku 5 s a čas otevření formy 5 s, celková doba cyklu byla 24,98 s. Tlak na konci fáze plnění byl 38 MPa (Obrázek 5).

Upínací (uzavírací) síla	3.3117 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru X	5.7100 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Y	5.7158 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Z	3.3117 t
Vyžadovaný tlak vstřikování	38.0044 MPa
Max. reálná teplota	284.1528 °C
Max. střední objemová teplota	284.0843 °C
Max. smykové napětí	0.3616 MPa
Max. smyková rychlost	12736.3200 1/s
Čas procesoru	4679.15 s
Doba cyklu	24.98 s
- 1. Doba plnění	2.96 s
- 2. Celkový čas ve fázi dotlaku	17.02 s
- a). Doba udržování tlaku	5.02 s
- b). Doba čistého chlazení	12.00 s
- 3. Čas otevření formy	5.00 s

Tabulka 7: Nastavení plnění

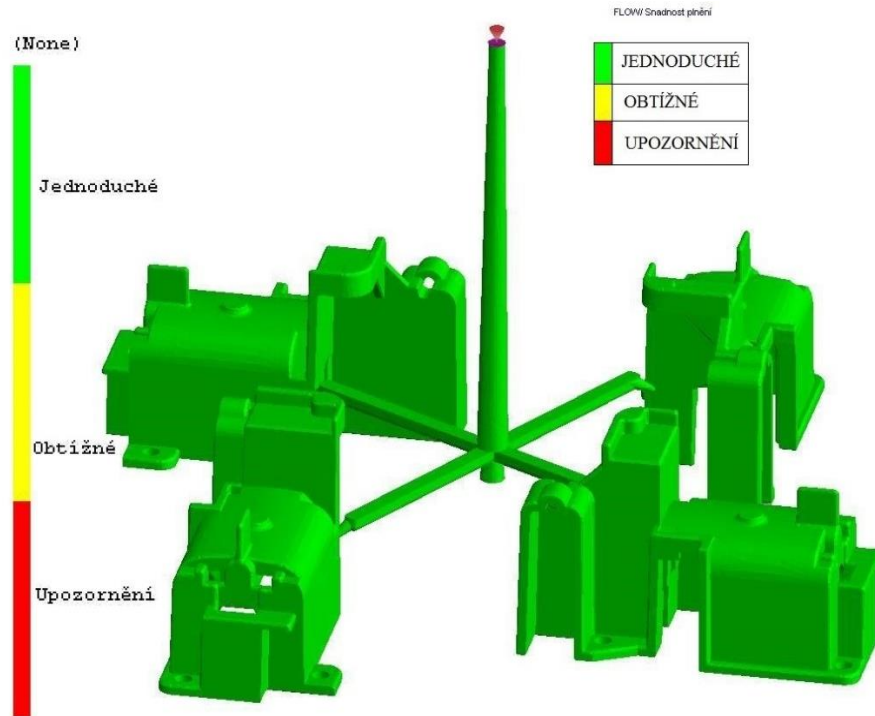


Obrázek 4: Doba plnění [s]



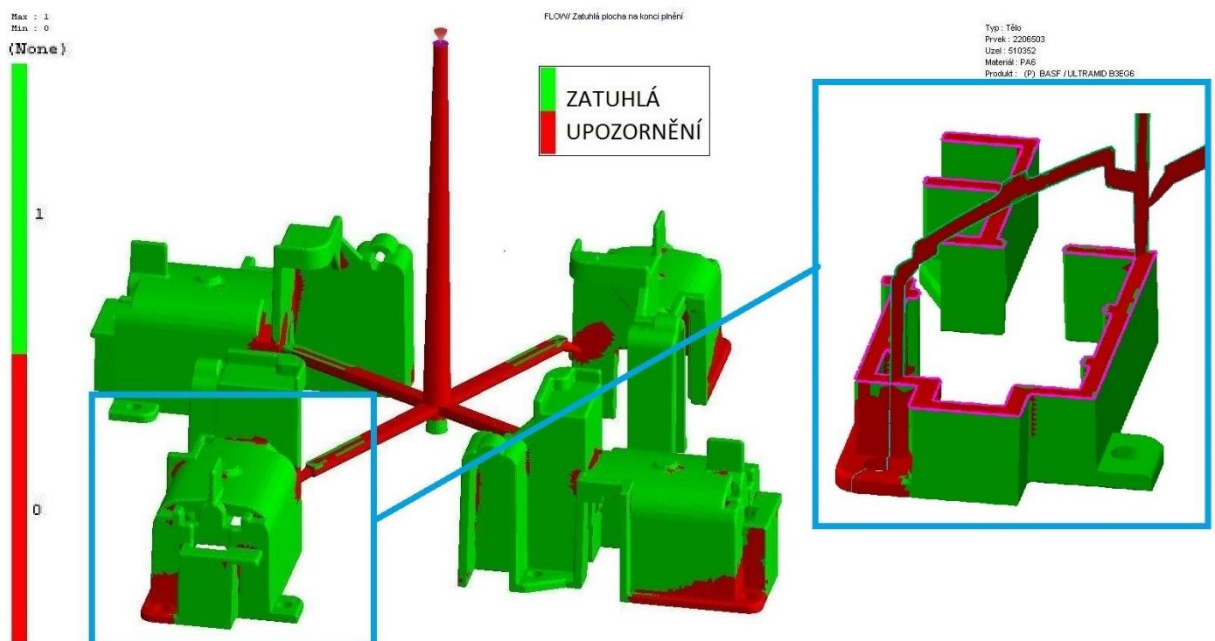
Obrázek 5: Tlak na konci plnění [MPa]

Díl bylo dle analýzy možné úspěšně vyplnit (Obrázek 6), *zeleně* označená místa jsou taková, která lze vyplnit s použitím normálního vstřikovacího tlaku (menší než 70% maximálního vstřikovacího tlaku), *žlutá* a *červená* by tento tlak překročovala.



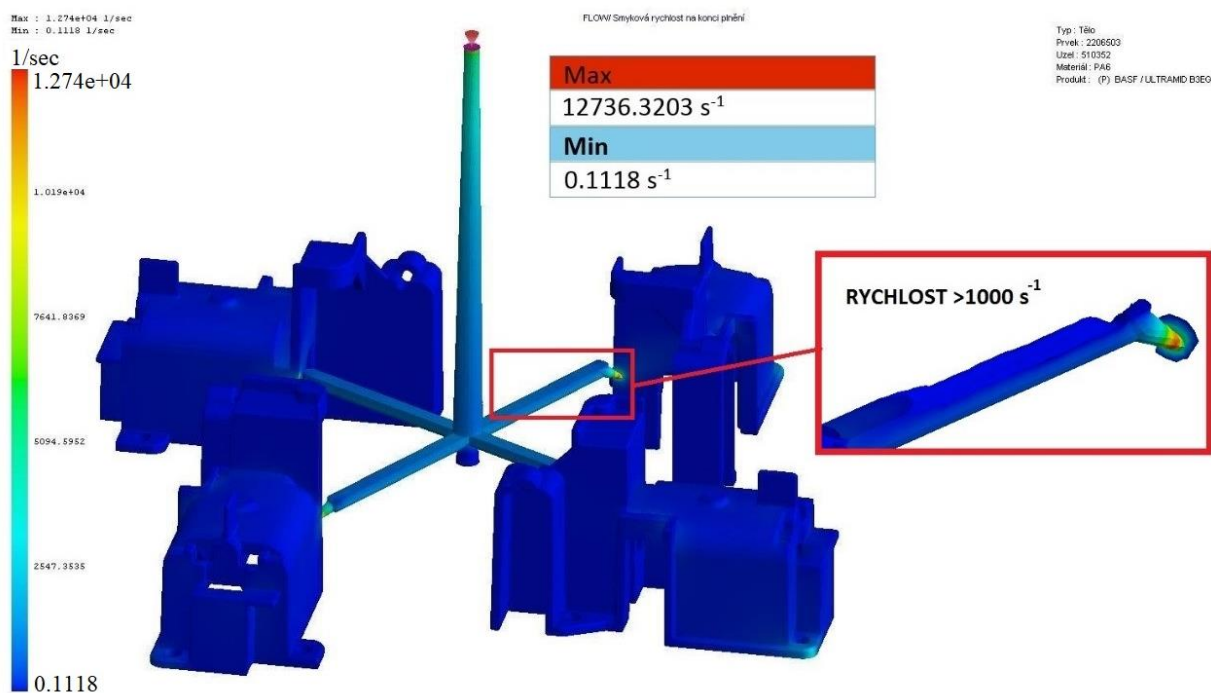
Obrázek 6: Snadnost plnění [-]

Zatuhlá plocha (Obrázek 7) byla na konci fáze plnění ztuhlá pouze lokálně a jen na povrchu, materiál tedy není ztuhlý v celém objemu a díky této skutečnosti bylo možné provádět fázi dotlaku.



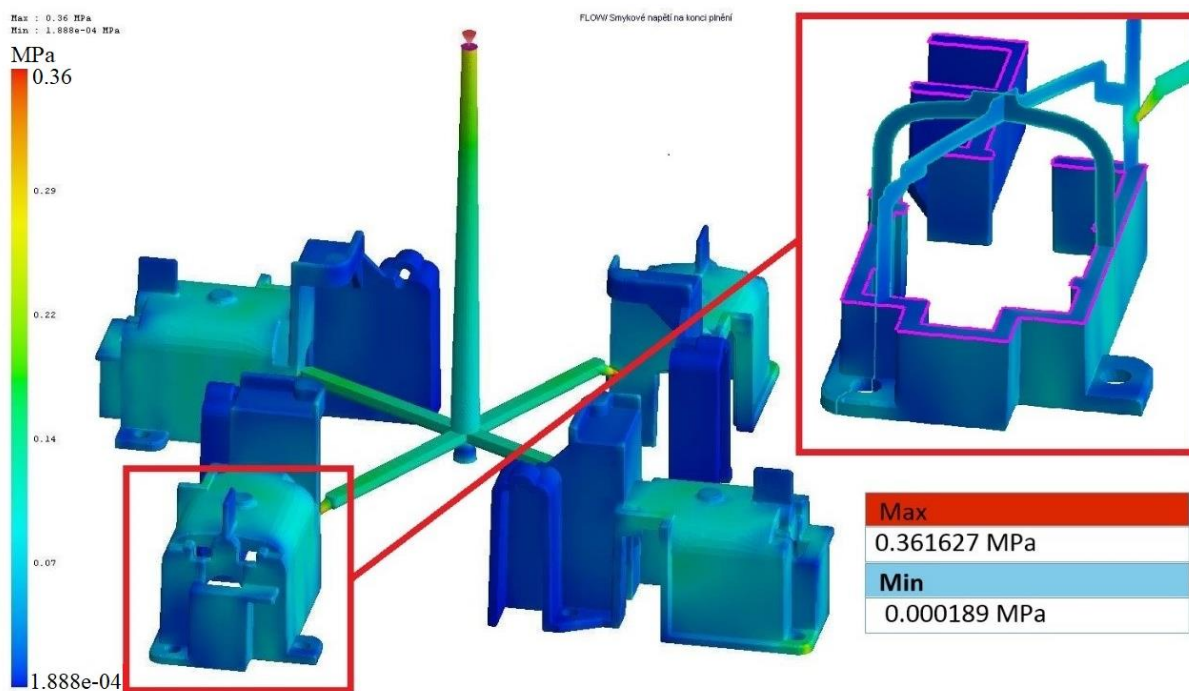
Obrázek 7: Zatuhlá plocha na konci plnění a její řez [-]

Smyková rychlost udává rychlost pohybu vrstev kapaliny, která se pohybuje s odlišnou vrstvou kapaliny o jiné rychlosti. Pokud by byla rychlost 0 s^{-1} materiál by se vzhledem ke stěně nepohyboval. Nejvyšší smyková rychlost (Obrázek 8) je na ústí vtoku s hodnotou přibližně $12736,3 \text{ s}^{-1}$ a dle materiálového listu [1] je maximální hodnota 58800 s^{-1} , tato hodnota tedy *vyhovuje* s velkou bezpečností. V případě překročení limitu by došlo k degradaci materiálu a z tohoto důvodu by byly nekvalitní, tudíž by byla nutná korekce, v tomto případě korekce tunelového ústí vtoku.



Obrázek 8: Smyková rychlost na konci plnění [s^{-1}]

Smykové napětí je míra smykové síly na jednotku plochy a zároveň směr smykové síly je rovnoběžný s rovinou působení síly. Nejvyšší smykové napětí (Obrázek 9) má hodnotu přibližně $0,36 \text{ MPa}$ a je v oblasti tunelového ústí vtoku, dovolená hodnota je dle materiálového listu [1] $0,5 \text{ MPa}$, zjištěná hodnota tedy *vyhovuje*.



Obrázek 9: Smykové napětí na konci plnění [MPa]

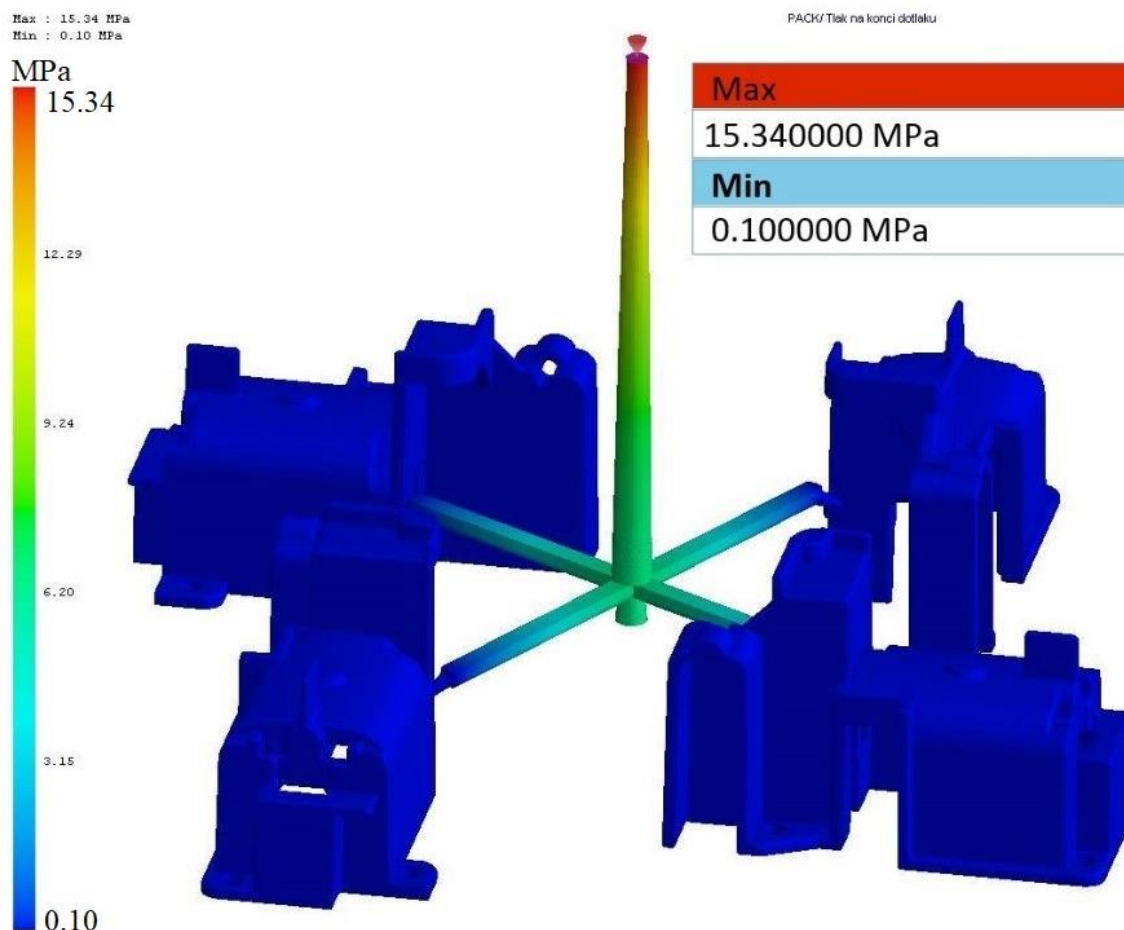
5.2 Výsledky dotlaku

Tato část analýzy zobrazuje klíčové parametry na konci fáze dotlaku.

Upínací (uzavírací) síla	18.6089 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru X	30.3669 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Y	30.3736 t
Upínací (uzavírací) síla ve směru Z	18.6089 t
Max. reálná teplota	255.4063 °C
Max. střední objemová teplota	280.1500 °C
Max. smykové napětí	0.3024 MPa
Max. smyková rychlost	338.0152 1/s
Max. zbytkové napětí	183.9019 MPa

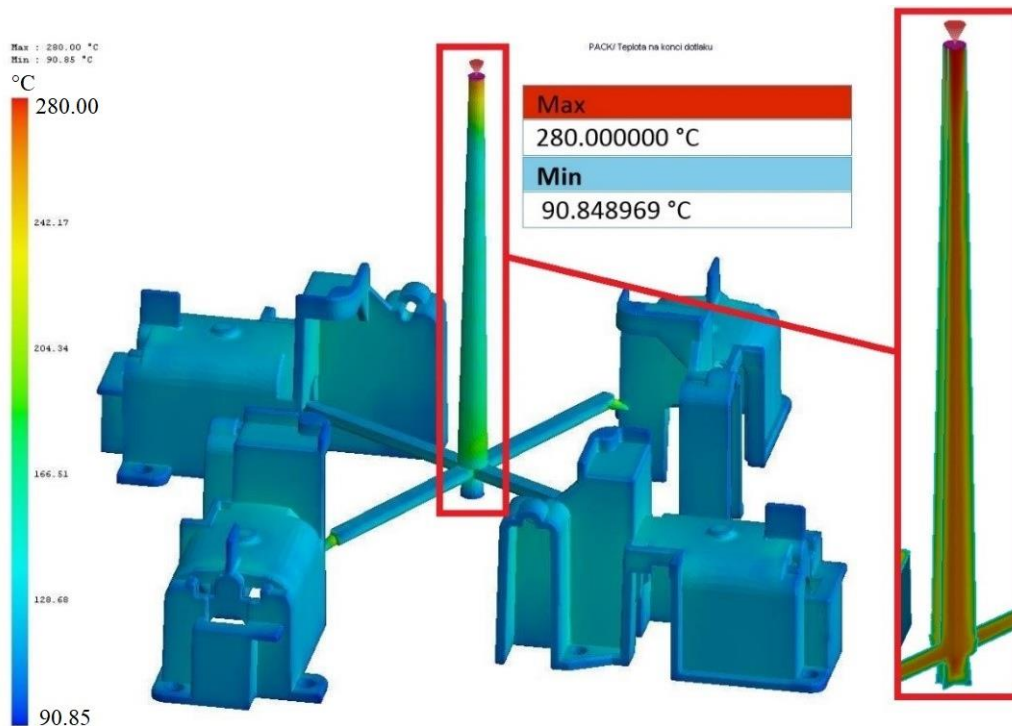
Tabulka 8: Výsledky dotlaku

Nejvyšší tlak na konci fáze dotlaku (Obrázek 10) je v oblasti vtokového zbytku, nulový noopak v dutinách dílů, to znamená, že díly jsou již vyplněné, či tunelové ústí vtoku ztuhlé.



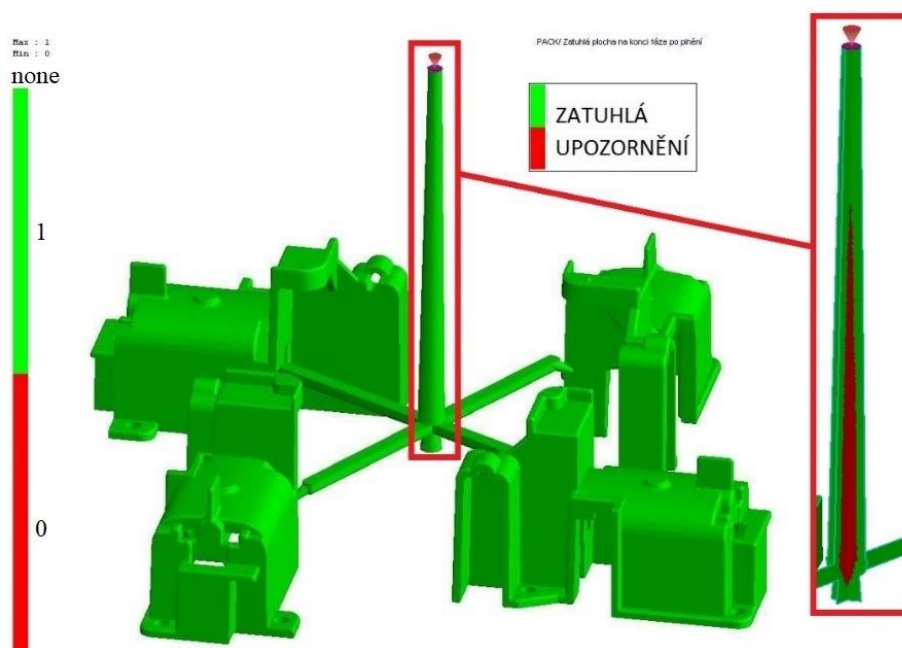
Obrázek 10: Tlak na konci dotlaku [MPa]

Teplota na konci fáze dotlaku (Obrázek 11) byla rovnoměrně rozložena s výjimkou vtokového kužele. Intenzita chlazení byla v této oblasti zvýšena vhodnou konstrukcí temperačního okruhu již při konstrukci formy a tímto byla snížena doba chlazení a zefektivněn vstřikovací proces, další úpravy se neprovedou, protože vtokový kužel má za úkol pouze přivést taveniny a protože to se nejedná o dutinu, nemusí být vychlazen na vyhazovací teplotu (zvýšilo by to dobu cyklu a náklady).



Obrázek 11: Teplota na konci dotlaku [°C]

Smyková rychlost s maximální hodnotou $338,1 \text{ s}^{-1}$ a smykové napětí s hodnotou $0,3 \text{ MPa}$ na konci dotlaku jsou v obou případech nižší, než tomu bylo ve fázi plnění a obě hodnoty *vyhovují* maximálním dovoleným hodnotám dle materiálového listu [1]. Plocha na konci fáze plnění (Obrázek 12) je již, s výjimkou vtokového kužele, v celém objemu zatuhlá.



Obrázek 12: Zatuhlá plocha na konci fáze po plnění [-]

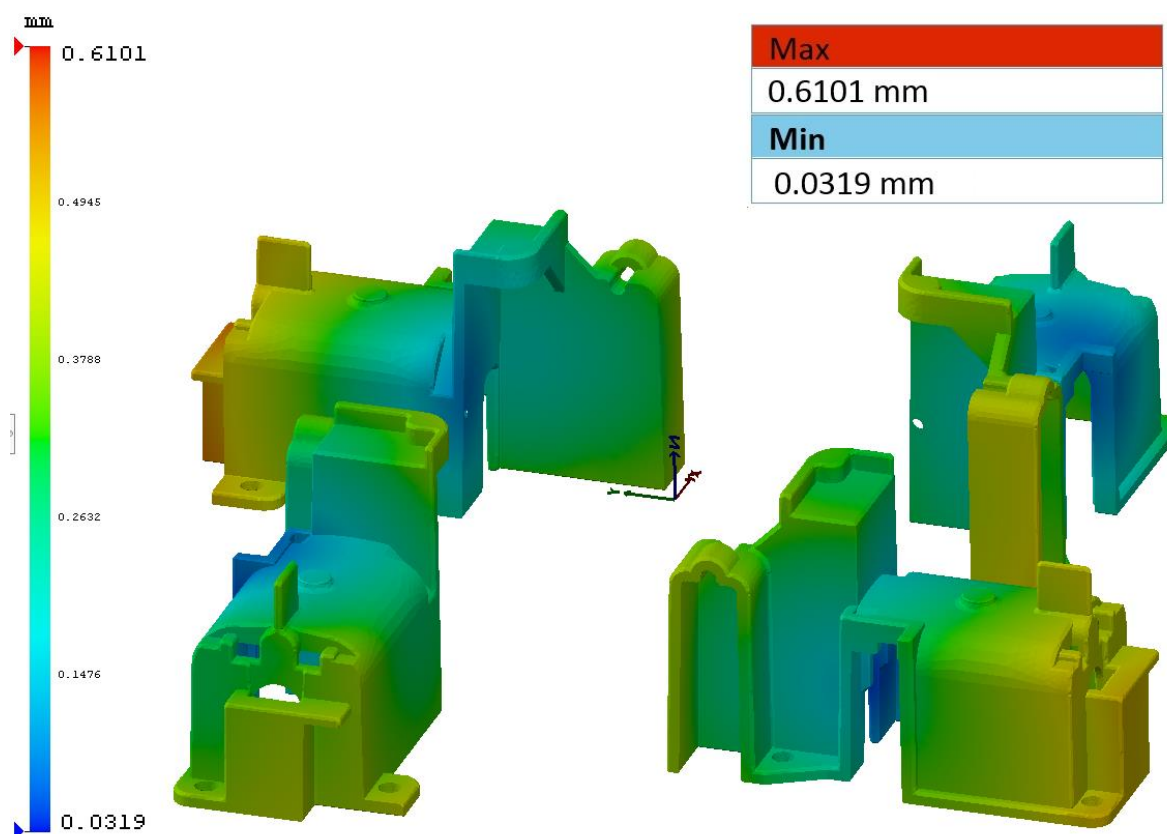
5.3 Výsledky deformace

Tato část analýzy zobrazuje výsledky deformace dílu následkem napětí při fázi plnění a dotlačování a dále také tepelného smršťování po vyhození a plném zchlazení dílu.

Posunutí ve směru X	1.6932 mm
Posunutí ve směru Y	0.9270 mm
Posunutí ve směru Z	1.7289 mm
Max. celkové posunutí	1.3231 mm
Celkový výpočetní čas	3081.14 s

Tabulka 9: Výsledky deformace

Posunutí vlivem celkového napětí bez vláken (Obrázek 13) zobrazuje deformaci dílu po jeho vstřikování, vyhození, zchlazení na pokojovou teplotu, ve výsledku jsou zohledněna veškerá napětí a teplotní účinky. Předpokládané deformace se dají snížit změnou technologických podmínek, chlazení, materiálu, původního návrhu dílu a v poslední řadě také úpravou konstrukce vstřikovací formy při její výrobě (korekce rozměrů vstřikovací formy).



