

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

**KONSTRUKCE JEDNONÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ  
FORMY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

STANISLAV ŠIMČÁK

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šimčák** Jméno: **Stanislav** Osobní číslo: **437749**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce a výroba součástí z plastů a kompozitů**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Konstrukce jednonásobné vstřikovací formy**

Název diplomové práce anglicky:

**Single-cavity injection mold design**

Pokyny pro vypracování:

Nástrojem procesu vstřikování, který vytváří konečnou podobu výrobku-výlisku, je vstřikovací forma. Návrh konstrukce vstřikovací formy je komplexní proces, zahrnující analýzu výrobního procesu stran provozních parametrů vstřikovacího stroje, analýzu přestupu tepla mezi výrobkem a formou. Provedte konstrukční návrh jednonásobné vstřikovací formy pro definovaný výrobek. Diplomovou práci zpracujte dle následujících bodů:

1. Provedte literární rešerši procesu vstřikování a konstrukce forem.
2. Provedte návrh vstřikovací formy pro definovaný výrobek.
3. Provedte analýzu toku taveniny v dutině formy s ohledem na kvalitu výlisku.
4. Výstupem konstrukčního návrhu bude celkový 3D model formy, včetně podsestav a vybraných výrobních výkresů splňující standardy technické dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů 2: Simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk: Teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, a.s., 2021. 448 s. ISBN: 978-80-271-1294-4  
ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: Teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, a.s., 2018. 464 s. ISBN: 978-80-271-0614-1  
KAZMER, David O. Injection Mold Design Engineering. Munich: Hanser Publishers, 2016. 517 s. ISBN: 978-1-56990-570-8

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D. ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **20.04.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **05.08.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **18.09.2022**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne . . .

.....

Jméno a příjmení

## Poděkování

Touto cestou chci velice poděkovat vedoucímu této diplomové práce panu doc. Ing. Janu Skočilasovi, Ph.D. za jeho podnětné a cenné rady, připomínky, názory, postřehy v průběhu realizace této práce a za jeho angažování se v případě jednání se zadavatelem. Poděkování patří také kolegům pana vedoucího z Ústavu procesní a zpracovatelské techniky na Fakultě strojní ČVUT v Praze, kteří mě svým vlídným a zcela profesionálním přístupem, nejen z hlediska pedagogického, ale také lidského, namotivovali vypracovat tuto velice zajímavou diplomovou práci právě na půdě tohoto ústavu.

Další poděkování patří také pracovníkům firmy Schaeffler Production CZ s.r.o. Lanškroun a to konkrétně pánům Ing. Pavlu Dolečkovi, dále Petru Andršovi, Bohumilovi Jánskému a také panu Pavlovi Čermákovi za jejich pomoc s modelem a výkresovou dokumentací této formy, za jejich rady, připomínky a v neposlední řadě také za jejich velice vlídný a přátelský přístup.

V poslední řadě si dovolím, touto cestou, velice srdečně poděkovat svým blízkým, tedy své rodině, přítelkyni, která mi dodávala neuvěřitelnou psychickou podporu a neutuchající touhu posouvat se vpřed, a také všem přátelům. Jím všem děkuji za jejich nesmírnou podporu, entusiasmus a motivaci v průběhu studia a zejména při vypracování této diplomové práce. Bez jejich obrovské opory, ať už duševní nebo materiální, bych nebyl schopen dosáhnout svého kýženého cíle.

## Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Stanislav
<b>Příjmení autora:</b>	Šimčák
<b>Název práce česky:</b>	Konstrukce jednonásobné vstřikovací formy
<b>Název práce anglicky:</b>	Single-cavity injection mold design
<b>Rozsah práce:</b>	počet stran: 84 počet obrázků: 75 počet tabulek: 3 počet příloh: 3
<b>Akademický rok:</b>	2021/2022
<b>Jazyk práce:</b>	Český
<b>Ústav:</b>	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
<b>Obor:</b>	3911T041
<b>Studijní program:</b>	Konstrukce a výroba součástí z plastů a kompozitů
<b>Vedoucí práce:</b>	doc. Ing. Jan Skočilas, Ph.D.
<b>Zadavatel:</b>	Ing. Pavel Doleček, firma Schaeffler Production CZ s.r.o, Závod Lanškroun, Závod Svitavy
<b>Anotace česky:</b>	<p>Cílem této práce je konstrukční a technologický návrh formy pro kompozitní fitinkový díl „Stutzen“ z oblasti automotive. Oproti současnému řešení je u nového návrhu formy vyžadován nový způsob zaformování, který zabrání vzniku ostrých hran (břitů) na funkčních plochách. Břit vzniká jednak v důsledku přirozeného postupného opotřebování částí formy, druhá tím, že u současného dílu prochází dělicí roviny funkčními plochami. U nového způsobu zaformování se využije tzv. „převlečení“ a zároveň se použije jiný druh materiálu, který se v průběhu odformování dílu chová elasticky a tím dovoluje mírnou deformaci geometrie funkčních ploch.</p>
<b>Anotace anglicky:</b>	<p>The goal of this diploma thesis is designing of injection mould's form for fitting part „Stutzen“ used in automotive industry. In comparison with current solution is now required new way of moulding which prevents formation of rim (blade) on work contact surfaces. This rim is being created firstly, by consequence of inherent gradual wear of</p>

both form sides and secondly, due to separating form surfaces going through „Stutzen“ working contact surfaces. In the new solution of formation is used a way called „pulling over“ and alongside is used a different type of material, which behaves more elastic during moulding process and so it tolerates small deformations of working contact surfaces.

**Klíčová slova:**

Vstřikovací forma, analýza vstřikování, dělicí roviny a zaformování, vtoková soustava, chladicí soustava, vyhazovací systém, odvzdušnění, formovací díly, výkresová dokumentace

**Klíčová slova anglicky:**

Injection mould, injection analysis, parting surfaces and moulding, inflow system, cooling system, ejection system, evacuating, mould parts, drawing documentation

**Využití:**

Tento návrh prototypové formy má sloužit k realizaci a vyzkoušení jiného způsobu odformování dílu pomocí tzv. převlečení, při současném použití jiného druhu materiálu, který to umožňuje.

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Teoretická část .....	11
2.1. Popis dílu .....	11
2.1.1. Výroba náběhové části tzv. převlečením.....	12
2.1.2. Použitý materiál Genestar™ G1350A-M42.....	12
2.2. Technologie vstřikování plastů.....	13
2.2.1. Vstřikovací cyklus.....	13
2.2.2. Fáze vstřikovacího cyklu.....	14
2.2.2.1. Plastikační fáze .....	14
2.2.2.2. Vstřikovací fáze .....	15
2.2.2.3. Dotlaková fáze .....	15
2.2.2.4. Ochlazovací fáze .....	15
2.3. Vstřikovací stroj .....	16
2.3.1. Uzavírací jednotka.....	17
2.3.2. Vstřikovací jednotka .....	18
2.3.3. Řídicí systém .....	18
2.3.4. Příslušenství vstřikovacích strojů.....	18
2.4. Forma.....	19
2.4.1. Princip funkce dvoudeskové formy a její jednotlivé části .....	19
2.4.2. Technologické systémy a náležitosti forem .....	24
2.4.2.1. Temperační systémy .....	24
2.4.2.2. Odvzdušnění forem.....	25
2.4.2.3. Vyhazovací systémy forem.....	27
2.4.2.4. Studený a horký vtokový rozvod .....	28
2.4.2.5. Ústí vtoku.....	29
2.4.2.6. Zaoblení, úkosy a dezény.....	29
2.4.3. Materiály forem.....	30
2.4.3.1. Materiály prototypových forem .....	30
2.4.3.2. Materiály finálních forem .....	31
2.5. Zjednodušený postup návrhu vstřikovací formy .....	32
3. Praktická část .....	36
3.1. Cíle práce.....	36
3.2. Požadavky pro zhotovení konstrukčního návrhu formy.....	37
3.3. Základní sestava formy.....	38
3.3.1. Rámová část formy.....	38

3.3.1.1.	Pevná strana formy .....	40
3.3.1.2.	Pohyblivá strana formy .....	46
3.3.2.	Formovací část formy.....	53
3.3.2.1.	Význam dělicích rovin.....	54
3.3.2.2.	Porovnání vlastního návrhu dělicích rovin s původním návrhem .....	54
3.3.2.3.	CADMOULD analýza .....	55
3.3.2.4.	Deformace a smrštění výstřiku .....	63
3.3.2.5.	Zaformování dílu .....	65
3.3.2.6.	Konstrukce posuvných jader a výroba nátrubku „převlečením“ .....	67
3.3.2.7.	Výroba přírubové části.....	74
3.3.2.8.	Konstrukční řešení od vzdušnění formy .....	75
3.3.2.9.	Konstrukční řešení temperace formy .....	77
3.3.3.	Stanovení uzavírací síly .....	79
4.	Závěr .....	81
5.	Zdroje.....	82



## 1. Úvod

Plasty jsou polymerní materiály, do nichž jsou přidávány nejrůznější aditiva kvůli docílení požadovaných konečných vlastností. Nejvíce se používají plasty tzv. masové spotřeby, kterých se vyrábí v globálním měřítku nejvíce. Největší zastoupení zde mají třeba PE (polyetylen), PP (polypropylen) nebo PS (polystyren) nebo jejich modifikace, které se hojně využívají jako obalové hmoty v podobě folií, kelímků, krabiček atd., anebo v případě expandovaného polystyrenu jako termoizolační hmoty.

V průběhu studia jsem měl možnost pracovat, kromě jiného, také jako konstruktér a konstruovat tak kovové, ale i plastové díly pro nejrůznější použití v oblasti strojírenství. Konkrétně tyto plastové díly se vyznačovaly zvláštním přístupem, tedy kromě modelu s přiřazenými materiálovými parametry se rovnou řešil i způsob zaformování - pozice dělicích rovin a směr(y) odjezdu formovacích vložek, což ale nemusí být zvykem v každé firmě, neboť každá firma má své vlastní postupy.

Současným trendem u nových průmyslových výrobků je snaha o co možná největší eliminaci hmotnosti a s tím souvisejícího množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub>, což může mít různé důvody. Jedním z důvodů redukce hmotnosti, který však přímo nesouvisí s emisemi CO<sub>2</sub>, může být ergonomie výrobku v případě, že se výrobek používá jako ruční pracovní nástroj. Dalším důvodem pro snižování hmotnosti, zejména v dopravě, jsou stále přísnější emisní limity výfukových plynů spalovacích motorů. Jedním ze způsobů, jak lze hmotnost redukovat, je nahrazení některých kovových dílů plastovými. Všechny tyto snahy o redukcii hmotnosti či CO<sub>2</sub> mají společné řešení – použití tzv. „high-tech“ plastů, například PTFE (polytetrafluoretylen), PES (polyetersulfon), PEEK (polyetereterketon), PSU (polysulfon) atd. Tyto plastové díly se však musí adekvátně nadimenzovat a vyrobit z vhodného materiálu, který je schopen odolávat například vlivům vysokých teplot za současného mechanického namáhání. V těchto případech se volí varianta, že se takový díl zhotoví z vyztuženého plastu – kompozitu, kde má plast, zjednodušeně řečeno, funkci matrice, tedy dává dílu požadovaný tvar, a vyztuž slouží ke zlepšení mechanických vlastností.

Navazující magisterský obor, který jsem si vybral, je zaměřen na konstrukci a výrobu součástí z plastů a kompozitů. Během studia jsem nasbíral teoretické znalosti jak plastů a kompozitů, tak i jejich výrobních a zpracovatelských technologií a právě z toho důvodu jsem si vybral praktickou diplomovou práci z automotive průmyslu, konkrétně z oboru produkční plastozpracovatelské technologie, jelikož je kombinací mého studijního oboru a zájmu, tedy plastů a automobilů.

Svou diplomovou práci jsem vypracovával na hardwaru poskytnutém firmou Schaeffler Production CZ s.r.o., na kterém jsem měl k dispozici CAD modelář Creo ver.7, včetně

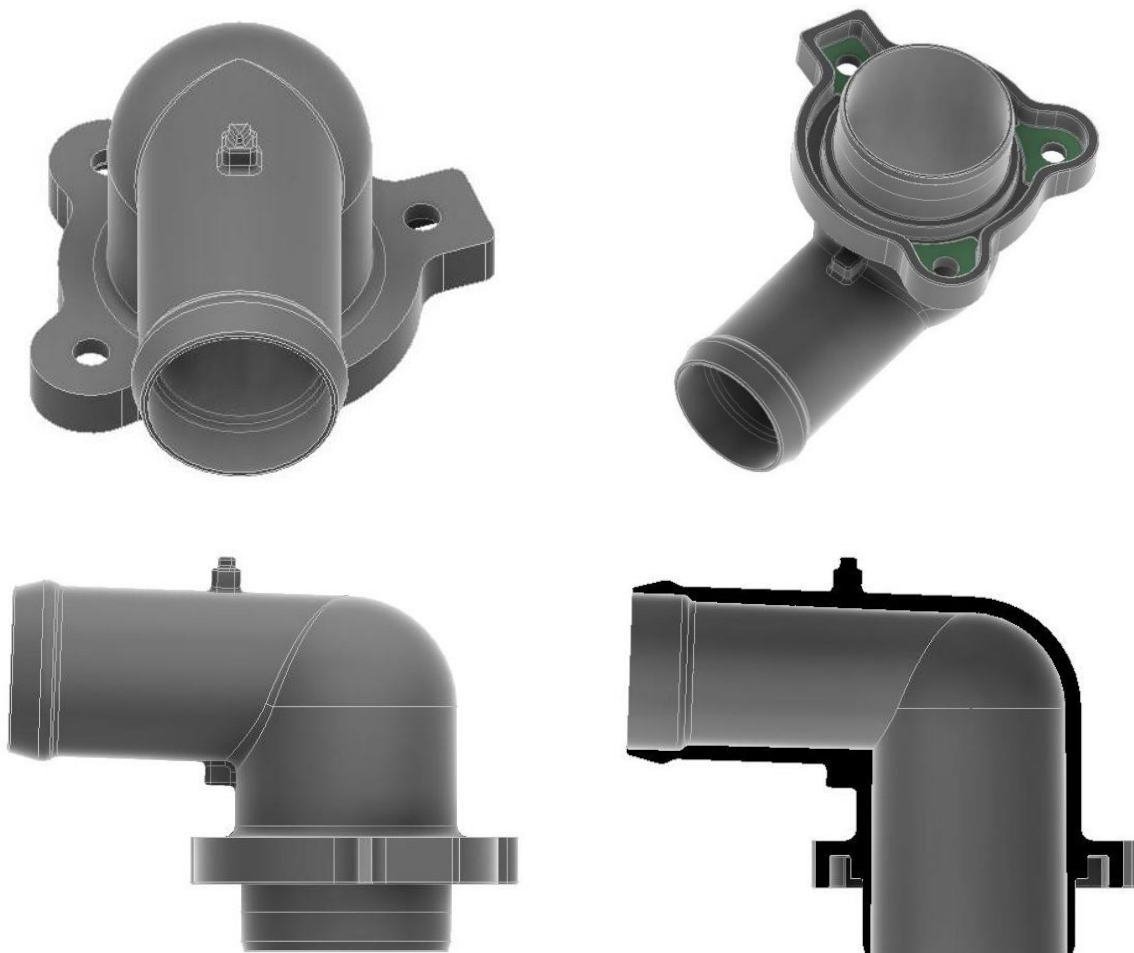
nadstavbových programů jednak pro generování normalizovaných dílů, druhá i pro prohlížení již hotových uložených výkresů uložených na serveru.

Pro vizualizaci jsem použil další CAD modelář Inventor 2022 ve studentské verzi. Pro analýzu a simulaci jsem použil program CADMOULD, který dovede nasimulovat potřebné procesně-technologické vlastnosti toku taveniny. K tomuto programu jsem měl přístup na privátním školním počítači a pracoval jsem s ním pod vedením zkušeného vyučujícího.

## 2. Teoretická část

Nutno říci, že autor použitého zdroje [2] se problematikou vstřikování plastů zabývá jak teoreticky, tak i prakticky, proto je tato kniha vhodným zdrojem, jelikož poskytuje jak definice, tak i praktické návody a rady, které jsou velmi nápomocné v problematice konstrukce forem pro vstřikování (termo)plastů.

### 2.1. Popis dílu



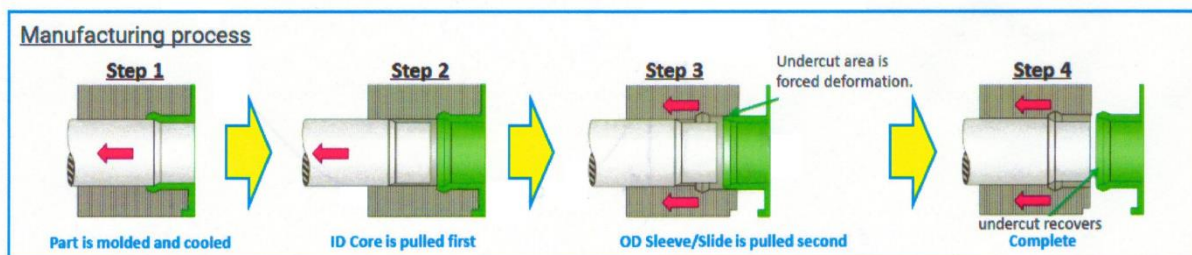
*Obr. 1.: Náhled na díl Stutzen, pohled vpravo dole je řez součástí*

Stutzen je v tomto smyslu německý výraz pro přírubový fitinkový díl. Jedná se o díl z oblasti automotive, jímž proudí jistá provozní kapalina, například motorová chladicí kapalina automobilu. V přírubové části Stutzenu se nachází osazení sloužící ke tvarovému utěsnění mezi hadicí a kapalinou a pomocí děr pro šrouby se přišroubuje k přírubě dílu (modulu), do něhož dosedá, například do základního dílu pumpy chladícího oběhu automobilu, tzv. Gehäuse. Náběhová připojovací kuželová geometrie slouží jako připojovací část pro polymerní trubici, jež se objímkou připevní k válcové části za touto náběhovou geometrií. Současné zaformování náběhové geometrie je takové, že jeho dělicí rovina prochází po obvodu náběhového kužele, čímž se na výstřiku vytváří břit (hranka) vlivem přirozeného opotřebení či nedokonalého dosednutí částí forem. Jelikož by

mohlo, v místě kontaktu hadice s břitem a vlivem dynamických účinků proudícího media, docházet k pohybu hadice po břitu a jejímu narušování (břit se v místě kontaktu chová jako iniciátor trhlin), je v současnosti nutné použít další technologickou operaci k odstranění tohoto břitu. Vzhledem k tendenci zjednodušování a také zlevňování výroby, je potřeba změnit způsob výroby - zaformování dílu a odebrat tím následnou technologickou operaci, proto se použije tzv. převlečení, čímž se odstraní vznik břitu na této náběhové kuželové geometrii, viz Obr. 2.

### 2.1.1. Výroba náběhové části tzv. převlečením

Princip zaformování od fa. Kuraray, materiál PA9T (G1350A-M42)



Obr. 2.: Princip převlečení, který umožňuje materiál G1350A-M42 od firmy Kuraray

Výroba náběhové geometrie dílu tzv. převlečením se v tomto případě skládá ze čtyř kroků, jejíž postup je znázorněn na obrázku 2. výše.

V prvním kroku natéká tavenina do dutiny formy, kde dochází ke zchlazení (temperování) na danou teplotu a po takový čas, aby bylo možné součást vyjmout bez deformací z formy. Ve druhém kroku odjíždí vnitřní posuvné jádro, které svým tvarem definuje vnitřní tvar součásti (dutinu a náběhovou geometrii). Ve třetím kroku odjíždí také vnější posuvné jádro (definuje vnější tvar náběhové geometrie a válcovou plochu za ní), při posunu vnějšího jádra dochází k deformaci této geometrie směrem dovnitř, což je vratná změna díky použití onoho speciálního materiálu. Ve čtvrtém kroku je již vnější jádro zcela odsunutě, materiál je zcela vytažen z formy a deformovaná geometrie se vrací zpět podle původního zaformování (do původního tvaru).

### 2.1.2. Použitý materiál Genestar™ G1350A-M42

Materiál s obchodním názvem Genestar™ G1350A-M42 je polyamid typu 9T plněný 35 hmotnostními procenty skelných vláken, tepelně i chemicky odolný, upravený pro nízkou absorpci vody a se zlepšenou odolností proti otěru, standardně dodávaný ve formě pelet. Běžně se používá v aplikacích, kde je vyžadována tepelná i chemická odolnost a zároveň rozměrová stálost, jako třeba u elektronických součástek nebo automobilových komponent používaných zejména v blízkosti spalovacího motoru.

Důležité materiálové vlastnosti materiálu Genestar™ G1350A-M42:

Název		Hodnota	Jednotka	Testovací standard
Smrštění	Paralelní (rovnoběžné se směrem toku taveniny)	0,3	%	ISO 294-4, 2577
	Normálové (kolmé na směr toku taveniny)	0,9	%	ISO 294-4, 2577
Teplota tání (10°C/min)		300	°C	ISO 11357-1/-3
Teplota skelného přechodu (10°C/min)		125	°C	ISO 11357-1/-2
Absorpce vody		0,19	%	ISO 62
Hustota		1 400	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

Tab. 1.: Tabulka vybraných parametrů materiálu Genestar™ G1350A-M42 [3]

---

### Shrnutí podkapitoly 2.1.

V této podkapitole byl představen díl, jeho účel a nový způsob výroby náběhové geometrie tzv. převlečením. Dále byl představen použitý kompozitní materiál, který takový způsob výroby umožní.

---

## 2.2. Technologie vstřikování plastů

Vstřikování je diskontinuální, cyklická technologie s velkou škálou modifikací, relativně rychlá a s výraznou možností automatizace. Vstřikovat lze jak termoplasty, tak i reaktoplasty.

Princip vstřikování termoplastů je následující: termoplast, obvykle ve formě granulí, je dopraven do plastikační jednotky vstřikovacího stroje, kde je u šnekových strojů působením frikčního tepla od otáčejícího se šneku a tepla přivedeného z odporově vytápěné válcové plastikační a vstřikovací komory převeden do stavu taveniny, která se v důsledku zpětného pohybu šneku nebo pístu shromáždí před čelem šneku a následně vstříkne dopředným pohybem šneku přes vtokový systém do tvarové dutiny temperované formy (teplota vstřikovací formy je menší než teplota taveniny vstřikovaného termoplastu). Po zchlazení výstřiku na vyhazovací teplotu z ní je (po otevření formy jejím vyhazovacím systémem) výstřík vyhozen nebo odebrán robotem [1].

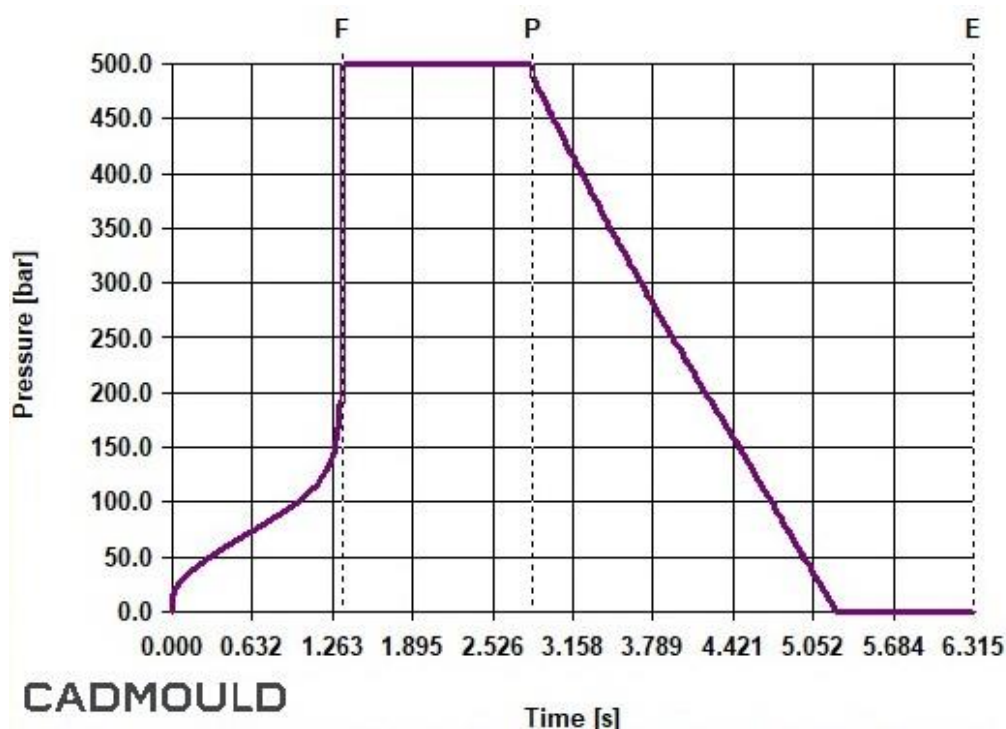
### 2.2.1. Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus, v němž probíhají výše popsané jevy a konformace, je možné popsat takto: zavření vstřikovací formy – vstřík polymerní taveniny do tvarové dutiny formy – přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak – dotlaková fáze – fáze chlazení a plastikace (dávkování) – otevření formy – vyhození výstřiku z formy. Termoplastický materiál (obvykle ve tvaru granulí) je v plastikační jednotce (šnekové nebo pístové) teplem převeden do taveniny a přes rozvodný

systém formy (studený, horký nebo kombinovaný) dopraven do tvarové dutiny formy, kde vlivem tlaku, který ovlivňuje smrštění (rozměrové změny) ji vyplní a převezme její tvar. Termoplast předá formě teplo a v důsledku ochlazování ztuhne ve finální výstřik, který je z formy vyhozen – a cyklus se opakuje. Následuje případná montáž komponent přímo u vstřikovacího stroje, kvalitativní kontrola výstřiku, dokončovací operace, výstupní kontrola jakosti a balení výstřiků [2].

### 2.2.2. Fáze vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus lze rozdělit na 4 hlavní fáze, které ovlivňují stav výstřiku a následně jeho kvalitu. Hlavní předpoklady pro vstřikování výstřiků s maximální izotropií vlastností v objemu výstřiku jsou pro jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu definovány v následujících částech.



Obr. 3.: Průběh závislosti tlaku na čase z prvotní zkušební vstřikovací analýzy ještě neupraveného dílu „Stutzen“. Zjevná je vstřikovací fáze 0-F (nárůst přetlaku z 0 až na 500 bar) a dotlaková fáze F-P (setrvání přetlaku na hodnotě 500 bar).

#### 2.2.2.1. Plastikační fáze

Základním předpokladem pro optimální naplnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou je zajištění teplotní a viskozitní homogenity v dávkce taveniny před čelem šneku. K tomu přispívá správné nastavení teplot na jednotlivých topných pásmech plastikačního válce, zpětný odpor na šneku a obvodová rychlost šneku, resp. otáčky šneku. Poslední dva parametry je obvykle možné v procesu plastikace v závislosti na dráze plastikace profilovat, nastavovat jejich různé úrovně v jednotlivých zvolených úsecích plastikační, dávkovací dráhy pohybu šneku.

Teplota taveniny má rozhodující vliv na orientaci makromolekul ve výstřiku. S růstem teploty taveniny stupeň orientace klesá a výstřik se z hlediska vlastností stává více izotropní. Zároveň ve

směru toku taveniny klesají některé mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, houževnatost), naopak se zvyšuje pevnost studených spojů a snižuje se vnitřní pnutí [2].

#### *2.2.2.2. Vstřikovací fáze*

Jejím hlavním úkolem je naplnění tvarové dutiny formy termicky homogenní taveninou (přípravenou v plastikační fázi) tak, aby rychlost čela proudu taveniny byla v každém místě průřezu tvarové dutiny (tokové dráhy) konstantní. U tvarově jednoduchých výstřiků s konstantní tloušťkou stěny je možné tento předpoklad víceméně dodržet, u tvarově členitých výstřiků s rozdílnou tloušťkou stěny je to již problematické i při využití výsledků počítačové simulace plnicí fáze.

Pro polymery s částicovým plnivem se jako nejvhodnější ukázala kombinace vyšší teploty taveniny a nižší vstřikovací rychlosti. U polymerů s vláknitými plnivem je naopak výhodnější vyšší rychlost vstřikování.

Při velmi nízké vstřikovací rychlosti se čelo taveniny v tvarové dutině formy rychle ochlazuje, což podporuje růst orientace a tím anizotropii vlastností v různých místech výstřiku. S klesající rychlostí plnění se sice ve směru toku taveniny zvyšuje pevnost a houževnatost, klesá však povrchový lesk a snižuje se pevnost studených spojů [2].

#### *2.2.2.3. Dotlaková fáze*

Průběh dotlaku, charakterizovaný hodnotou tlakové odezvy v tvarové dutině formy a dobou jeho působení, se musí volit tak, aby bylo dosaženo požadovaných tvarů, rozměrů a hmotnosti výstřiku. Působení dotlakové fáze jako celku i jejích jednotlivých parametrů (doba dotlaku, tlaková úroveň dotlaku, profil dotlaku – rozdělení doby dotlaku na jednotlivé časové úseky a v nich nastavená jiná hodnota tlaku) nad optimum, kterým je dosažení požadované hmotnosti, vykopírování tvarů dezénů ze stěn tvarových dílů formy a zejména dosažení požadovaných rozměrů a tvarů výstřiku, vede ke zvýšení obsahu vnitřního pnutí ve výstřiku (vnitřní pnutí je úměrné součinu dotlaku a doby jeho působení). Delší působení dotlaku než je potřeba je neekonomické – zbytečná činnost hydraulického čerpadla.

Dotlaková fáze se využívá ke korekci smrštění a tedy rozměrů, případně deformací, k odstranění propadlin, lunkrů, trhlin, bublin, včetně dokonalejšího vykopírování povrchu (dezénu, lesku, matu) tvarové dutiny formy [2].

#### *2.2.2.4. Ochlazovací fáze*

Ochlazování výstřiku ve tvarové dutině formy začíná již v okamžiku začátku plnění tvarové dutiny polymerní taveninou (respektive po objemovém naplnění dutiny) a trvá až do vyhození výstřiku z formy, tedy přes dotlakovou fázi a fázi chlazení bez tlaku po zamrznutí vtokového ústí. Parametry ochlazovací fáze jsou teplota formy a doba ochlazování. Minimální doba ochlazování

musí zaručit takovou tuhost výstřiku, aby byl vyhozen z formy bez deformací nebo vad způsobených vyhazovacím systémem.

Obecně platí, že čím je ochlazování výstřiku pomalejší (tzn. čím je vyšší teplota formy a delší doba ochlazování, nižší teplota vyhození výstřiku z tvarové dutiny formy), tím větší je u semikrystalických plastů obsah krystalického podílu, a proto je při takové kombinaci technologických parametrů ochlazovací fáze i větší smrštění, a to vlivem uspořádanosti krystalické fáze, specifická hmotnost, tuhost, tvrdost a pevnost výstřiků, při klesajícím dosmrštění, tažnosti a navlhavosti. Teplota formy (její zvýšení) má navíc pozitivní vliv i na povrchový lesk a celkově na kvalitu povrchu výstřiku.

Optimalizace doby ochlazování má výrazný vliv na ekonomii výroby konkrétního výstřiku z pohledu celkové doby vstřikovacího cyklu, kde obvykle tvoří jeho nejdelší dobu. Z hlediska kvalitativních požadavků (rovnoměrná vnitřní struktura výstřiků, minimalizace vnitřního pnutí – relaxace, minimalizace izotropie – relaxace) by doba ochlazování měla být co nejdelší, z ekonomického hlediska pak co nejkratší. Vždy je nutné volit kompromis vycházející z požadavků na kvalitativní parametry výstřiků a cenových požadavků odběratele výstřiků [2].

---

### **Shrnutí podkapitoly 2.2.**

V této kapitole byla zběžně popsána technologie vstřikování plastů, vstřikovací cyklus a jednotlivé fáze vstřikovacího cyklu (plastikační, vstřikovací, dotlaková a ochlazovací).

---

### **2.3. Vstřikovací stroj**

Z pohledu procesního inženýrství je vstřikovací stroj klasifikován jako výrobní zařízení, protože se v něm realizuje výrobní proces - tzn. přeměna suroviny na produkt požadovaných vlastností. Kombinuje v sobě vlastnosti jak výrobního aparátu, kvůli probíhajícímu fyzikálnímu procesu přeměny fáze, tak i zpracovatelského stroje, jelikož uskutečňuje fyzikální změnu látek v důsledku relativního pohybu mezi látkou a pracovním členem (v tomto případě polymerní granulí).

Obvyklé je konstrukční provedení vstřikovacích strojů se šnekovou plastikací. Šneky mohou být univerzální (pro zpracování prakticky všech vstřikovacích termoplastů), mohou být upraveny pro vstřikování kompozitních materiálů (odolnost proti abrazi), nebo jsou na nich vytvořeny míchací zóny, případně jsou dvouchodé pro rychlou plastikaci větších objemů taveniny.

Obvyklé je uspořádání vstřikovacího stroje se vstřikem do osy vstřikovací formy, kolmo na její hlavní dělicí rovinu s horizontální plastikační jednotkou. Pro některé technologické postupy vstřikování je plastikační jednotka umístěna vertikálně nebo horizontálně, ale kolmo na osu stroje – vstřik do dělicí roviny vstřikovací formy [2].



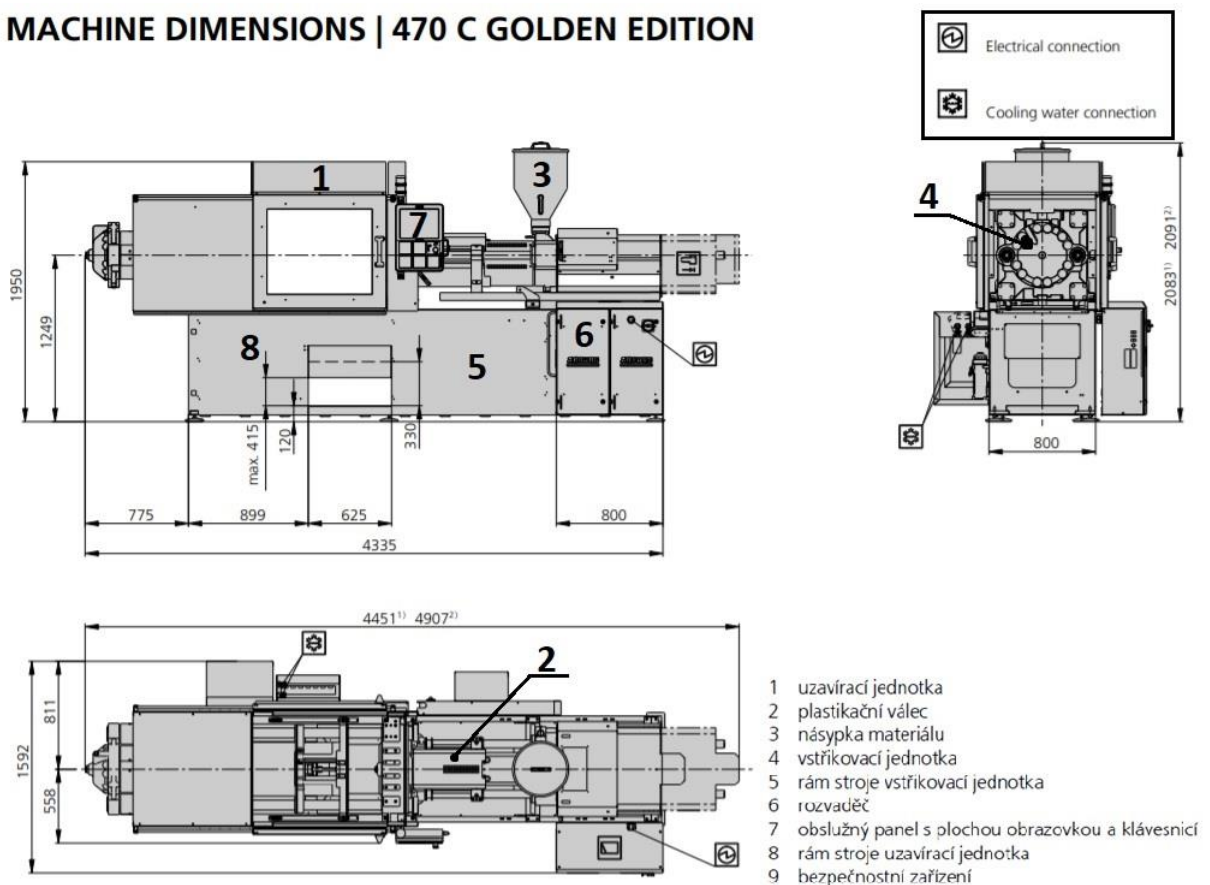
Vstřikovací stroje jsou modulární koncepce, přičemž jednotlivé moduly tvoří především:

- Uzavírací jednotka
- Vstřikovací jednotka
- Řídicí systém
- Rám stroje s elektrovýzbrojí a pohonným systémem

[2]

Konkrétní příklad modulární koncepce vstřikovacího stroje včetně odkazů a legendy v češtině viz Obr. 4.

### MACHINE DIMENSIONS | 470 C GOLDEN EDITION



Obr. 4.: Schéma a základní rozměry vstřikovacího stroje ALLROUNDER 470 C firmy ARBURG včetně značek přívodů elektrické energie a chladicí kapaliny (autorsky upraveno)

[4]

#### 2.3.1. Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Současné stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy.

Uzavírací jednotka může být osazena vodicími sloupy nebo bezsloupová, systém uzávěru může obsahovat tři desky, nebo může být dvoudeskový (zkrácení stavební délky vstřikovacího stroje) [2].

### 2.3.2. Vstřikovací jednotka

Hlavním úkolem vstřikovací a plastikační jednotky je příprava termicky homogenní taveniny s minimálním obsahem uzavřeného vzduchu – vzduchových bublin. Od padesátých let minulého století je nejčastějším způsobem plastikace (převedení pevného skupenství vstřikovaného materiálu do stavu taveniny) plastikace šneková, která teplo přivádí jak z vnějšího zdroje (topná pásma na povrchu plastikační jednotky), tak z vnitřního zdroje (smykové a frikční působení na granulát a vznikající polymerní taveninu).

Pro zpracování prakticky všech na trhu dostupných vstřikovacích materiálů (kromě tvrdého PVC) se používají tzv. univerzální šneky, charakterizované poměrem délky ku průměru (obvyklý poměr  $l/D$  se pohybuje v rozmezí cca 1:16 do 1:25, nejčastěji 1:20 až 1:22) a kompresním poměrem (tedy objemem jednoho závitu šneku u jeho špičky ku jednomu závitu pod násypkou). Typická hodnota kompresního poměru je 1:2, běžné jsou i šneky a komory v úpravě pro zpracování plněných, vyztužených materiálů, v několika stupních odolnosti proti abrazi [2].

### 2.3.3. Řídicí systém

Hlavním členem kontrolní a řídicí jednotky je regulátor, který zpracovává aktuální hodnoty sledovaných parametrů, které získává přímo ze systémů stroje a porovnává je s hodnotami zadanými. Pokud regulátor zaregistruje nějakou odchylku, potom se snaží pomocí regulačních prvků v daném systému dorovnávat aktuální hodnotu parametru na požadovanou úroveň (např. pomocí škrtícího ventilu v hydraulickém systému regulátor zvyšuje nebo snižuje průtok oleje apod.). Celý systém je v současnosti standardně řízen mikroprocesory, což umožňuje i automatickou optimalizaci procesu v průběhu injekčního vstřikování. Součástí kontrolní a řídicí jednotky je komunikační rozhraní, prostřednictvím jehož lze nastavovat technologické parametry a kde je možné aktuální hodnoty jednotlivých parametrů sledovat (teplota, rychlost, tlak apod.). Na dotykovém LCD displeji jsou zobrazovány rovněž poruchy, ke kterým během jednotlivých operací došlo. K softwarovému vybavení patří i statistické nástroje pro sledování kvality. Ke kontrolní a řídicí jednotce patří i signalizační zařízení, které „semaforovým“ způsobem informují o právě probíhajících funkcích stroje, případně o poruše [5].

### 2.3.4. Příslušenství vstřikovacích strojů

Z tvaru výstřiku, jeho materiálu, konstrukce formy a dalších požadavků (jako je barvení barevným koncentrátem přírodních granulátů, případně jejich aditivace, zakládání zástříků do formy, ukládání výstříků po jejich vyjmutí z formy a další operace po jejich vyhození z formy) vyplývá použití přípravků, periferních zařízení (sušárny granulátů, barvicí a dávkovací zařízení, ofukovací zařízení atd.) a automatizačních prostředků (odstřihovače vtokových zbytků, použití robotů – lineární nebo s několika stupni volnosti, kolaborativní – spolupracující atd.) [2].

---

### Shrnutí podkapitoly 2.3.

V této podkapitole byl v obecnosti popsán vstříkovací stroj a jeho základní moduly – uzavírací a vstříkovací jednotka, řídicí systém a také příslušenství stroje.

---

#### 2.4. Forma

Základní atributy, podstatné znaky forem:

- Musí obsahovat tvarovou dutinu, která definuje tvar výstřiku, jenž se v ní bude vytvářet.
- Musí mít systém pro přívod polymerní taveniny z plastikační a vstříkovací jednotky vstříkovacího stroje do tvarové dutiny vstříkovací formy.
- U vícenásobných forem musí zajistit dodání polymerní taveniny do každé tvarové dutiny formy ve stejný okamžik a ve stejném stavu.
- Musí působit jako tepelný výměník, který má za úkol polymerní taveninu v tvarové dutině a vtokovém systému formy ochladit relativně rychle a rovnoměrně.
- Musí zajistit vyhození výstřiku a vtokového systému z formy.
- Musí mít takovou konstrukci, aby odolávala tlakovým odezvám od vstříkovacího tlaku vyvozeného vstříkovacím strojem a přenášeného polymerní taveninou přes vtokový systém do tvarové dutiny formy a zároveň zachycovat síly vyvolané uzavírací jednotkou vstříkovacího stroje.

[1]

Základní hlediska dělení vstříkovacích forem:

- Podle počtu tvarových dutin na: jedno- a vícenásobné.
- Podle typu vstřiku: se vstříkáním do osy formy nebo do dělicí roviny formy, kombinace obou způsobů.
- Podle uspořádání: na dvoudeskové, třideskové, dvoudeskové s horkým rozvodným systémem.
- Podle konstrukce: na jednochodé, čelist'ové, s posuvnými jádry, závitové, etážové atd.
- Podle vstříkovaného materiálu: na formy pro termoplasty a reaktoplasty.

[2]

##### 2.4.1. Princip funkce dvoudeskové formy a její jednotlivé části

Dvoudesková forma je nejjednodušší typ formy (a proto ji zde pro uvádím jako zjednodušenou demonstraci), která se skládá z několika desek sešroubovaných dohromady pomocí (v tomto případě) šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Těmito zmíněnými deskami jsou v tomto případě: přední upínací deska, deska A neboli přídržná deska vložky dutiny, deska B neboli přídržná deska vložky jádra, podpěrná deska a zadní upínací deska neboli pouzdro vyhazovače. Některé části forem mají více označení, například deska A je někdy označována jako

přídržná deska vložky dutiny, protože tato deska vymezuje a drží vložku dutiny. Dalším příkladem je pouzdro vyhazovače, někdy také označováno jako zadní upínací deska, protože se připevňuje k pohyblivé (zadní) desce uzavírací jednotky vstříkovacího stroje.

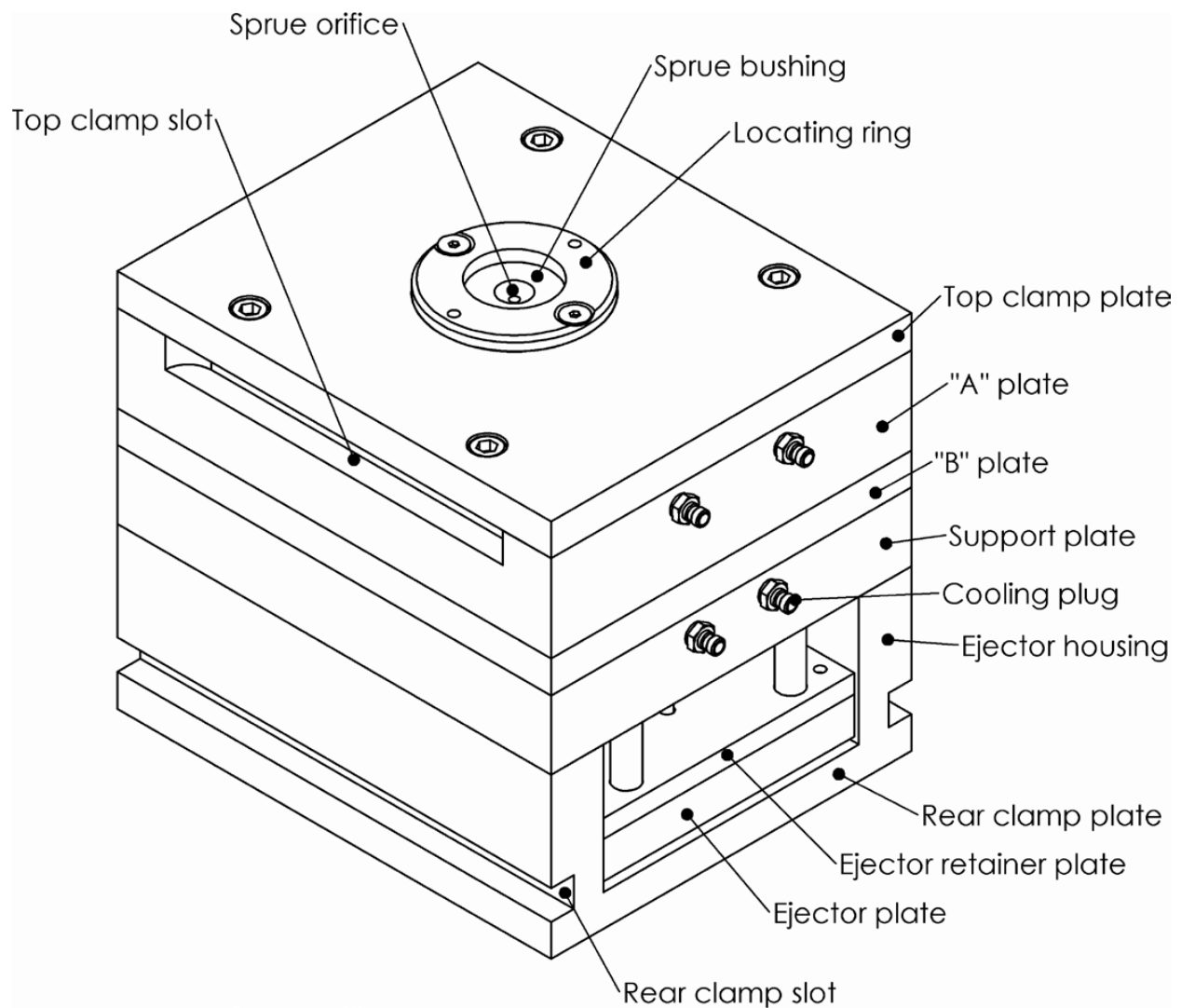
Forma zobrazená na obrázcích 5. a 6. je označována jako „dvoudesková“, protože pro vznik požadované geometrie (dílu) jsou potřeba dvě desky (v tomto případě ozn. jako deska A a B) [6].

Pro připevnění formy k nepohyblivé desce uzavírací jednotky se mohou použít patkové svorky, pomocí kterých se realizuje připevnění jednak jejich přišroubováním k nepohyblivé desce, druhá tvarovým stykem patek a upínacích štěrbin.

Polohovací kroužek, běžně centrováný na střed formy, musí zajistit dokonalý přívod taveniny do dutiny formy. Toho se dosáhne, je-li slícováno jeho vtokové pouzdro a čelo trysky vstříkovací jednotky. Pro usnadnění kompatibility mezi formou a strojem byl vyvinut standardizovaný polohovací kroužek o průměru 100 mm (4 palce).

Při chodu stroje, tedy když se pohybuje s částmi formy připevněnými k pohyblivé (zadní) desce uzavírací jednotky, dojde během cyklu k otevření formy v místě dělicí roviny (pozn.: v případě geometricky složitějších dílů se forma otevírá v místech všech dělicích rovin). Pro uzavírání formy a pro správné vzájemné dosednutí dílů formy, tzn. desek A na desku B, se používají vodicí čepy a pouzdra. Špatně zvolený design nebo konstrukce jednotlivých částí formy může způsobit špatné / nedokonalé dosednutí desek, což může způsobovat vady výstřiku - hrany (břity), přetoky atp., což navíc vede ke zrychlenému opotřebení funkčních částí formy [6].

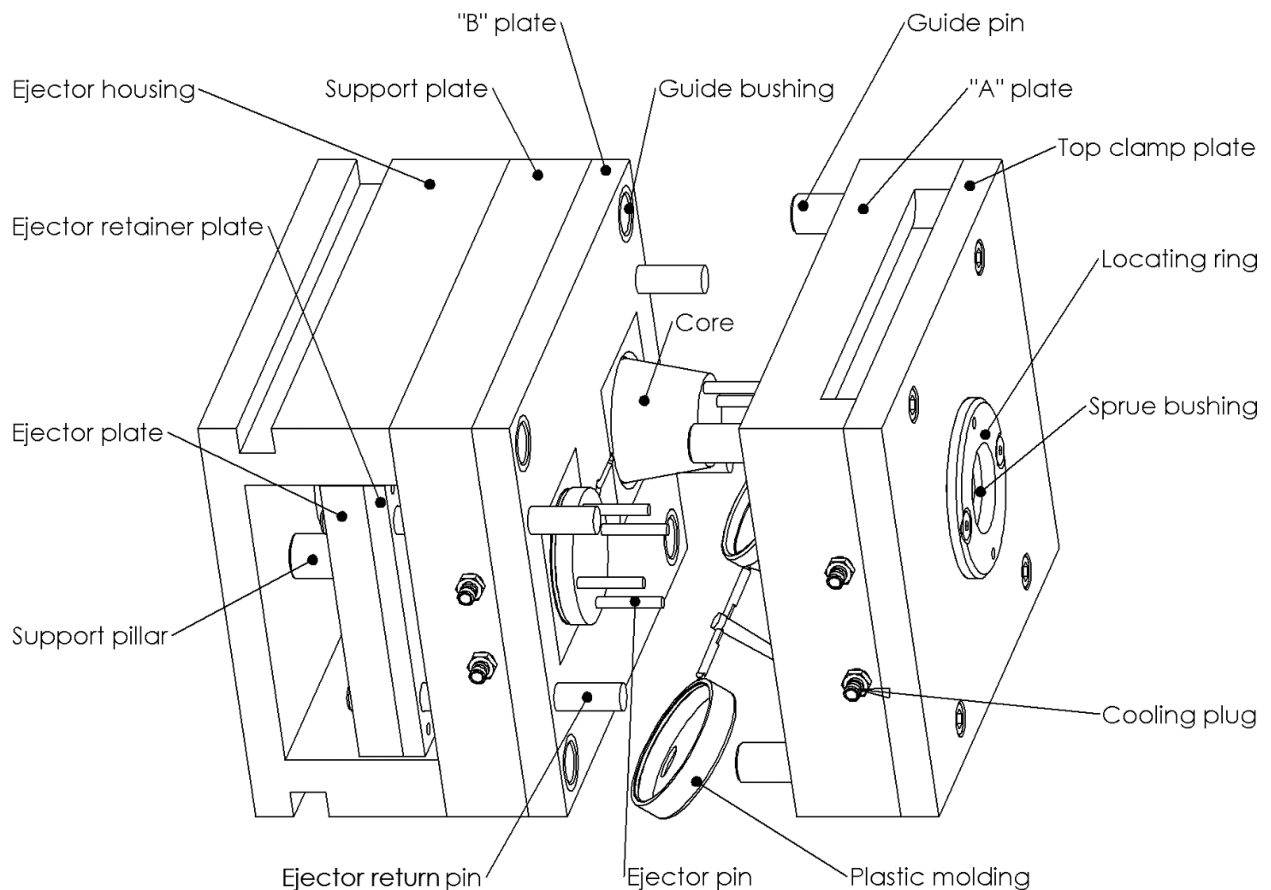
Pozn.: Další možnost realizace pohybu jednotlivých částí forem v uzavírací jednotce vstříkovacího stroje je použití vodicích sloupků. Princip fungování formy zůstává prakticky stejný, rozdíl je v tom, že forma již nepotřebuje vlastní vodicí čepy, jelikož jejich funkci přeberou vodicí sloupky v uzavírací jednotce.