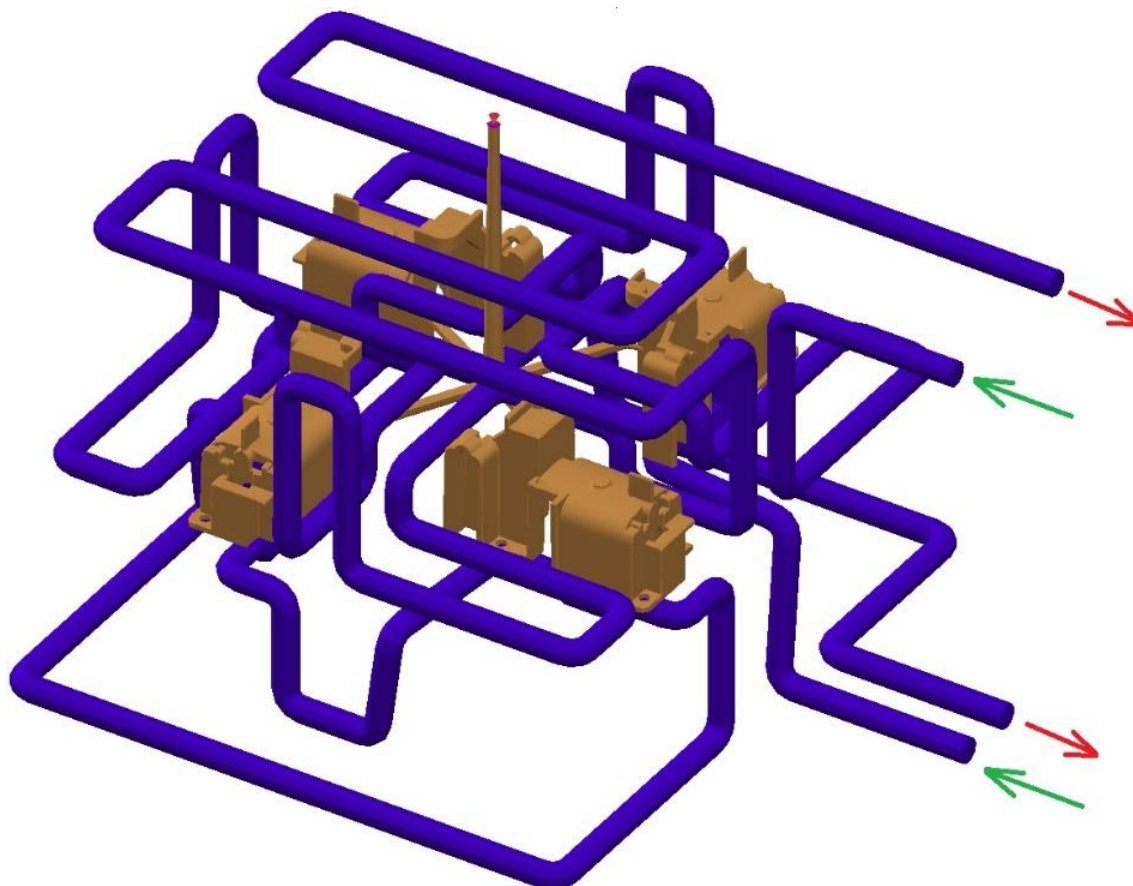
Obrázek 13: Posunutí vlivem celkového napětí (bez vláken) [mm]

5.4 Výsledky chlazení (temperování)

Tato část analýzy zobrazuje výsledky časů, teplot a tepelných toků v této fázi vstřikovacího cyklu. Je třeba dbát na rovnoměrné chlazení a rozložení teplot v dílu, toto vede k rovnoměrnému smrštění a rozložení napětí, snižuje se tak pravděpodobnost deformace dílu.

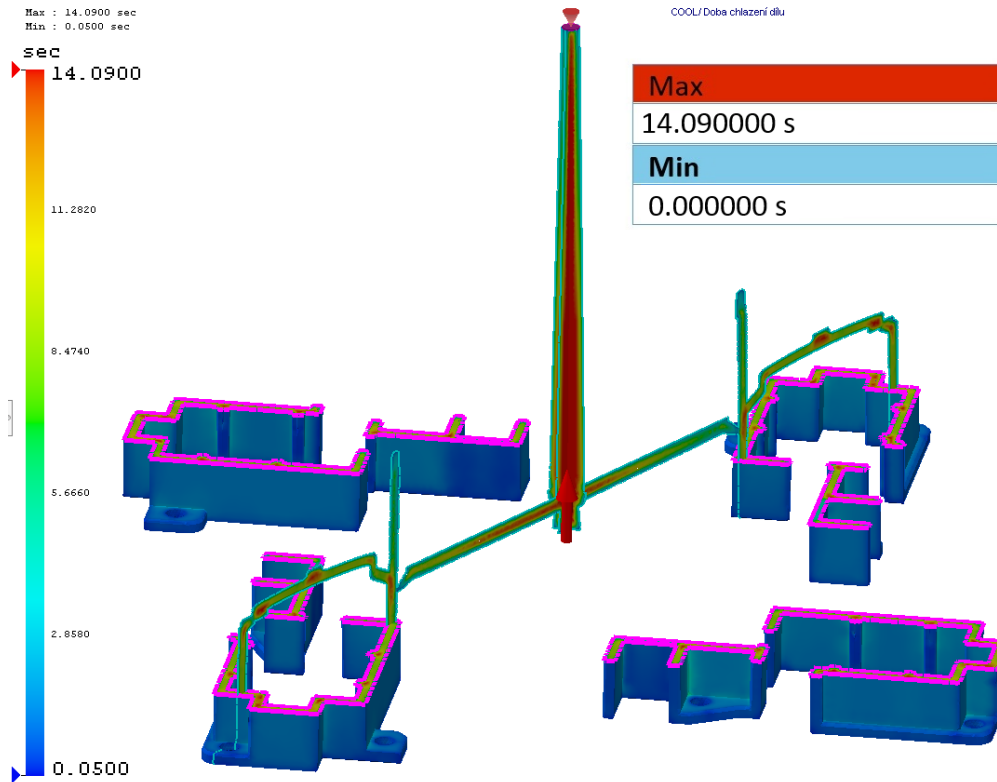
Průměrná doba chlazení dílu	5.97 s
Průměrná teplota dílu	177.08 °C
Průměrná teplota dutiny formy	103.05 °C
Průměrný tepelný tok dutiny formy	-2.82 J/cm ² -s
Průměrná tepelná zátěž dutiny formy	-39.21 J/cm ²
Průměrný tepelný tok chladicího kanálu	-0.16 J/cm ² -s
Průměrná tepelná zátěž chladicího kanálu	-2.24 J/cm ²
Teplotní rozsah dílu	86.01 ~ 284.01 °C
Teplotní rozsah dutiny formy	77.14 ~ 134.39 °C
Rozsah tepelného toku dutiny formy	-7.36 ~ -0.60 J/cm ² -s
Rozsah tepelné zátěže dutiny formy	-102.25 ~ -8.34 J/cm ²
Rozsah tepelného toku chladicího kanálu	-4.48 ~ 6.52 J/cm ² -s
Rozsah tepelné zátěže chladicího kanálu	-62.23 ~ 90.53 J/cm ²
Celkový výpočetní čas	2434.41 s

Tabulka 10: Výsledky chlazení (temperování)



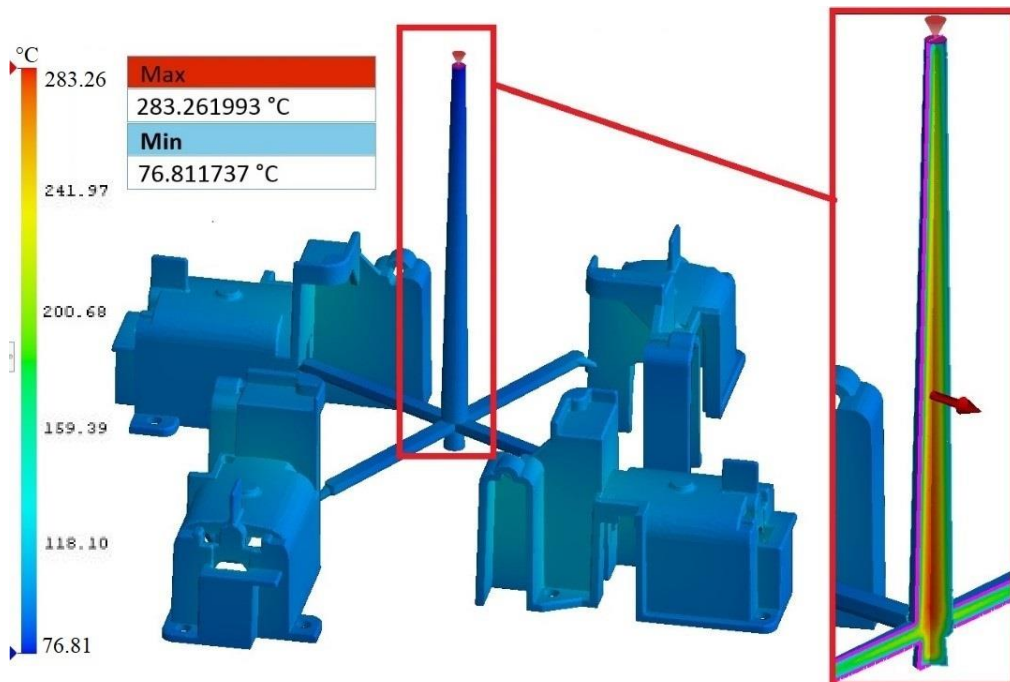
Obrázek 14: Model vtokové soustavy s 2 chladicími okruhy

Doba chlazení dílu velmi souvisí s tloušťkou materiálu, např. níže (Obrázek 15) lze vidět, že oblast vtokového kužele se bude chladit 14,09 s. Koncept chlazení v oblasti vtokového kužele nelze zanedbávat, sníží se tak celková doba cyklu, ale v praxi se dále tato oblast neřeší, důležité jsou především dutiny dílů.



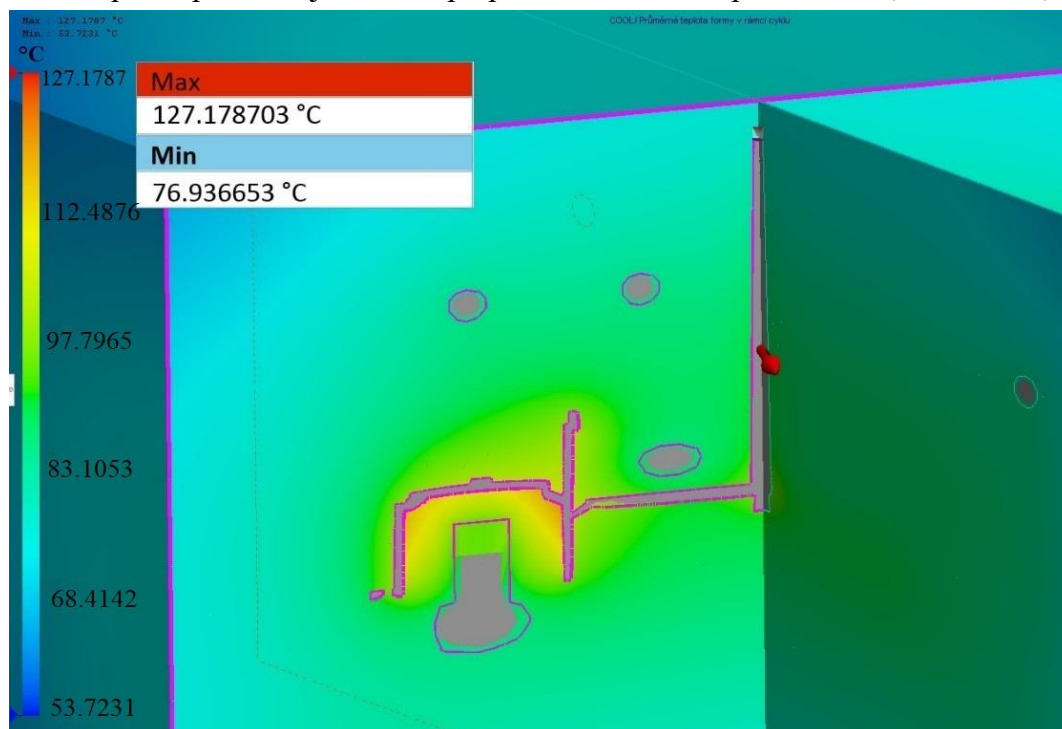
Obrázek 15: Doba chlazení dílu [s]

Soustava (Obrázek 16) dosahuje teplot pro vyhození výstřiku s výjimkou jádra vtokového kužele, která není důležitá (funkční) a další chlazení proto nebude navrhováno.



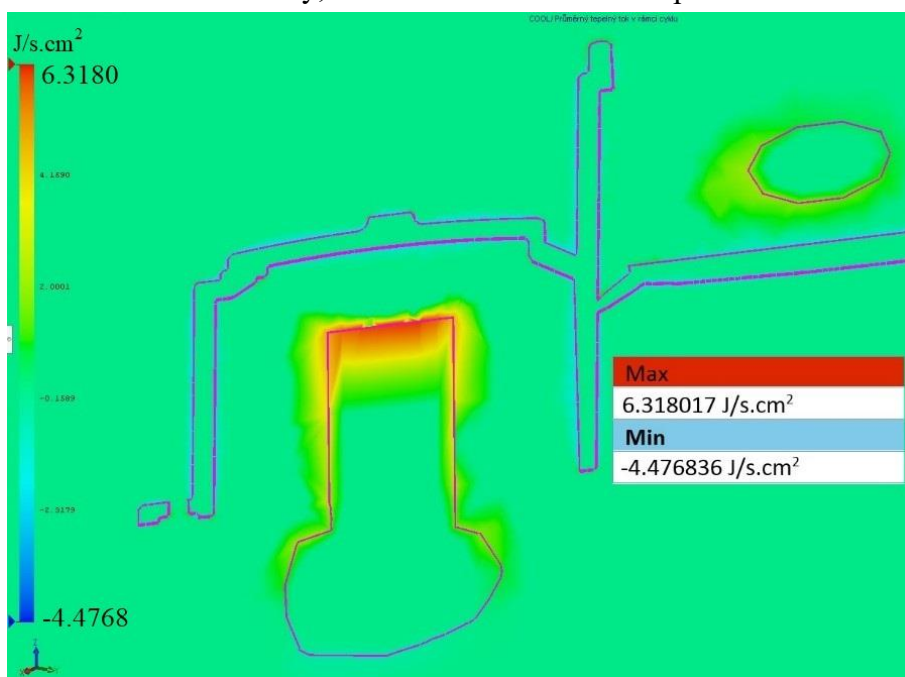
Obrázek 16: Teplota dílu na konci chlazení [°C]

Průměrná teplota formy v rámci cyklu (Obrázek 17) zobrazuje rozložení teplot ve formě. Lze vidět, že největší teplota je v jádře vstřikovaného dílu, kde je také vhodně zvolen koncept temperování jádra, tzv. přepážka, která toto teplo odebírá (Obrázek 18).



Obrázek 17: Průměrná teplota formy v rámci cyklu [°C]

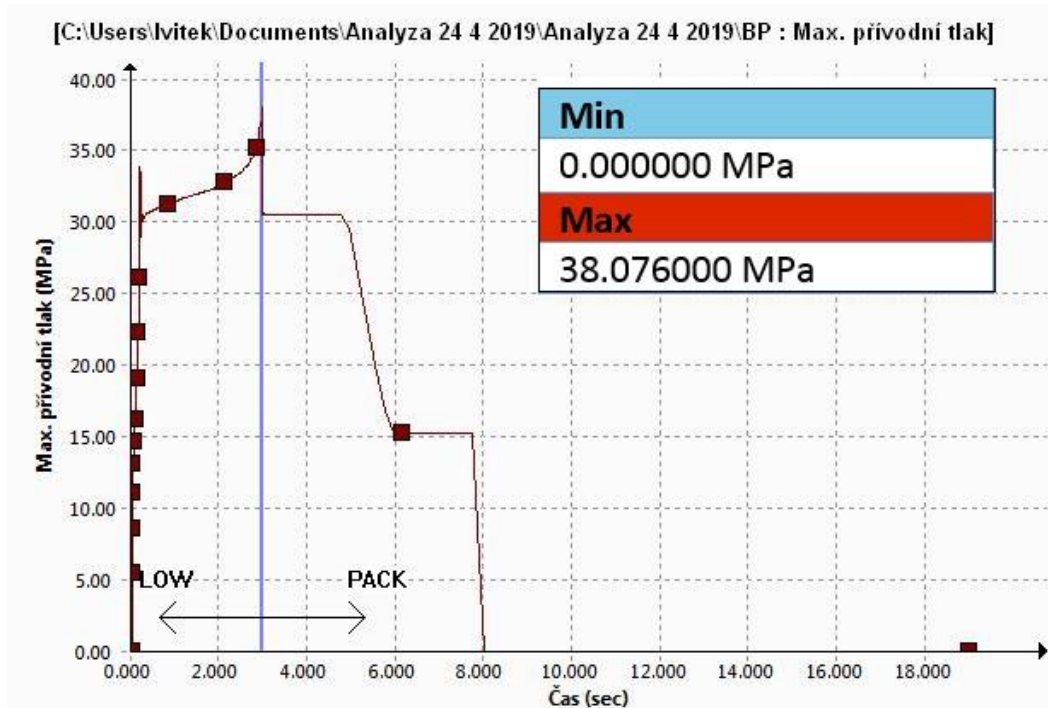
Sdílení tepla je zde možné kontrolovat pomocí analýz tepelných toků, např. na průměrném tepelném toku v rámci cyklu lze vidět, že nejvíce tepla přijme přepážka v jádře dílu a již méně chladicí kanál nad vtokovým kanálem, naopak na povrchu dílu je vidět nepatrná vrstva světle modré barvy, která značí odevzdávání tepla do okolí.



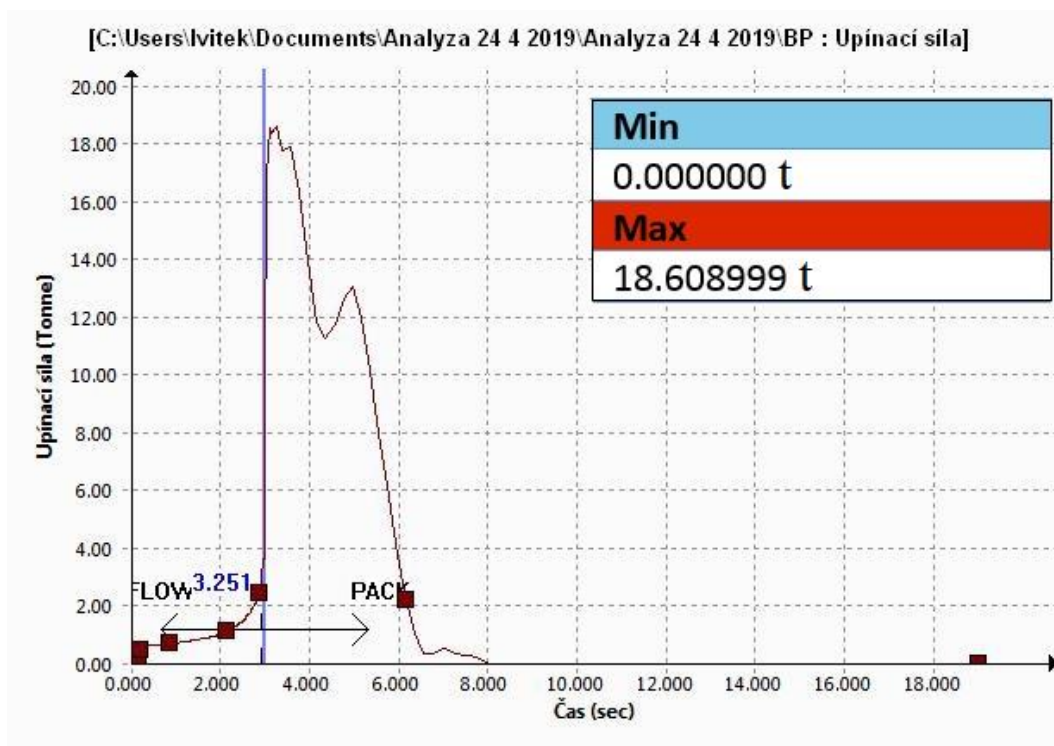
Obrázek 18: Průměrný tepelný tok v rámci cyklu [J/s.cm²]

5.5 Grafické závislosti

Pomocí grafů lze zobrazovat klíčové výsledky v závislosti na čase vstřikovacího cyklu, toto zobrazení lze provést pro jednotlivé uzly nebo pro celý analyzovaný model. Jako příklad je níže uveden výsledek tlaku a upínací (uzavírací) síly. Obě tyto hodnoty vyhovují maximálním hodnotám navrženého vstřikovacího stroje (Arburg Allrounder 370 E).



Graf 1: Maximální přívodní tlak

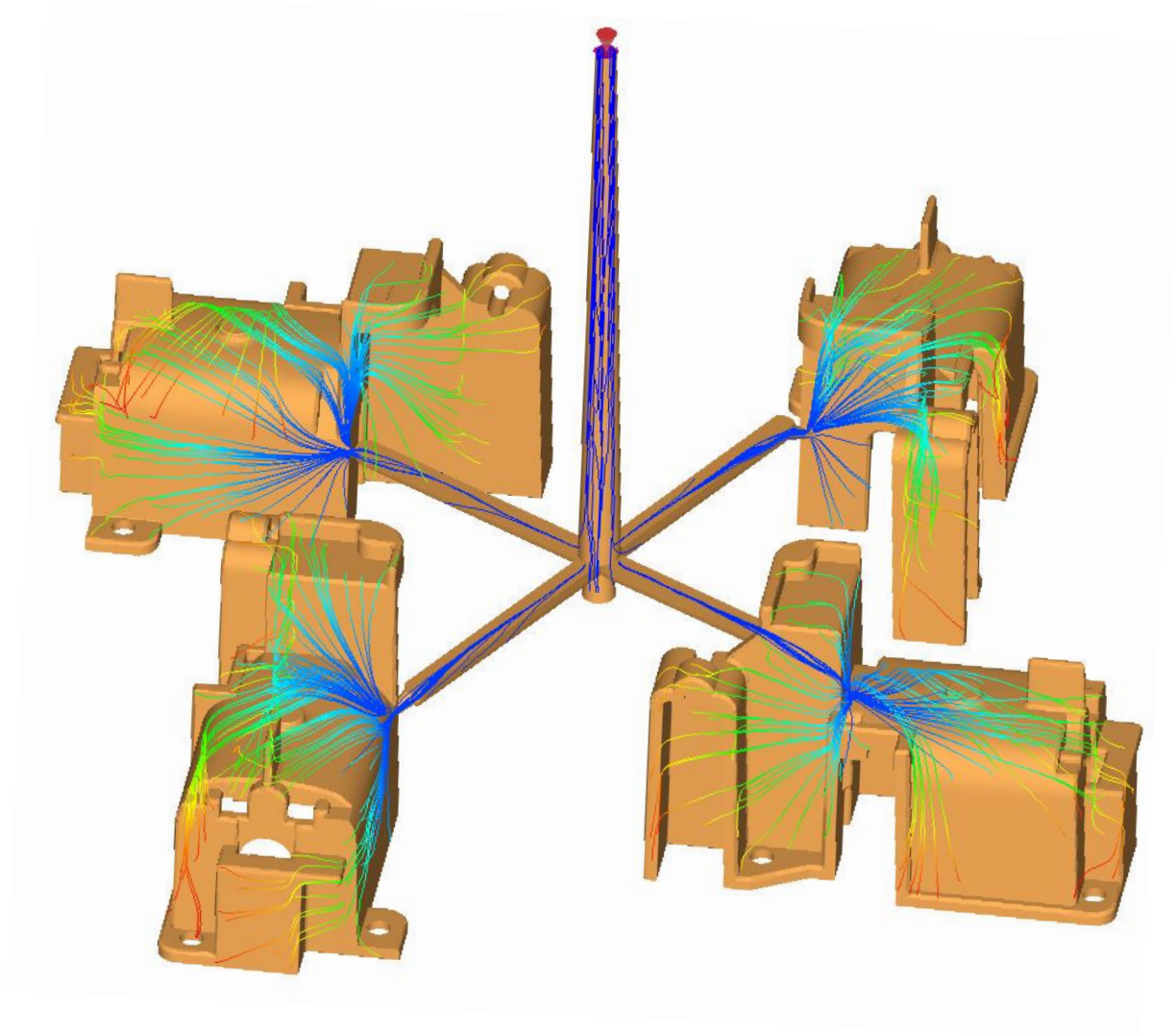


Graf 2: Upínací (uzavírací) síla

5.6 Pomocné analýzy

V programu Solidworks 2018, modulu Plastics lze mimo analýzy vstřikovacího cyklu provádět řadu dalších analýz, které mohou pomoci při návrhu dílu anebo představitosti konstruktéra, mezi tyto analýzy patří: analýza nominální tloušťky stěny, čára trasy (Obrázek 19), jednoduchá analýza předpovědi průběhu vtoku v procentuálním, časovém či objemovém měřítku (lze najít v předvolbách umístění vtokového ústí).

Tyto analýzy jsou velmi praktické již od samého počátku navrhování dílu. Čára trasy, či také délka toku je zobrazena níže.



Obrázek 19: Vícenásobná trasa proudění taveniny

6 Výsledky analýzy (Moldex)

Analýzy v programu Moldex byla uskutečněna společně s odborníkem ze společnosti Witte Nejdek, spol. s.r.o., nastavení této analýzy je velmi podobné tomu, které bylo vytvořeno v programu Solidworks 2018 (viz Kapitola 3).

V této části práce budou zobrazeny pouze výsledky, které v programu Solidworks 2018 nebylo možné vytvořit (nepodporuje je program), či výsledky, které jsou srozumitelné pro celkový výstup analýzy.

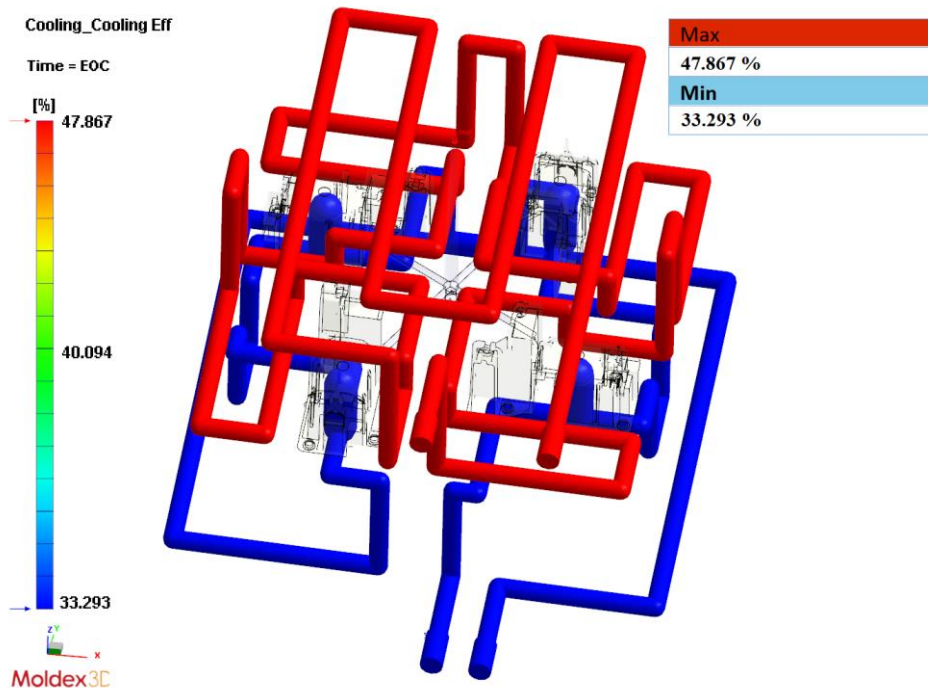
6.1 Nastavení analýzy

Item name	Item data
Mesh Type	eDesign5
No. cooling channel	2
Part dimension	164.605 x 164.605 x 42.806 (mm)
Mold dimension	271.293 x 271.293 x 271.293 (mm)
Cavity(Part) volume	46.7538 (cc)
Cold runner volume	3.01168 (cc)
Element number	2283429
Part elements	2086505
Node number	2342980
Material type	Thermoplastic
Generic name	PA6
Supplier	BASF
Trade name	Ultramid B3EG6
MFI	Unavailable
Fiber percent	30.00 (%)
Melt temperature range	270 - 290 (°C)
Mold temperature range	80 - 90 (°C)
Ejection temperature	150 (°C)
Freeze temperature	170 (°C)
Filling Time	1.28 (s)
Melt Temperature	280.0 (°C)
Mold Temperature	85.0 (°C)
Maximum Injection Pressure	155.00 (MPa)
Injection Volume	49.7655 (cc)
Packing Time	4.78 (s)
Maximum Packing Pressure	155.00 (MPa)
VP Switch by volume(%) filled	98.00 (%)
Mold Opening Time	5.00 (s)
Ejection temperature	150.0 (°C)
Air Temperature	25.0 (°C)
Cooling Time	12.20 (s)
Cycle Time	23.26 (s)

Tabulka 11: Nastavení analýzy

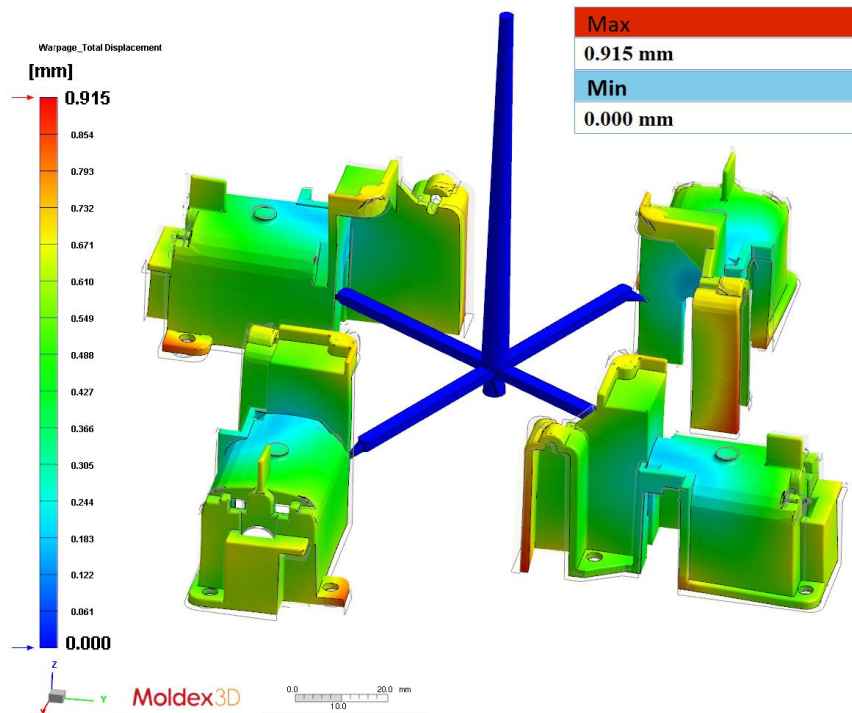
6.2 Výsledky analýzy

Navržené okruhy temperačních systémů dosahují přibližné efektivity 33 % a 48 % (Obrázek 20), toto číslo je v praxi, dle kvalifikovaného odhadu, považováno za vysoké.