Pozn.: Top clamp slot = přední upínací šterbina, Sprue orifice = vtokový otvor, Sprue bushing = vtokové pouzdro, Location ring = polohovací kroužek, Top clamp plate = přední upínací deska, A plate = deska A, B plate = deska B, Support plate = podpěrná deska, Cooling plug = přípojka chladičského systému, Ejector housing = pouzdro vyhazovače, Rear clamp plate = zadní upínací deska, Ejector retainer plate = přídržná deska vyhazovače, Ejector plate = deska vyhazovače, Rear clamp slot = zadní upínací šterbina

Obr. 5.: Pohled na uzavřenou dvoudeskovou formu [6]

Na obrázku 6. dále je vidět výstřik dvou součástí, v tomto případě kelímek a víčko, spojený vtokovou soustavou. Díky tomu se tato forma označuje jako forma se studeným vtokovým systémem (jelikož je součástí vyhozeného výstřiku vtoková soustava) a také jako forma dvounásobná (kvůli přítomnosti dvou dutin ve formě – při jednom pracovním cyklu stroje se vyrobí současně dvě součásti). Takové vícedutinové formy jsou nejvíce používané, jelikož přinášejí větší produktivitu a ve finále i zlevnění výrobku. Rozhodnutí, jaký bude počet dutin ve formě, má vliv na zvolenou technologii, náklady, velikost a složitost formy [6].



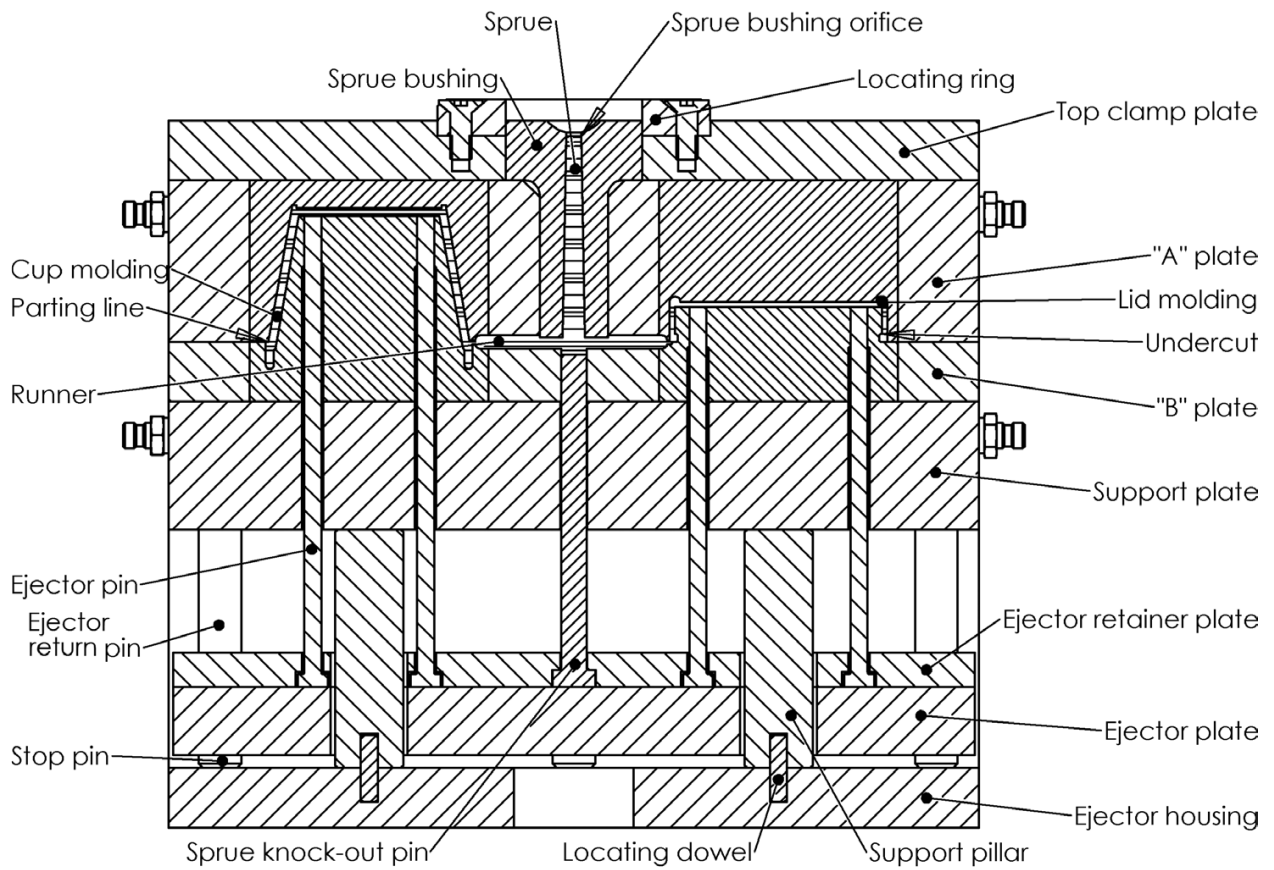
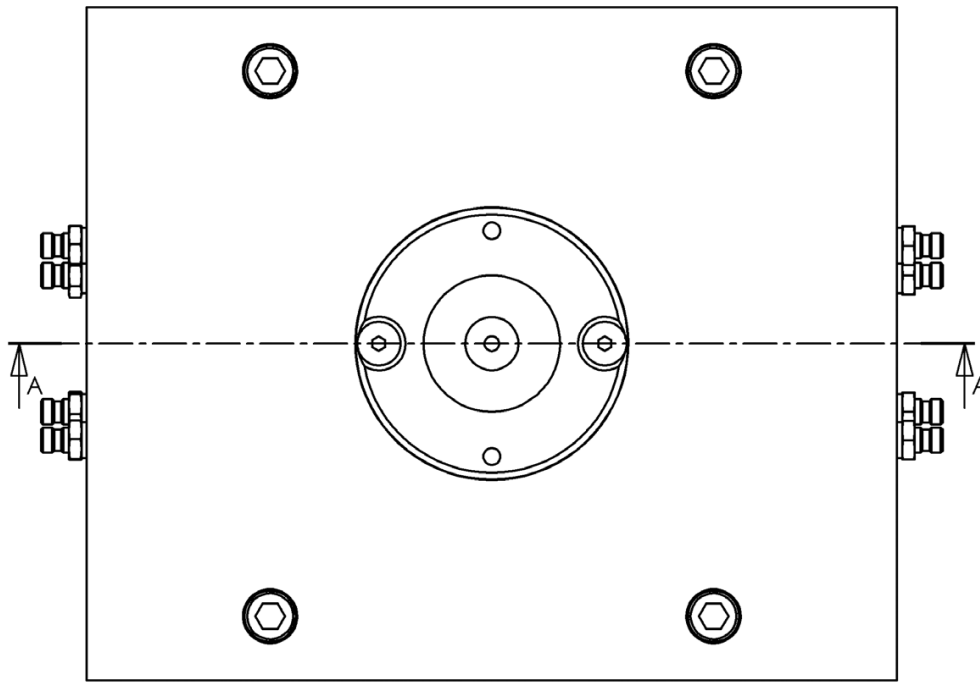
Pozn.: Support pillar = opěrný sloupek, Guide bushing = vodicí pouzdro, Guide pin = vodicí čep, Core = jaderník, Ejector pin = vyhazovací kolík, Plastic molding = plastický výstřik

Obr. 6.: Pohled do otevřené dvoudeskové formy pro provoz na horizontálním stroji [6]

Obecně je žádoucí umístit dutiny dílů co nejbliže k sobě, avšak bez negativního vlivu na umístění vtokového kanálu a chladicích kanálů, vyhazovacích kolíků atp. Proto je obvykle výhodnější zvolit menší (kompaktnější) formu, se kterou se zároveň snáze manipuluje. Na rozhodnutí o počtu dutin ve formě má vliv použití rozměrnější formy, nebo například třídeskové formy, formy s horkým rozvodem atp.

Vysvětlivky k obrázku 7. viz další strana:

Pozn.: Stop pin = dorazový kolík, Ejector return pin = zpětný kolík vyhazovače, Ejector pin = vyhazovací kolík, Runner = kanál rozvádějící taveninu, Parting line = dělicí čára, Cup molding = dutina pro kelímek, Sprue bushing = vtokové pouzdro, Sprue = vtok, Sprue bushing orifice = vtokový otvor pouzdra, Locating ring = polohovací kroužek, Top clamp plate = přední upínací deska, A plate = deska A, Lid molding = dutina pro víčko, Undercut = podkos, B plate = deska B, Support plate = podpěrná deska, Ejector retainer plate = přídržná deska vyhazovače, Ejector plate = deska vyhazovače, Ejector housing = pouzdro vyhazovače, Support pillar = opěrný sloupek, Locating dowel = polohovací čep, Sprue knock-out pin = vyhazovací kolík vtoku



SECTION A-A

Obr. 7.: Pohled shora a řez A-A dvoudeskovou formou [6]

## 2.4.2. Technologické systémy a náležitosti forem

### 2.4.2.1. Temperační systémy

Temperační systém vstříkovací formy je tvořen soustavou kanálů, fontán, dutin, jimiž proudí temperační kapalina (nejčastěji voda) a udržuje teplotu formy na požadované hodnotě, případně v počátku vstříkování formu ohřívá na pracovní teplotu [2].

Úkolem temperace vstříkovací formy je:

- Ohřev formy na požadovanou pracovní teplotu a její udržení v určitém tolerančním rozpětí.
- Zajištění maximální možné homogenity teploty (rovnoměrnosti rozložení teploty po celém tvářecím povrchu formy, včetně její reprodukovatelnosti cyklus od cyklu).
- Odvedení tepla z dutiny formy, resp. výstříku za takovou dobu, aby byly splněny ekonomické i jakostní ukazatele.

Vstříkovací forma pro zpracování termoplastů je v podstatě výměník tepla, do kterého je teplo přiváděno v objemu (dávce) vstříkované taveniny a odváděno zejména přes temperační systém formy ve vyhozeném výstříku a tepelnými ztrátami (vedením, prouděním a sáláním do okolí). V ideálním případě by stěna tvarové dutiny formy měla mít stále stejnou provozní teplotu, kterou zajišťuje temperace formy. V reálném vstříkování teplota formy kolísá v korelaci s cykly vstříkování [2].

Teplo v tavenině přivedené do tvarové dutiny vstříkovací formy se nejdříve z jejího povrchu (stěny) transportuje vedením na povrch temperačního kanálu. Tento transport neprobíhá ve stejnorodém prostředí o konstantním součiniteli tepelné vodivosti, ale z konstrukčních důvodů se tak děje kondukcí (vedením) přes různé konstrukční prvky formy, přes díly o různých tloušťkách a z různých materiálů o různé tepelné vodivosti – tvarové díly a vložky forem jsou vyrobeny z tepelně zpracovaných nástrojových ocelí, z různých slitin mědi (vysoce tepelně vodivé materiály), rámy a desky z uhlíkových ocelí atd.

O vedení tepla v různorodém prostředí vypovídají informativně vybrané hodnoty tepelné vodivosti [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] pro různá prostředí pro plasty v Tab. 2. viz níže:

PE-LD; PE-HD	0,33 až 0,36; 0,38 až 0,48	POM	0,29
PP; PP 20T	0,12 až 0,22; 0,41	PC	0,20
PS a ABS	0,14 až 0,17	PC/ABS	0,18 až 0,20
PMMA	0,19	PBT	0,25
PA 6; PA 66; PA 66 SV30	0,21; 0,22	PPS	0,29

Tab. 2.: Hodnoty tepelné vodivosti vybraných plastů [2]



Z uvedených hodnot je zřejmé, že i mezi plasty jsou výrazné rozdíly ve schopnosti vést teplo: na jedné straně PP (vede špatně) a například PE-HD nebo PPS na straně druhé (oproti PP cca o dvou- až jedenapůlnásobek vyšší schopnost vedení tepla). Obdobně je tomu i u kompozitních materiálů s termoplastickou matricí – talek vede teplo relativně dobře a skleněná vlákna jsou tepelný izolant.

Hodnoty tepelné vodivosti [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ] pro vybrané konstrukční materiály forem v tabulce níže:

Uhlíková ocel (při obsahu C od 0,15 do 0,35%)	50 [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
Legovaná ocel (podle obsahu legujících prvků, například W, Cr, Ni)	15 až 52

Tab. 3.: Hodnoty tepelné vodivosti pro konstrukční materiály forem [2]

Veličiny určující hodnotu součinitele přestupu tepla mezi povrchem stěny temperačního kanálu a temperačním médiem můžeme rozdělit na dvě skupiny. Do první skupiny řadíme veličinu související s vlastním temperačním médiem, jeho kinematickou viskozitu, druhou skupinu tvoří veličiny vztahované k vlastnímu temperačnímu systému formy (hydraulický průměr chladicích kanálů a rychlost proudění temperačního média v nich).

#### 2.4.2.2. Odvzdušnění forem

Před zahájením vstřikování jsou tvarové dutiny vstřikovací formy plně uzavřené vzduchem. Při vstřikování polymerní taveniny do uzavřené tvarové dutiny formy tato nejdříve plní místa s nejmenším odporem proti jejímu toku (tedy se nejdříve plní největší tokové průřezy v dutině formy). Tavenina při plnění uzavřený vzduch tlačí před svým tokovým čelem a pokud vzduch z dutiny může unikat, je plnění taveninou z tohoto pohledu bezproblémové.

V opačném případě, kdy vzduch nemůže z tvarové dutiny utíkat, je taveninou uzavírán, stlačován jejím tlakem, nadměrně ohříván, až může dojít k jeho expanzi – Dieselově efektu či nežádoucímu pootevření formy. Reálný tlak na konci plnění tvarové dutiny formy je místně rozdílný (závisí na hydraulických odporech v daném místě tvarové dutiny – na konci výstřiku a vzdálenosti místa od ústí vtoku, včetně tekutosti vstřikovaného materiálu) a bývá v rozmezí cca 250 bar až (u standardního vstřikování) cca 1 000 bar.

Uzavření vzduchu a jeho expanze způsobí místní degradaci taveniny, vznikne lesklé místo (tavenina je ve stavu těšně před hořením), nebo při hoření taveniny daný objem taveniny zčerná a jeho povrch (i na tmavých nebo černých výstřicích) je tvořen zbytky po spálení. Dalším negativním jevem při uzavření vzduchu může být nedostatečné místo na výstřiku, buď na okraji, nebo i uprostřed nějaké plochy nebo tvaru. To má samozřejmě za následek vznik vzhledové vady a dalších vad, respektive technologických problémů:

- nedokonale doplněné výstřiky – zamrznutí postupu čela taveniny,
- uzavření vzduchu – tvorba bublin v objemu výstřiku, zejména ve stěnách o větší tloušťce,

- zvýšení nebezpečí výskytu studených spojů a s nimi spojených vad povrchu a místní snížení pevnosti,
- vnesení vnitřního pnutí do výstřiku,
- zvýšení anizotropie vlastností výstřiku,
- velké tlakové spády v tvarové dutině formy,
- možnost korozního napadení materiálu formy v důsledku zvýšené teploty a tlaku, kdy se ze zvýšeného vstřikovaného materiálu mohou uvolňovat plyny, které s materiálem formy chemicky reagují.

Pokud je výstřik vyráběn v černé barvě nebo v tmavých odstínech, je někdy problém spálené místo identifikovat. V takovém případě je možné ověřit spálení použitím materiálu, například v „natur“ provedení nebo ve světlých odstínech, na nichž bude spálené místo jednoznačně vidět a možnost provedení odvzdušnění ve správném místě tak bude usnadněna [2].

Způsoby odvzdušnění:

- hlavní dělicí rovinou formy, vedlejšími dělicími rovinami,
- vůlemi mezi tvarovými pevnými částmi formy,
- vůlemi mezi pohyblivými částmi formy,
- odvzdušňovacími kanály,
- speciálními prostředky do formy vloženými.

Obecně platí, že tloušťka odvzdušňovacích kanálů nesmí způsobit přetoky na výstřiku. Stanovení tloušťky je závislé zejména na typu (plněný, neplněný) a viskozitě (tekutosti) vstřikovaného materiálu, které navíc není v příslušné dávce taveniny konstantní, na délce toku taveniny, na konstrukci výstřiku (zamrznání povrchové vrstvy v dutině formy), na nastavených technologických parametrech (zejména teplota taveniny, teplota formy, rychlost vstřikování, vstřikovací tlak, způsob přepnutí ze vstřikovací fáze na dotlakovou, doba dotlaku, dotlak – tlaková úroveň) [2].

Při tvorbě odvzdušnění je nutné vzít v úvahu, že nesmí vzniknout přetok – polymerní taveniny mají tendenci zatékat do spár o tloušťce větších než cca 0,02 mm. U válcových tyčových vyhazovačů běžně tolerovaných H7/g6 nesmí prostor pro odvod vzduchu mít tloušťku větší než 0,015 až 0,020 mm, obdobně to platí i pro další odvzdušňovací kanály [2].

Kromě odvzdušnění tvarových dutin forem pomocí různých typů odvzdušňovacích kanálů je možné v konstrukci forem pro odvod vzduchu použít celou řadu řešení, obvykle nabízených dodavateli normálií. Z nejvíce používaných je možné uvést:

- Vložky ze sintrovaných porézniých materiálů, například z **Porcelax II** (materiál má porozitu 20 až 35% objemových, velikost rovnoměrně v objemu materiálu rozdispergovaných pórů je od 7 do 20  $\mu\text{m}$ , tvrdost 35 až 40 HRC).
- **Vložky výměnné**: z dělicí roviny nebo zezadu, válcové nebo rovné, lamelové, nerezové, díky lamelové konstrukci jsou po vyjmutí z formy dobře čistitelné, zanechávají na dílech stopu.
- **Odvzdušňovací ventily**: montáž ze zadní strany i z dělicí roviny, rozebíratelné, čistitelné, zanechávají na dílech stopu, je možné je vyrobit i jako součást vyhazovače. Jsou postaveny na mechanickém principu: válcové pouzdro s vnitřním kluzným povrchem, v němž se v ose pouzdra pohybuje jádro překrývající při pohybu odvzdušňovací drážky v pouzdře. Jádro je tlačeno pružinou a jeho zpětný pohyb způsobí tlak polymerní taveniny, která tlačí na jeho čelo, jež je možné obrobit podle tvaru výstřiku.
- Na podobném mechanickém principu pracuje japonský ventil **Ekoment**, který je možné umístit za výstřik nebo do studeného rozvodu před výstřik.
- Systém vytvářející v tvarové dutině formy před vstřikem podtlak (systém **VacuumJet** od firmy Cumsa). Vakuační systém je založen na principu odvodu vzduchu z tvarové dutiny již před zahájením vstřikování. Po skončení plnění tvarové dutiny polymerní taveninou je vakuační zařízení vypnuto a jeho činnost je zahájena opět až po vyhození výstřiku z formy (maximální pracovní teplota formy do 80°C). [2]

#### 2.4.2.3. Vyhazovací systémy forem

K vyhazování výstřiků z forem se používají:

- vyhazovače (válcové, ploché, půlkruhové atp.),
- stírací objímky
- stírací desky (sníží napětí ve výstřiku od nerovnoměrného zatížení při vyhazování),
- pneumatické vyhazování.

Pohon systémů je odvozen od vstřikovacího stroje, nebo se děje hydraulickými válci instalovanými do formy.

Smrštění vlákny vyztužených materiálů je relativně izotropní, deformace relativně menší. Díky větší pevnosti výstřiků i při vyšších teplotách může vyhazování probíhat za zvýšených teplot, přičemž by se uvedené skutečnosti mělo přizpůsobit i lícování vyhazovacího systému.

U vyhazovacích systémů forem pro vstřikování materiálů s vláknovou výztuží platí obecná pravidla:

- vyhazovače se neumísťují do vzhledových ploch a částí výstřiků,

- vyhazovače se umísťují do míst s vysokými požadavky na uvolnění výstřiku (žebra, zejména hluboká, rohy, tvarově složitá místa atd.),
- volná délka vyhazovačů má být co nejkratší – riziko zlomení od působení vzpěrné síly,
- používání vraccích kolíků,
- rozložení vyhazovací síly do maximálně možné plochy vyhazovačů,
- zajištění polohy tvarových vyhazovačů. [2]

#### 2.4.2.4. *Studený a horký vtokový rozvod*

Vtokové rozvody musí dovést polymerní taveninu bez výrazného smykového namáhání, bez výrazné tlakové ztráty a rychle do tvarové dutiny formy. U vícenásobných forem musí umožnit naplnění tvarových dutin ve stejném okamžiku, se stejným průtokem taveniny, se stejným tlakem a teplotou. Rozvod a ústí vtoku taveniny musí zajistit i dostatečně dlouhé působení dotlakové fáze.

Empirické poznatky:

- Tyčový vtok do výstřiku by měl mít průměr větší než 1,4násobek maximální tloušťky stěny výstřiku.
- Průměr tunelového ústí vtoku by měl mít průměr větší než 0,8násobek maximální tloušťky výstřiku, minimální průměr by neměl klesnout pod 1,5 mm.
- Tvar a rozměry rozvodných kanálů – nejvýhodnější z hlediska toku taveniny je kruhový tvar, který ale vyžaduje lícování v obou částech formy a je tedy relativně drahý. Jeho průměr by měl být o cca 1,5 mm větší, než je maximální tloušťka výstřiku. Kanály vytvořené pouze v jedné části formy mají parabolický nebo trapezoidní tvar, jejich hloubka má být jako průměr kruhového kanálu a šířka v dělicí rovině o cca 25% větší než průměr kruhového kanálu, úkos cca 5° až 10° na stranu.
- Třídeskový rozvodný systém – není doporučen zejména z důvodu vysoké pevnosti a tuhosti vtokového zbytku, kterou by bylo velmi problematické při odformování vtokového rozvodu překonávat. [2]

V případě horkých rozvodných a vtokových systémů se běžně používají systémy s tokem taveniny v ose kanálu, kdy je topení umístěno vně kanálu a regulační termočlánek co nejbližší u ústí vtoku trysky. V omezené míře je možné používat jehlové uzávěry (kaskádové a zažehlovací systémy), ale je nutné mít na paměti, že u těchto systémů může v důsledku zvýšeného smykového namáhání docházet u vyztužujících vláken k nežádoucím degradačním jevům. Teplota horkého rozvodného systému by měla odpovídat teplotě taveniny v plastikační komoře vstřikovacího stroje nebo být o „něco“ vyšší – záleží na typu vstřikovací matrice [2].

#### 2.4.2.5. Ústí vtoku

Jeho úkolem je dopravit polymerní taveninu bez zbytečného zvýšení smykového namáhání do tvarové dutiny formy a zajistit dostatečně dlouhé působení dotlakové fáze. Používaná ústí vtoku podle pořadí doporučení jsou následující:

- plný tyčový do středu – těžiště výstřiku,
- tunelová,
- šterbinová – zejména pro výstřiky s vysokou hmotností a velkou tloušťkou stěn, jejich zaústění do místa s maximální tloušťkou stěny výstřiku, průřez – minimálně 0,8násobek tloušťky stěny výstřiku,
- filmová ústí vtoku nejsou vhodná.

Stejně jako u všech vstřikovaných granulátů i u vlákniny vyztužených materiálů je nutné se vyhnout tzv. jettingu, tedy volnému toku taveniny do tvarové dutiny formy. Ústí vtoku vždy musí mířit proti stěně formy, kdy dojde k „rozprachu“ polymerní taveniny bez možnosti vzniku volného pramence. Ústí vtoku by se nemělo umísťovat do míst výstřiku s vysokým napětím, které by mohlo způsobovat nežádoucí orientaci vyztužujících vláken [2].

#### 2.4.2.6. Zaoblení, úkosy a dezény

Vnitřní hrany (platí pro výstřik) se zaoblují vždy, hodnota radiusů se volí minimálně 0,2 mm (lépe  $\frac{1}{4}$  tloušťky stěny). Radius vnitřních hran je nutný i z výrobních důvodů, kdy při použití technologie elektroerozivního opracování tvarových dílů formy nebo frézováním vznikne v rozích vždy radius [2].

Vyhazovací síla, působící na výstřik, musí překonat síly vyvolané smrštěním působícím na tvárníky a jádra tvarových dutin formy, dále třecí síly působící mezi pohyblivými částmi formy při její pracovní teplotě a vakuový efekt mezi povrchem výstřiku a povrchem tvarové dutiny formy.

Dostatečně zvolený úkos tvarů výstřiků napomáhá jejich odformování a vyhození z tvarové dutiny formy. Vyhazovací úkosy pro materiály s vláknovou výztuží jsou stejné jako u všech ostatních vstřikovaných materiálů.

Mnohdy se u výstřiků s požadavkem na dezénovaný povrch zapomíná, že k vyhazovacímu úkosu je nutné přidat i úkos pro bezproblémové (bez odření) odformování dezénovaných tvarů a ploch. Dezén (drsnost definovaná hloubkou) má negativní vliv na koeficient statického tření a je tedy nutné k vyhazovacímu úkosu přičíst úkos pro odformování dezénu, jinak dojde k jeho odření [2].

Pro vnitřní stěny se doporučují vyhazovací úkosy v rozmezí cca 1° až 2°, pro vnější stěny cca 0,5° až 1°. K těmto úkosům se přičítá cca 1° úkosu na hloubku dezénu o maximální hloubce 0,02 mm [2].

Pokud z funkčních, tvarových nebo estetických důvodů nelze použít úkosy, je nutné danou oblast a tvar výstřiku zaformovat pomocí pohyblivých částí formy – mechanicky ovládané čelisti, hydraulická jádra atd. [2].