Obrázek 20: Efektivita temperačních okruhů [%]

Celková deformace vtokové soustavy (Obrázek 21) dosáhla maximální hodnoty 0,9 mm, vliv na rozměrovou přesnost má zejména korekce rozměrů vstřikovací formy a návrh dílů, tato korekce může být i několikanásobná a musí vyhovět požadavkům zákazníka.



Obrázek 21: Celková deformace [mm]

7 Závěr

Analýzy byly provedeny ve dvou programech, program Solidworks 2018 (modul Plastics) a program Moldex3D. Výsledky se přibližně shodují s výjimkou celkové deformace, tato odchylka může být dána rozdílným softwarem anebo malou odchylkou v nastavení simulace. Oba programy mají podobné druhy výstupů analýz a při návrhu vstříkovaných dílů a forem se dají s výhodou použít již od samotného počátku.

Technologické podmínky obou analýz byly nastaveny pro vstříkovaný materiál PA6 GF30 (ULTRAMID B3EG6, [1]),

Vstříkovanou soustavu (vtokový kužel, vtokové kanály, dutiny) lze úspěšně vyplnit vstříkovacím tlakem $38,1 \text{ MPa}$ a v době vstříkovacího cyklu $24,98 \text{ s}$. Maximální hodnoty smykového napětí ($0,36 \text{ MPa}$) a smykové rychlosti ($12736,3 \text{ s}^{-1}$) ve vstříkovacím procesu nepřesahují maximální dovolené hodnoty dle materiálového listu (ULTRAMID B3EG6, [1]).

Navržené okruhy temperačních systémů dosahují přibližné efektivity 33 % a 48 %, tato hodnota je, dle kvalifikovaného odhadu, vysoká a v praxi se lze setkat běžně s nižšími účinnostmi temperování, může to být zapříčiněno např. požadavkem nižších nákladů na výrobu formy. Nejvyšší hodnota tepelného toku a teploty formy bylo v oblasti jádra dílu, temperování jádra bylo vhodně navrženo a nadměrné teplo z této oblasti efektivně odváděno (viz Obrázek 18). Temperování v oblasti vtokového kužele bylo vhodně navrženo, teplo odvádí, ale i přesto nedosahuje jádro vtokového kužele vyhazovací teploty, tato skutečnost není považována za problém, protože se nejedná o samotné dutiny dílů, které určují výšku celkových nákladů, pokud by se jádro chladilo, celková doba vstříkovacího cyklu by byla značně vyšší.

Dále byly ověřeny hodnoty uzavírací síly a maximálního přivodního tlaku, obě tyto hodnoty vyhovují dle katalogového listu zvoleného vstříkovacího stroje (Arburg Allrounder 370 E).

Cíle této analýzy byly splněné, vstříkovací forma je funkčně navržena a analýzami zjištěné hodnoty vyhovují dle zadaného vstříkovaného materiálu (ULTRAMID B3EG6, [1]) a zvoleného vstříkovacího stroje (Arburg Allrounder 370 E).

8 Citovaná literatura

1. **Corporation, BASF.** Ultramid B3EG6. *plasticsportal*. [Online] 14. listopad 2018.
<http://www.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=iso¶m=Ultramid+B3EG6>.
2. **Solidworks.** Plastics. *Poradce pro výsledky*. 2018.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Model pro analýzu vstřikovacího cyklu, Solidworks 2018.....	2
Obrázek 2: Hybridní síť analyzovaného modelu	5
Obrázek 3: Zobrazení umístění vtoku pro analýzu a vtokového ústí (vpravo).....	5
Obrázek 4: Doba plnění [s]	7
Obrázek 5: Tlak na konci plnění [MPa].....	7
Obrázek 6: Snadnost plnění [-]	8
Obrázek 7: Zatuhlá plocha na konci plnění a její řez [-]	8
Obrázek 8: Smyková rychlost na konci plnění [s^{-1}].....	9
Obrázek 9: Smykové napětí na konci plnění [MPa]	10
Obrázek 10: Tlak na konci dotlaku [MPa].....	11
Obrázek 11: Teplota na konci dotlaku [$^{\circ}C$]	12
Obrázek 12: Zatuhlá plocha na konci fáze po plnění [-].....	12
Obrázek 13: Posunutí vlivem celkového napětí (bez vláken) [mm].....	13
Obrázek 14: Model vtokové soustavy s 2 chladicími okruhy.....	14
Obrázek 15: Doba chlazení dílu [s]	15
Obrázek 16: Teplota dílu na konci chlazení [$^{\circ}C$]	15
Obrázek 17: Průměrná teplota formy v rámci cyklu [$^{\circ}C$].....	16
Obrázek 18: Průměrný tepelný tok v rámci cyklu [$J/s.cm^2$]	16
Obrázek 19: Vícenásobná trasa proudění taveniny.....	18
Obrázek 20: Efektivita temperačních okruhů [%]	20
Obrázek 21: Celková deformace [mm].....	20

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Informace o modelu.....	3
Tabulka 2: Informace o materiálu.....	3
Tabulka 3: Nastavení plnění	4
Tabulka 4: Nastavení deformace	4
Tabulka 5: Nastavení formy	4
Tabulka 6: Nastavení chlazení.....	4
Tabulka 7: Nastavení plnění	6
Tabulka 8: Výsledky dotlaku.....	11
Tabulka 9: Výsledky deformace	13
Tabulka 10: Výsledky chlazení (temperování).....	14
Tabulka 11: Nastavení analýzy.....	19

11 Seznam grafů

Graf 1: Maximální přívodní tlak.....	17
Graf 2: Upínací (uzavírací) síla	17

PŘÍLOHA č. 6

Podklady pro technicko-ekonomické zhodnocení



Nabídka č.: 644923

Ze dne: 30/04/2019

Poptávka kupujícího: 300419

Strana: 1

Prodávající:Feronia, a.s.; Havlíčkova čp. 1043/11, 111 82 Praha 1
IČO: 26440181; zapsána v OR MěS v Praze B.7143**Kontaktní adresa pobočky:**ČSA 730; 783 53 Velká Bystřice
Bankovní spojení: 1000497701/3500
IBAN: CZ93 3500 0000 0010 0049 7701
BIC(SWIFT): INGBCZPP
Peněžní ústav: JNG Bank N.V.
Českomoravská 2420/15, 190 00 Praha 9

SKLAD 71 OLOMOUC

772 30 .