### 2.4.3. Materiály forem

#### 2.4.3.1. Materiály prototypových forem

Při výrobě běžných prototypových forem se využívají jako materiálová základna buď slitiny hliníku, nebo se vyrábějí z ocelí v předzušlechtěném stavu. Formy a tvarové díly forem ze slitin hliníku mají sice při vstřikování lepší tepelné vlastnosti (rychleji reagují na změny teploty, lépe odvádějí teplo apod.), ale z pohledu výroby prototypové formy mají některá negativa: duralové polotovary jsou obvykle dražší než polotovary ocelové a hliníkové slitiny pro třískové opracování vyžadují jiné stroje, než pro obrábění ocelí.

Prototypové vstřikovací formy s tvarovými díly ze slitin hliníku nebo oceli v zušlechtěném stavu se konstrukčně zjednodušují a zlevní tak, že například místo hydraulicky nebo mechanicky ovládaných čelistí a tvarů se forma zjednoduší pomocí ručně vkládaných tvarových jader, které jsou vyhozeny z formy spolu s výstřikem a po jejich demontáži z výstřiku se opět vloží do formy pro následující cyklus.

S výhodou lze pro výrobu prototypových forem použít ocelové polotovary nebo normálie z ocelí přímo od jejich výrobce ve zušlechtěném stavu (některými výrobci nazývané předzušlechtěné oceli) [2].

Použití předzušlechtěných ocelí má i své limity: omezením je především obrobiteľnosť ve zušlechtěném stavu. Obrobiteľnosť se snižuje s rostoucí tvrdostí, a proto je možná tvrdost dílů z předzušlechtěných ocelí limitována. Předzušlechtěné oceli je možné rozdělit do dvou skupin – oceli na rámy forem a oceli na tvarové díly forem.

Rámové oceli mají obvykle záměrně (pro zvýšení obrobiteľnosti) zvýšený obsah síry. Od těchto ocelí nelze požadovat leštitelnost, vysokou houževnatost a odolnost proti abrazi. Vyrábí se i rámové oceli s obsahem chromu, které jsou odolné proti korozi.

Oceli na tvarové vložky, jádra atd. splňují požadavky na životnost prototypových forem (1 000, výjimečně až 5 000 zdvihů), mají dostatečnou tvrdost, odolnost proti abrazi, leštitelnost, schopnost dezénování atd. [2].

#### 2.4.3.2. Materiály finálních forem

Nástrojové oceli pro tvarové části forem na zpracování materiálů s vláknovou výztuží, mají mít pro dosažení požadované životnosti, procesní stability a produktivity některé specifické vlastnosti:

- Vysokou odolnost proti opotřebení: u kompozitních materiálů vyztužených krátkými skleněnými vlákny je nutné, při konstrukci tvarů forem, na abrazi pamatovat a používat tvarové části s tvrdostí 55 až 65 HRC.
- Vysokou odolnost proti korozi: platí to zejména pro PC a PA polymerní matrice a materiály s aditivy proti hoření, která mohou korozně napadat ocelové slitiny použité pro výrobu tvarů forem.
- Vysokou rozměrovou stabilitu: při vyšších teplotách formy (nad cca 100°C) je nutné také pamatovat (zejména u rozměrnějších výstřiků s vysokými nároky na rozměrovou přesnost) na kompenzaci teplotní roztažnosti materiálů tvarů formy.
- Dobrou tepelnou vodivost: nástrojové oceli pro výrobu tvarových částí forem, v závislosti na svém složení, nemají výrazně odlišnou tepelnou vodivost. Určitý rozdíl je mezi nimi a uhlíkovými oceli používanými pro výrobu rámu forem, ale rozdíl není potřeba kompenzovat.
- Požadavky na mechanické vlastnosti: tuhost ocelí při pracovních teplotách forem je po dobu jejich provozu v podstatě na stále stejné úrovni. Použité oceli a jejich případné úpravy musí zajišťovat jejich povrchovou tvrdost, dobré únavové chování, korozní odolnost, odolnost proti abrazi, snadnou leštitelnost a možnost leptání fotochemických dezénů.

Zkrácený přehled vhodných ocelí:

- 1.2341 (48 až 52 HRC) – prokalitelná standardní nástrojová ocel
- 1.2767 (50 až 54 HRC) – vysoce kalitelná, dobře leštitelná
- 1.2842 (56 až 62 HRC) – standardní odolnost proti opotřebení
- 1.2379 (58 až 62 HRC) – vysoká odolnost proti opotřebení
- 1.2083 (54 až 56 HRC) – korozní odolnost, leštitelnost
- Povrchové úpravy ocelí: se používají pro zvýšení životnosti forem. Technologie úprav: nitridace, boridování, chromování, niklování, povlakování CVD (Chemical Vapour Deposition) a PVD (Physical Vapour Deposition). Nejčastějším používaným povlakem je TiN (tloušťka cca 5 μm, tvrdost 2 300 HV, odolnost proti abrazi vysoká, odolnost proti korozi omezená, odformovatelnost dobrá, lesk stejný jako u leštěné oceli, vrstvu lze odstranit a obnovit), další vrstvy např. TiCN, CrN atd.

---

## Shrnutí podkapitoly 2.4.

V této podkapitole byl popsán princip funkce a jednotlivé části vstřikovací formy, které byly demonstrovány na jednoduché dvoudeskové formě, dále byly popsány jednotlivé systémy a součásti nutné pro správný provoz a chod formy, a nakonec byly zmíněny materiály vhodné pro zhotovování forem včetně nároků na ně.

---

### 2.5. Zjednodušený postup návrhu vstřikovací formy

Na základě rozhodnutí o zaformování je určen průběh jak hlavních, tak i vedlejších dělicích rovin, které by měly být geometricky co nejjednodušší, snadno vyrobitelné a slícované. Jejich umístění musí splňovat požadavky na výrobu jakostních výstřiků, zejména z pohledu rozměrových a tvarových požadavků, rozměrů vázaných a nevázaných formou, správného směru a velikosti technologických úkosů i úkosů pro bezproblémové odformování dezénových ploch, včetně souososti výstřiků při jejich zaformování do obou polovin formy. Stopy po dělicích rovinách nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových vad.

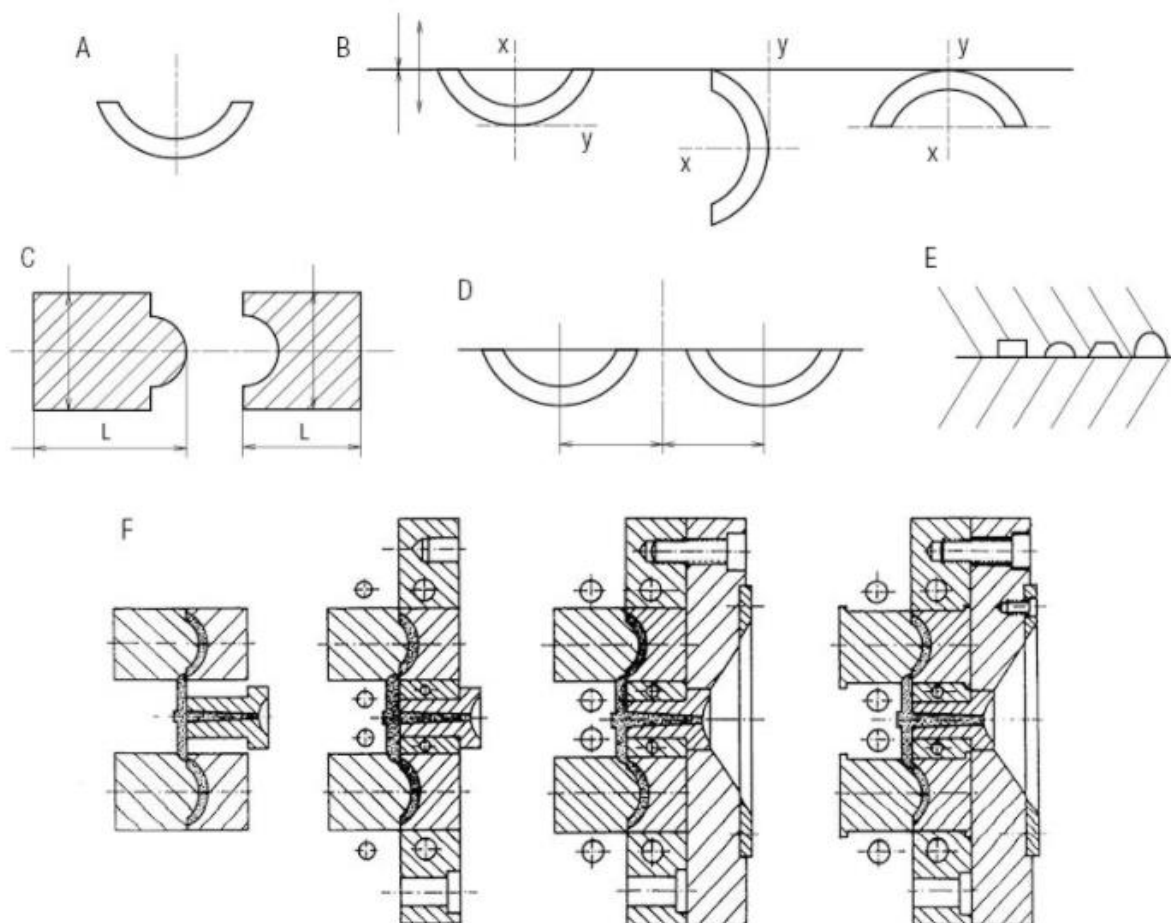
Na dělicí roviny navazuje další koncepce formy s vtokovým systémem, temperačním systémem a vyhazovacím systémem a rámem formy. Pro urychlení a zkvalitnění konstrukce i výroby forem se používají soustavy normalizovaných dílů nakupovaných od specializovaných výrobců.

Od specializovaných výrobců se též nakupují horké systémy, které jsou určeny pro danou výrobu výstřiků, obvykle z garancí funkčnosti i životnosti od jejich výrobce.

Volba materiálu jednotlivých dílů formy a jejich stav (respektive způsob tepelného zpracování) má značný vliv na jejich funkci. Kalení a cementování, případně nitridování, zvyšuje jakost i životnost formy, žíhání naopak usnadňuje opracování. V první řadě se volba příslušné oceli řídí vlastnostmi vstřikovaného granulátu, požadovanou životností formy, způsobem výroby tvarových částí formy, jejich velikostí.

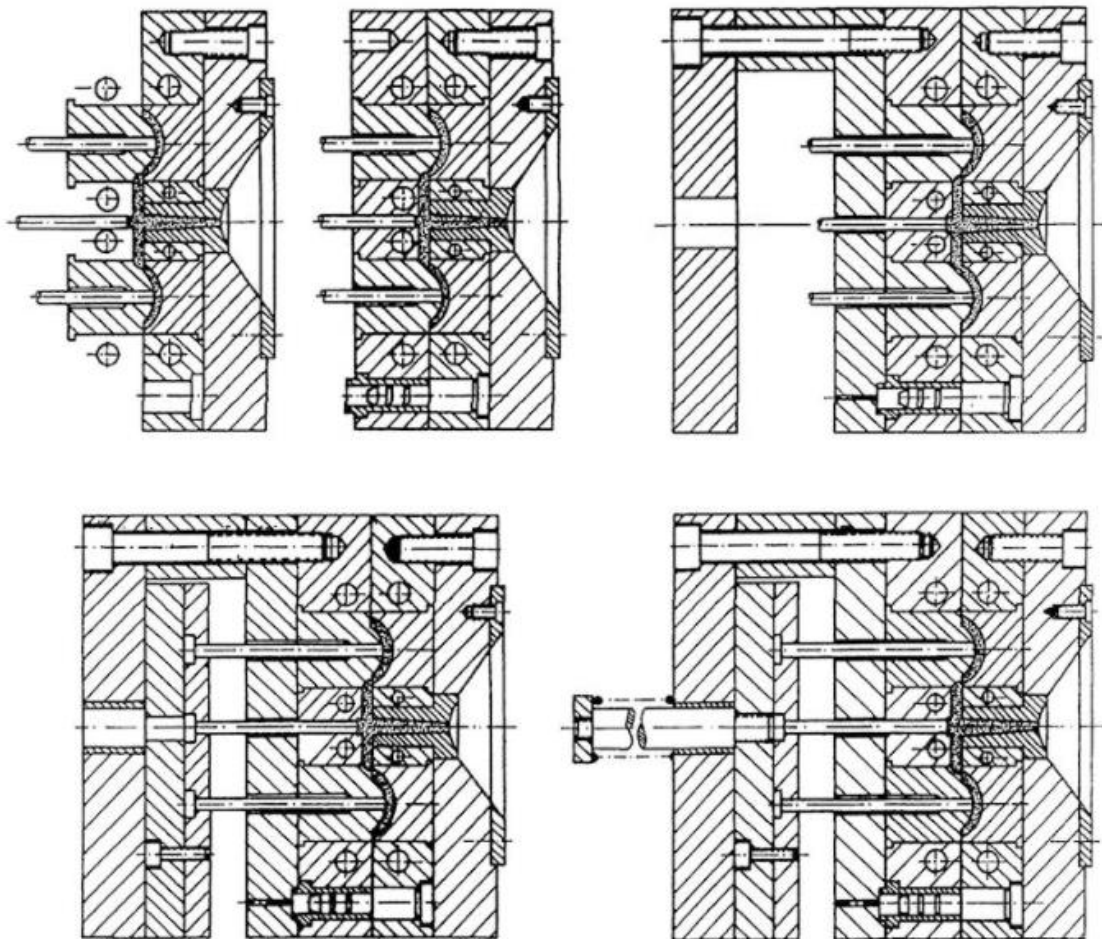
S životností forem a výběrem vhodného materiálu jejich tvarových částí také souvisí jakost povrchu tvářecích dílů formy. Zde musíme rozlišovat, zda se jedná o díly vzhledové, nebo bez požadavků na jakost povrchu. Vzhledové díly mohou být leštěné v některé z jakostních tříd leštění (technický lesk, lesk, zrcadlový lesk), nebo mohou být dezénované (například technologií elektroerozivního obrábění, technologií fotochemického leptání, technologií laserového pálení atd.) [2].





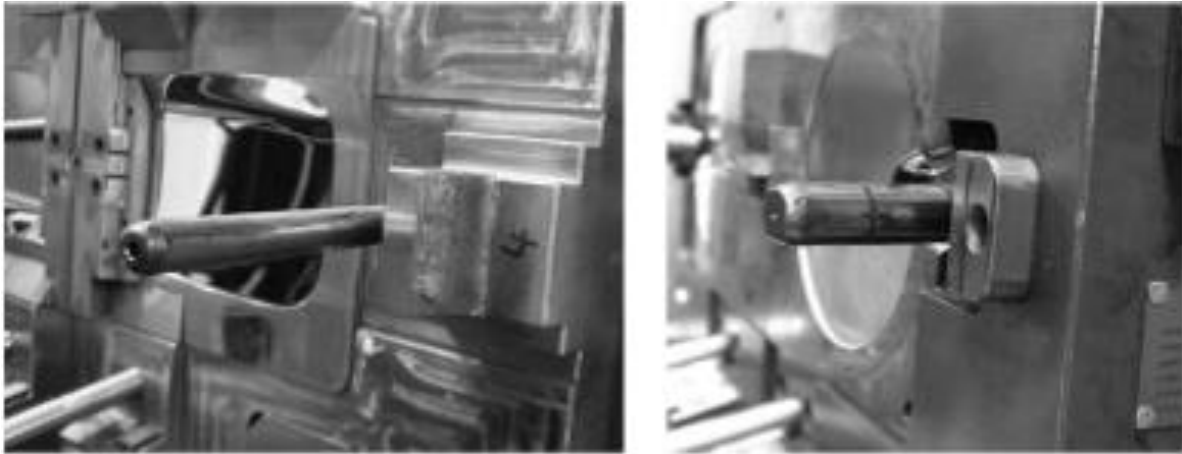
A – zadání pro konstrukci vstřikovací formy (3D model výstříku zkonstruovaný podle zásad technologičnosti konstrukce výstříků z termoplastů), materiál výstříku a jeho smrštění, včetně anizotropie smrštění, další požadavky; B – volba dělicích rovin, úkoly, rozmístění vyhazovačů, umístění ústí vtoku; C – konstrukce zaformování (tvárník a tvárnice, čelisti, jádra, tahače jader atd.); D – stanovení násobnosti formy (počet ks/rok, rozměrová a tvarová přesnost, určený vstřikovací stroj, ekonomičnost atd.) a rozmístění tvarových dutin v hlavní dělicí rovině formy; E – určení vtokového rozvodu (studený, horký, kombinovaný, průřezy a délky kanálů atd.); F – vlastní konstrukce formy s využitím některého ze systému normálií a katalogu horkých systémů.

*Obr. 8.: Nástin postupu konstrukce vstřikovací formy s komentářem [2]*



Jeden z nejdůležitějších posloupnostních konstrukčních kroků je vidět na druhém pohledu: po zaformování tvaru výstřiku do tvárníku a tvárnice (včetně rozvodu polymerní taveniny do jednotlivých tvarových dutin formy) by se konstruktér formy měl věnovat konstrukci temperačního systému, protože v této fázi konstrukce mu nic nebrání ve volné konstrukci kanálů, fontán a dalších temperačních prvků jednotlivých temperačních okruhů. Může tím dosáhnout konstrukčního optima ve vztahu k následným požadavkům na nastavení technologických parametrů vstřikování ve vztahu k teplotě tvarových dílů formy a k rozměrové a tvarové přesnosti výstřiků z termoplastů.

*Obr. 9.: Pokračování nástinu konstrukce vstřikovací formy s komentářem [2]*



Konstrukce závěrných klínů čelistových forem: klíny musí udržet boční tlaky od polymerní taveniny, která působí na čelisti. Příklady správné konstrukce závěrných klínů: klín je integrální součástí tvarové desky a je zapuštěn do tvarové desky.

*Obr. 10.: Vstřikovací formy s čelistmi – konstrukce závěrných klínů a komentář [2]*

---

### **Shrnutí podkapitoly 2.5.**

V této podkapitole byl popsán sled jednotlivých kroků - návazností při návrhu jednoduchého výstřiku. Tyto kroky zahrnují zadání, definici materiálu, volbu dělicích rovin, umístění ústí vtoku, vyhazovačů, temperačního systému, dále pak konstrukci zaformování, definici vtokového rozvodu a nakonec konstrukci formy za pomoci normalizovaných prvků a závěrných klínů.

---

### 3. Praktická část

Praktická, tedy konstrukční, část se zabývá zhotoveným CAD modelem formy, jejíž konstrukce je vysvětlena ve 2 hlavních kapitolách, v rámové a formovací části formy. Rámová část je rozdělena do dvou podkapitol – na pevnou a pohyblivou stranu formy. Formovací část je zde rozdělena detailněji tak, aby vyhovovala zadání, a popisuje návrh dělicích rovin a zaformování, je zde popsáno provedené porovnání původních a navržených dělicích rovin, CADMOULD analýzy, zabývá se také deformacemi a smrštěním výstřiku, zaformováním dílu, konstrukcí posuvných jader a výrobou geometrie nátrubku „převlečením“ a dále výrobou přírubové části, řeší se zde konstrukční řešení odvodu vzduchu a temperace formy (jakožto rozmístění temperačních kanálů) a nakonec je zde uveden a popsán výpočet potřebné uzavírací síly.

#### 3.1. Cíle práce

Cílem této práce je navrhnout funkční prototypovou, tedy zjednodušenou sériovou formu, pro fitinkový díl Stutzen (viz Obr. 1.), k tomuto modelu předepsanou výkresovou dokumentaci a také provést analýzu vyplňování dutiny formy taveninou. Forma musí obsahovat všechny náležitosti kvůli funkčnosti, dále musí splňovat standardy, náležitosti firmy Schaeffler a především programové podmínky pro případné další využití.

Z důvodu časové úspory a zavedených firemních standardů nevytvářím novou, nýbrž upravuji (zjednodušuji) již stávající funkční sériovou formu pro podobný Stutzen, která mi slouží zároveň jako vzor. Zjednodušení stávající formy tkví ve snížení počtu či úplné eliminaci některých prvků, součástí anebo sestav dílů a systémů formy (například použití pouze 1 teplotního čidla pouze na pevné části formy, eliminaci tlakových čidel, horkého rozvodu taveniny, speciálních centrovacích zámků formy atp.), to všechno kvůli maximálnímu snížení případných nákladů v případě prototypové formy, která má ve výsledku sloužit pouze k odzkoušení nových limitů technologie výroby nátrubku (náběhové geometrie) „převlečením“.

V tomto návrhu provedu sám nebo za asistence zkušenějších kolegů z firmy Schaeffler návrh dělicích rovin a zaformování, konstrukci formovacích dílů, odvodu vzduchu formy, konstrukční návrh chladičské soustavy, vyhazovacího systému, vtokové soustavy, analýzu vstřikování, konstrukci rámu formy a nakonec vytvořím vybranou výkresovou dokumentaci.

---

#### **Shrnutí podkapitoly 3.1.**

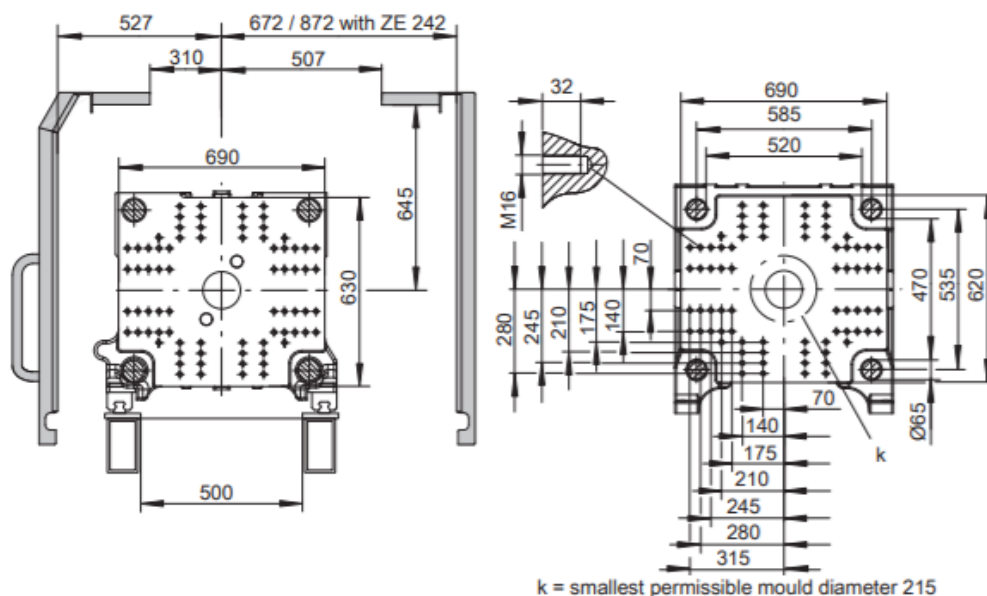
V této podkapitole byly detailněji popsány cíle práce s ohledem na její zadání.

---

### 3.2. Požadavky pro zhotovení konstrukčního návrhu formy

Podle vzoru [2] jsem vytvořil přehlednější upřesňující zadání pro zhotovení konstrukčního návrhu, které vypadá následovně:

- 3D model výstřiku – *obdržel jsem jej v elektronické podobě.*
- Materiál výstřiku – *byl stanoven zadavatelem s ohledem na použití nového způsobu zaformování dílu (tzv. převlečením) – Genestar G1350A-M42.*
- Definice jakostních požadavků kladených na výstřik – *obdržel jsem od zadavatele výrobní výkres.*
- Určení násobnosti formy – *zadána jednonásobná forma.*
- Životnost formy – *pro prototypovou formu je zadáno 5 000 pracovních zdvihů.*
- Zjištění typu vstřikovacího stroje a jeho upínacích rozměrů – *Demag IntElect 100/520-500*



Obr. 11.: Schéma připojovacích rozměrů stroje Demag IntElect 100/520-500 [7]

- Požadavky na vyhození výstřiku z formy – *automatický chod vstřikovacího stroje s vypadáváním pod formu.*
- Požadavky na montážní, měřicí a případně další přípravky – *použije se speciální transportní můstek se šroubem s okem*
- Určení materiálů na rám formy, desky formy, tvarové části a díly formy, tepelné zpracování – *dle standardů dodavatele HASCO*
- Požadavky na kontrolu procesu – tlaková, teplotní čidla – *pouze 1 teplotní čidlo na pevné straně formy vedoucí do tvarové vložky*

---

## Shrnutí podkapitoly 3.2.

Zde bylo podle vzoru (použité literatury) vytvořeno doplňující (nebo upřesňující) zadání, které podává informace nejen o formě, ale i o stroji, o manipulaci s formou atd.

---

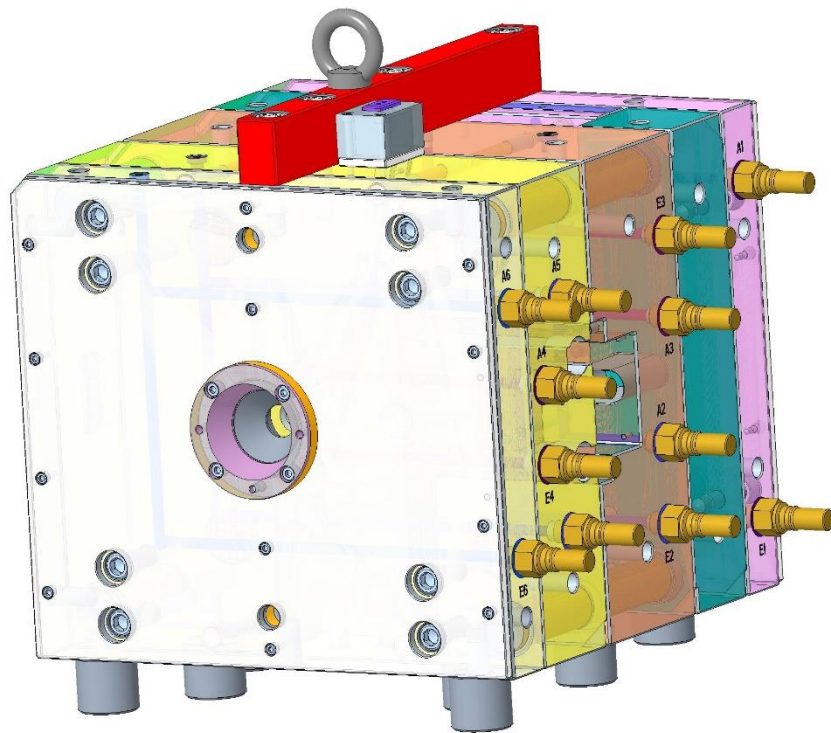
### 3.3. Základní sestava formy

Forma se v tomto případě skládá ze dvou základních konstrukčních skupin a to z rámové části formy a z části „Nest“ (z Němčiny jako „hnízdo“), kterou zjednodušeně nazvu jako formovací, protože ji tvoří díly, které buďto přímo přijdou do kontaktu s taveninou plastu (tudíž dávají výstřiku požadovaný tvar – formu), anebo jsou nezbytným příslušenstvím k těmto dílům pro správné a bezpečné fungování formy.

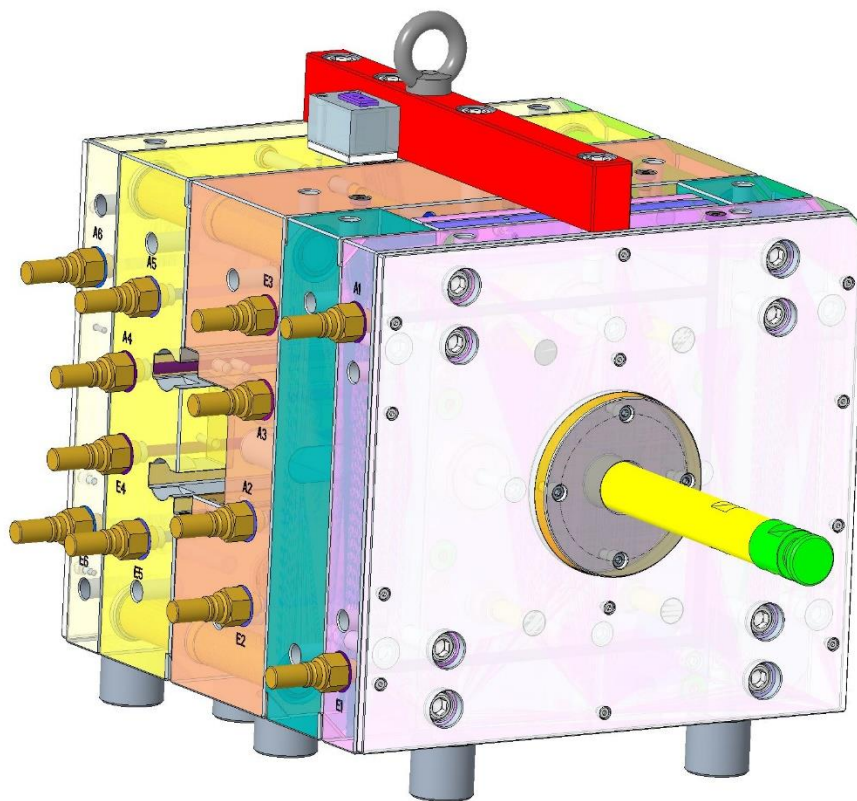
#### 3.3.1. Rámová část formy

Rámová část formy se skládá z desek dle standardu od výrobce HASCO. Geometrie desek odpovídá běžným dodávaným tloušťkám (zde jsou použity tloušťky v rozmezí 56 až 156 mm) a jejich společné rozměry jsou 446 x 496 mm (v x š). Kvůli správné orientaci jednotlivých dílů formy při montáži se všem dílům zhotoví viditelný rozlišovací prvek – v případě desek se jim zkosí levý horní roh nebo v případě použití více shodných prvků (např. vodících kolíků), se použije 1 díl jiného charakteristického rozměru (např. o menším průměru vodící části). Tento jeden díl se zpravidla umísťuje na pozici nahoru doleva. Dále je nezbytné, aby byly k deskám, vyjma vyhazovacích a izolačních, přišroubovány zespod distanční válečky, které mají zajistit, v průběhu montáže, pod stojící deskou manipulační prostor, v tomto případě 50 mm. Dále jsou po stranách každé desky, opět vyjma izolačních, zhotoveny díry se závitem M20, které slouží pro přišroubování šroubů s okem a následnou manipulaci s deskami v průběhu montáže formy.

Kvůli montáži a transportu sestavené formy je zhotoven tzv. transportní můstek (na Obr. 12. červený nosník na vrchní straně formy). Jedná se o plný ocelový profil o rozměrech 40 x 60 mm (š x v), do kterého jsou zhotoveny díry pro šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a také závit pro manipulační šroub s okem, za který se forma pověsí, aby ji bylo možno spustit do vstřikovacího stroje jeřábem. Transportní můstek, respektive šroub s okem, je umístěn nad pozicí těžiště celé formy a to z důvodu manipulace – aby se forma neměla tendenci při zavěšení otáčet okolo os rotace, což ve výsledku usnadní manipulaci se sestavenou formou a její následné upnutí do stroje. Bylo samozřejmě myšleno i na vzájemnou pozici transportního můstku a teplotního čidla, mezi nimiž je patřičná vůle, cca 10 mm.



*Obr. 12.: Pohled zepředu na rámovou část formy*

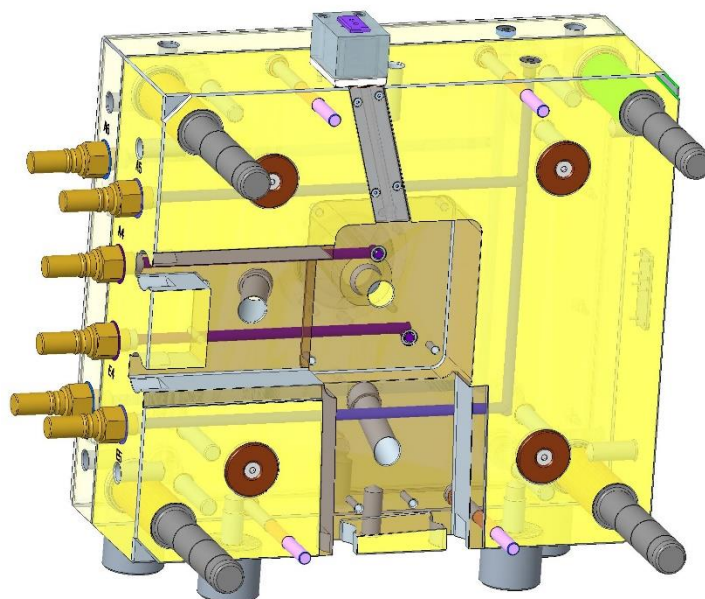


*Obr. 13.: Pohled zezadu na rámovou část formy*

Rámová část formy se skládá ze sestav desek a příslušenství, které se dělí na 2 hlavní podskupiny – na pohyblivou a pevnou rámovou část formy.

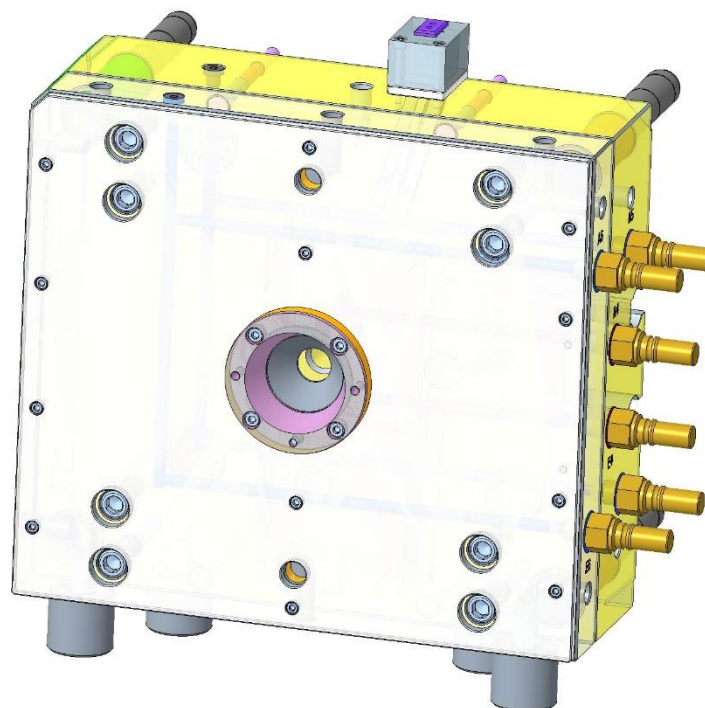
### 3.3.1.1. Pevná strana formy

Tato strana se nazývá jako pevná, protože se v průběhu výrobního procesu se žádná z jejích částí nepohybuje, tudíž se upne a vystředí právě na pevnou upínací desku vstřikovacího stroje.



Obr. 14.: Pohled na sestavu na pevné straně formy

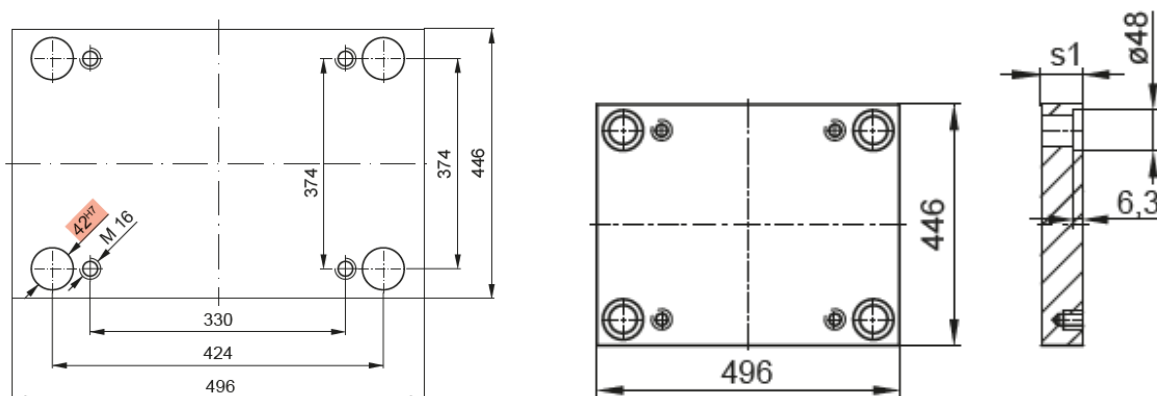
Pro správné vystředění je pevná strana formy opatřena přesnými otvory v upínací desce (prostřední z desek, leží mezi izolační deskou – nejbližší k pozorovateli a formovací deskou).



Obr. 15.: Pohled na zadní stranu pevné strany formy a na centrovací otvory



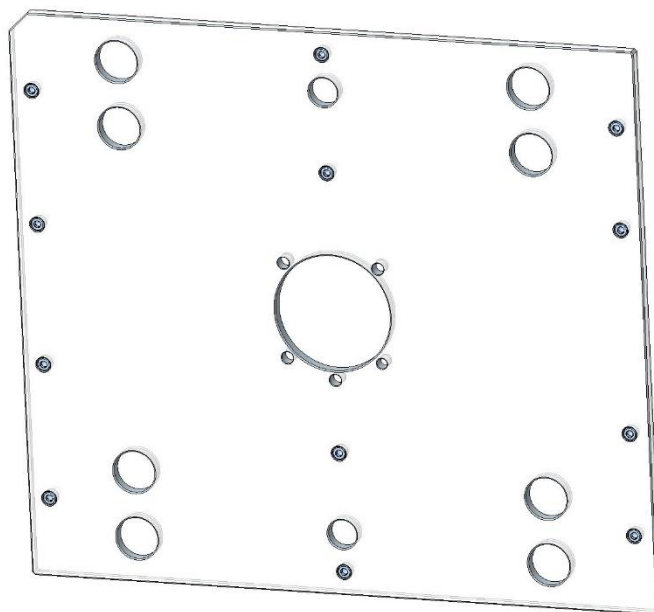
Sestava desek pevné strany formy se skládá z izolační desky (není dle HASCO standardu), upínací desky (dle HASCO značená jako K10/446x496x56, tzn. typ desky / výškový charakteristický rozměr x délkový x tloušťka desky) a formovací desky (dle HASCO značená jako K20/446x496x116). Všechny tyto desky jsou polotovary pro konečnou podobu desek, jelikož se nadále ještě upravují – obrábí se například dutiny pro tvarové vložky, nejrůznější kapsy, zhotovují závitové díry apod.



Obr. 16.: V levé části obrázku jsou zobrazeny základní připojovací rozměry upínacích desek, v pravé části obrázku připojovací rozměry děr pro vodící sloupky formovacích desek [8]

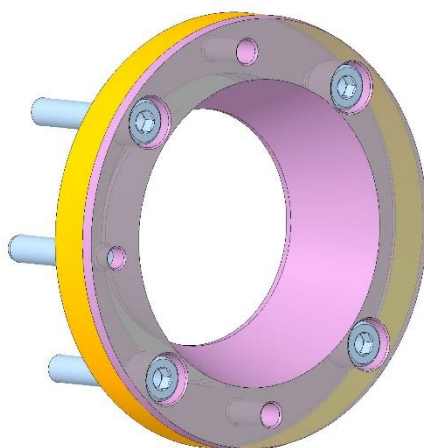
Mezi upínací a formovací desku se vystředí a čely sevřou vodící kolíky, pro něž jsou ve formovací desce vyrobeny 2 díry s osazením, do kterých zapadnou válcová osazení těchto kolíků. Těchto osazených otvorů pro kolíky si lze všimnout na Obr. 14. Jedná se o díry (šedé), které jsou vůči ose formy v horizontálním („vlevo“) i vertikálním („dolů“) směru a prochází podélnou osou posuvných jader – tzv. schieberů.

Izolační deska slouží pro snížení úniku tepla do pevné upínací desky vstřikovacího stroje, jelikož polotovarem pro tuto desku je ocelová deska s nižším koeficientem tepelné vodivosti ve srovnání s ostatními deskami. Izolační deska je přišroubována k upínací desce pomocí 12 šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 (na Obr. 17. šedivě vybarvené). V izolační desce je zhotovena průchozí díra pro centrovací kroužek, okolo této díry se nacházejí průchozí díry s vůlí pro 4 šrouby a lícovaný kolík. Dále se zde vyskytuje 8 průchozích děr pro šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem ISO 4762 (na Obr. 17. jako díry největšího průměru po stranách desky), které slouží ke vzájemnému sešroubování upínací a formovací desky. Vertikálně se v této desce nachází 2 průchozí otvory pro centrovací díry (na Obr. 17. jde o díry ležící na vertikální ose desky). Tyto přesné díry, zhotovené v upínací desce doléhající k této izolační, slouží ke správnému polohování celé sestavy pevné strany formy k upínací desce vstřikolisu.



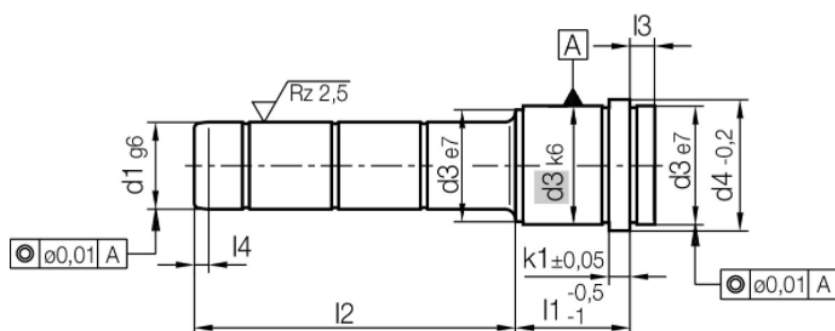
*Obr. 17.: Izolační deska na pevné straně formy se 12 přípojovacími šrouby ISO4762 včetně díry pro centrovací kroužek a jeho spojovací prvky*

V sestavě centrovacího kroužku, která má centrovací funkci – vycentruje trysku vstříkolisu vůči vtokovému pouzdru formy, se nacházejí 4 šrouby ISO 4762 sloužící k uchycení centrovacího kroužku k upínací desce a zároveň ke zlepšení přilnutí izolační desky k upínací desce v okolí osy formy. Kromě toho je zde pro přesné napolohování osy centrovacího kroužku vůči ose formy (upínací desce) použit lícovaný kolík ISO 8734, který se nalisuje do příslušných děr v upínací desce a centrovacím kroužku. V izolační desce je tedy průchozí díra s vůlí, která neovlivní výslednou polohu kolíku vyčnívajícího z izolační desky, takže je možné tak docílit přesné vzájemné polohy centrovacího kroužku vůči upínací desce. Geometrii centrovacího kroužku určuje výrobce vstříkolisu z důvodu kompatibility trysky a vtokového pouzdra.

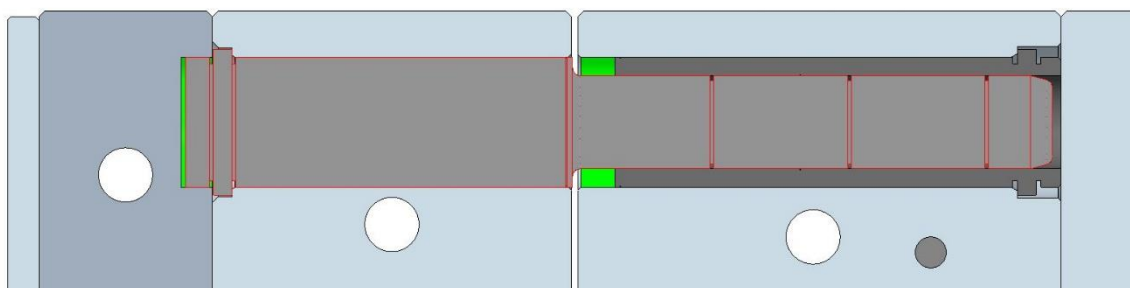


*Obr. 18.: Centrovací kroužek se šrouby (vzájemně odsazené na roztečné kružnici o 90°) a s válcovým kolíkem*

Centrování a zajištění vzájemného pohybu pevné vůči pohyblivé části formy je řešeno pomocí vodicích prvků. Z pevné části vystupují 3 vodicí sloupky Z00/116x32x155 (typ elementu / l1 x d1 x l2) od výrobce HASCO, které se vystředí v desce v tolerované díře průměru 42 H7 a axiálně zajistí ve válcovém osazení v upínací desce. Zbývající, tedy čtvrtý kolík (Z00/116x30x155), má menší průměr z důvodu správné orientace při kompletaci formy, jak již bylo zmíněno, nachází se proto v poloze vlevo nahoře (viz Obr. 14., kde se však nachází vpravo nahoře z důvodu orientace pohledu).



Obr. 19.: Základní rozměry vodicích sloupků Z00 [9]

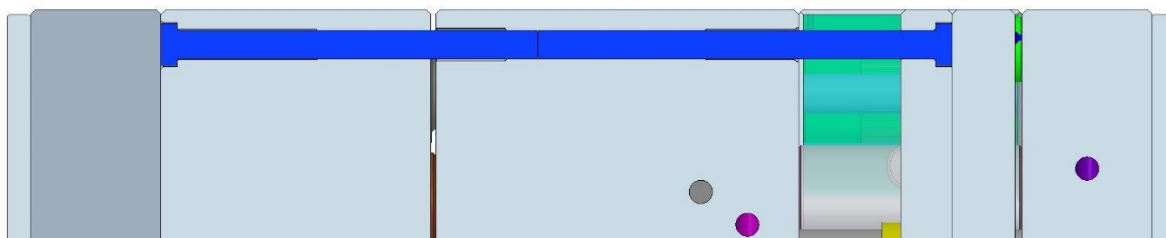


Obr. 20.: Axiální zajištění vodicího sloupku (červeně zvýrazněn) mezi upínací a formovací deskou a jeho dosednutí do vodicího pouzdra ve stavu zavřené formy

Z pevné části formy vystupují také tzv. vraccí kolíky (na Obr. 14. růžově zbarvené, nebo lépe viditelné na Obr. 24.). Tyto kolíky jsou axiálně zajištěny na pevné straně formy (na Obr. 21., zde tvoří pevnou stranu formy první tři desky zleva) mezi formovací a upínací deskou za válcové osazení kolíku, na pohyblivé straně jsou tyto kolíky sevřeny, opět za osazení, mezi deskami vyhazovacího systému.

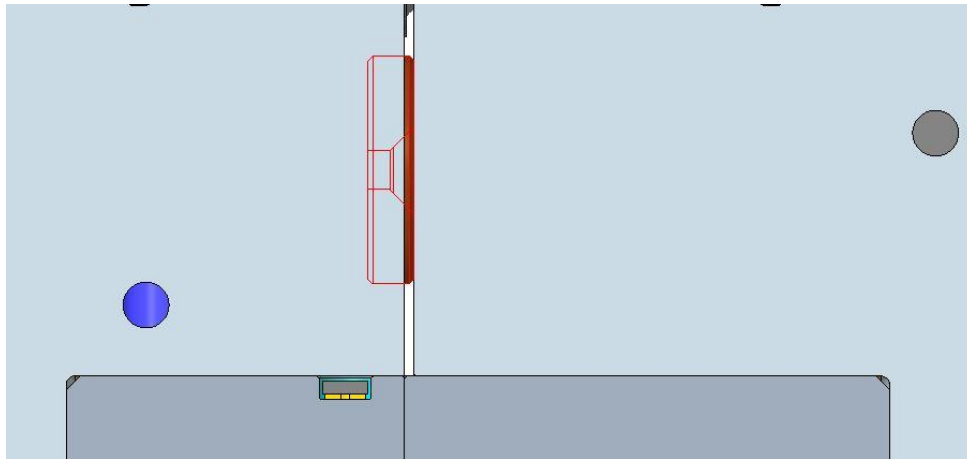
Tyto vraccí kolíky mechanicky vraccí axiálně pohyblivou sestavu vyhazovače zpět do počáteční polohy (tzn. poloha, kdy na sebe dosednou čela dorazových podložek Z55/28x3 dle HASCO na čelo upínací desky na pohyblivé straně formy – na Obr. 21. jsou podložky zelené a nachází se napravo od vraccích kolíků). Toto zpětné posunutí do počáteční polohy (po předchozím otevření

formy) se realizuje pomocí těchto kolíků obou částí formy tak, že při zavírání formy zůstávají kolíky na pohyblivé straně ve své pozici a poté, co se k sobě části formy přiblíží na určitou vzdálenost, dojde ke kontaktu čel kolíků z pevné a pohyblivé strany. V tu chvíli se sice stále forma zavírá (než dosedne pohyblivá část formy na pevnou), avšak kolíky z pohyblivé strany konají od dosednutí čel vůči sestavě na pohyblivé straně zpětný přímočarý pohyb a posouvají tak celou vyhazovací sestavu zpět do počáteční polohy (při zavřené formě). Aby nedošlo k nechtěnému vybočení těchto dlouhých vodicích kolíků od namáhání vzpěrem a tím pádem k jejich možnému zničení, zhotoví se ve formovací desce pohyblivé části formy díra s vůlí, která napomůže správnému vzájemnému navedení kolíků, čímž se minimalizuje možnost jejich případného vybočení či dokonce zničení.



*Obr. 21.: Kontakt vraccích kolíků (modře vyobrazených) pevné a pohyblivé strany formy v díře formovací desky v případě zavřené formy*

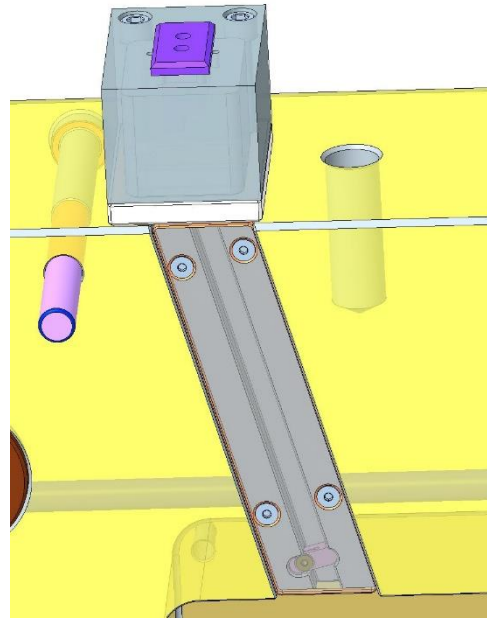
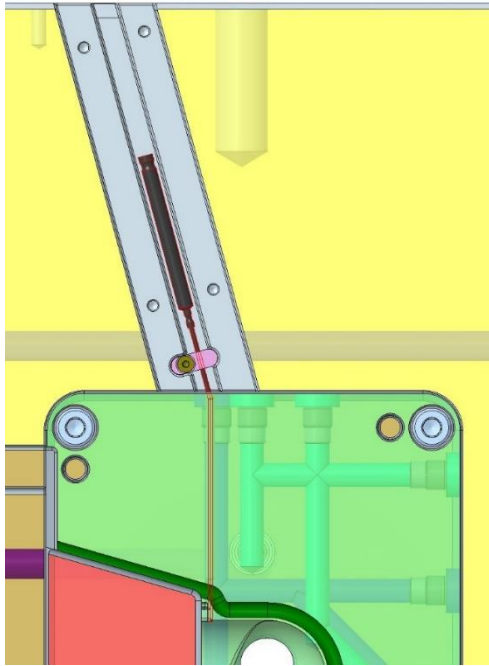
Na formovací desce pevné části formy jsou přišroubovány 4 distanční podložky šroubem s kuželovou hlavou ISO 10642 (na Obr. 14. tmavě hnědé diskové elementy). Tyto distanční podložky dosedají čely na formovací desku pohyblivé části formy (viz Obr. 22.). Distanční podložky vystupují z pevné strany o 2 mm (stejně jako formovací vložka z formovací desky pohyblivé části formy), což je nezbytné pro odsazení pevné od pohyblivé části formy tak, aby tak bylo zaručeno, že se jednotlivé formovací desky při uzavření formy nebudou dotýkat celými svými čelními plochami, ale že se silový tok od uzavírací síly realizuje pouze skrze formovací vložky a tyto distanční podložky. Jde o to, že součet čelních ploch těchto dílů souvisí přímo, díky Pascalovu zákonu a tlaku taveniny vstřikovacího stroje, s výslednou uzavírací silou. Toto řešení je výhodnější, než kdyby se uzavírání realizovalo přes formovací desky s velkými čelními plochami, takže ve výsledku dojde k výrazné úspoře energie zdroje vyvozuujícího uzavírací sílu.