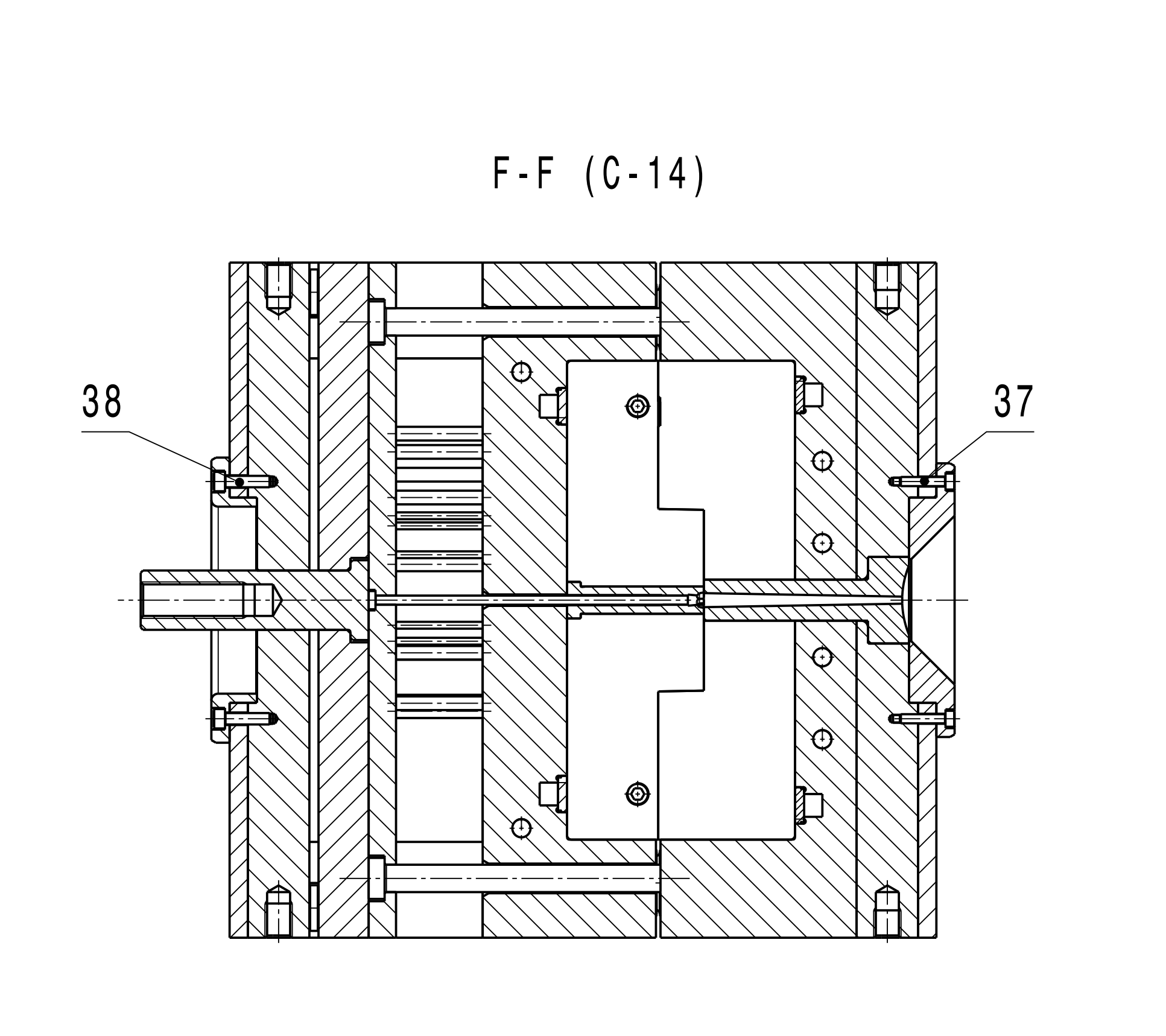
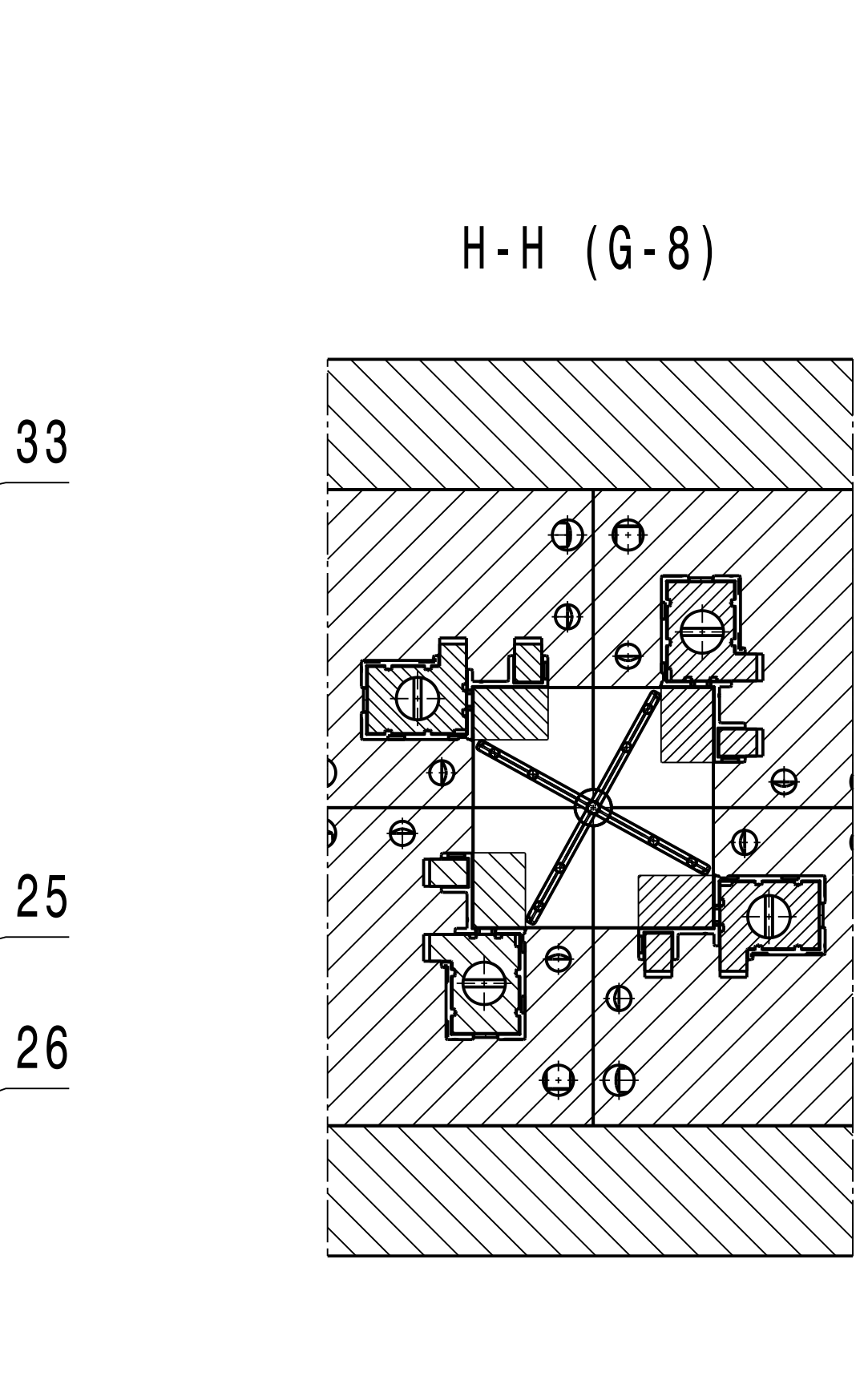
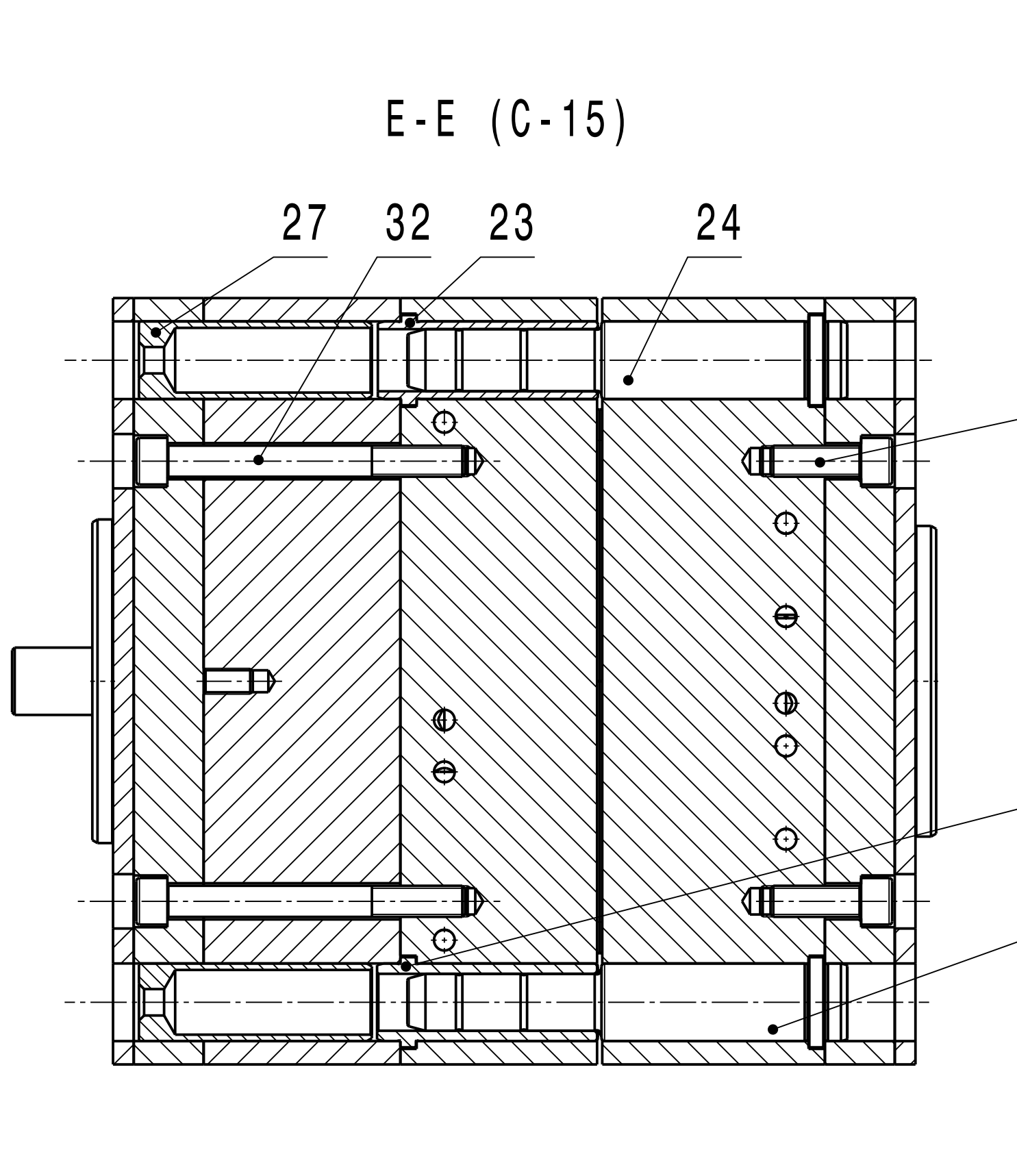
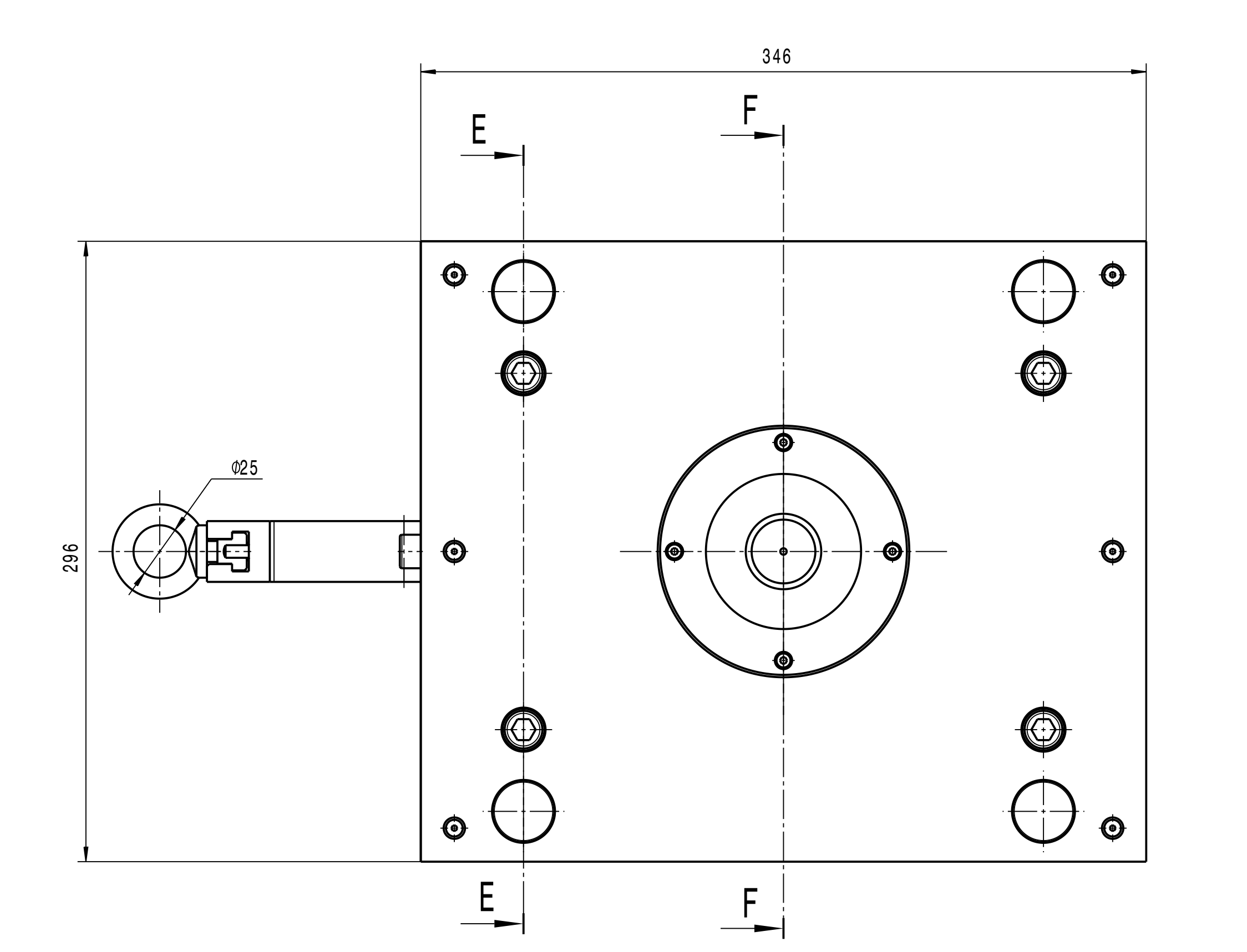
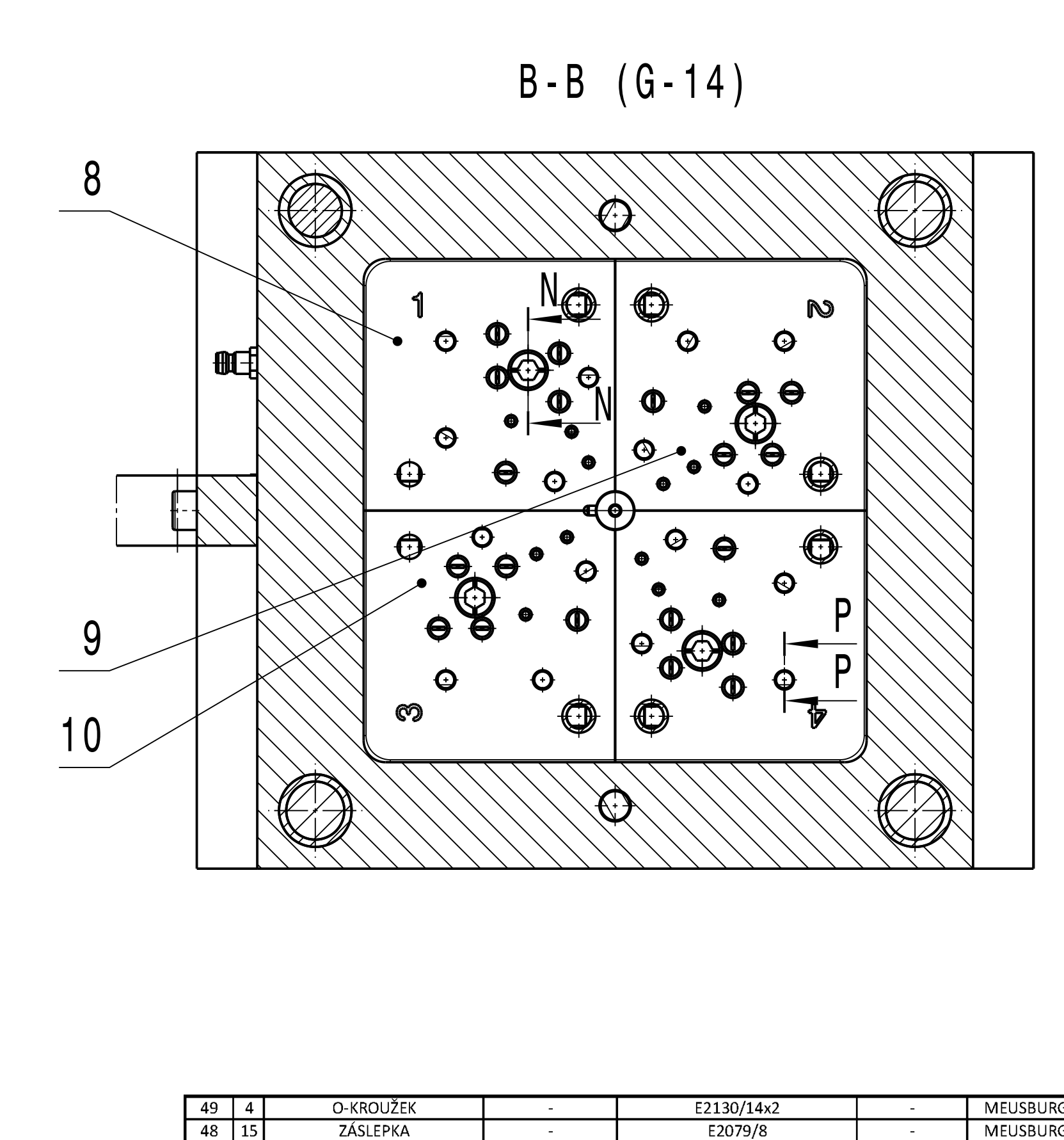
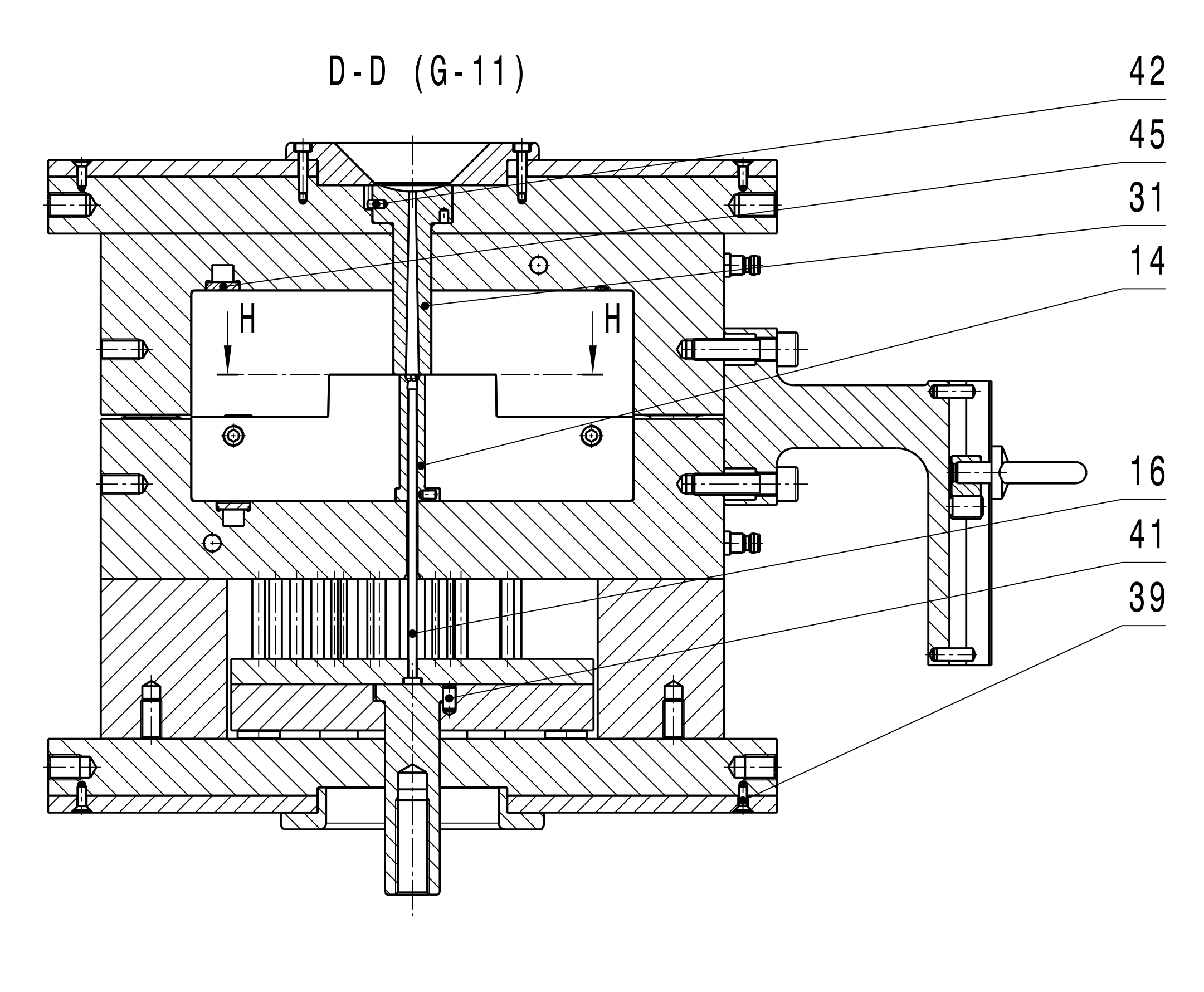
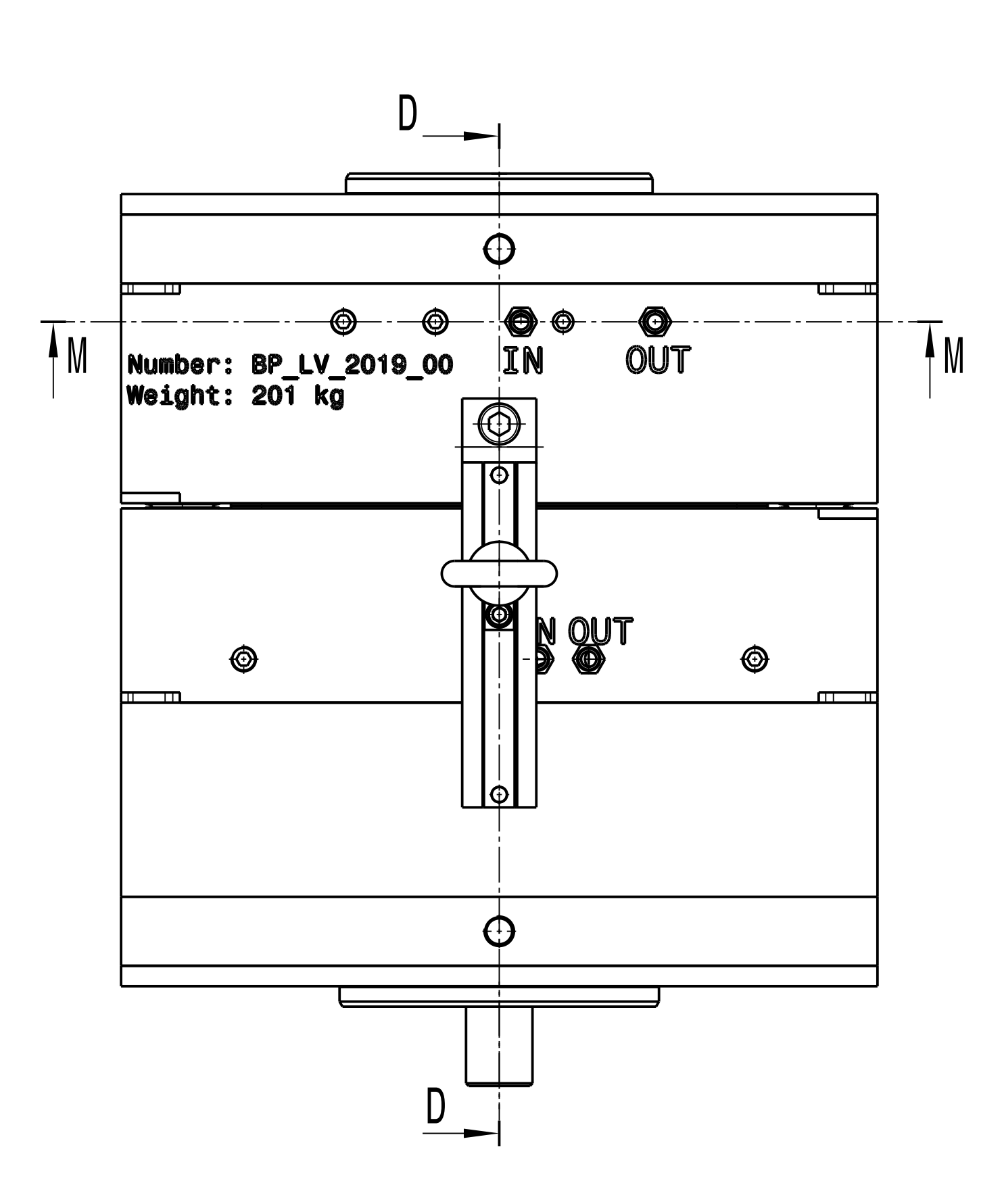
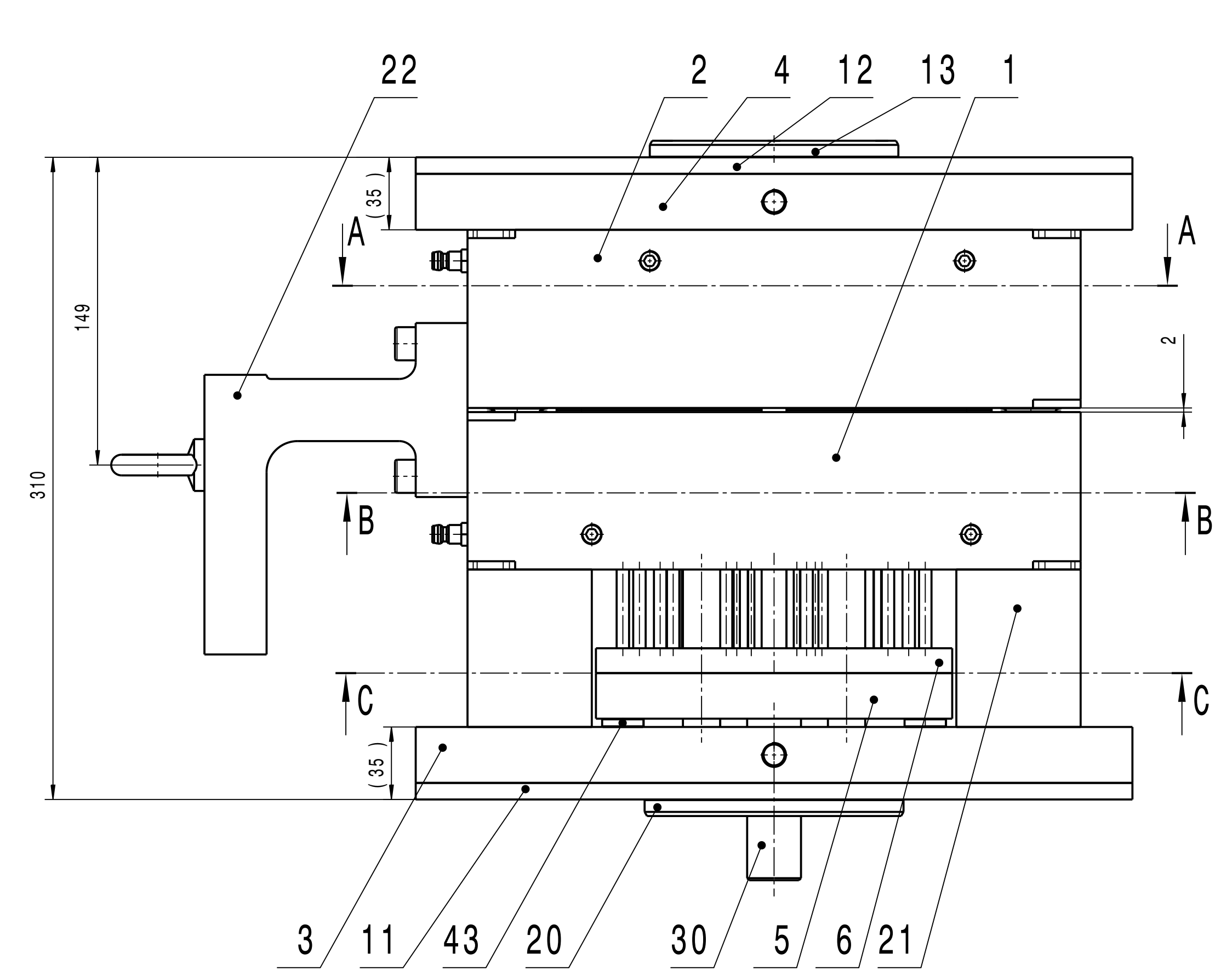
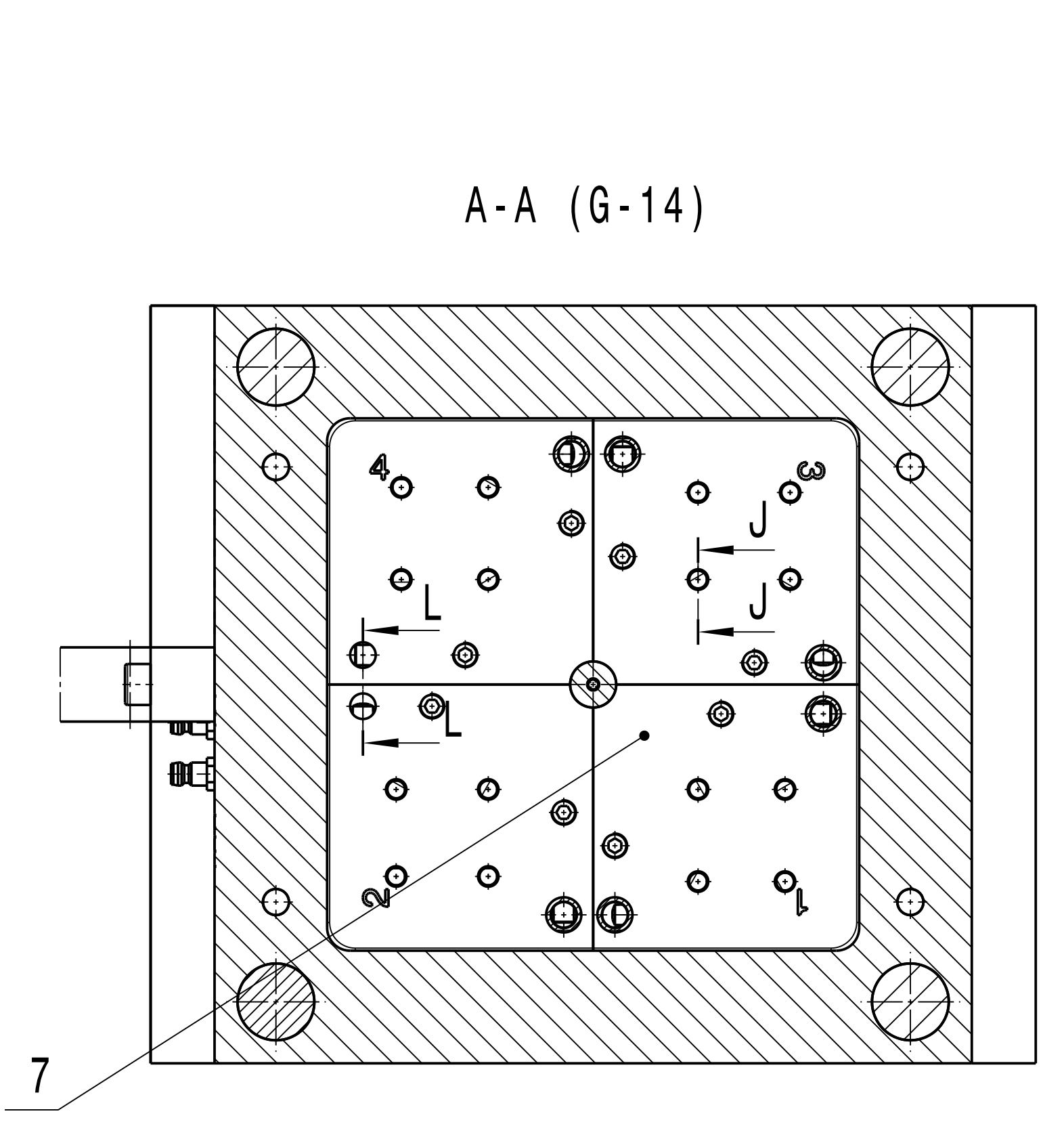
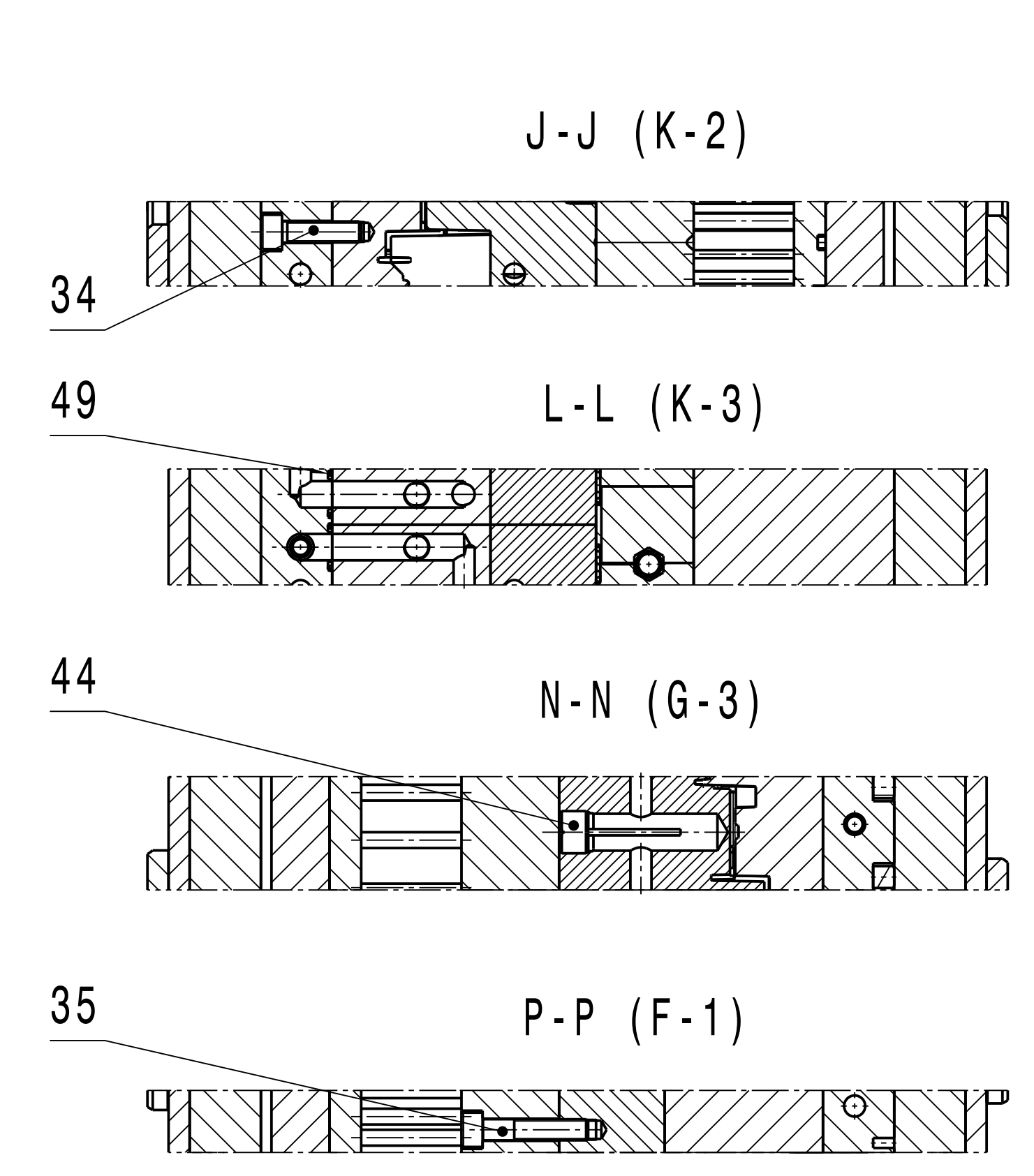
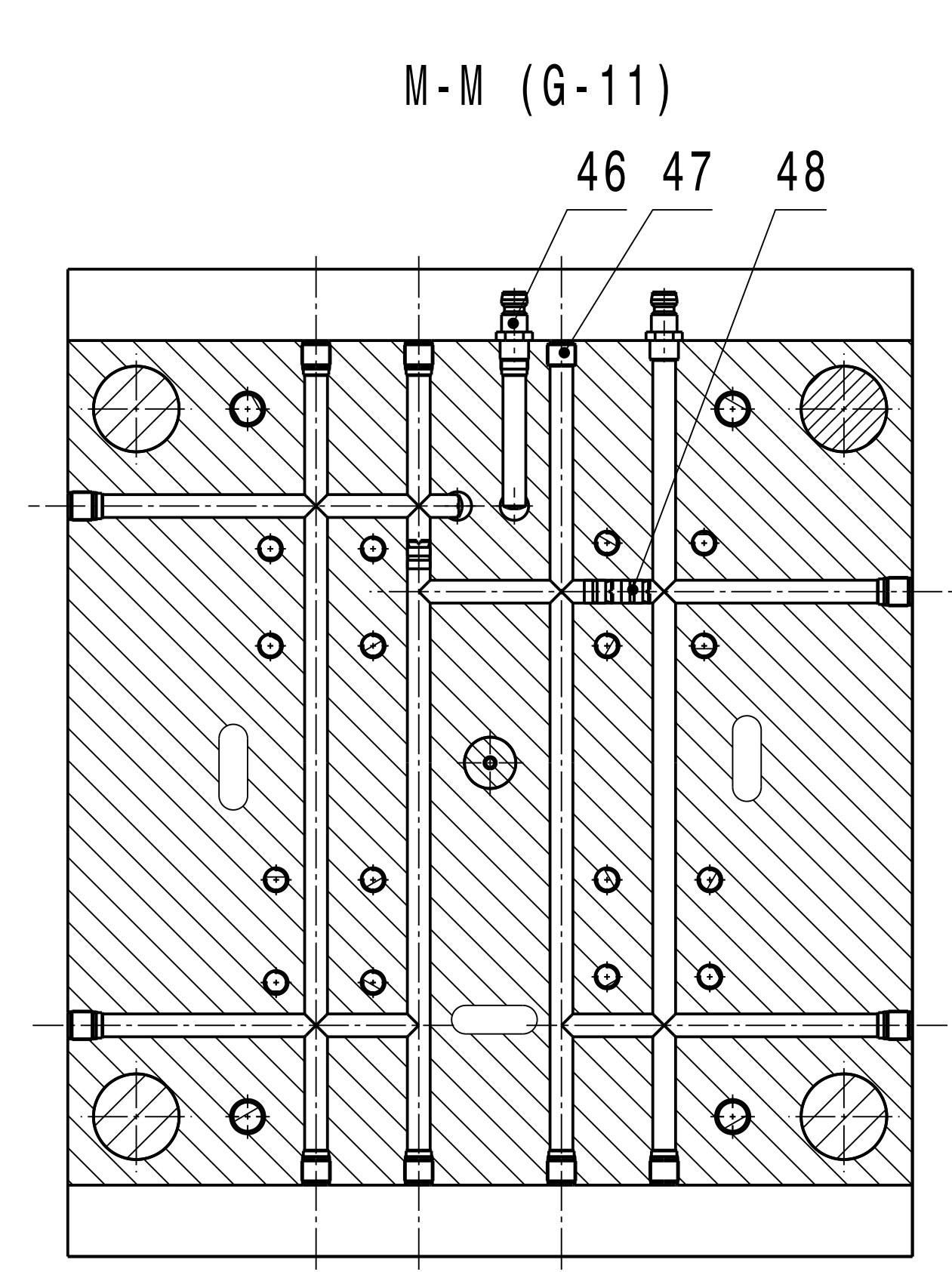
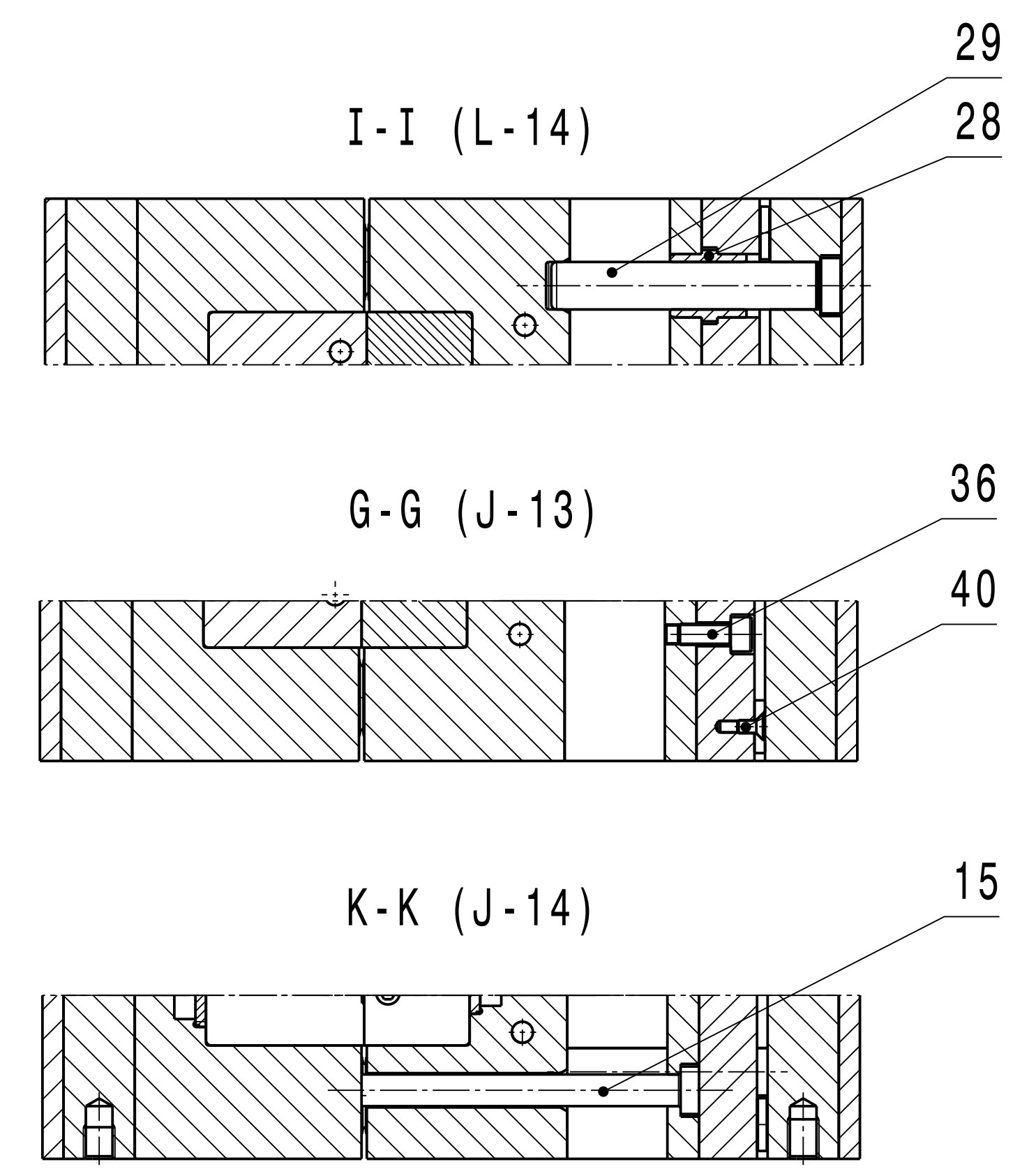
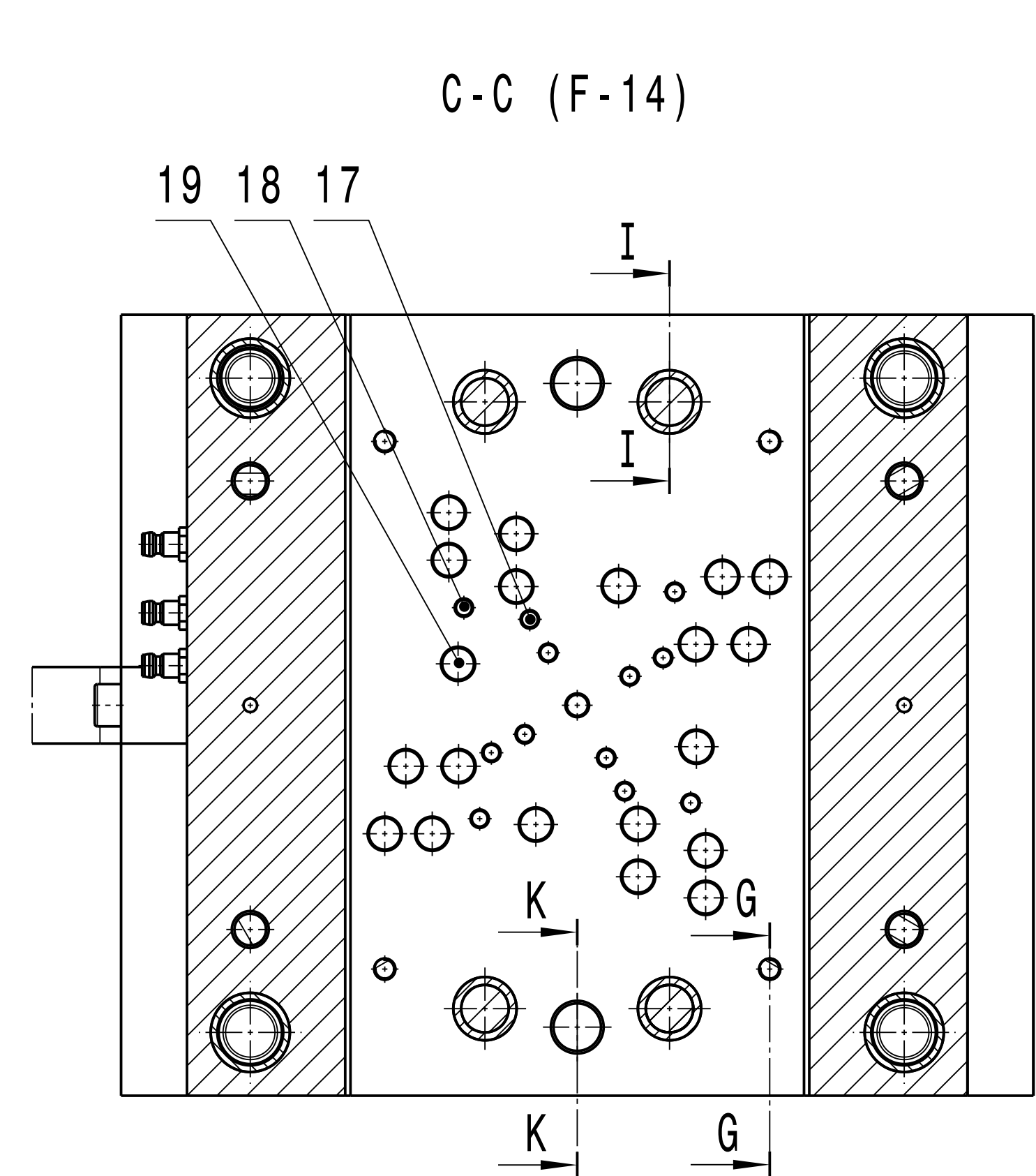
Platební podmínky:DIČ: CZ26440181
Způsob platby: Dobírka**Kupující:**IČO: .
DIČ:
Číslo zákazníka: 71**Místo plnění (dodání zboží):**NRFREGISTROVANÝ ZAKAZNÍK SKL.71
LUKÁŠ VÍTEK
FAKULTA STROJNÍ
779 00 ZČU PLZEŇ**Výdejní sklad:**SKLAD 71, OLOMOUC
ČSA 730
VELKÁ BYSTRICE VL. VL.**Doprava:****Další ujednání:**Informace o zpracování osobních údajů ve společnosti Feronia, a.s., ve smyslu zákona č. 101/2000 Sb. a Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/679, jsou zveřejněny na <http://www.feronia.cz>, sekce Legislativa, nebo jsou k nahlédnutí na každé pobočce společnosti Feronia, a.s.

	Množství MJ	Cena za MJ	Sazba DPH %	Cena celkem bez DPH	Měna
1 BLOK DIN 7527-6, EN ISO 4957, zn. X37CrMoV5-1+A (1.2343, žiháno na měkko) Rozměr: 800x400 Čís.položky: 3W0091V Termín: 06/05/2019 CN kód: 72241010 Základní MJ: KG 115 x 115 x 50 mm - 4 ks * tol +3/-0 mm ***** ** Název polotovaru je: přířez z kovaného bloku **	24,000	64,960	21 %	1 559,04	CZK
2 Inspekční certifikát 3.1 dle EN 10204, kontrola dle předpisu na výrobek (tech. dodacích podmínek) Čís.položky: CE018 Termín: 06/05/2019 Základní MJ: KS	1,000	20,000	21 %	20,00	CZK
3 ŘEZÁNÍ BLOKŮ NA ZAŘÍZENÍ KASTO Čís.položky: ZSDBR Termín: 06/05/2019 Základní MJ: KC	1 559,040	0,180	21 %	280,63	CZK
4 BLOK DIN 7527-6, EN ISO 4957, zn. X37CrMoV5-1+A (1.2343, žiháno na měkko) Rozměr: 800x400 Čís.položky: 3W0091V Termín: 06/05/2019 CN kód: 72241010 Základní MJ: KG 115 x 115 x 70 mm - 4 ks * tol +3/-0 mm *****	34,000	64,960	21 %	2 208,64	CZK
5 Inspekční certifikát 3.1 dle EN 10204, kontrola dle předpisu na výrobek (tech. dodacích podmínek) Čís.položky: CE018 Termín: 06/05/2019 Základní MJ: KS	1,000	20,000	21 %	20,00	CZK
6 ŘEZÁNÍ BLOKŮ NA ZAŘÍZENÍ KASTO Čís.položky: ZSDBR Termín: 06/05/2019 Základní MJ: KC	2 208,640	0,180	21 %	397,56	CZK
7 PŘÍSPĚVEK NA DOPRAVU SBĚRNOU SLUŽBOU Čís.položky: DOPSB Termín: 06/05/2019 Základní MJ: KC	767,000	1,000	21 %	767,00	CZK

Prodejce:SKLAD 71 OL-PAZDEROVÁ Martina
ČSA 730
783 53 VELKÁ BYSTRICE
FAX:+420585176207
Tel.: +420585176183**Referent (nabídku vystavil):**HRUBÍŠEK Ivo
ČSA 730
783 53 Velká Bystřice
Fax:+420585176221
Tel.: +420585176275
E-mail: hrubisek@olomouc.feronia.cz**Celkem za nabídku:**Cena: 5 252,87 CZK bez DPH
6 355,99 CZK s DPH
Orientační hmotnost: 58,00 Kg

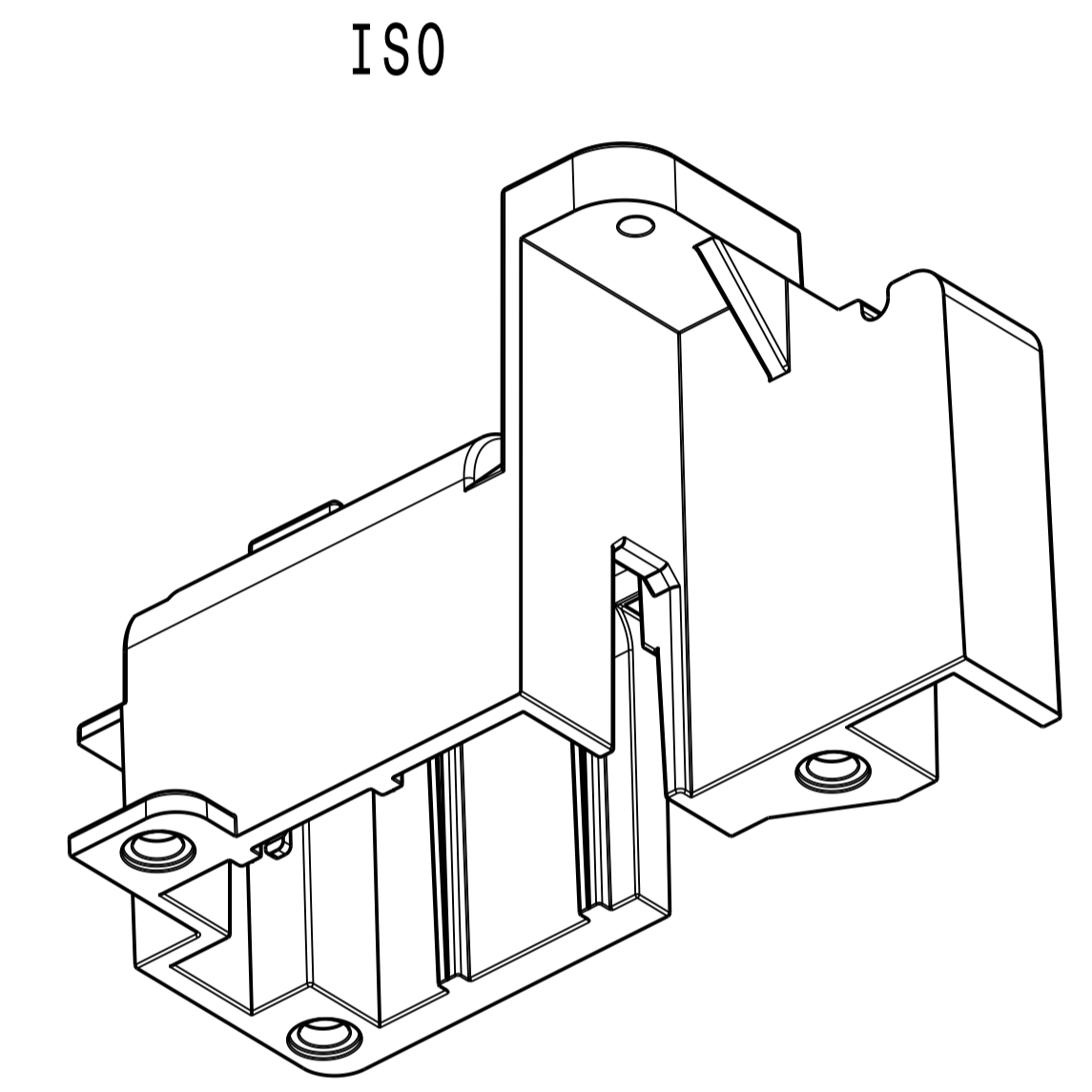
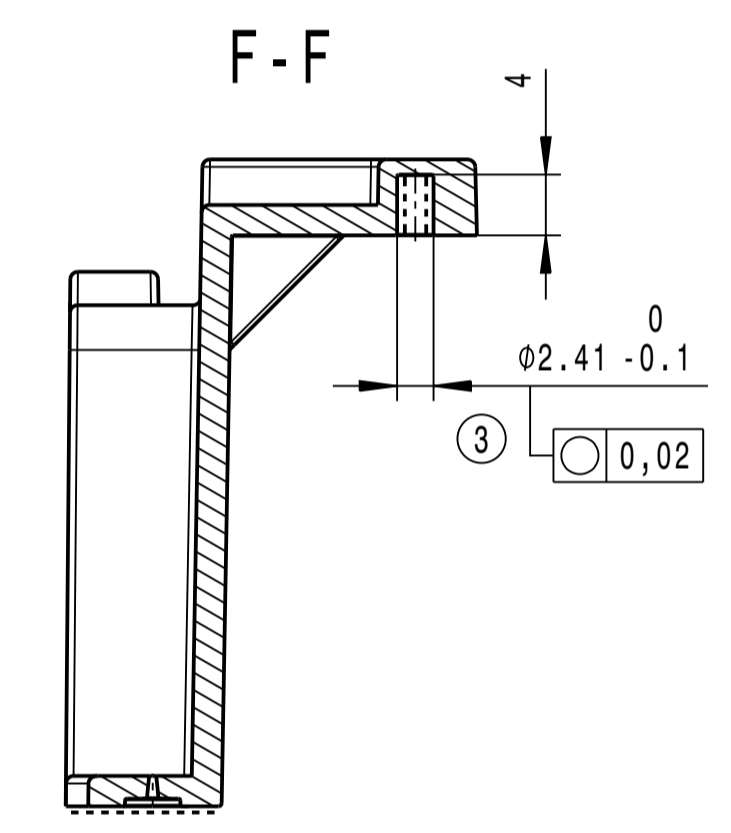
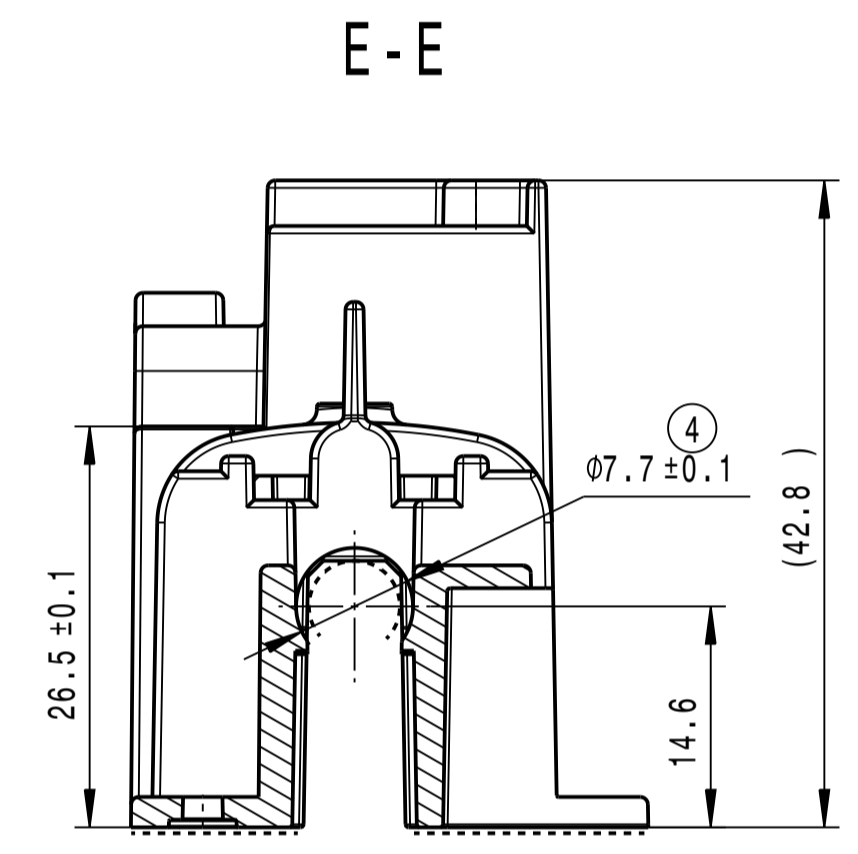
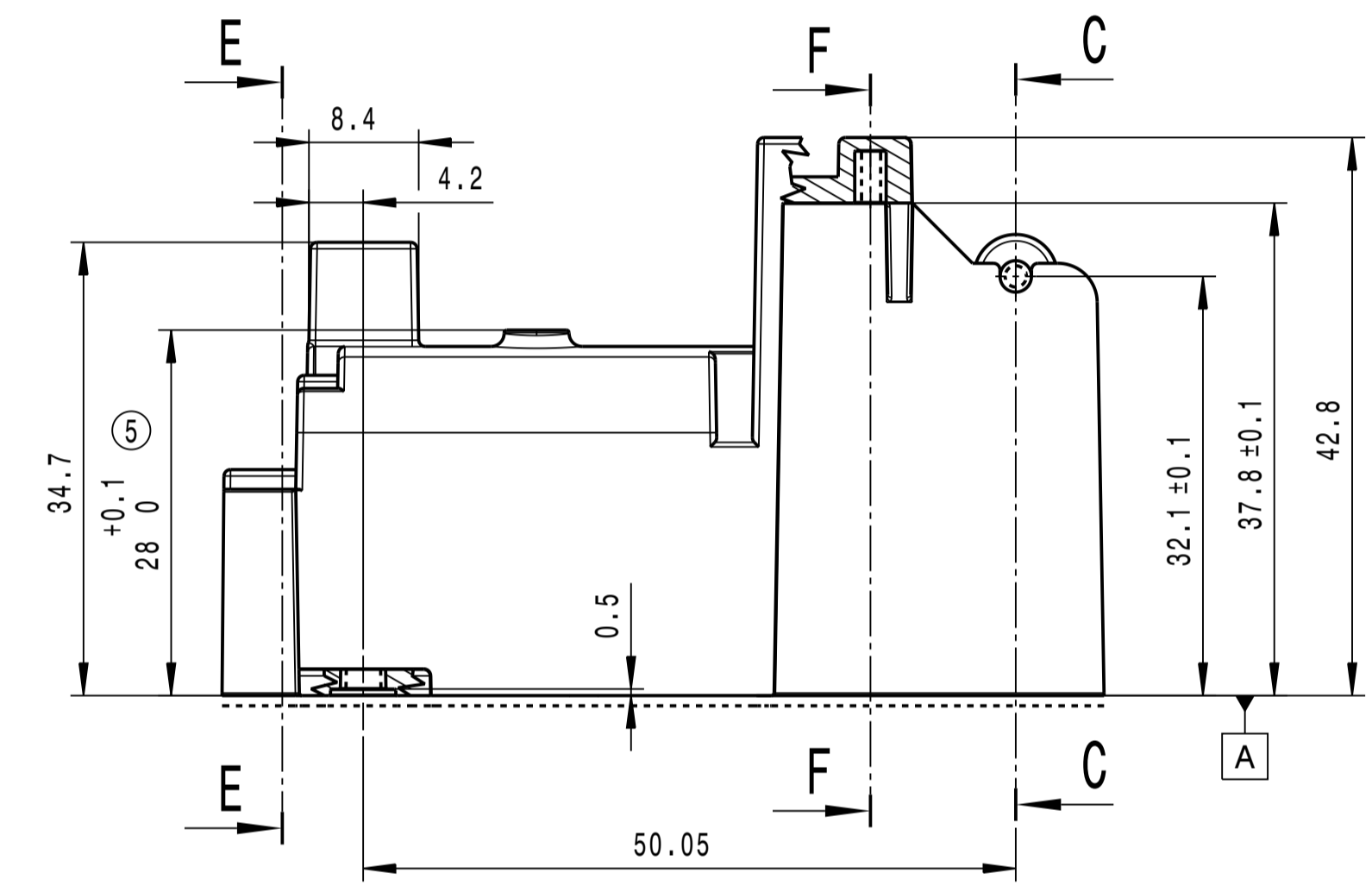
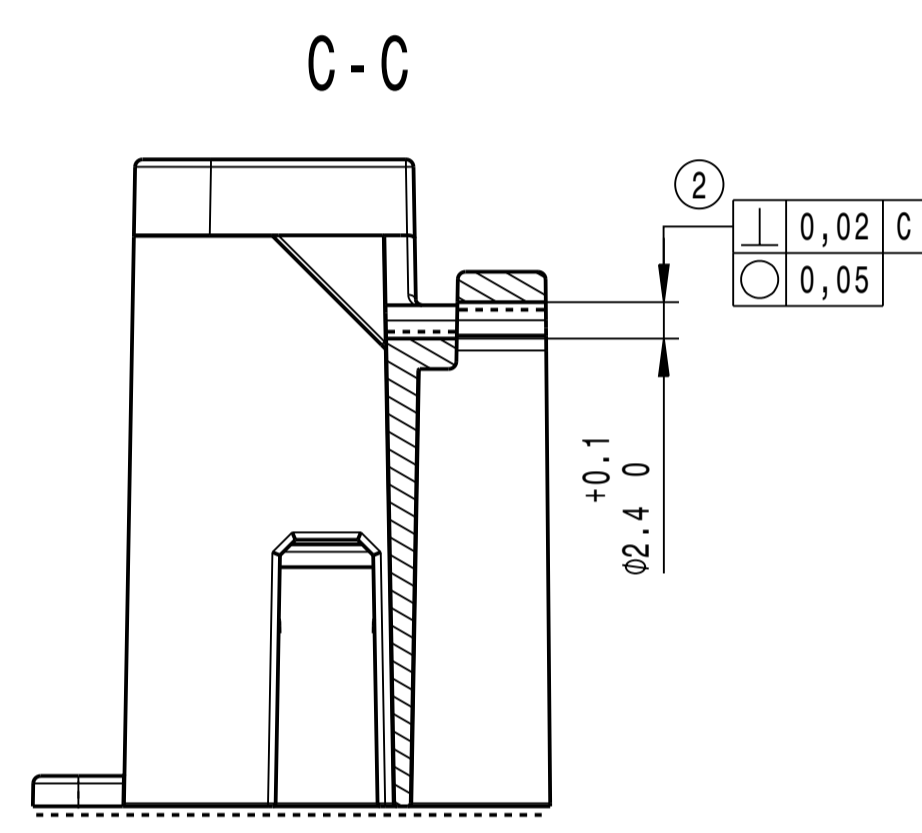
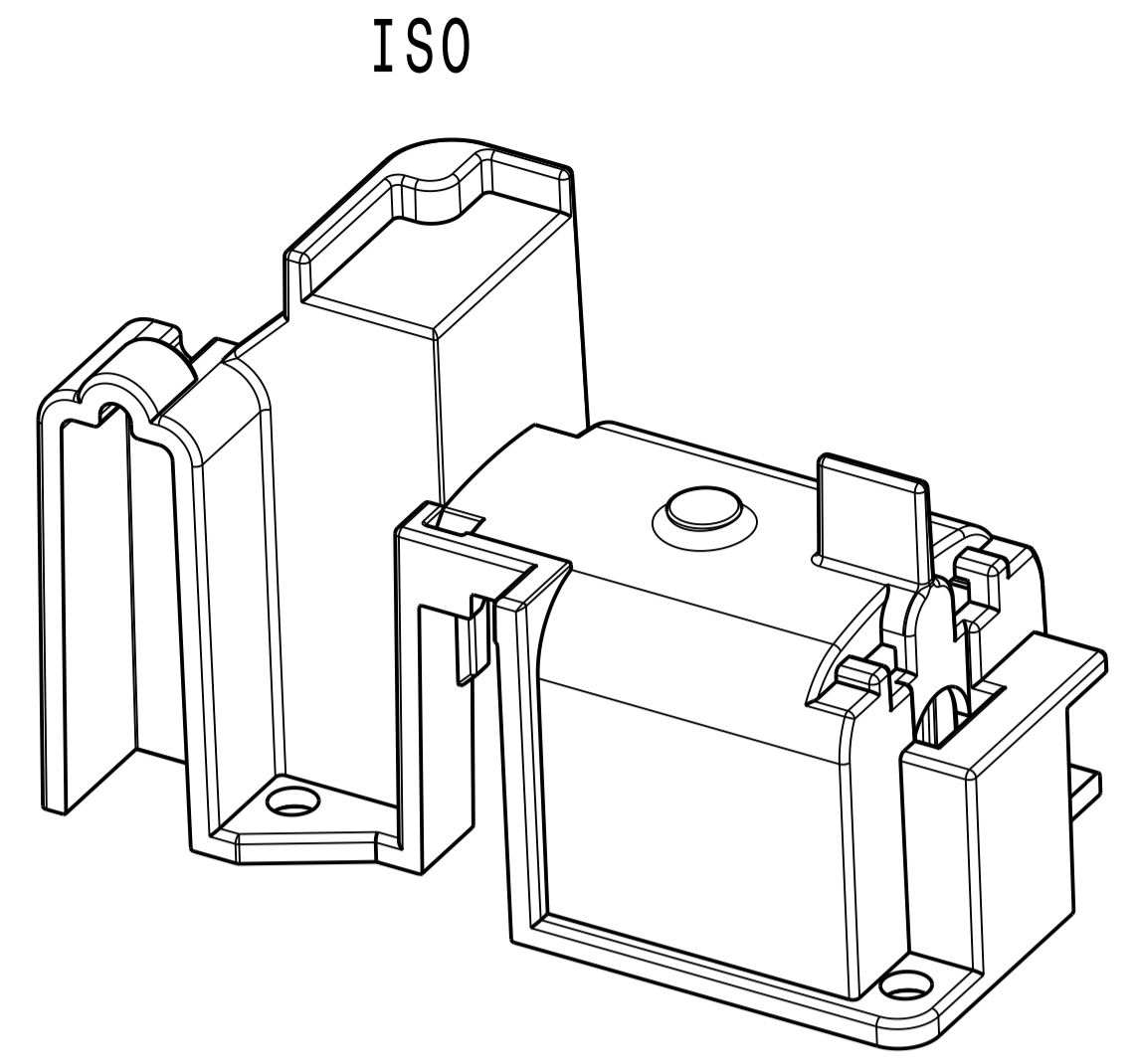
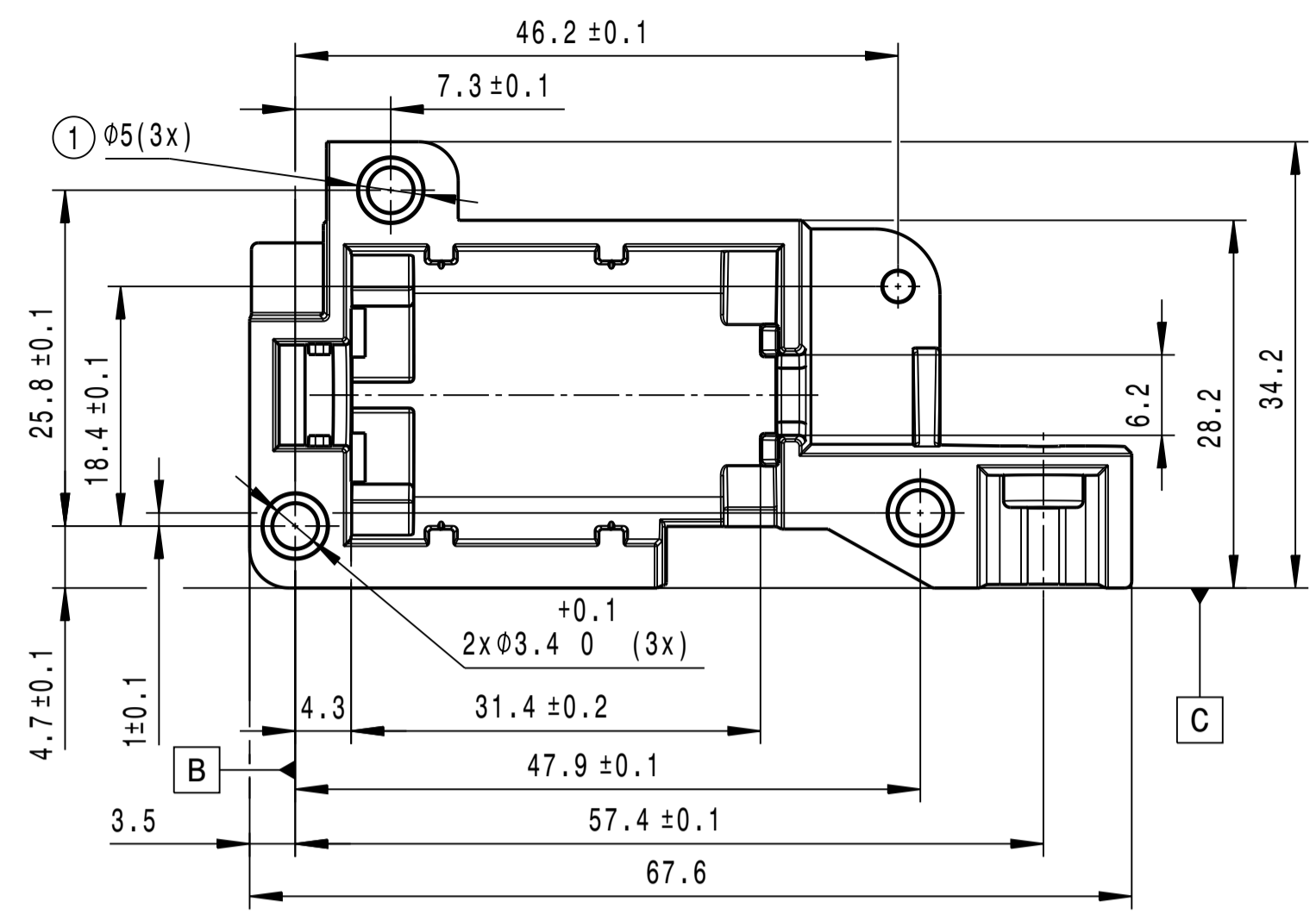
Ekonomická kalkulace pro navrženou variantu formy					
Číslo	Označení	Název	počet ks	Cena/1ks	Celková cena
1	F 10 /296 296/ 27/1730	Upínací deska	1	190.0 €	190.0 €
2	F 50 /296 296/ 86/1730	Tvarová deska	1	328.0 €	328.0 €
3	F 50 /296 296/ 76/1730	Tvarová deska	1	303.0 €	303.0 €
4	F 70 /296 296/ 60/76/1730	Lišta	2	130.0 €	260.0 €
5	F 80 /296 296/ 172/12/1730	Vyhazovací deska	1	85.0 €	85.0 €
6	F 85 /296 296/ 172/22/1730	Základní vyhazovací deska	1	102.0 €	102.0 €
7	F 10 /296 296/ 27/1730	Upínací deska	1	190.0 €	190.0 €
8	E 1000/22- 86/ 75	Vodící sloupek	1	28.9 €	28.9 €
9	E 1000/24- 86/ 75	Vodící sloupek	3	28.9 €	86.7 €
10	E 1100/22- 76	Vodící pouzdro	1	26.2 €	26.2 €
11	E 1100/24- 76	Vodící pouzdro	3	26.2 €	78.6 €
12	E 1200/12 x 35	Imbusový šroub	4	0.4 €	1.6 €
13	E 1200/12 x115	Imbusový šroub	4	2.2 €	8.8 €
14	E 1402/346 296/248/170/248	Izolační deska	2	114.7 €	229.4 €
15	E 1160/30 x 90	Centrovací pouzdro	4	11.7 €	46.8 €
16	E 1360/120/ 90/36 x 20	Středící kroužek	1	37.5 €	37.5 €
17	E 1660/12 x 60	Pouzdro	1	21.1 €	21.1 €
18	E 1710/12x160	Vyhazovač	2	10.0 €	20.0 €
19	E 1710/ 4 x 160	Vyhazovač	1	3.7 €	3.7 €
20	E 1710/3x160	Vyhazovač	12	3.6 €	43.2 €
21	E 1725/5,5/1,2x160	Ploché vyhazovač	20	37.0 €	740.0 €
22	E 1367/125/ 90x20	Středící kroužek	1	43.3 €	43.3 €
23	E 1930/ 64/ 97	Transportní rameno	1	183.9 €	183.9 €
24	E 11202/18-12/17	Vodící pouzdro	4	10.7 €	42.8 €
25	E 1030/18x120	Šikmý kolík	4	8.4 €	33.6 €
26	E 1516/16 /100	Závitová vložka	1	25.0 €	25.0 €
27	E 1610/18 x 96/3	Vtoková tryska	1	62.0 €	62.0 €
28	E 1200/ 8 x 30	Imbusový šroub	16	0.2 €	3.2 €
29	E 1200/ 8 x 40	Imbusový šroub	16	0.2 €	3.2 €
30	E 1200/ 8 x 20	Imbusový šroub	4	0.2 €	0.8 €
31	E 1200/4x20	Imbusový šroub	10	0.2 €	2.0 €
32	E 1200/5x20	Imbusový šroub	4	0.2 €	0.8 €
33	E 1220/ 4 x 12	Šroub se zápusťnou hlavou	12	0.3 €	3.6 €
34	E 1220/ 5 x 10	Šroub se zápusťnou hlavou	4	0.3 €	1.2 €
35	E 1302/ 6 x 12	Válcový kolík	4	0.5 €	2.0 €
36	E 1300/ 4 x 8	Válcový kolík	10	0.2 €	2.0 €
37	E 1500/20	Dorazová destička	4	1.8 €	7.2 €
38	E 2100/ 16/150	Přepážka se závitěm	4	9.7 €	38.8 €
39	E 2137/10/30	Překlenovací element	6	9.0 €	54.0 €
40	E 2000/ 9/10	Přípojka	4	0.7 €	2.8 €
41	E 2075/8/10	Uzavírací šroub	67	0.7 €	46.9 €
42	E 2079/ 8	Záslepka	15	2.1 €	31.5 €
43	E 2130/ 14 x2	O-Kroužek	4	0.6 €	2.4 €
44	DIN 7527-6, 115x115x50	Vložka tvárník	4	561.00 Kč	2 244.00 Kč
45	DIN 7527-6, 115x115x70	Vložka tvárnice	4	753.00 Kč	3 012.00 Kč
1 až 43	Celková částka bez DPH (MEUSBURGER)				3 424.0 €
1 až 43	Celková částka bez DPH (MEUSBURGER)				85 588 Kč
44 až 45	Celková částka bez DPH (FERONA)				5 256.00 Kč
1 až 45	Celková částka bez DPH (FERONA+MEUSBURGER) pro nákup díly				90 844.0 Kč
1 až 45	Celková částka bez DPH pro výrobu (kvalifikovaný odhad)				190 000.00 Kč
1 až 45	Celková částka bez DPH pro montáž (kvalifikovaný odhad)				10 000.00 Kč
1 až 45	Celková částka bez DPH pro díly, výrobu a montáž formy				290 844.0 Kč

TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ NAVRŽENÉHO A PŮVODNÍHO ŘEŠENÍ						
Vlastnosti systému pro hodnocení a porovnání variant			Váha (0 - 4)	Navržené řešení		Původní řešení
Indikátor vlastnosti (kritérium)	Hodnota (kvantitativní/kvalitat. požad.) (NAVRŽENÉ ŘEŠENÍ)	Hodnota (kvantitativní/kvalitat. požad.) (PŮVODNÍ ŘEŠENÍ)		Hodnocení splnění (0 - 4)	Vážené hodnocení (0 - 1)	Hodnocení splnění (0 - 4)
Vlastnosti technického systému pro hodnocení a porovnání navržené a původní varianty						
VSTRIKOVACÍ FORMA						
KVALITA OPERANDU:						
- maximální rozměry formy [mm]	296x346x310	246x296x310	4	1.00	3	0.75
- násobnost formy [1]	4	1	4	1.00	2	0.50
- počet směru formování [-]	1	3	4	1.00	2	0.50
- koncept vtokové soustavy	studený	horký	4	1.00	3	0.75
- koncept vyhásování	mechanický	mechanický	3	0.75	3	0.75
- prvky konstrukce	normalizované (Meusburger)	normalizované	3	0.75	3	0.75
- životnost formy [počet cyklů]	12 500	50 000	4	1.00	3	0.75
	Σ hodnocení OPERATORU A OPERANDU		1	0.93	2.71	0.68
KVALITA PROCESU:						
- délka vsířkovacího procesu [s]	24.55	26	2	0.50	3	0.75
- chlazení dílu (rozložení teplot)	Chlazení včetně jádra	Nechladí se jádro	4	1.00	3	0.75
- doba čistého chlazení [s]	12.2	15	3	0.75	2	0.50
- doba plnění vtokové soustavy (s dutinami) [s]	2.95	2.51	2	0.50	3	0.75
- maximální upínací síla [kN]	447	105	2	0.50	3	0.75
- frekvence použití [počet cyklů stroje]	12500	50000	4	1.00	2	0.50
- spolehlivost při procesu	střední	vyšoká	3	0.75	4	1.00
- produktivita [počet ks/cyklius]	4	1	4	1.00	1	0.25
	Σ hodnocení PROCESU A KVALITY		1	0.75	2.63	0.66
VSTRIKOVANÝ DÍL "CRADLE"						
KVALITA OPERANDU:						
- kvalita vsířfiku	střední	vyšoká	1	0.19	3	0.56
- celková deformace vsířfiku [mm]	0.65	cca 0.35	2	0.38	3	0.56
- velikost výrobku [mm]	34.2 x 67.6 x 42.8	29 x 68 x 43.8	2	0.38	3	0.56
- hmotnost výrobku [g]	16	21	3	0.56	2	0.38
- směšnění výrobku [%]	0.4	0.4	3	0.56	3	0.56
- materiál	PA6GF30	PA6GF30	3	0.56	3	0.56
- návrh dílu	přemodelovaný	původní	3	0.56	3	0.56
	Σ hodnocení PROCESU A KVALITY		0.75	0.46	2.86	0.54
PŘÍME, NEPŘÍME, CELKOVÉ						
NAKLADY (bez DPH):						
- celkové na formu (materiál, výroba, montáž) [Kč]	290844	252000	2	0.50	3	0.75
- rozložení celkových nákladů formy na díl [Kč/ks]	5.8	5.0	2	0.50	3	0.75
- přímé (materiál, mzdy, provoz stroje, amortizace formy) [Kč/ks]	8.0	12.0	3	0.75	2	0.50
- nepřímé (výrobní, odbytový, správní režie) [Kč/ks]	3.4	5.0	3	0.75	2	0.50
- celkové na výrobu jednoho dílu [Kč/ks]	17.2	22.0	4	1.00	2	0.50
	Σ hodnocení NAKLADŮ		1	0.70	2.40	0.60

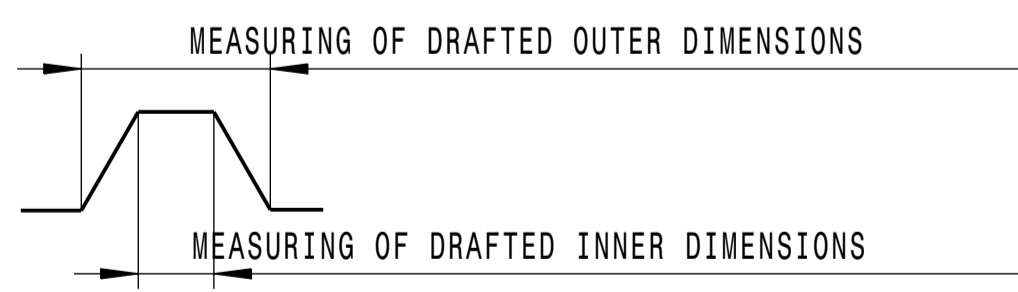
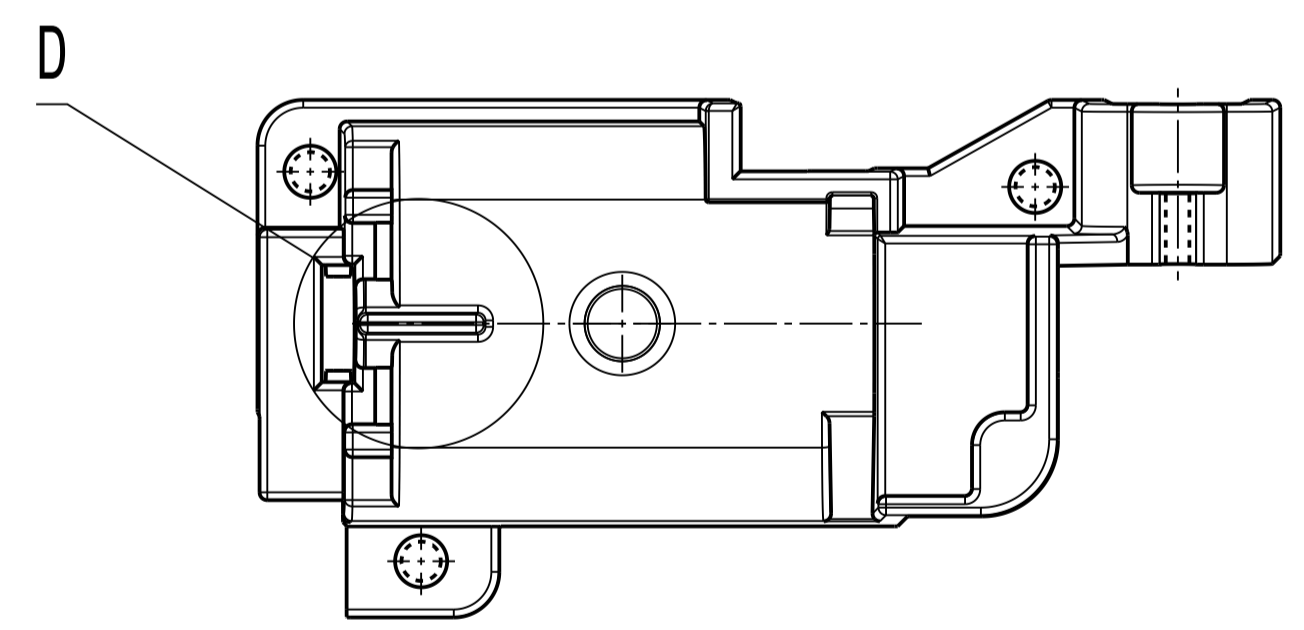
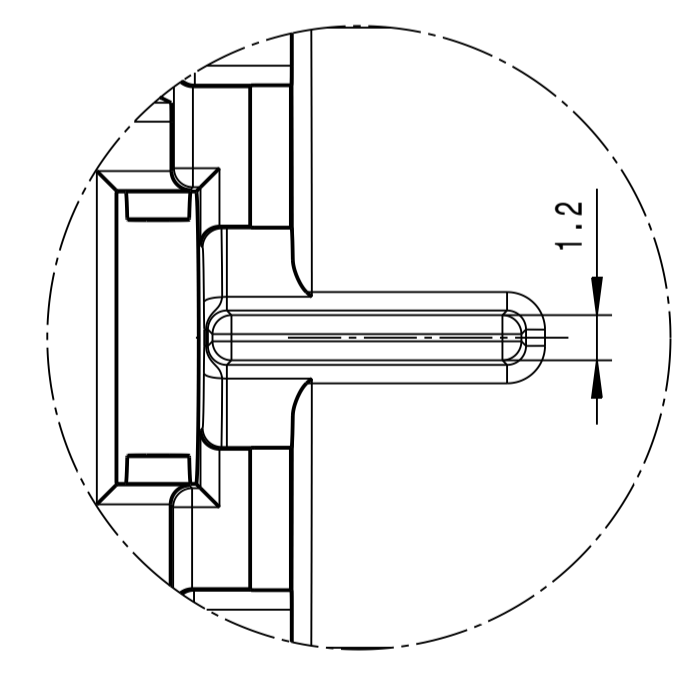


POZ.	KS	NÁZEV	VLKRES	POKOTOVAR	MATERIÁL	NORMA
49	4	O-KROUZEK	-	E1307/4x2	-	MEUSBURGER
48	15	ZASLEPKA	-	E207/8	-	MEUSBURGER
47	67	UZAVIRACI SROUB	-	E2075/8/10	-	MEUSBURGER
46	4	PŘIPOJKA	-	E2000/9/10	-	MEUSBURGER
45	6	PRŮVLEČNÍ ELEMENT	-	E13710/8/6	-	MEUSBURGER
44	4	PŘEVAŽKA ROVNÁ	-	E2100/10/150	-	MEUSBURGER
43	4	DORAZ DESTIČKA	-	E1500/20	-	MEUSBURGER
42	2	KOLÍK	-	E1300/4x8	-	MEUSBURGER
41	1	KOLÍK	-	E1302/6x12	-	MEUSBURGER
40	4	SROUB	-	E1220/5x10	-	MEUSBURGER
39	12	SROUB	-	E1220/4x12	-	MEUSBURGER
38	2	IMBUS	-	E1200/5x20	-	MEUSBURGER
37	4	IMBUS	-	E1200/4x20	-	MEUSBURGER
36	4	IMBUS	-	E1200/8x20	-	MEUSBURGER
35	16	IMBUS	-	E1200/8x40	-	MEUSBURGER
34	16	IMBUS	-	E1200/8x30	-	MEUSBURGER
33	4	IMBUS	-	E1200/12x35	-	MEUSBURGER
32	4	IMBUS	-	E1200/11x15	-	MEUSBURGER
31	1	VTKOVÁ TRYSKA 1"	-	E1610/18x9/3	-	MEUSBURGER
30	1	ZÁV. VLOŽKA PAKET	-	E 1516/16/100	-	MEUSBURGER
29	4	SÍKMY KOLÍK S NAKR.	-	E 1030/18x120	-	MEUSBURGER
28	4	VODIČÍ POUZDRO PAKET	-	E 1202/18-12/17	-	MEUSBURGER
27	4	CENTROVACÍ POUZDRO	-	E1160/30x90	-	MEUSBURGER
26	1	VODIČÍ SLOUPEK S NAKR.	-	E1000/22-86/75	-	MEUSBURGER
25	1	VODIČÍ POUZDRO S NAKR.	-	E1130/22-76	-	MEUSBURGER
24	3	VODIČÍ SLOUPEK S NAKR.	-	E1000/24-86/75	-	MEUSBURGER
23	3	VODIČÍ POUZDRO S NAKR.	-	E1100/24-76	-	MEUSBURGER
22	1	TRANSPORTNÍ RAMENO	-	E 1930/64/97	-	MEUSBURGER
21	2	LISTA	-	F70/296-296/60/76	-	MEUSBURGER
20	1	KROUZEK 1	-	E 1367/25/90x20	-	MEUSBURGER
19	20	PLOCHÝ VYHAZOVAČ	BP_LV_2019_10	E1725/5,5/1,2x160	ČSN 19083	MEUSBURGER
18	4	VYHAZOVAČ KAL.	BP_LV_2019_18	E1710/3x160	ČSN 19083	MEUSBURGER
17	8	VYHAZOVAČ KAL.	BP_LV_2019_17	E1710/2x160	ČSN 19083	MEUSBURGER
16	1	VYHAZOVAČ KAL.	BP_LV_2019_16	E1710/1x160	ČSN 19083	MEUSBURGER
15	2	VYHAZOVAČ KAL.	BP_LV_2019_15	E 1710/13x160	ČSN 19083	MEUSBURGER
14	1	POUZDRO	BP_LV_2019_14	E 1660/12x60	ČSN 19083	MEUSBURGER
13	1	KROUZEK 2	BP_LV_2019_13	E 1340/120/90/35x20	ČSN 19083	MEUSBURGER
12	1	IZOLAČNÍ DESKA 2	BP_LV_2019_12	E 1402/346-296/248/170/248	ČSN 19083	MEUSBURGER
11	1	IZOLAČNÍ DESKA 1	BP_LV_2019_11	E 1402/346-296/248/170/248	ČSN 19083	MEUSBURGER
10	2	VLOŽKA TVARNIK 3/4	BP_LV_2019_10	DIN 7527-6, 11x11x5x50	ČSN 19552	DIN
9	1	VLOŽKA TVARNIK 2	BP_LV_2019_09	DIN 7527-6, 11x11x5x50	ČSN 19552	DIN
8	1	VLOŽKA TVARNIK 1	BP_LV_2019_08	DIN 7527-6, 11x11x5x50	ČSN 19552	DIN
7	4	VLOŽKA TVARNICE 1/2/3/4	BP_LV_2019_07	DIN 7527-6, 11x11x5x70	ČSN 19552	DIN
6	1	VYHAZOVAČI DESKA	BP_LV_2019_06	F80 296 296/172/112	ČSN 19083	MEUSBURGER
5	1	ZÁKL. VYHAZOVAČI DESKA	BP_LV_2019_05	F85 296 296/172/122	ČSN 19083	MEUSBURGER
4	1	UPŇACÍ DESKA 2	BP_LV_2019_04	F10 296/296/27	ČSN 19083	MEUSBURGER
3	1	UPŇACÍ DESKA 1	BP_LV_2019_03	F10 296/296/27/1730	ČSN 19083	MEUSBURGER
2	1	TVAROVÁ DESKA 2	BP_LV_2019_02	F50 296/296/86	ČSN 19083	MEUSBURGER
1	1	TVAROVÁ DESKA 1	BP_LV_2019_01	F50 296/296/76	ČSN 19083	MEUSBURGER

Datum: 27.08.2019
 LUKÁŠ VÍTEK
 00108
 E: 148_296_346_B_30_1_CATProduct
 BP_LV_2019_00_CATDrawing
 201 kg
 1:2
 ČTYRROVNÁ FORMA
 0 BP_LV_2019_00