*Obr. 22.: Čelní dosednutí distanční podložky (červeně zvýrazněna) na čelní plochu formovací desky při současném vzájemné čelní dosednutí obou formovacích vložek (tmavě šedé pod nimi) v případě uzavřené formy*

Pro přívod temperačního media do jednotlivých desek slouží TST náústky (rychlospojky), jejichž funkce a smysl jsou detailněji popsány v kapitole „3.3.2.9. Konstrukční řešení temperace formy“. Tyto náústky se umísťují všechny na stejnou stranu formy – na zadní stranu formy (vzdálenější od obsluhy). Důvodem je jednak eliminace kontaminace vnitřních částí formy od temperačního media v případě netěsností příslušenství anebo demontáže formy, druhak musí být tyto náústky pospolu, aby mohly být snadno společně propojeny hadicemi vzhledem k požadavku použití pouze 1 zdroje teplonosného (teplosměnného) media.

Pevná strana formy je také opatřena teplotním čidlem. Teplotní čidlo se využívá k řízení a optimalizaci vstřikovacího procesu. Toto čidlo je chráněno kovovým krytem (vidno na Obr. 24.), celý tento kryt se 2 šrouby ISO 4762 přišroubuje k formovací desce na pevné části formy. Samotné čidlo je ve své podstatě tvořeno senzorem s tenkým dlouhým drátem a vyhodnocovací elektronikou. Pro bezpečné vedení drátku se ve formovací desce zhotoví dutina, kterou je drát veden a ve které se nachází také vyfrézovaná kapsa, do které se přišroubuje svěrka, jež drží drát od teplotního čidla na svém místě a zabraňuje mu tak v pohybu během provozu. Aby nedošlo k poškození tohoto tenkého drátu v průběhu provozu formy, je vybrání kryto plechem přišroubovaným k formovací desce. Měřicí část teplotního čidla se umístí do zhotovené díry ve tvarové vložce tak, aby se čidlo (snímač) nacházelo ve střední části vložky zhruba v poloviční vzdálenosti mezi temperačním kanálem a dutinou formy kvůli eliminaci zkreslování výsledků – pokud bude čidlo například příliš blízko taveniny, bude výsledná teplota vyhodnocená čidlem odpovídat spíše teplotě taveniny, než samotné vnitřní teplotě vložky.

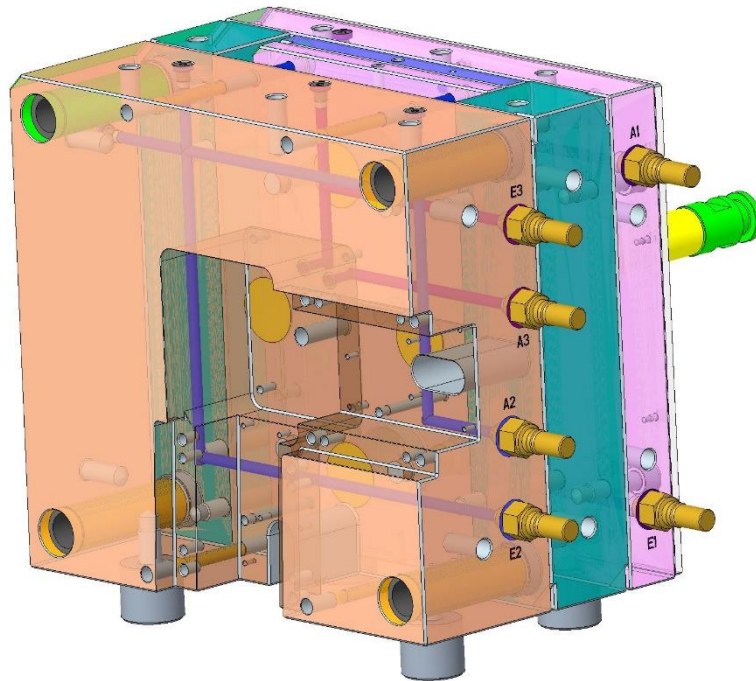


*Obr. 23.: Vlevo je vidno zjednodušené zobrazení (černého) teplotního čidla (k tomu červeně zvýrazněno) včetně svěrky (růžová), to vše je skryto v drážce ve formovací desce.*

*Obr. 24.: Vpravo je pohled na kryt čidla a krycí plech včetně příslušných spojovacích prvků*

### *3.3.1.2. Pohyblivá strana formy*

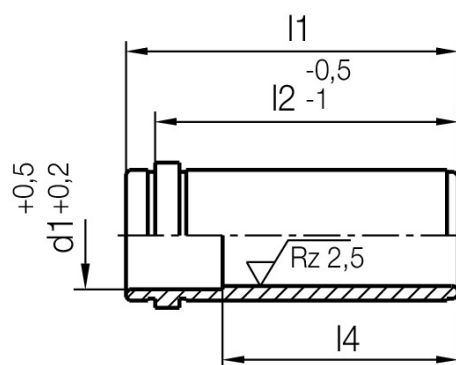
Pohyblivá strana formy se upne k pohyblivé upínací desce vstřikovacího stroje. Tato strana formy je značně obsáhlejší, co do počtu desek i dílů. Obsahuje nicméně opět izolační desku (ta není dle HASCO standardu), upínací desku (dle HASCO standardu značená jako K10/446x496x56), a navíc lišty (dle HASCO standardu značené jako K45/446x496x96), základní a kotevní desky vyhazovacího systému (dle HASCO standardu značené jako K75/446x496x27 a K65/446x496x22) a nakonec formovací desku (dle HASCO standardu značená jako K20/446x496x156).



Obr. 25.: Pohled na rámovou sestavu na pohyblivé straně formy

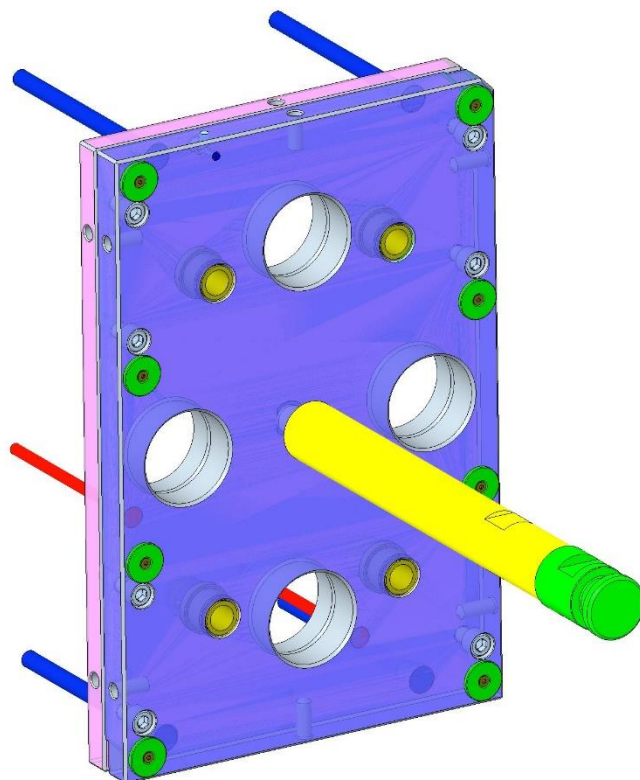
Na Obr. 25. je možno vidět formovací desku (oranžovou). Tato deska je opatřena dvěma oválnými průchozími dírami (šedivě vyobrazené na Obr. 25., jedna na straně náústků mezi značkami A2 a A3, druhá na straně nožiček). Tyto díry jsou rozměrově větší než průměry vodicích kolíků, jež nimi prochází a jsou zhotoveny jako průchozí z důvodu umožnění dostatečné délky vedení těchto kolíků, po kterých se posouvají vnitřní posuvná jádra – vnitřní schiebery.

I na této straně jsou z důvodu centrování a zajištění pohybů vodicí prvky – pouzdra (na Obr. 25. černě vybarvené elementy umístěné v rozích formy, mírně zapuštěné do formovací desky). Jak bylo ukázáno výše, na Obr. 20., z pevné části formy vystupují vodicí sloupky, které jsou vedeny ve třech vodicích pouzdrech HASCO Z10/136x32 (označení vodicího prvku / l2 x d1) a, z důvodu orientace, v jednom pouzdru Z10/136x30 na této straně formy. Tato pouzdra jsou zde axiálně zajištěna sevřením v osazených dírách formovací desky a z druhé strany čely lišt.



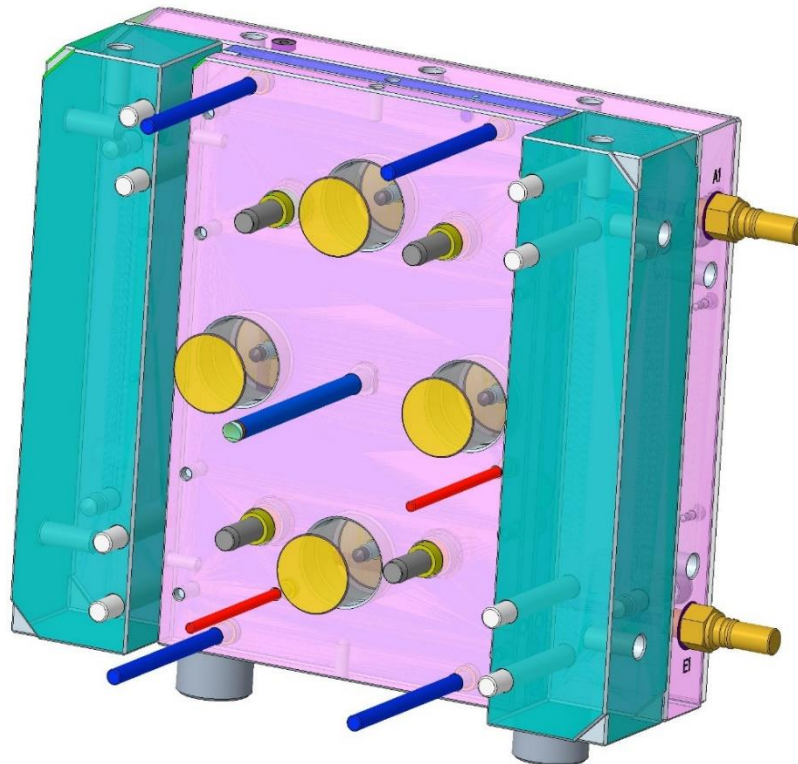
Obr. 26.: Základní rozměry vodicích pouzder Z10 [9]

Pro vyhození výstřiku z formy je forma opatřena vyhazovací sestavou, neboli „vyhazovacím paketem“. Sestava základní a kotevní (modrá a růžová, viz Obr. 27.) vyhazovací desky se pohybuje v prostoru mezi lištami (zelený pár na Obr. 28.), které zde slouží jako distanční rozpěrky mezi upínací a formovací deskou a jsou opatřeny dírami s vůlí, jimiž prochází šrouby držící všechny desky rámu navzájem pohromadě. Samotná sestava vyhazovacích desek je vzájemně sešroubována pomocí šroubů ISO 4762, pro něž je v základní desce předzhotovena zahlubená díra a v kotevní desce závitová díra. Axiální pohyb (zdvih) vyhazovací sestavy je vymezen v prostoru mezi upínací a formovací deskou. V případě, kdy je forma zavřená, doléhá vyhazovací paket k upínací desce čelními plochami 8 dorazových podložek Z55/28x3 (dle HASCO značení jako typ elementu / d1 x h1, viz Obr. 27. zelené nebo detailně na Obr. 29.) podobně, jako v případě dosednutí pevné části formy na pohyblivou při zavření formy. Mezi kotevní a základní deskou vyhazovací sestavy je upnut vyhazovač (uprostřed formy viz Obr. 28.), 4 vracecí kolíky a dále vodící pouzdra vyhazovacího paketu (viz Obr. 30. šedá rotační objímka uprostřed obrázku). Z důvodu zvýšení tuhosti vedení vodícího paketu uvnitř formy, kvůli vysokému vstřikovacímú tlaku taveniny, je pohyblivá část formy opatřena 4 vodícími válečky (na Obr. 28. válcové elementy se žlutými čely). Zmíněné vedení desek vyhazovacího paketu pomocí válečků se realizuje vzájemným pohybem válečků skrze díry s vůlí zhotovenými v obou deskách paketu (díry vidno na Obr. 27.). Tyto válečky jsou přišroubovány pomocí šroubů ISO 4762 k upínací desce (růžová s náústky, viz Obr. 27.).

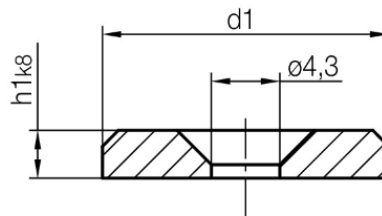


Obr. 27.: Pohled na vyhazovací paket zezadu

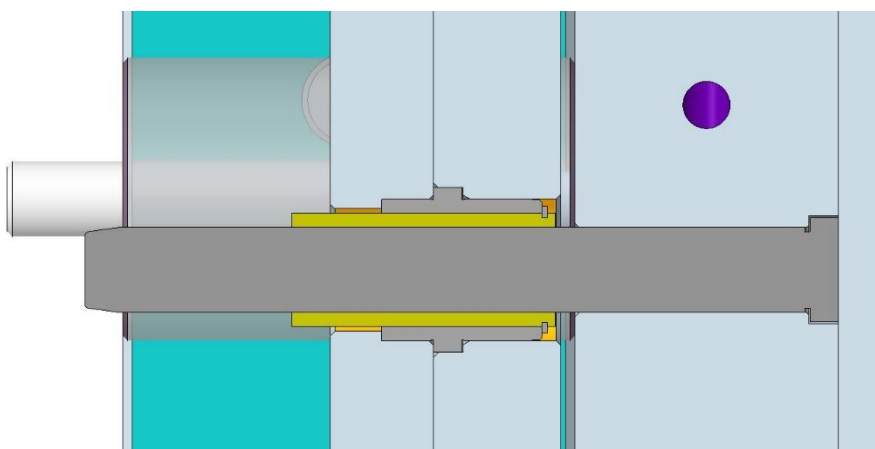




Obr. 28.: Pohled na část sestavy pohyblivé části formy – na lišty (zelené), kotevní a základní desky vyhazovacího systému (modrá a růžová), náústky (žluté po straně), upínací (růžovoá) a na izolační desku (světle šedivá)

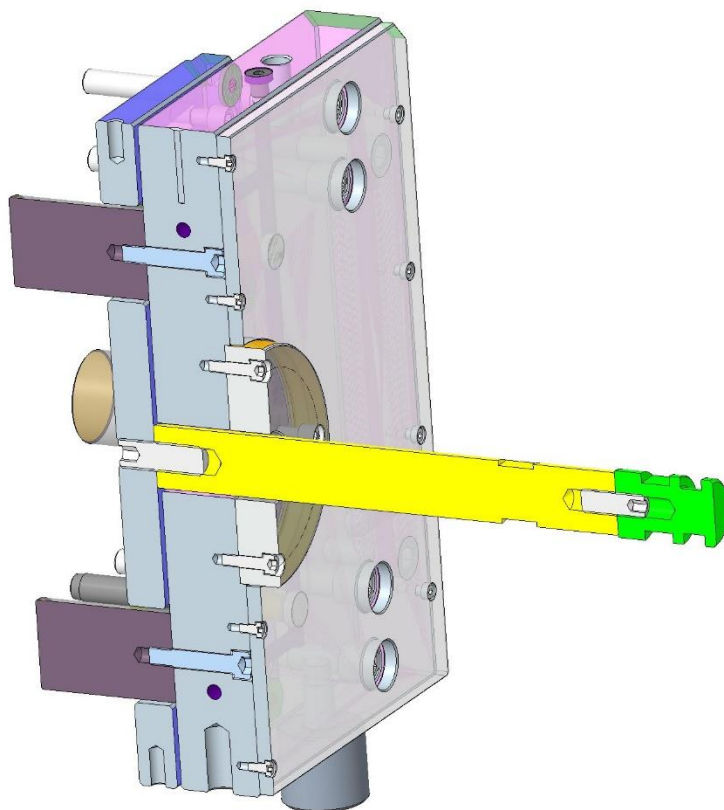


Obr. 29.: Základní rozměry podložky Z55 [10]



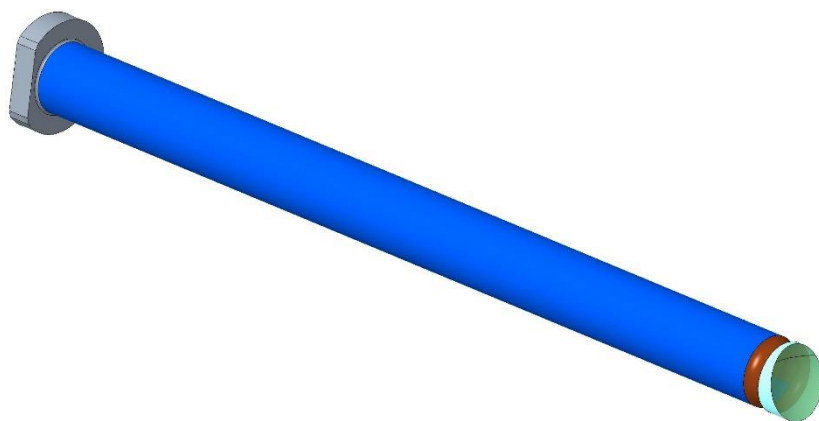
Obr. 30.: Místní řez vodicími elementy vyhazovací sestavy – na vodicím kolíku (tmavě šedý, upnut mezi upínací a izolační deskou) se pohybuje přídavná objímka (žlutá), která má vazbu s vodicím pouzdrem (světle šedé) pomocí pojistného kroužku

Axiální posuv (zdvih) vyhazovacího paketu je ovládán pomocí táhla a je řízen vstřikovacím strojem. Táhlo se upne pomocí upravené koncovky (na Obr. 31. světle zelená) ke vstřikovacímu stroji a na druhé straně se pomocí stavěcího šroubu ISO 4026 upne ke kotevní vyhazovací desce. Pro zlepšení axiálního vedení táhla je zde centrovací kroužek, který je přišroubován k upínací desce pomocí 4 šroubů ISO 4762.

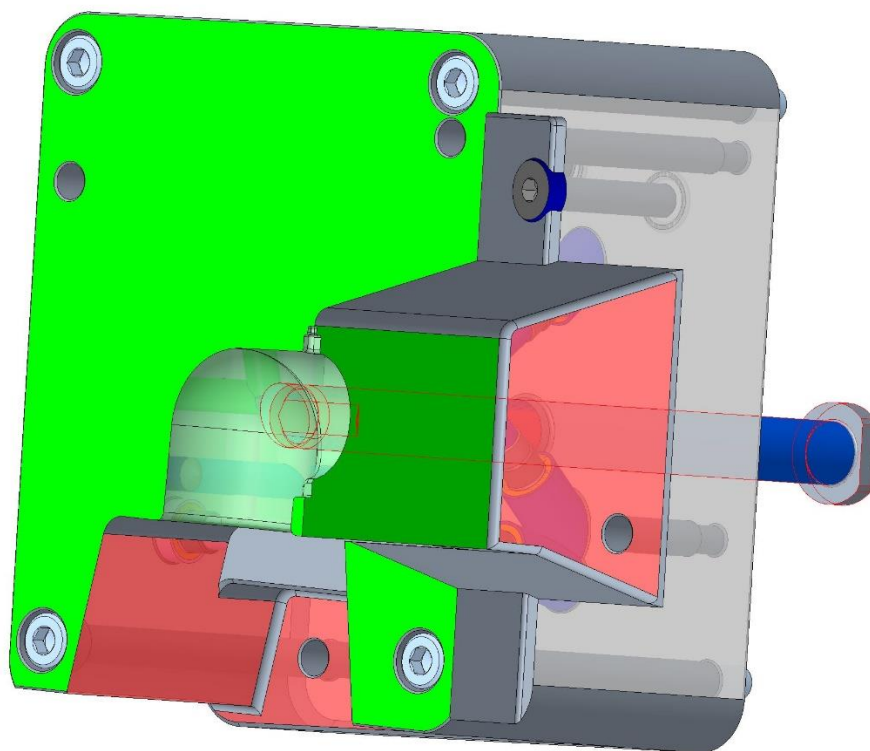


*Obr. 31.: Řez částí pohyblivé části formy – je vidno táhlo (žluté se zelenou koncovkou), centrovací kroužek (oranžový) a uchycení táhla v základní desce (v modré) pomocí šroubu ISO 4026*

Vyhazovač se v tomto případě použije pouze 1 (obvykle se používají zpravidla 2 a více, ve vzorové sestavě bylo až 6 vyhazovačů různých průměrů), jelikož zde je styková plocha příslušné části výstřiku, která ulpí v dutině formovací vložky s vyhazovačem, relativně malá (možno si všimnout na Obr. 33.) a navíc je použití jednoho vyhazovače výhodou jednak jako úspora obráběcích operací tvarové vložky a druhá se tak sníží počet vyráběných dílů, čímž se přispěje ke zjednodušení konstrukčního řešení formy. Koncová část vyhazovače je součástí tvarové dutiny formy a je proto nezbytné, aby nedošlo při provozu formy k rotaci okolo podélné osy. Z toho důvodu se hlava vyhazovače zhotoví jako kruhová se stranovým vybráním, viz Obr. 32., za tento tvar se uchytí do stejného tvarového vybrání v kotevní desce vyhazovacího paketu a axiálně zajistí čelem o základní vyhazovací desku.



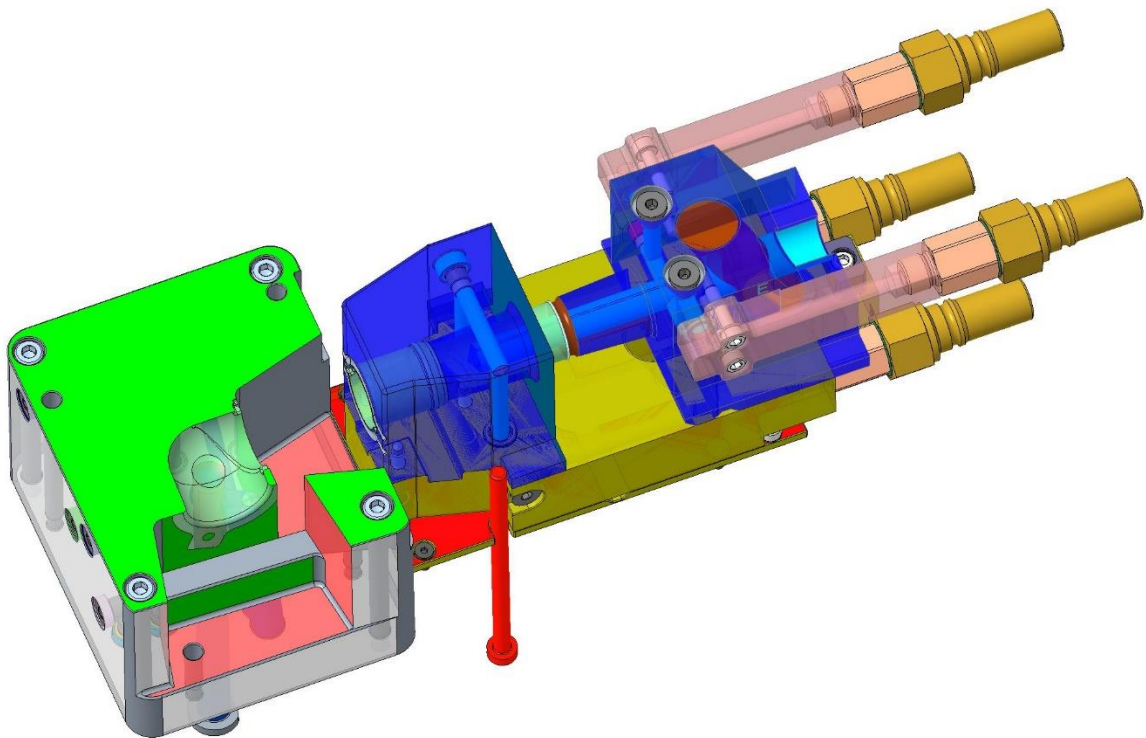
*Obr. 32.: Vyhazovač s odvzdušňovací drážkou (hnědá) a s tvarovou částí, jež je součástí tvarové dutiny formy (světle zelená)*



*Obr. 33.: Umístění vyhazovače (červený obrys) ve formovací vložce – ukázka příslušné části vnitřní tvarové dutiny*

Do vyhazovacího paketu, tedy mezi základní a kotevní vyhazovací desky, se upínají také tzv. rammstifty – dalo by se volně přeložit z německého jazyka jako narážecí (nebo zarážecí) kolík (na Obr. 27. červeně vyobrazený pár kolíků). Tyto rammstifty mají pojistnou funkci proti zpětnému posuvu pohyblivých jader směrem dovnitř do formy. Jde o to, že pokud je forma otevřená, drží posuvná jádra (schiebery) ve své pozici pouze elementy s odtlačovací pružinou a válečkem (viditelné na Obr. 56 ve spodní části), jež jsou v maximální poloze vysunutí schieberu zapadnuté