Detail D
5:1

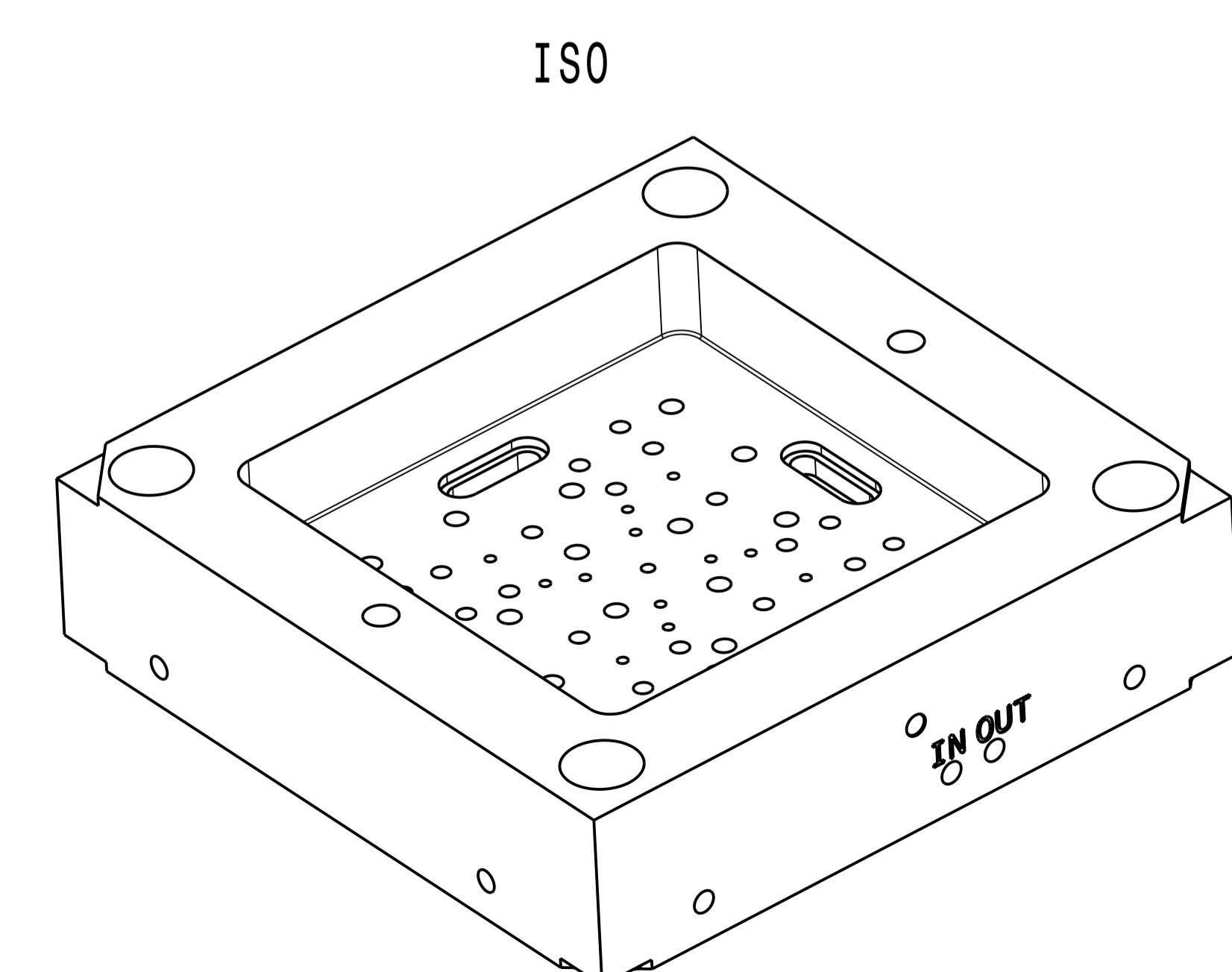
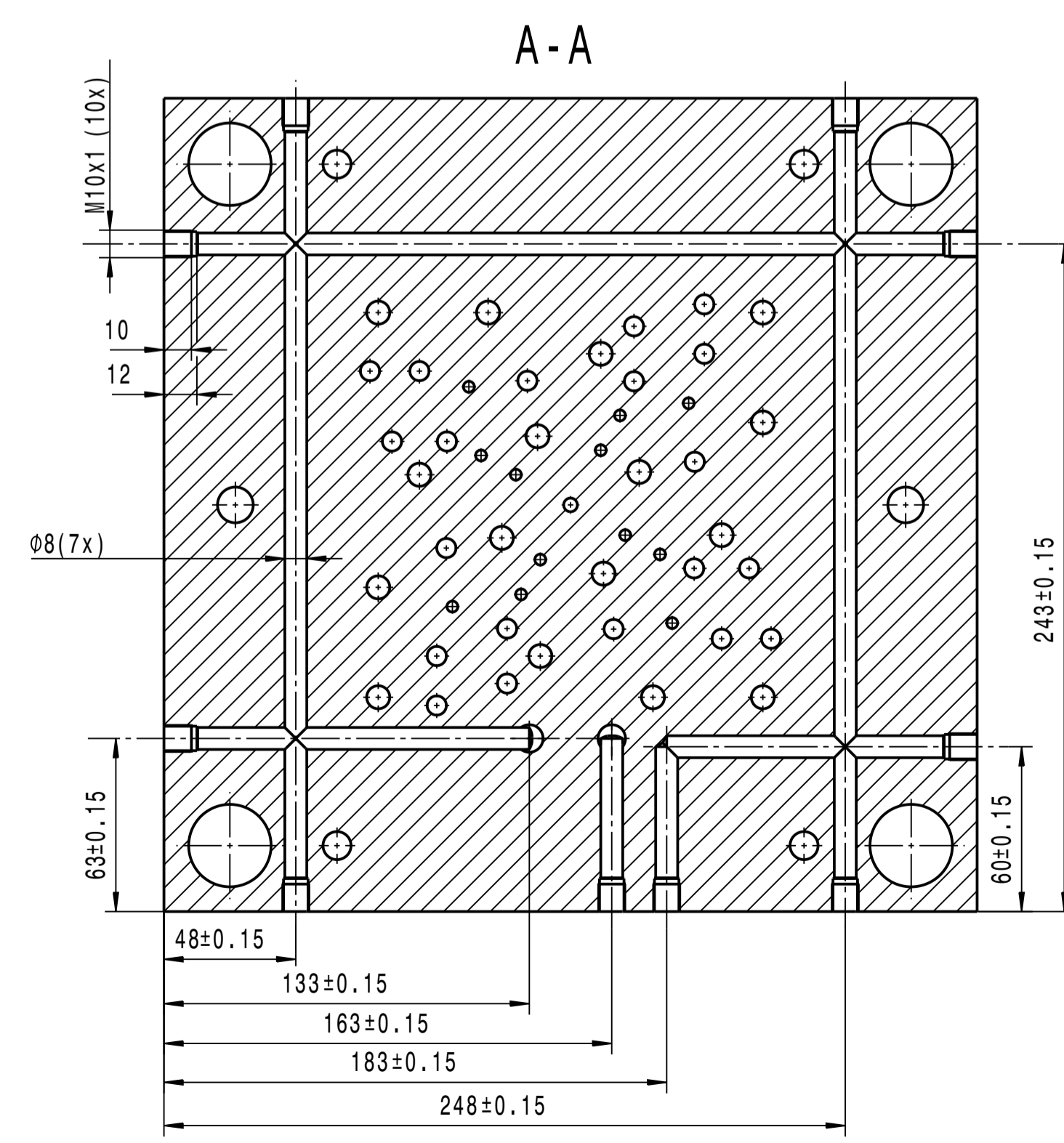
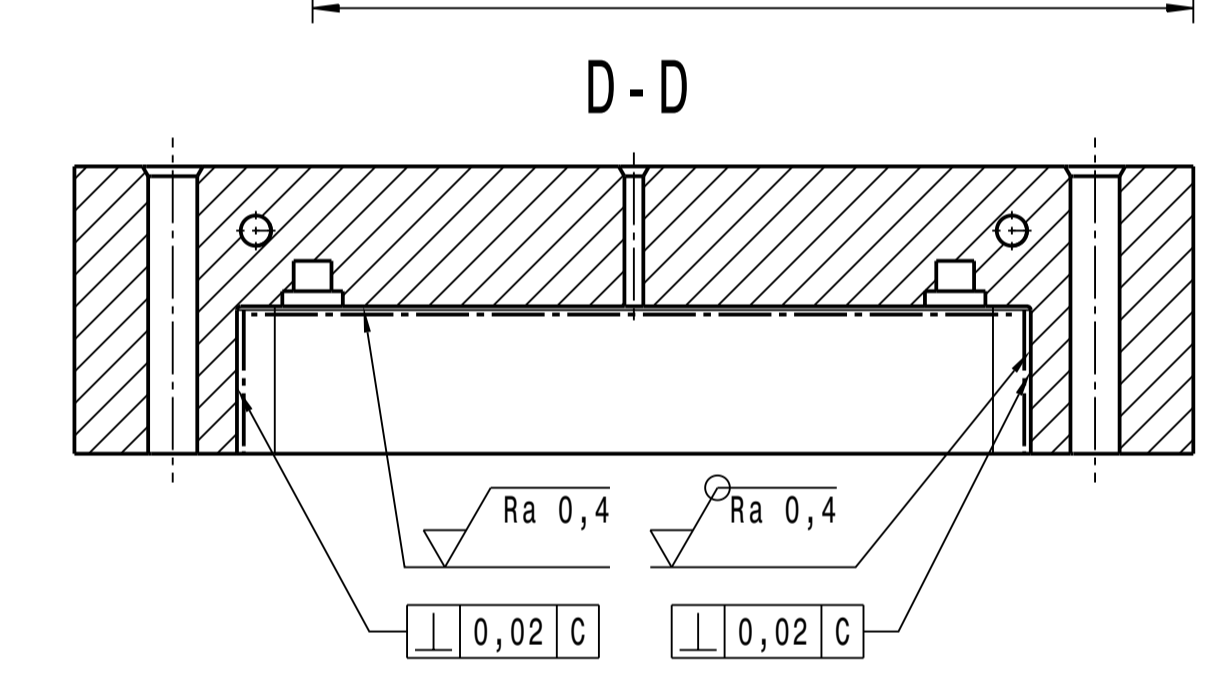
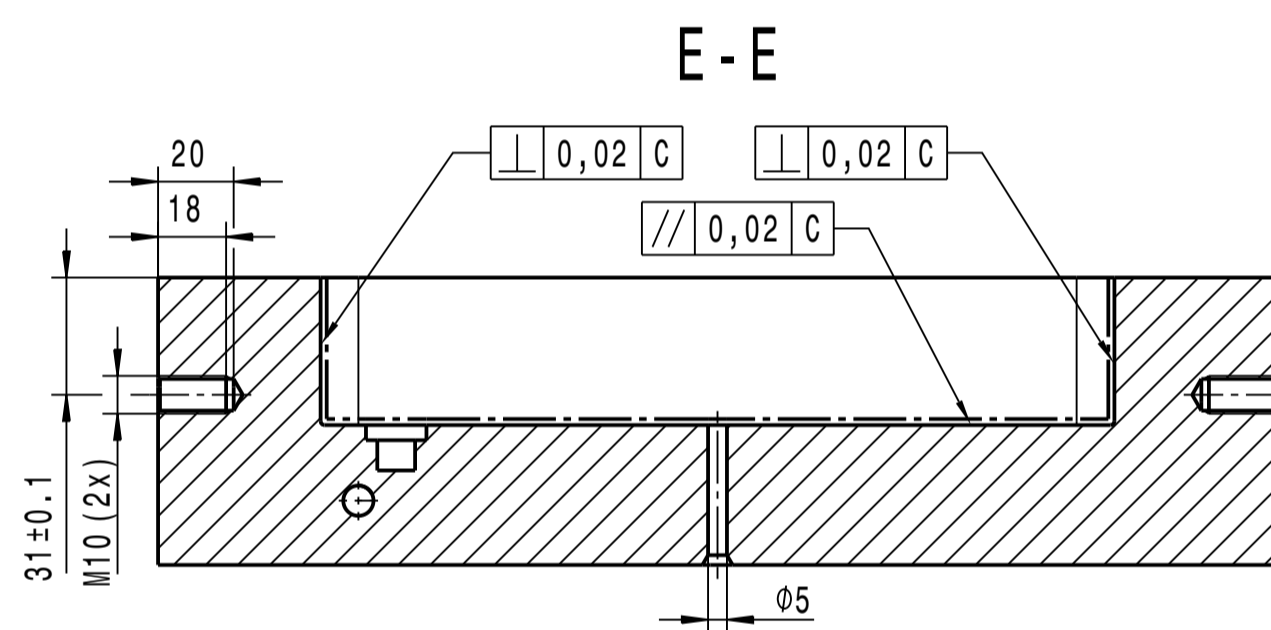
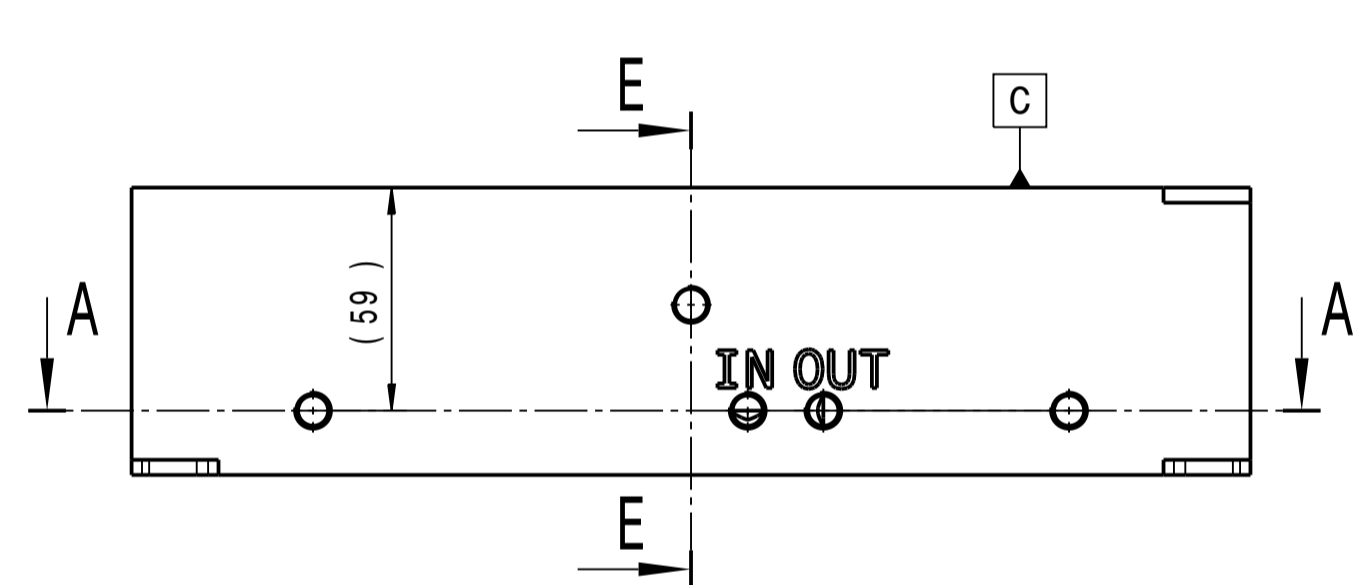
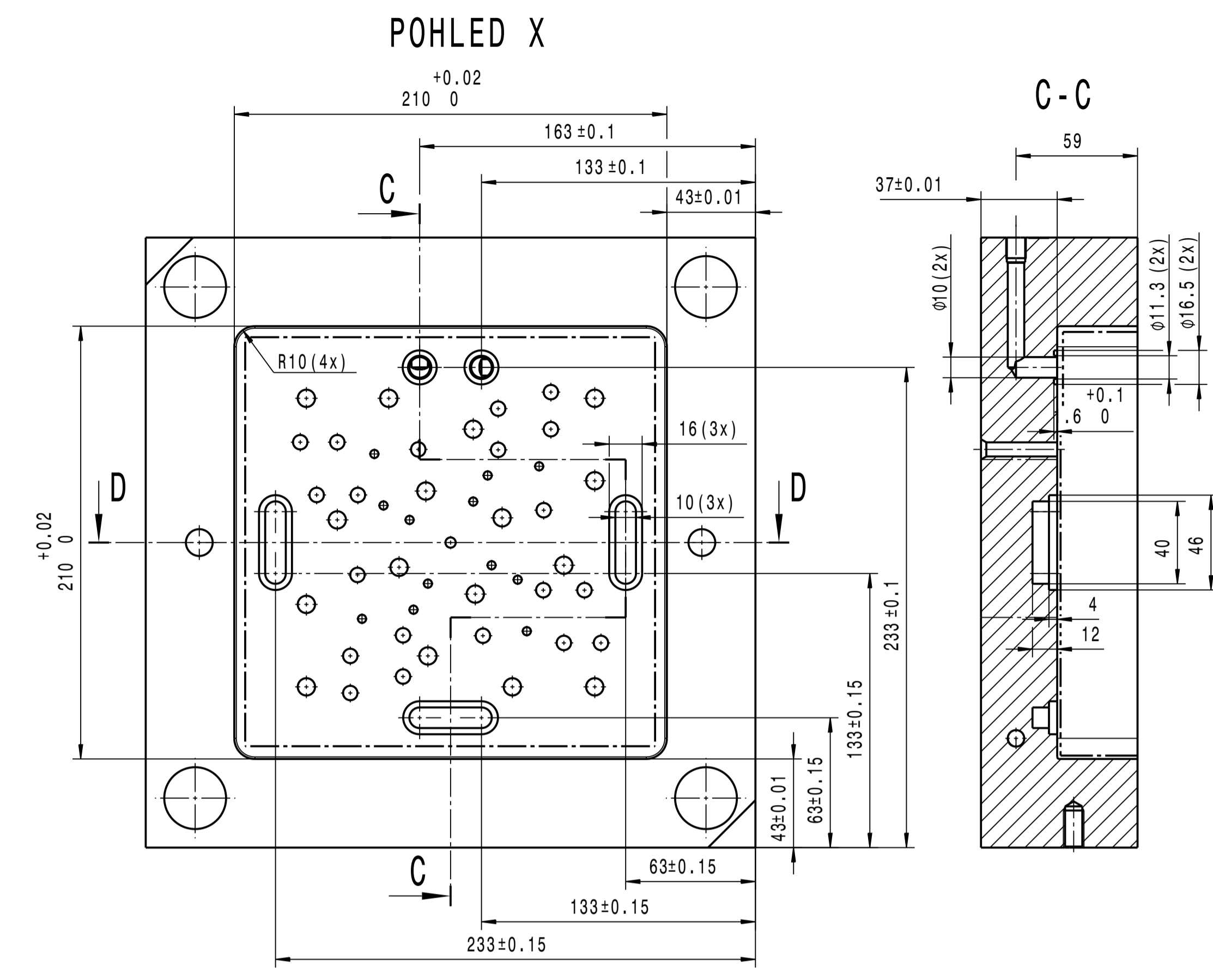
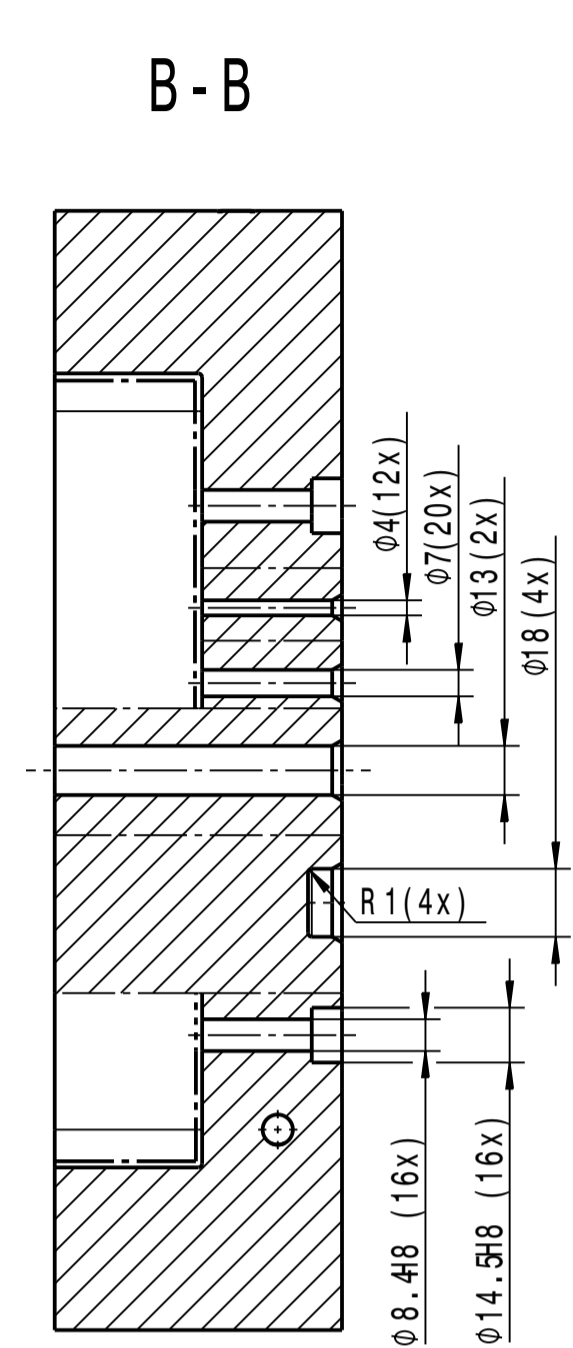
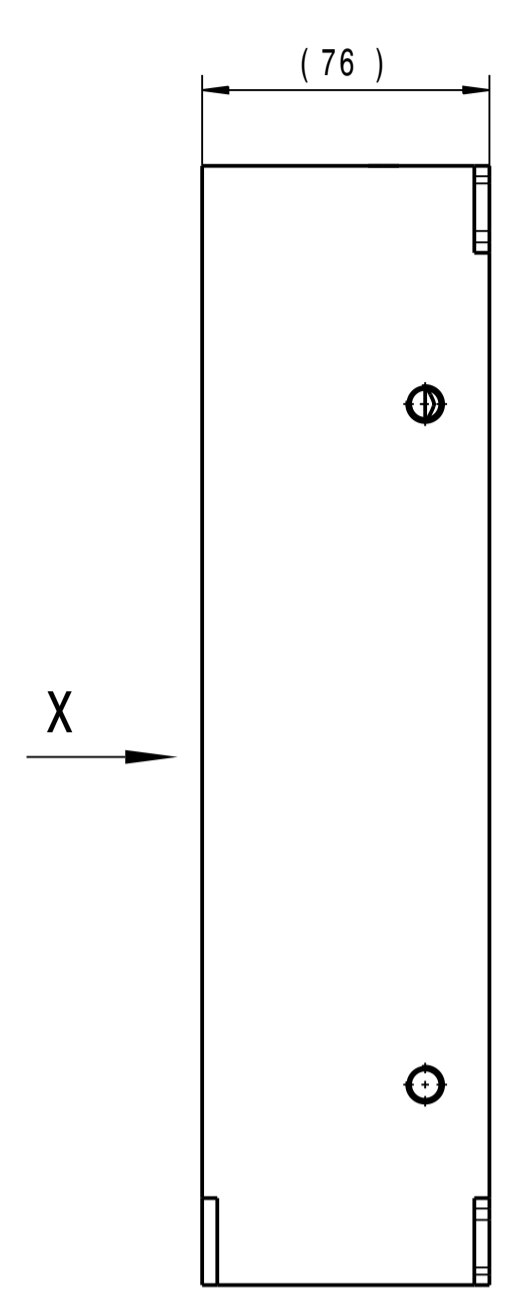
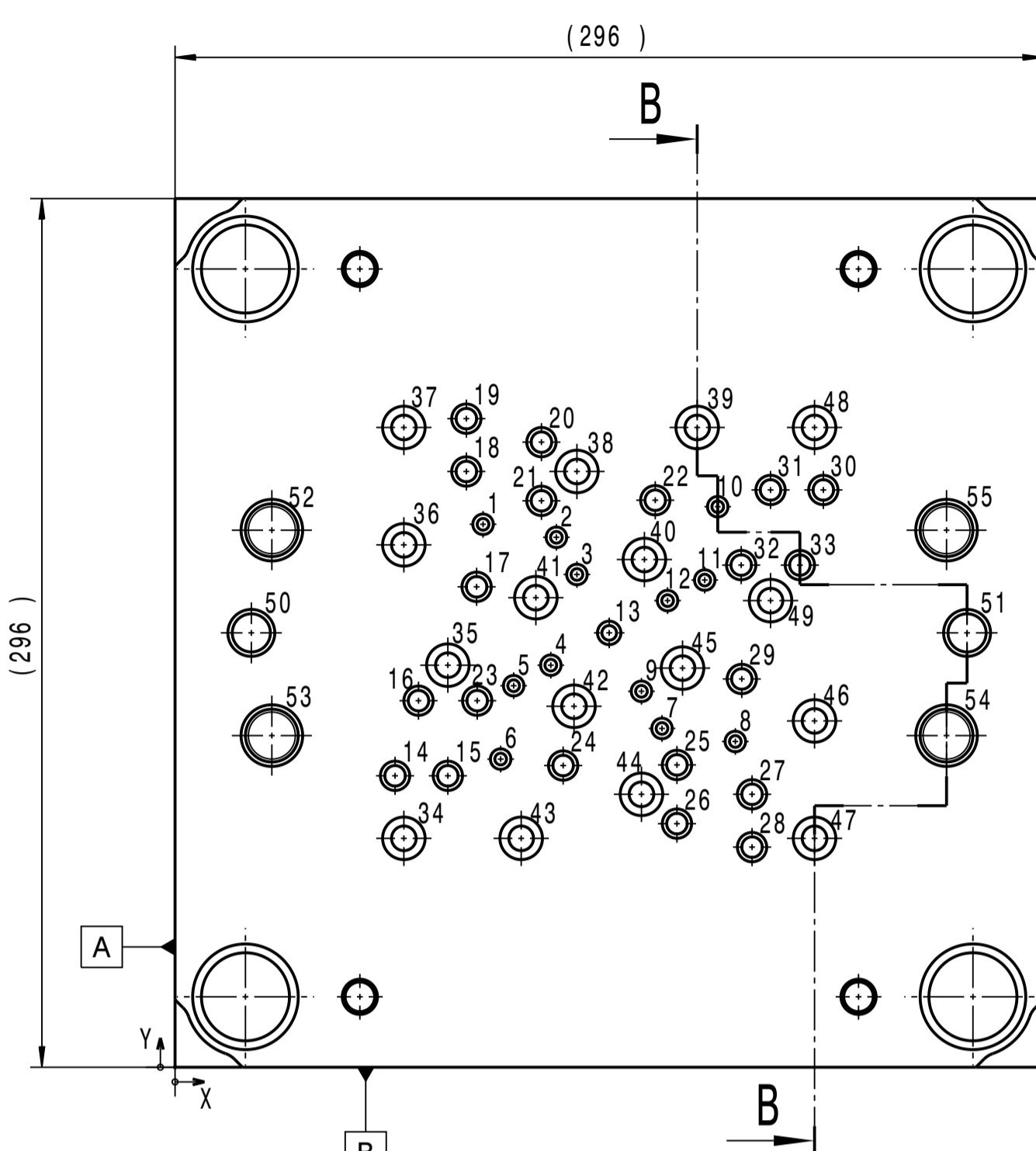


⊗ Function dimensions of elements
 Missing dimensions see 3D data same part number
 A-B-C alignment elements in accordance with DIN EN ISO 5459
 No toleranced dimensions according to DIN 16 742 TG6

0.6 ABC Position of any profile
 0.6 ABC Position of any surface

----- Function surface
 Marked visible and functional surfaces graining: High shine
 Function surfaces must be without ejectors and burrs.
 The part surface has to be clear and without Lubrication marks.

		(PA6 GF 30) ULTRAMID B3EG6		16 g	BP_LV_2019_00	50 000
Poz.	Název - roomer	Položka	Material	T.O.	C. Hmot	Hřez
Pos.	Title - size	Blank	C.W.	Weight	Assembly	Quant.
CAD 2	Datum / Date	Jmeno / Name	Material			
Kresil /	28.1.2019	LUKÁŠ VÍTEK				
Projevitel /						
Checked by /						
Approved by /						
Index změny	Popis změny / change description	Schvál / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note	
1					MODEL BEZ SMRŠTĚNÍ	
2					PO PŘIDÁNÍ SMRŠTĚNÍ VSTUP DO BP_LV_2019_00	
	Tolerance / Tolerovani	Subor-model / ASM-file	Subor-vykres / DRW-file	Projekt / Project	Merito / Scale	
	ISO 129-30 DIN 16742-1024	E0501103211_02-06_modified.CATPart	BP_LV_2019_IN.CATDrawing	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	2:1 (5:1)	
CRADLE			Rev. 0	Císlo vykresu / Drawing NO.	BP_LV_2019_IN	Format A1
Název / Title				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets 1

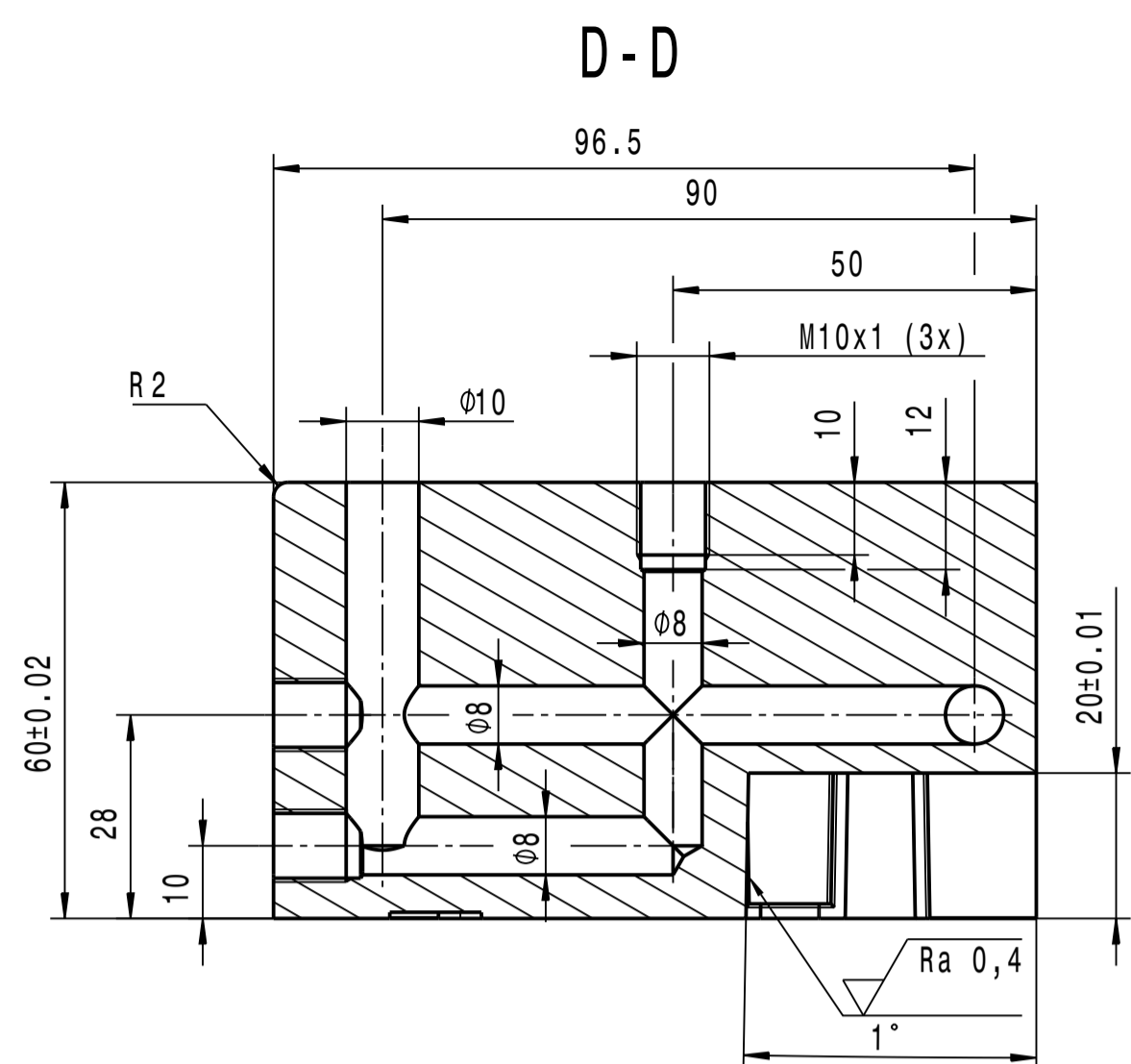


HOLE TABLE			
REF.	X	Y	SIZE
1	105	185	Ø4 SKRZ
2	130	180,57	TOLERANCE XY ±0.1
3	137	167,9	ZKOSENÍ 1.5x60°
4	128,1	137	
5	115,43	130	
6	111	105	
7	166	115,43	
8	191	111	
9	159	128,1	
10	185	191	
11	180,57	166	
12	167,9	159	
13	148	148	Ø5 SKRZ
14	75	99,3	TOLERANCE XY ±0.1
15	93	99,3	ZKOSENÍ 1.5x60°
16	83	124,9	Ø7 SKRZ
17	102,8	163,7	TOLERANCE XY ±0.1
18	99,3	203	ZKOSENÍ 1.5x60°
19	99,3	221	
20	124,9	213	
21	124,9	193	
22	163,7	193,2	
23	103	124,9	
24	132,3	102,8	
25	171,1	103	
26	171,1	83	
27	196,7	93	
28	196,7	75	
29	193,2	132,3	
30	221	196,7	
31	203	196,7	
32	193	171,1	
33	213	171,1	
34	78	78	Ø8.4 HL. 8
35	93	137	Ø14.5 H8 SKRZ
36	78	178	TOLERANCE XY ±0.1
37	78	218	
38	137	203	
39	178	218	
40	160	173	
41	123	160	
42	136	123	
43	118	78	
44	159	93	
45	173	136	
46	218	118	
47	218	78	
48	218	218	
49	203	159	
50	26	148	Ø13 SKRZ
51	270	148	TOLERANCE XY ±0.1
52	33	183	ZKOSENÍ 1.5x60°
53	33	113	Ø18 HL. 9
54	263	113	TOLERANCE XY ±0.1
55	263	183	ZKOSENÍ 1.5x60°