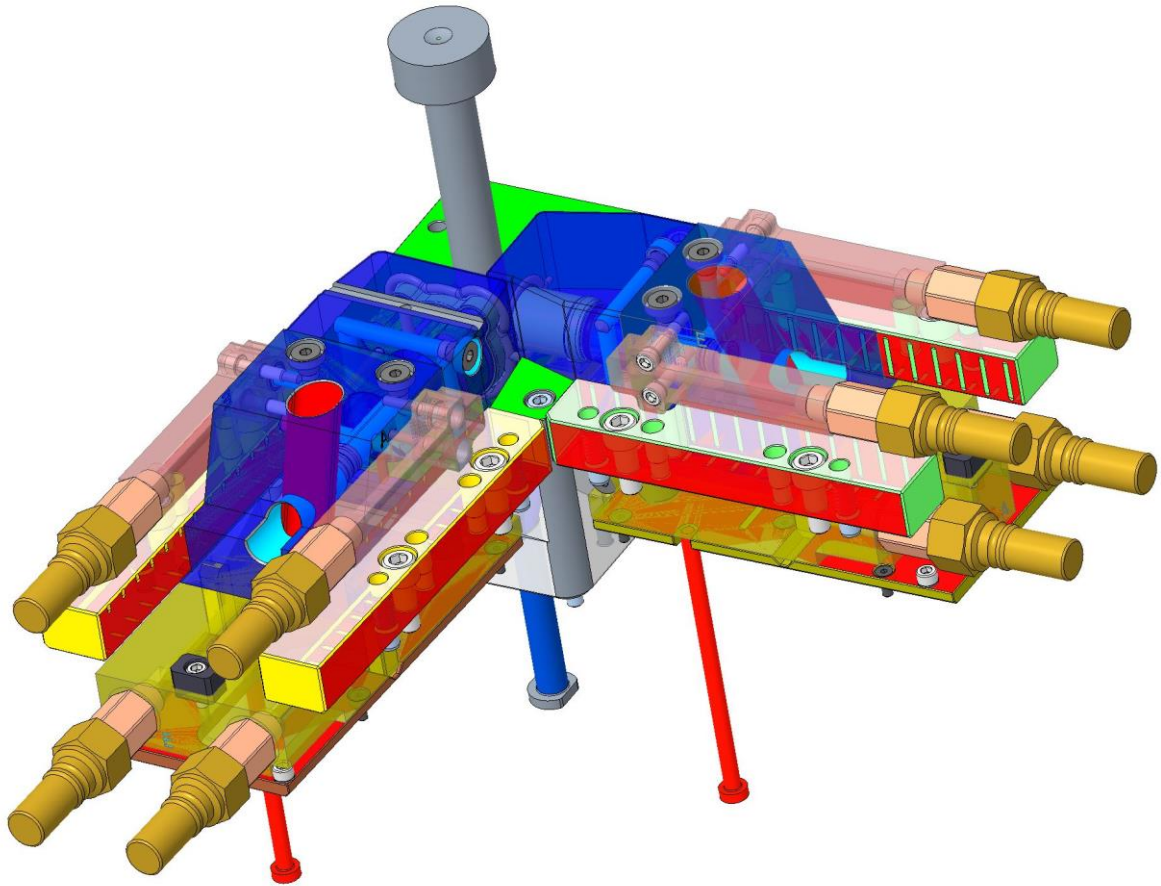
v půlkulové drážce v příslušné kluzné destičce. Pokud by došlo k selhání těchto jisticích elementů z důvodu dosažení jejich maximální životnosti nebo poruchy, tyto rammstifty nedovolí schieberům se posunout zpět do formy, jelikož mají funkci mechanické zábrany – procházejí dírou ve spodním díle sestavy schieberu (žlutý na Obr. 34.) a o ně se tento díl (respektive celá sestava schieberu) opře čelem a zabrání mu tak ve zpětném posuvu. V principu jde o to, že rammstifty mají stejný zdvih jako vyhazovač, jelikož mají stejné axiální zajištění ve vyhazovacím paketu, takže je-li vysunut vyhazovač, jsou na svém místě i rammstifty a plní svou mechanickou pojistnou funkci. Rammstifty jsou vedeny ve formovací desce na pohyblivé části formy a také skrze díru v kluzné destičce. Tímto zajištěním se docílí toho, že nehrozí nekontrolovaný posuv sestav posuvných jader směrem do jádra formy a tím pádem nedojde ke vzniku rázového namáhání vlivem volného pádu od gravitačního zrychlení. Tento ráz by mohl být pro díly, tvořící dutinu dílu, zcela fatální a mohlo by dojít k jejich deformaci (vybočení nebo v extrémním případě k prasknutí), která by vedla k výrobě zmetkových dílů, jelikož na dutinu dílu (i na díl samotný) jsou kladeny nároky co do geometrických a délkových tolerancí.



*Obr. 34.: Maximální poloha vysunutí posuvného jádra při otevření formy a viditelné mechanické zajištění rammstiftem (červený kolík) o čela dílů proti zpětnému posunutí*

### 3.3.2. Formovací část formy

Formovací část formy je ve skutečnosti, co do počtu dílů ve srovnání s rámovou částí, obsáhlá sestava, kterou tvoří díly, jež se přímo podílí na vytvoření vnitřní dutiny formy, která je negativem k výslednému dílu. Jedná se o formovací vložky, sestavy posuvných jader a jejich příslušenství pro správnou funkci a provoz (vodící kolíky, klíny, kluzné prvky atd.), vtokové pouzdro (dýzu), nejrůznější spojovací prvky, podložky, dále příslušenství temperačního systému jako třeba zátky, náústky, O-kroužky, šroubení apod.



*Obr. 35.: Pohled na část sestavy formovací části formy*

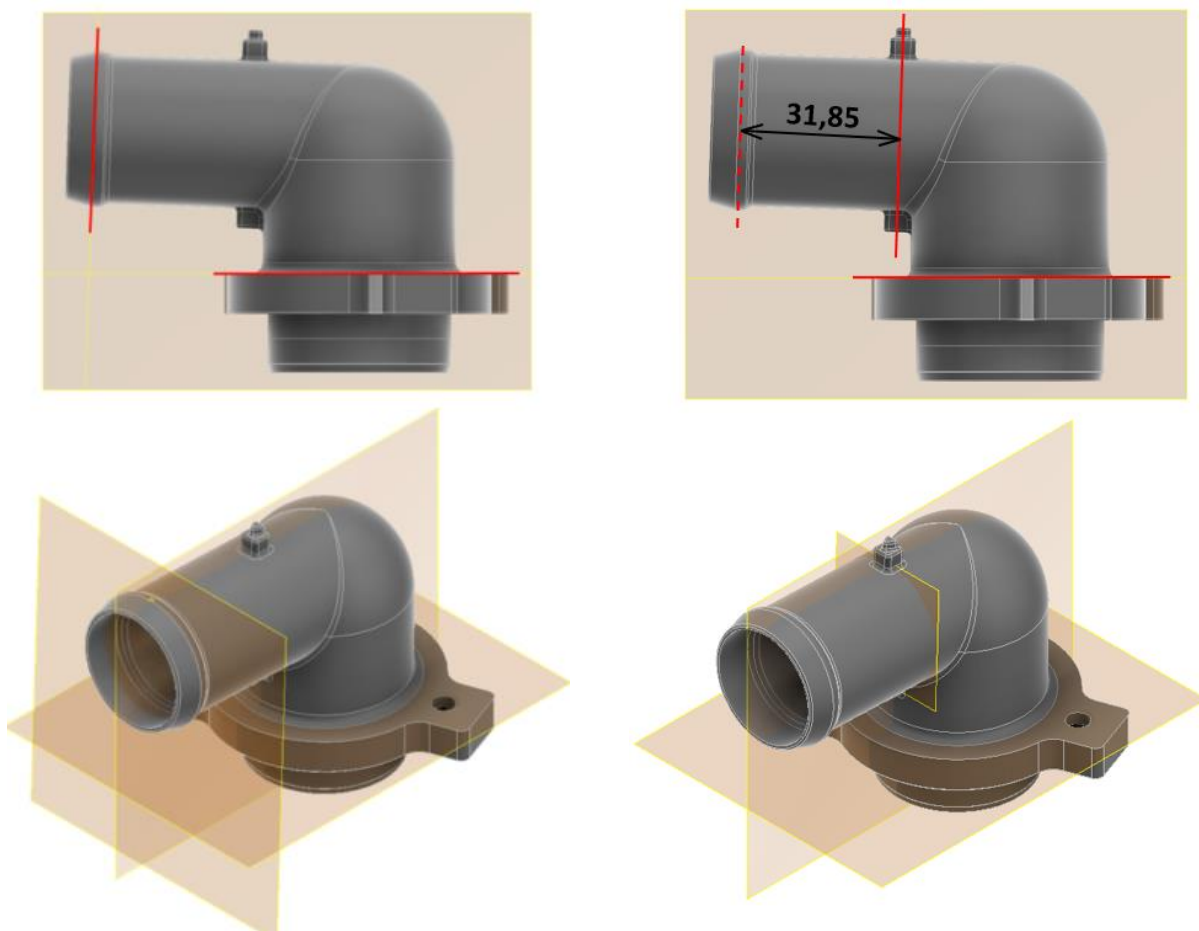
Pro zhotovení formací části formy (tedy tvorbu „Nestu“) je třeba provést následující kroky: navrhnout dělicí roviny a způsob zaformování, případně si porovnat původní a stávající rozvržení dělicích rovin, vzít v potaz deformace a smrštění výstřiku a navrhnout zaformování dílu ve tvarových vložkách. Je také nutné provést kontrolní analýzu vyplnění dutiny formy taveninou (analýza CADMOULD). Dále je nutné navrhnout způsob odvzdušnění (částí) formy, provést konstrukční návrh temperačního a nakonec i vyhazovacího systému. Všechny tyto kroky budou podrobněji vysvětleny v kapitolách dále.

### 3.3.2.1. Význam dělicích rovin

Dělicí rovina je rovina, kde na sebe doléhají jednotlivé části formy (pohyblivá část formy na pevnou nebo vzájemně čela formovacích vložek či posuvná jádra na tyto vložky). Kvůli tomu by měly být plochy jednotlivých částí formy, tvořící dělicí rovinu, bez defektů a co možná nejlépe na sebe dosedat, aby v dělicí rovině nevznikaly žádné spáry, do kterých by mohla natéci tavenina, jelikož by tak vznikaly přetoky, hranky apod.

Je zcela jasné, že tyto spáry, byť v malé míře, vznikají, jelikož nelze dosáhnout zcela dokonalého obrobení dosedacích ploch částí forem a navíc, postupem času, bude docházet k provoznímu opotřebení těchto dosedacích ploch. Dalším důvodem vzniku spár může být také nedostatečná uzavírací síla působící na jednotlivé části formy či jejich nedostatečná tuhost vedoucí k přílišným deformacím vlivem působení vstřikovacího tlaku a dotlaku. Tyto skutečnosti by měly být vzaty v potaz a dělicí rovina by měla být navržena tak, aby vznik malého břítu (hranky) neměl negativní vliv na požadovanou funkci výstřiku. Doporučuje se dělicí roviny umísťovat na plochy, které nejsou funkční či vzhledové.

### 3.3.2.2. Porovnání vlastního návrhu dělicích rovin s původním návrhem



Obr. 36.: Pozice původních dělicích rovin (vlevo nad sebou) a nově zvolených dělicích rovin výstřiku (vpravo nad sebou), dělicí roviny jsou oranžově nebo červeně zvýrazněny

Nad sebou na levé straně Obr. 36. je možno vidět původní dělicí roviny (v případě bokorysného pohledu na Stutzen jsou dvě z těchto rovin zvýrazněny červenými čarami). Tento původní způsob zaformování, tedy tato pozice dělicích rovin, však vedla ke vzniku břitu na funkční části nátrubku (náběhové geometrii), jehož odstranění je náplní této diplomové práce. V mém návrhu zůstal původní koncept dělicích rovin zachován až na jednu jedinou dělicí rovinu, která se posune kvůli technologii tzv. převlečení rovnoběžně s původní o 31,85 mm (prochází středem horního dorazového výčnělku, viz pravá strana Obr. 36). Touto úpravou (posunutím dělicí roviny) dojde k eliminaci vzniknuvšího břitu na nátrubku a díky tomu bude možné, při kompletaci sestavy (například chladicího oběhu automobilu), přetáhnout přes nátrubek polymerní hadici s již zcela hladkou náběhovou hranu a poté objímkou tuto hadici přichytit k válcové geometrii za tímto nátrubkem objímkou (svěrkou), aniž by byla hadice v průběhu přetahování v kontaktu s jakoukoli ostrou hranou dílu.

### *3.3.2.3. CADMOULD analýza*

CADMOULD analýza je ve své podstatě aplikace procesní simulace dílu (CAD geometrie), která, na základě predikce plnění dutiny formy danou taveninou, umí odhalit chyby a nedostatky v konstrukci plastových dílů ale i forem. Napomáhá také ke stanovení či optimalizaci technologických parametrů a k opatřením, jež mají za následek snížení či úplné eliminaci technických problémů, dále v důsledku této optimalizace napomáhá ke snížení doby výrobního cyklu a tím ke zvýšení produktivity výrobního procesu.

Jelikož se jedná o výpočetní software, který vyhodnocuje matematický model, je nutné, pro dosažení požadovaných výsledků, korektně nadefinovat vstupní hodnoty (a okrajové podmínky). Mezi takové vstupní podmínky patří i technologické podmínky – technické parametry vstřikovacího stroje, jako je například maximální hodnota vstřikovacího tlaku nebo dotlaku a třeba také maximální hodnota uzavírací síly, kterou může simulace určit přesněji, než byla původně spočtena.

Analýza je schopna nejen zkontrolovat konstrukci dílu za pomoci její CAD geometrie, ale také třeba umožňuje optimalizovat polohu vtokového (vtokových) ústí na základě typu vtoku nebo třeba optimalizovat tloušťku stěn dílce (pokud je to možné).

Mezi nejčastější výstupy patří výpočty deformací dílce, na základě nichž je možno zvolit patřičná opatření, která povedou k minimalizaci těchto deformací. Tyto deformace jsou funkcí teploty, jsou tedy závislé od rozložení teploty dílu uvnitř dutiny formy a lze je korigovat např. vhodnějším rozmístěním kanálů temperačního systému formy.

Stereolitografie (STL) je metoda konečných prvků, která se používá k diskretizaci (meshování) geometrie dílu, což je, zjednodušeně řečeno, metoda založená na popisu geometrie povrchu součásti za pomoci trojrozměrné trojúhelníkové sítě. Do tohoto formátu (STL) se převede původní geometrie dílu, kterou lze do softwaru CADMOULD naimportovat v nejrůznějších formátech, v tomto případě byl použit formát STEP.

Simulační program CADMOULD má k dispozici rozsáhlou databázi nejrůznějších typů plastových granulátů. V případě, že uživatel nenalezne konkrétní požadovaný typ dle obchodního názvu granulátu v databázi, je zde možnost nalézt granulát s podobnými nebo stejnými parametry. Je možné databázi třídit podle nejrůznějších kritérií, jako je třeba typ plastu nebo, v případě kompozitního granulátu, typ matrice (PA, PP, PE, PS...), dále typ a materiál výplně (skelná nebo uhlíková vlákna) a hmotnostní procentuální podíl výplně v plastu. V případě, že si uživatel vybere daný typ granulátu, je ještě dodatečně možné si nastavit některé procesní hodnoty mezi maximálními a minimálními limitními (třeba teplotu tavení granulátu, temperační teplotu formy, vstřikovací tlak atp.). Pro daný typ granulátu jsou nastaveny i určité reologické hodnoty taveniny.

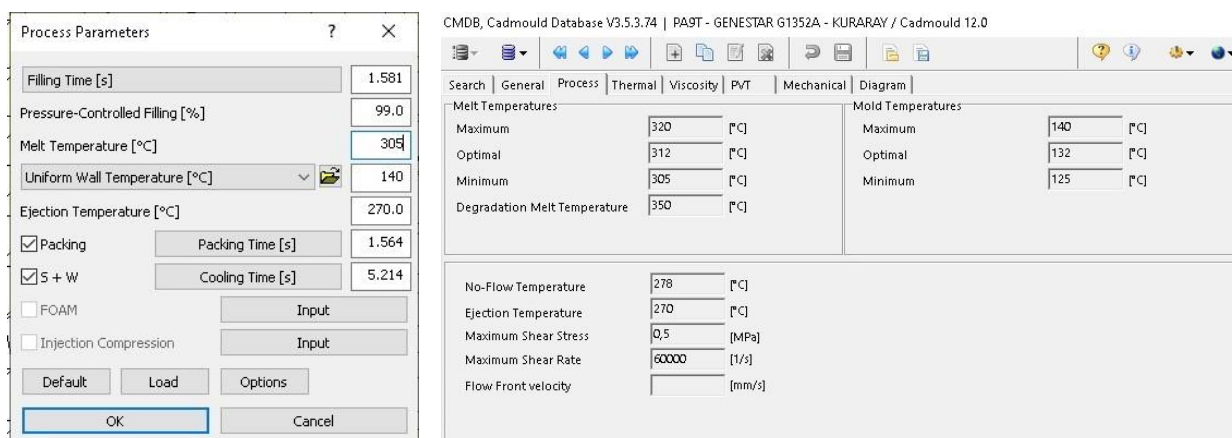
V konstrukčním programu Creo ver.7, ve kterém byl vypracován kompletní model formy, byl upraven stávající model Stutzenu tak, aby se uvažovala sice přesná pozice, ale orientační rozměr vtokové geometrie (negativu vtokového pouzdra), protože v době provedení analýzy ještě nebyl znám typ a ani přesné rozměry vtokové kavity pouzdra. Výsledný model je možno vidět na Obr. 50 níže. Na základě CAD dat byl vyexportován soubor ve formátu STEP a následně naimportován do programu CADMOULD ver. 12 (byla použita tato verze, kterou má univerzita k dispozici, kromě jiných, avšak ver. 12 má nejrozsáhlejší databázi používaných granulátů).

Po úspěšném importu STEP souboru a jeho konverze do STL bylo nutné vybrat zadaný granulát kvůli správným procesním parametrům. I když je databáze granulátů verze 12 velmi rozsáhlá, nebylo možné nalézt a použít k analýze požadovaný granulát Genestar™ G1350A-M42, byl však vybrán podobný granulát Genestar™ G1352A (od stejného výrobce KURARAY) s jinak stejnými technickými parametry (stejný typ matrice PA9T a stejný hmotnostní obsah skelných vláken 35%), avšak s lehce rozdílnými procesními parametry (viz Obr. 37.) – uvedu zde příklad nastavené hodnoty vs. požadované: teplota temperace formy 140 vs. 130°C a teplota tavení granulátu 305 vs. 300 °C. Na základě těchto dat byly automaticky vygenerovány optimální procesní časy, které je také možno vidět na Obr. 37. Tyto odchylky, z důvodu použití vstupních dat jiného granulátu, tak mohou, do jisté míry, zkreslovat finální výsledky a závěry analýzy.

Pozn.: Před provedením výpočtu bylo možno nastavit velikost meshovacích (rozlišovacích) elementů sítě, tu jsem nechal jako „defaultní“ (přednastavenou). Bylo také možné umístit pozici



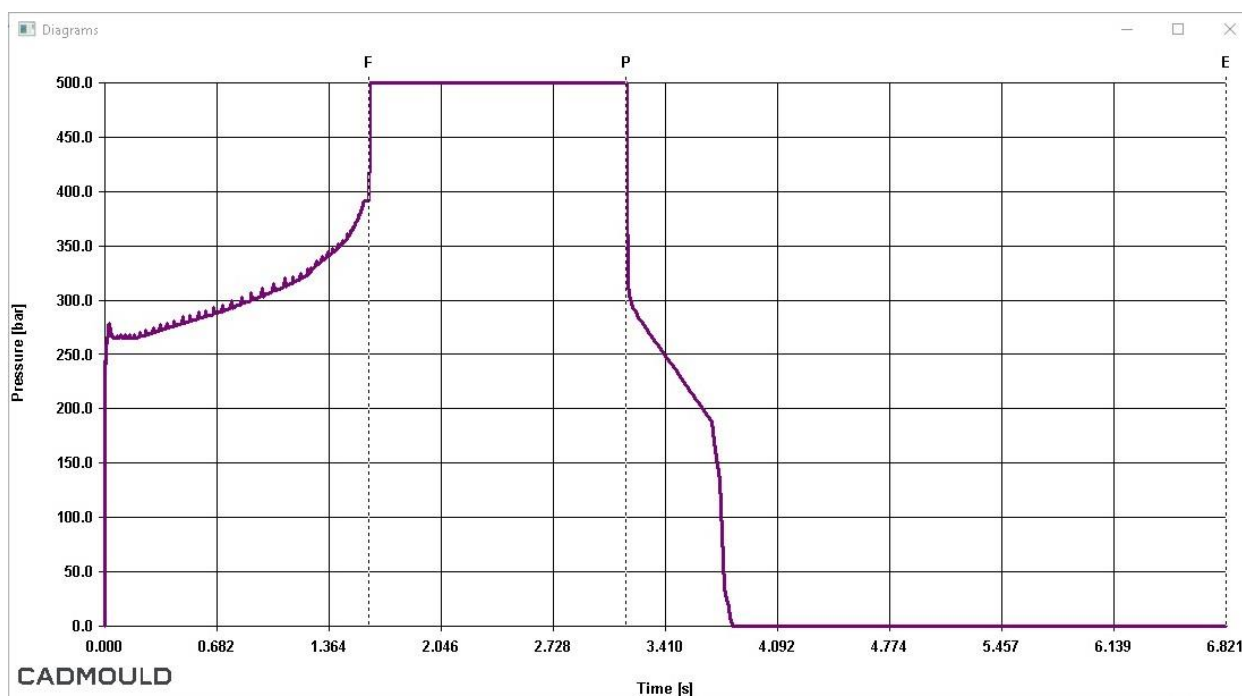
vtoku. Vtok byl umístěn na čelní plochu negativu vnitřní kavity vtokového pouzdra, na obrázcích výsledků analýzy bude patrný jako malý žlutý kužel.



Obr. 37.: Na obrázku vlevo je přehled nastavených a přednastavených vstupních procesních parametrů analýzy

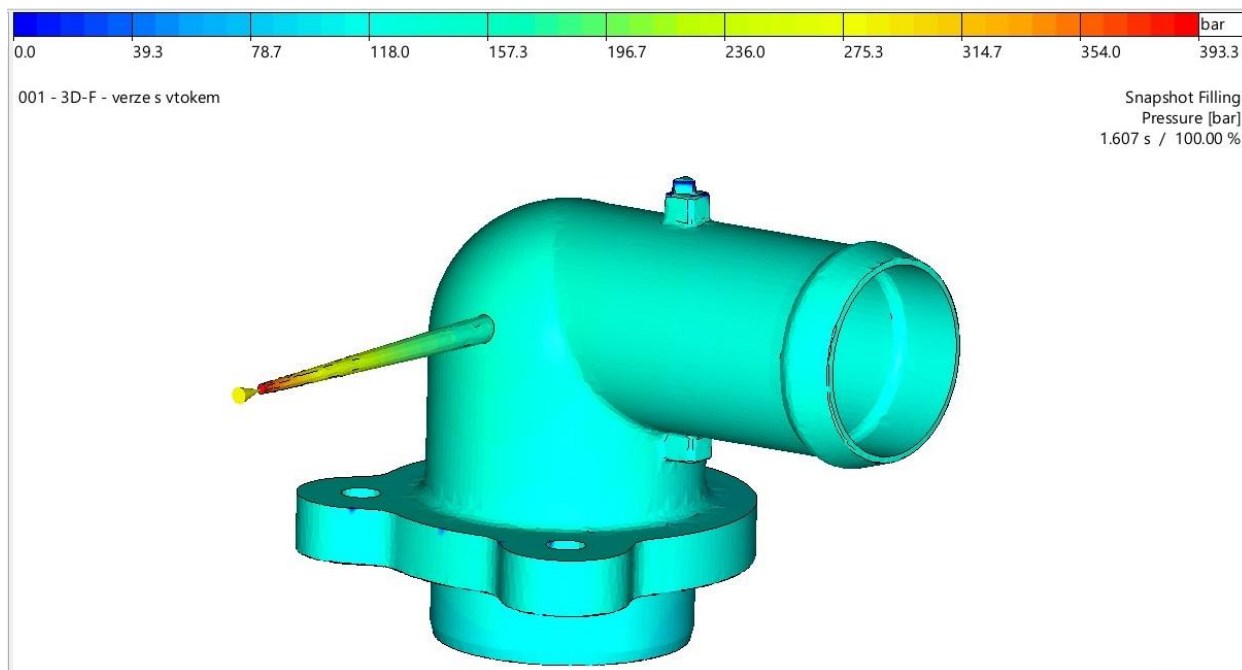
Obr. 38.: na obrázku vpravo je přehled vstupních parametrů analýzy, jejichž některé hodnoty lze upravit

Analýza umí predikovat, na základě vstupních dat, jak budou vypadat optimální procesní parametry, v tomto případě průběh vstřikovacího tlaku. Obrázek 39. ukazuje takový průběh v závislosti na čase.