CHYBĚJÍCÍ ROZMĚRY DLE 3D DAT
NEKÓTOVANÉ ZKOSENÍ 0.5x45°
TVAROVÉ SOUČÁSTI V TOLERANCI ± 0.01
- - - - - FUNKČNÍ PLOCHY

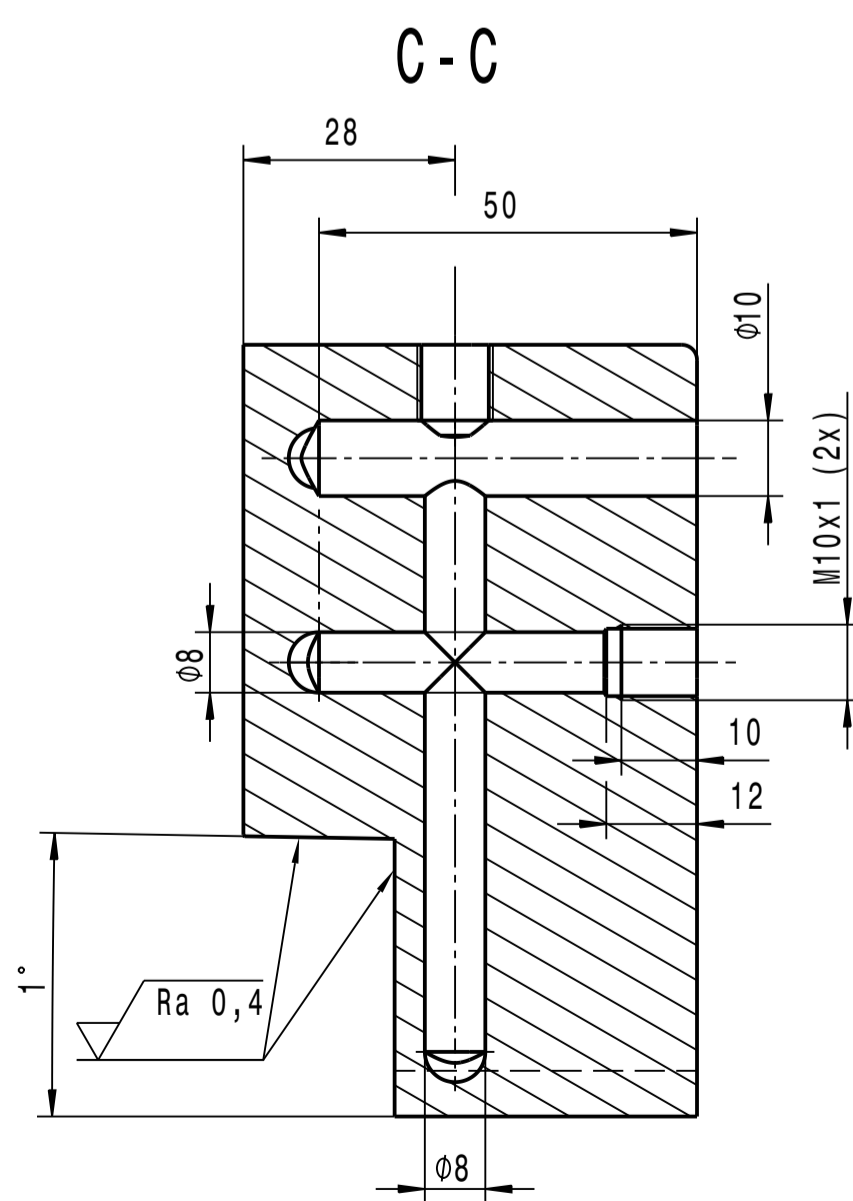
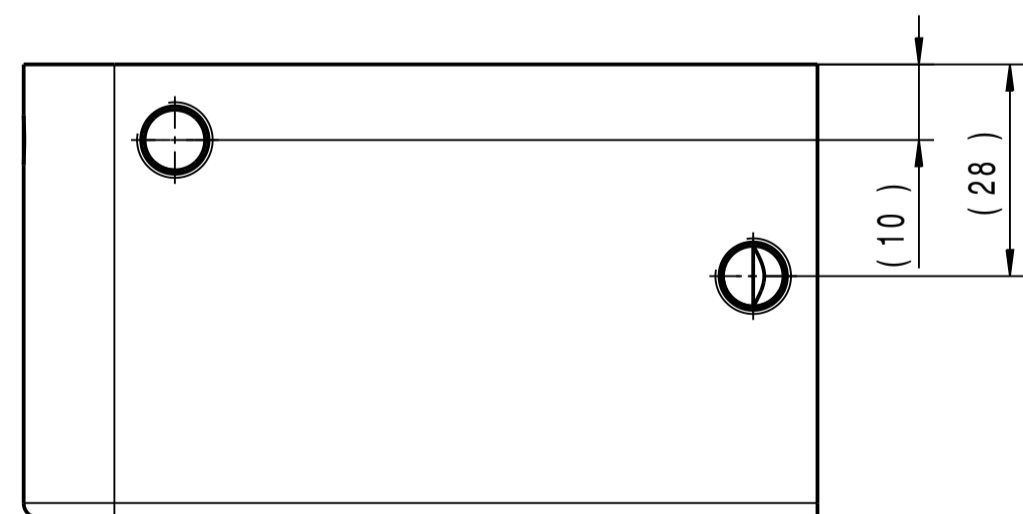
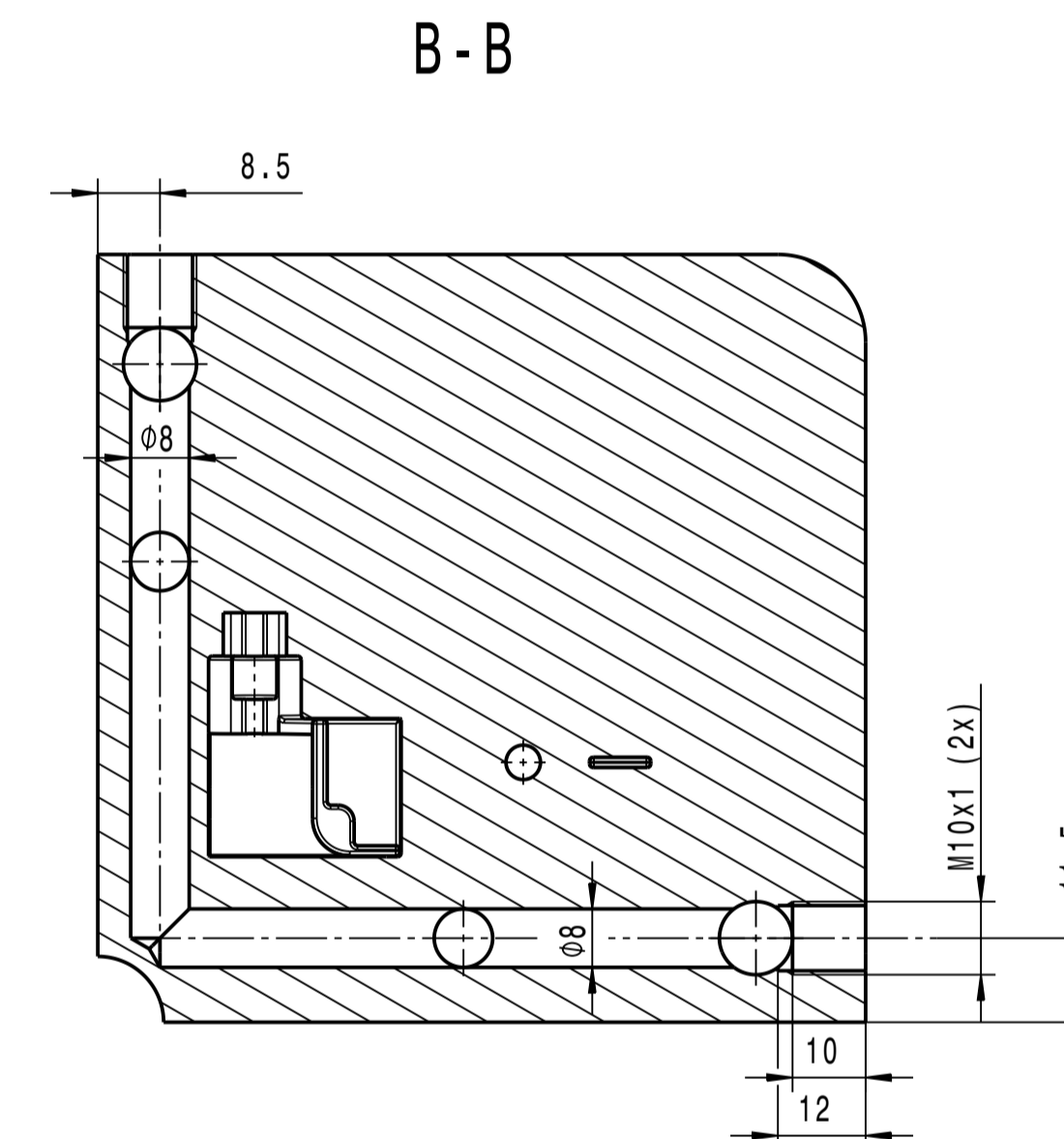
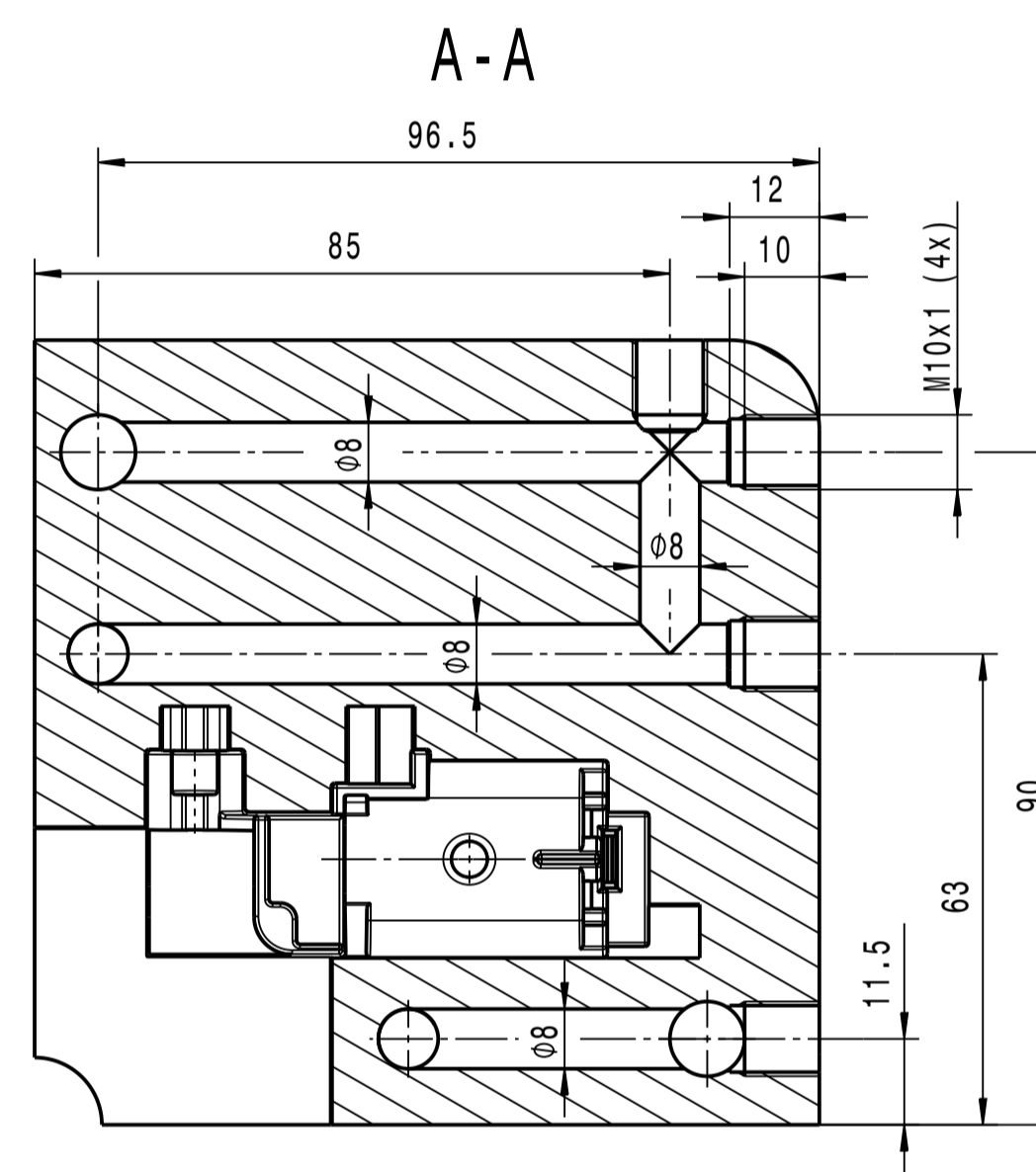
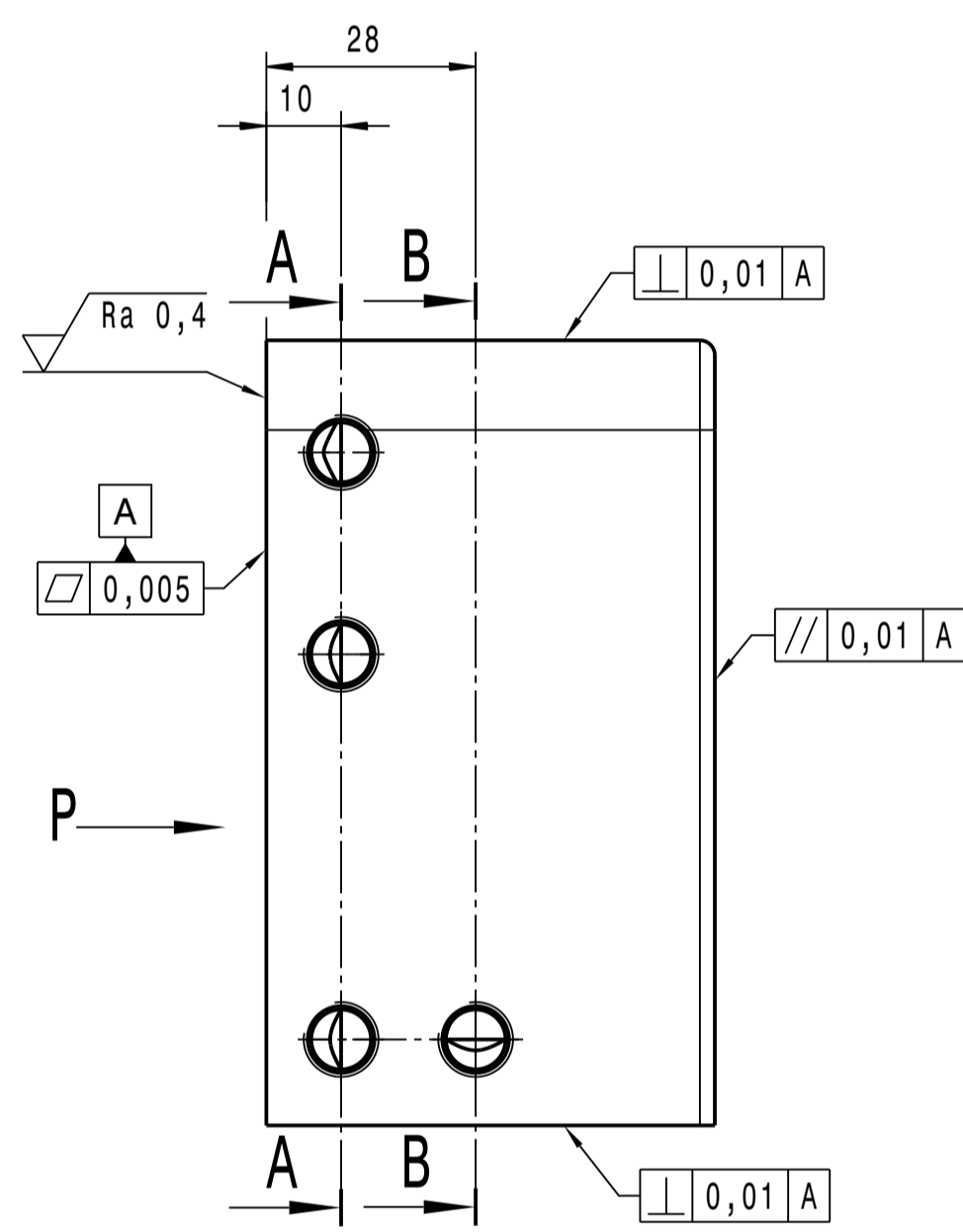
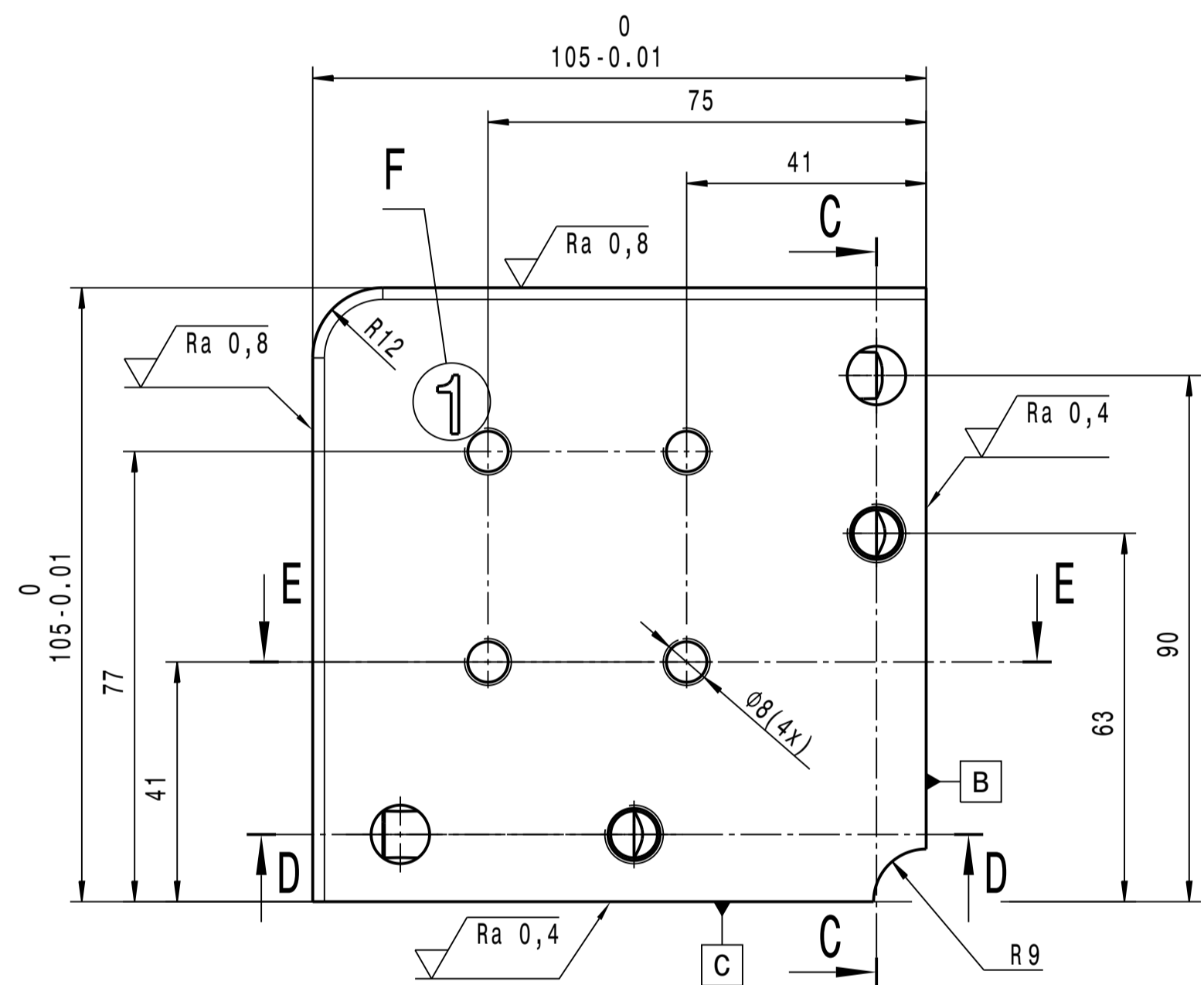
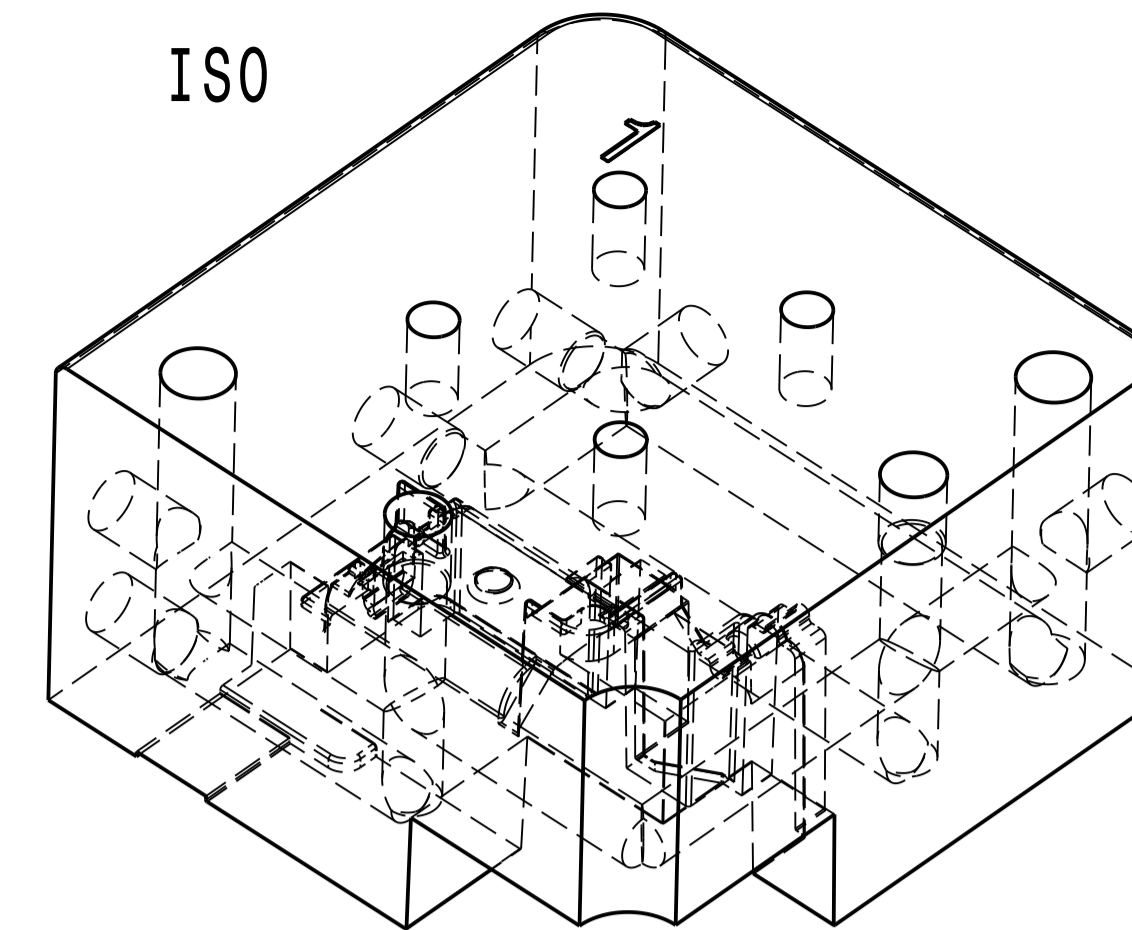
▽ Ra 1,6 (▽ Ra 0,4)

1	F50 - 296296/76	MEUSBURGER	ČSN 19083	-	35.4 kg	-	BP_LV_2019_00	1
Poz.	Název - rozměr	Přidávky	Material	F.O.	C. hmot.	Hřídka	Číslo výkresu sestavy	Počet ks
Pos.	Title - size	Blank	Material	C. Wt.	Weight	3 view	Assembly/drawing no.	Quant
CAD 2	Datum / Date	Jméno / Name						
Kreslí /	10.04.2019	LUKÁŠ VÍTEK						
Projeví /								
Checked by								
ISO 8015								
ISO 2768K								
Index změny	Popis změny / change description	Schvál / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note			
1								
2								
Tolerance /	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project		Měřítko /		Scale		
ISO 129	F 50_296296_66.CATPart	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE		1:2				
ISO 8015	Soubor-výkres / DRW-file	C. sestavy /		BP_LV_2019_00				
ISO 2768K	BP_LV_2019_01.CATDrawing	BP_LV_2019_00						
TVAROVÁ DESKA 1			Rev.	Číslo výkresu / Drawing NO.	Format			
			0	BP_LV_2019_01	A1			
Název / Title			List / sheet no.		Pocet listů / sheets			

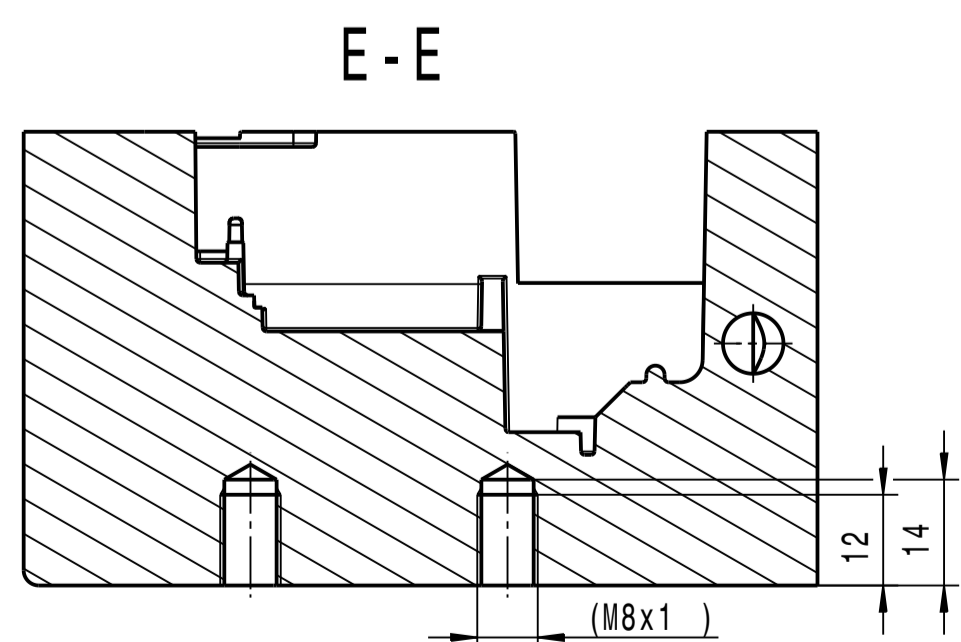
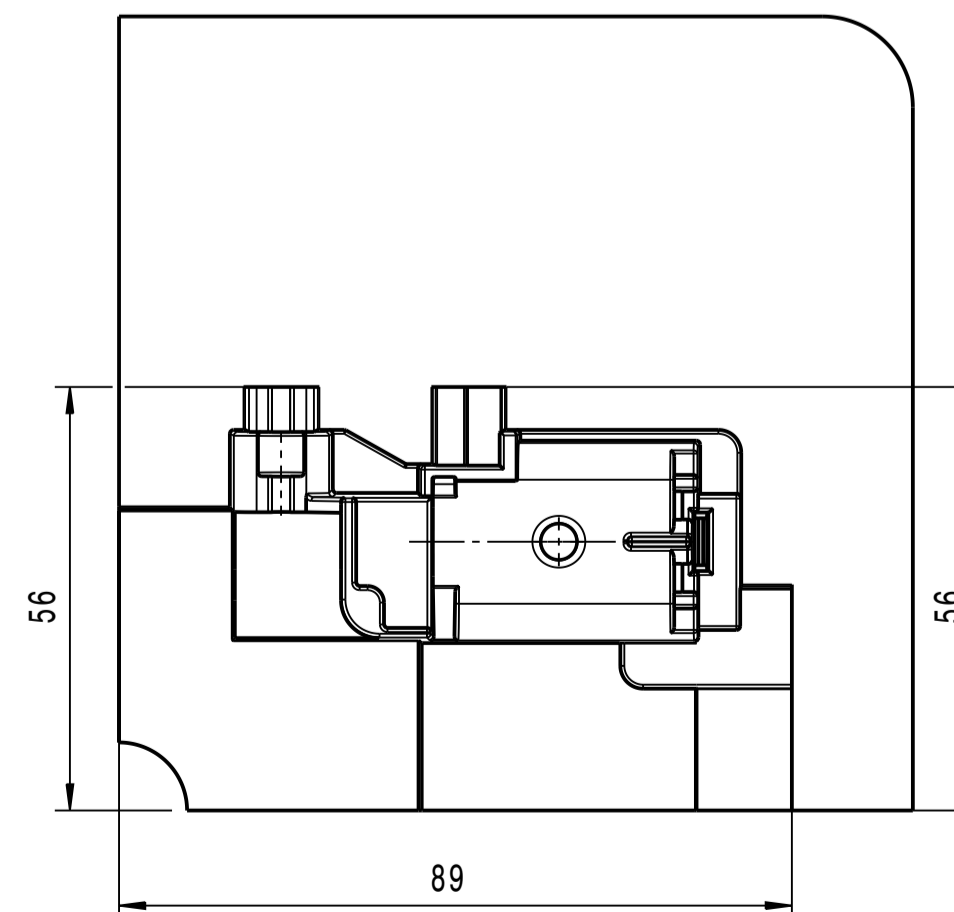


Detail F
2:1

ZNAČENÍ 1 AŽ 4 (DLE BP_LV_2019_00)



POHLED P



CHYBĚJÍCÍ ROZMĚRY DLE 3D DAT
NEKÓTOVANÉ ZKOŠENÍ 0.5x
TVAROVÉ SOUČÁSTI V TOLERANCI ± 0.01
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ: 50 ± 2 HRC
 $\nabla Ra 0,8$ ($\nabla Ra 0,4$)

7	DIN 7527-6	115x115x50	ČSN 19552	-	4.27 kg	-	BP_LV_2019_00	4
Poz.	Název - rozměr	Položovar	Material	F.O.	C. hmot.	Hřídci	Číslo výkresu sestavy	Počet ks
Pos.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	2 wico	Assembly drawing no.	Quant
CAD 2	Datum / Date	Jméno / Name						
Kreslí /	10.04.2019	LUKÁŠ VÍTEK						
Projevoval /	-	-						
Checked by /	-	-						
Index změny	Popis změny / change description	Schvál. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note			
1	-	-	-	-	-			
2	-	-	-	-	-			
Tolerance /	Soubor-model / ASM-file	Cvrtt cavića.CATPart		Projekt / Project		Měřitko /		
ISO 129	ISO 8015	Soubor-vykres / DRW-file		BAKALÁŘSKÁ PRÁCE		Scale		
ISO 2768K	BP_LV_2019_07.CATDrawing	BP_LV_2019_00		C. sestavy /		1:1		
VLOŽKA TVÁRNICE 1/2/3/4		Rev. 0		Číslo výkresu / Drawing NO.		Formát		
-		BP_LV_2019_07		BP_LV_2019_07		A1		
-		-		List / sheet no.		Pocet listů / sheets		