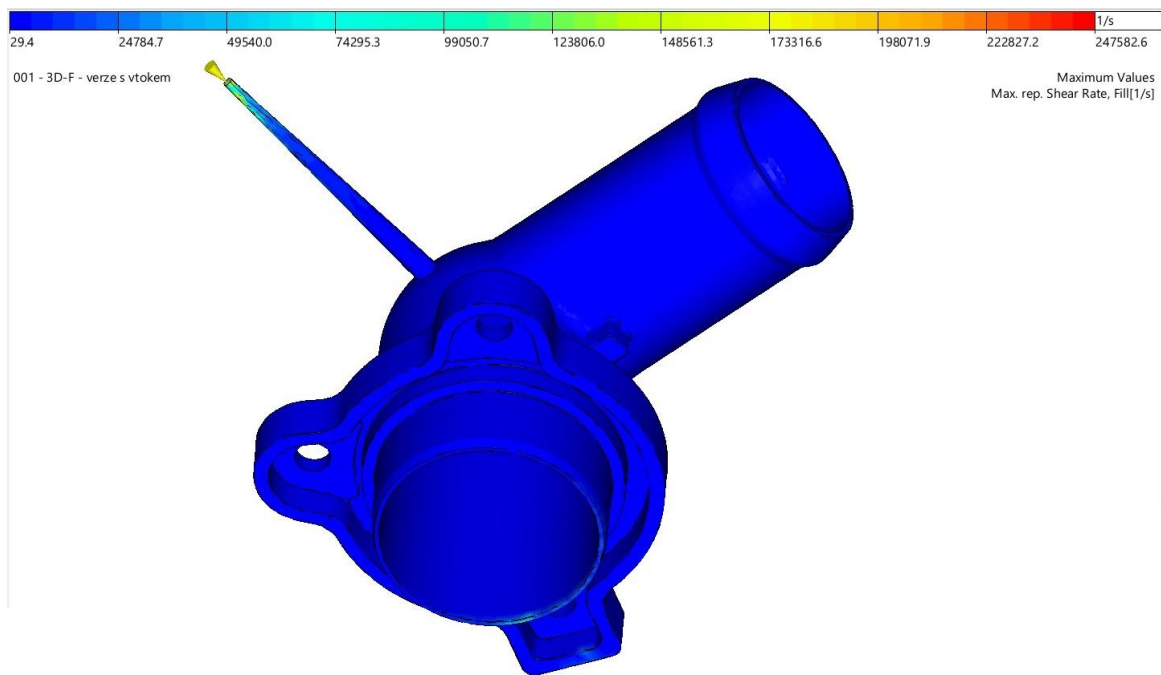
Obr. 39.: Průběh tlaku v závislosti na čase optimalizovaného cyklu

Při detailnějším pohledu na Obr. 39. je vidno, že v průběhu plnicí fáze (v rozmezí cca 260 až 360 bar) má tlak tendenci kolísat. To může být způsobeno současným působením více faktorů. Prvním faktorem je nevhodná geometrie vnitřní dutiny vtokové pouzdra, respektive malý vstupní průměr na čele a malý vrcholový úhel kónické části kavity. Řešením by bylo použití vtokového pouzdra s větším vstupním průměrem a větší hodnotou vrcholového úhlu, což by ale v důsledku znamenalo, že jelikož je vnitřní kavita vtokového pouzdra dlouhá, vznikla by na konci příliš masivní geometrie nálitku, která by se poté obtížněji odstraňovala. Dalším faktorem je použitý kompozitní granulát – matrice z polyamidu s výplní ze skelných vláken. Tavenina polyamidu mívá tu nevýhodu, že má tendenci přilnout ke stěnám dutiny formy (lepší se) a navíc jsou skelná vlákna v tavenině nehomogenitou, takže přirozeně zhoršují tokové vlastnosti taveniny. Oba tyto faktory v součinnosti způsobují na vstupu do vtokového pouzdra problémové místo z hlediska toku (viz červeně zbarvená část geometrie na Obr. 40.), s nimiž se regulátor tlaku vstřikovacího stroje vypořádává téměř skokovým navyšováním tlaku, v důsledku čehož vznikají tyto tlakové píky.



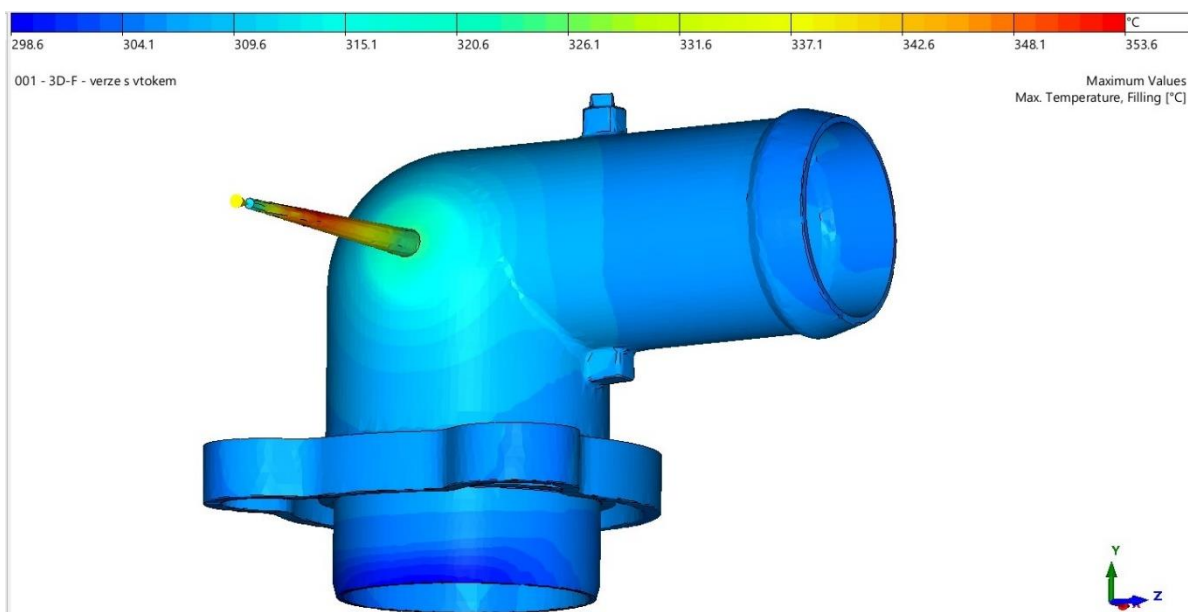
*Obr. 40.: Ukázka rozložení tlaku na 3D geometrii dílu v průběhu plnicí fáze*

Toto problémové místo odhaluje i analýza smykové rychlosti vyplňování dutiny taveninou (viz Obr. 41.). Opět se ukazuje, že největší míra smykové deformace v závislosti na čase bude v nejbližším okolí ústí vtokového pouzdra, což povede k dalšímu negativnímu jevu – lokální kumulaci tepla, které by v konečném důsledku mohlo vést až k degradaci taveniny.



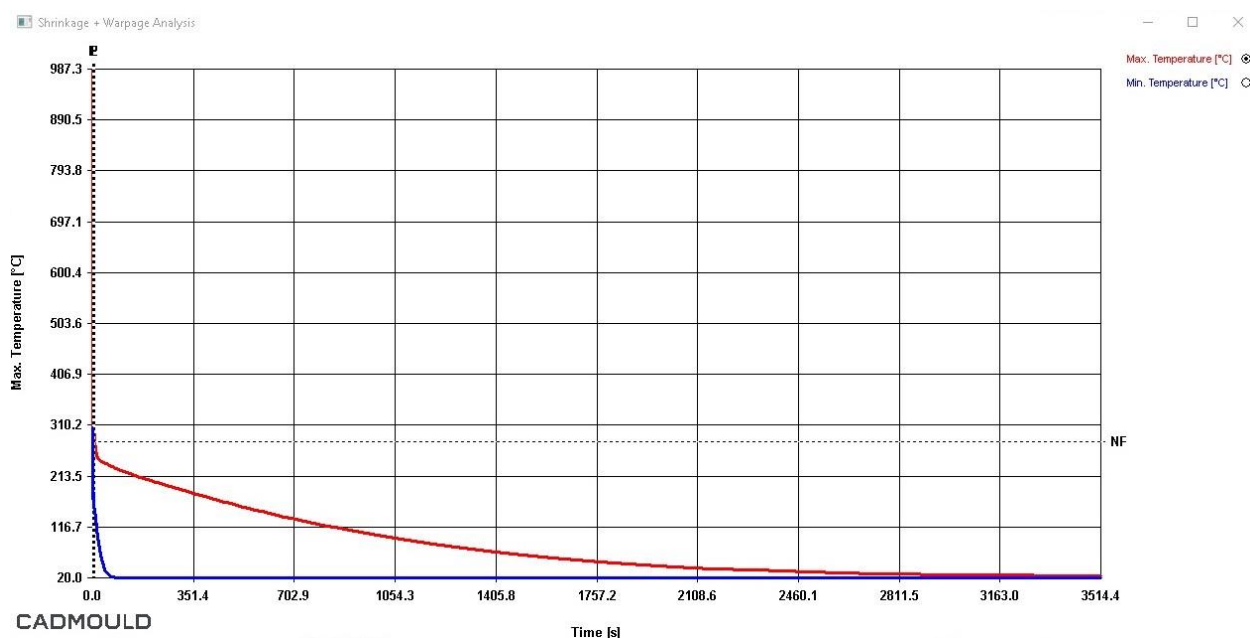
Obr. 41.: Ukázka rozložení smykové rychlosti ve 3D geometrii dílu v průběhu plnicí fáze

Kumulaci tepla v okolí ústí vtoku do vtokového pouzdra potvrdila i teplotní analýza (oranžově až červeně zbarvená kónická geometrie na Obr. 42., respektive odpovídající teploty dle škály). To může být potenciální problém, jelikož tavenina analyzovaného granulátu při teplotě 350°C degraduje (viz hodnota „Degradation Melt Temperature“ na Obr. 38.). Tento degradovaný materiál by se mohl, vlivem následující dotlakové fáze, dostat dovnitř do dílu, což by mělo negativní vliv na výsledné mechanické vlastnosti dílu, ale také třeba na vzhled apod. Řešením je zhustit v místě vtokového pouzdra síť temperačních kanálů a efektivněji tak odvádět z tohoto místa teplo.



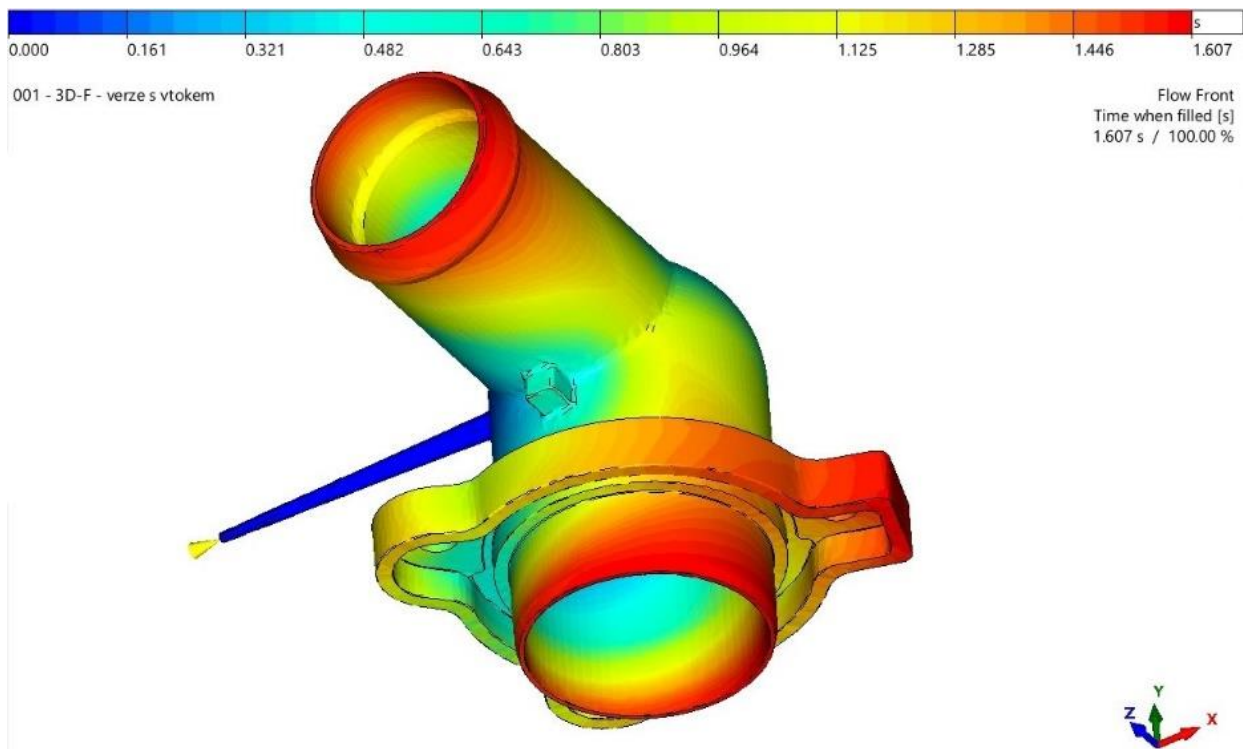
Obr. 42.: Ukázka rozložení teplot ve 3D geometrii dílu na konci plnicí fáze

Doba výroby reálného výstřiku neodpovídá realitě, jelikož byla přednastavena (vygenerována) vyhazovací teplota 270°C (viz Obr. 37.). V reálných podmínkách se jedná o příliš vysokou teplotu na to, aby mohl být výstřik vyhozen, jelikož některé části dílu mohou mít teplotu značně vyšší z důvodu, že jsou různé části geometrie dílu rozdílně teplotně exponovány – kvůli jejich vzdálenosti od místa vtoku a také kvůli rozdílné lokální tloušťce stěn. Toto teplotní exponování geometrie dílu by mohlo vyvolat dodatečné (nikoli jen přirozené) deformace dílu od chladnutí, které nejsou způsobeny jen vzniknuvším teplotním gradientem v geometrii, ale také mechanickým zatížením dílu při manipulaci s ním nebo při jeho vyhození z formy. Na obrázku níže (Obr. 43.) je možno vidět průběh maximální a minimální teploty dílu v závislosti na čase, dále je zde patrná vodorovná čárkovaná čára „NF“, která má v termogramu znázorňovat přednastavenou vyhazovací teplotu 270°C.



Obr. 43.: Průběh maximální a minimální teploty dílu v závislosti na čase

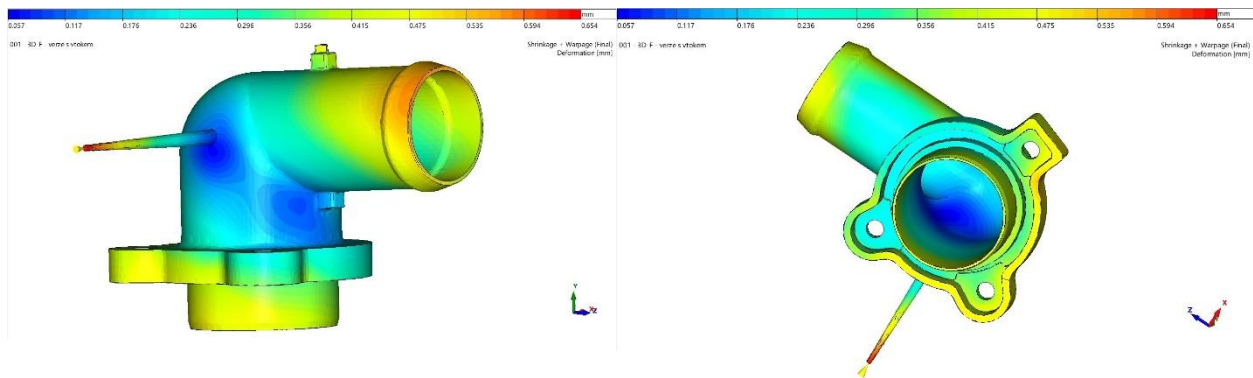
Další analýzou, kterou CADMOULD dovede vyhodnotit, jsou predikce deformace geometrie dílu. Ty souvisí také s umístěním vtoku, což bylo zmíněno výše, a také třeba s postupným vyplňováním dutiny formy taveninou. Jak lze vidět na Obr. 44., tavenina vyplňuje dutinu formy směrem od ústí vtoku vtokového pouzdra, poté se o geometrii jednoho z vnitřních posuvných jader proud taveniny rozdělí a začne ji obtékat, postupně vyplňuje zbývající geometrie, až zcela nakonec vyplní nátrubek a přírubovou část. Tyto zmíněné geometrie budou problematické, nejen z hlediska rozdílné (lokálně variabilní) tloušťky stěny, ale také z hlediska těchto tepelně exponovaných geometrií. Tato místa budou vykazovat velkou míru (gradient) deformace, což bude mít ve výsledku negativní vliv na kruhovitost nátrubku a kruhové geometrie na spodní straně dílu u přírubové části nebo na rovinnost dosedací plochy přírubové geometrie.



Obr. 44.: Ukázka vyplňování 3D geometrie dílu taveninou v závislosti na čase

Výsledné celkové deformace souvisí se součinností více faktorů, které byly popsány výše. Také bylo řečeno, že nejhorší místa, z hlediska deformací, jsou nátrubek (na Obr. 45. je tato geometrie v odstínu oranžové, což odpovídá na škále v horní části obrázku lokální deformaci až 0,6 mm, což ve výsledku bude způsobovat značnou ovalitu kruhové geometrie), dále vodící kruhová část na spodní straně dílu (ta je vyobrazena na Obr. 45. a 46. v odstínech žluté, to odpovídá lokální deformaci okolo 0,45 mm, což bude mít opět za následek značnou ovalitu geometrie) a obvodová část (lem) přírubové geometrie (ta je vyobrazena na obrázcích převážně žlutou, místy až oranžovou, což ukazuje na lokální deformaci až 0,5 mm, následkem čehož dojde ke zvlnění dosedací plochy). Opatřením proti vzniku těchto deformací je zhuštění sítě temperačních kanálů ve tvarových dílech, jež vytváří dutinu zmíněných geometrií, nebo lokální změnu tloušťky dílu.

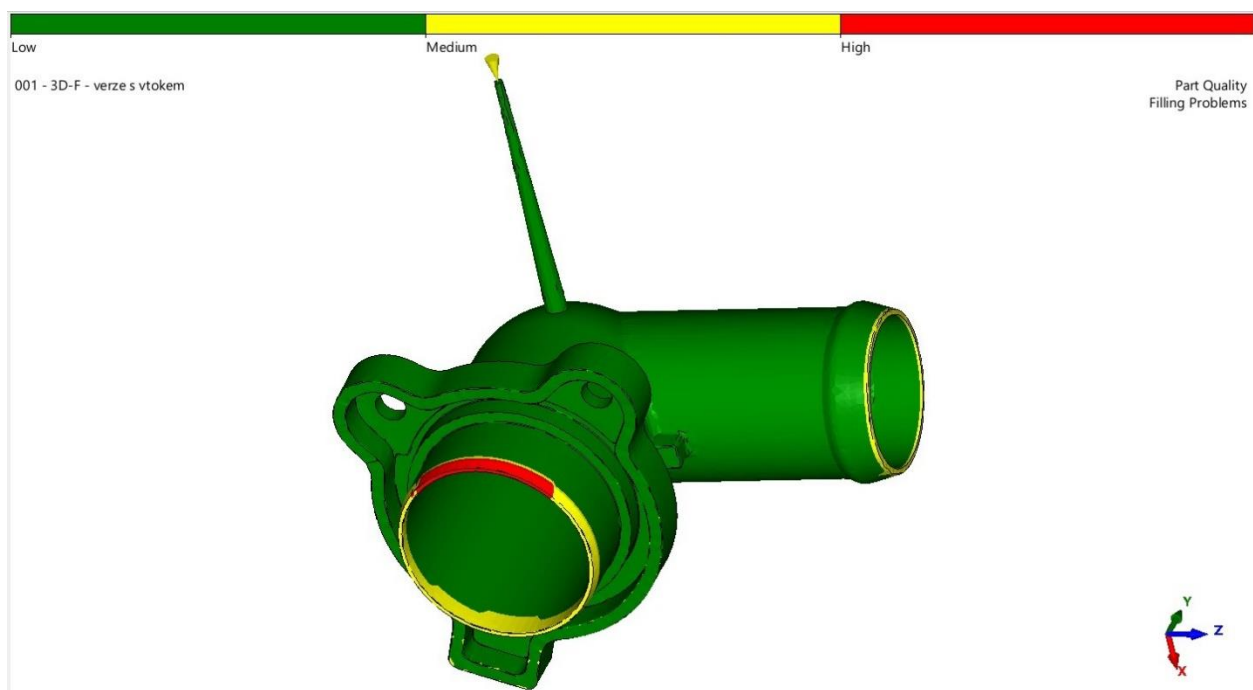
Dalším problémem, který také souvisí s deformací, je tendence ke svírání dílu, tedy tendence k přirozenému zmenšování úhlu, mezi válcovými geometriemi za nátrubkem a za přírubou v místě kolene, kudy natéká do dutiny tavenina. Na vině jsou postupné nerovnoměrné konformace vnitřní struktury plastu a nerovnoměrné relaxace napětí vlivem chladnutí dílu.



*Obr. 45.: Na obrázku vlevo je ukázáno rozložení konečných predikovaných deformací geometrie dílu při pohledu z boku*

*Obr. 46.: Na obrázku vpravo je ukázáno rozložení konečných predikovaných deformací geometrie dílu při pohledu zespodu*

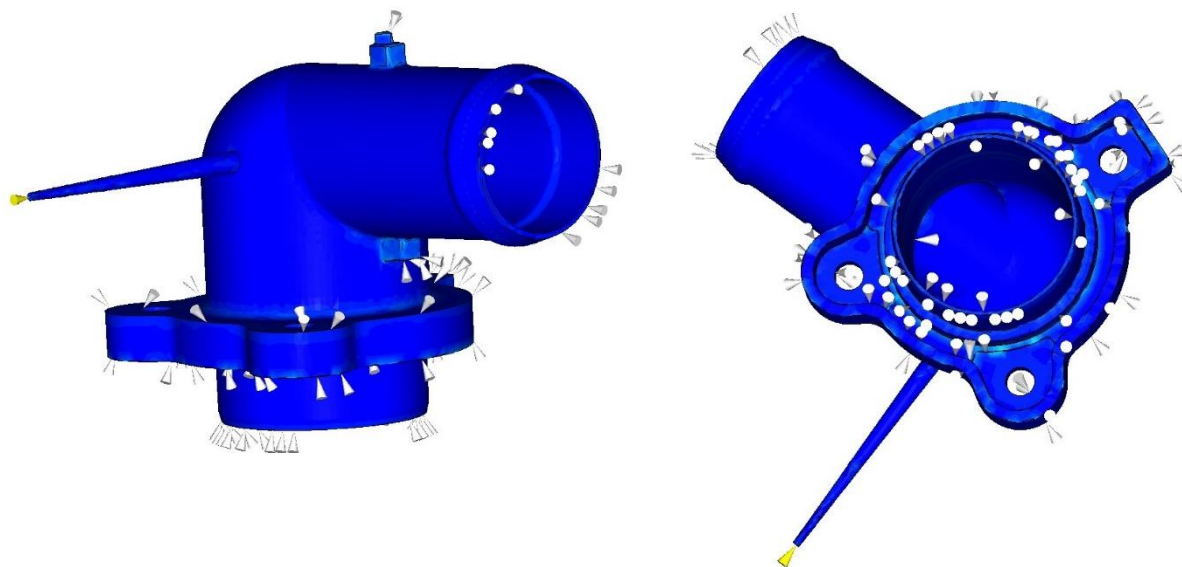
Analýza umí také predikovat a sumarizovat, v uživatelsky zjednodušené podobě, problémová místa. Na Obr. 47. lze tyto geometrie vidět. Jedná se o nejdrobnější geometrie inkriminovaných, již zmiňovaných, míst. Zde je třeba si dát velký pozor na odvzdušnění dílu, jinak může čelo taveniny vyplňující dutinu, vlivem vysoké komprese vzduchu v dutině, začít hořet (viz Dieselův efekt, který je podrobněji popsán v teoretické části této práce).



*Obr. 47.: Analýza predikce problémových míst v průběhu plnicí fáze*

Aby nedošlo k Dieselovu efektu, je nanejvýš nutné dané geometrie odvzdušnit, tedy umožnit vzduchu, aby měl možnost z dutiny formy uniknout různými skulinami a kanály, které však budou natolik malé, že do nich nezateče tavenina plastu a nevznikne na dílu otisk – břit.

Formovací díly, jež vytváří dutinu dílu, musí být zejména v těchto místech (na Obr. 48. a 49. znázorněny pomocí bílých kuželů) opatřeny geometriemi pro únik stlačeného vzduchu.



*Obr. 48.: Vlevo je znázorněno odvzdušnění patřičných geometrií dílu při pohledu na díl z boku*

*Obr. 49.: Vpravo je opět znázorněno odvzdušnění patřičných geometrií dílu, ovšem při pohledu na díl zespodu*

#### *3.3.2.4. Deformace a smrštění výstřiku*

Ochlazováním ze zpracovatelské teploty (teploty taveniny) materiál výstřiku v tvarové dutině tuhne a zmenšuje svůj objem – smršťuje se.

Na výrobní smrštění působí zejména tyto faktory:

- Druh termoplastu, přičemž se uplatňuje zejména jejich nadmolekulární struktura: amorfní termoplasty mají všeobecně menší smrštění než částečně krystalické.
- Tvar výstřiku a zejména tloušťky jeho stěn. Vliv tloušťky stěny výstřiku je zvláště patrný u částečně krystalických polymerů. Platí, že čím má stěna výstřiku větší tloušťku, tím výstřik chladne pomaleji a tedy stupeň krystalinity (krystalický podíl v materiálu) v daném místě a objemu je vyšší. Tomu odpovídá i větší smrštění.
- Umístění vtoku na výstřiku, které určuje charakter toku taveniny v tvarové dutině formy. Důsledkem orientace makromolekul je anizotropie smrštění. Obecně platí, že smrštění podél toku taveniny je větší než kolmo na její tok.

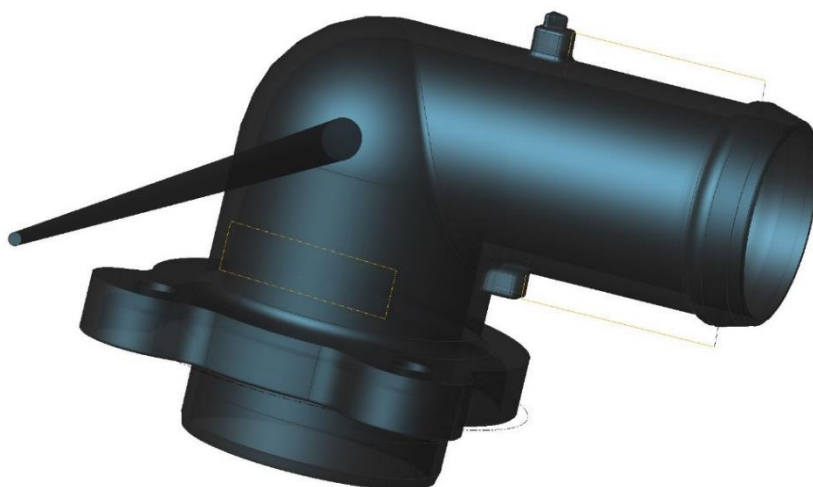
- Technologické podmínky vstřikování – teplota formy, úroveň dotlaku a doba jeho působení. Mezi hodnotou výrobního smrštění a parametry dotlakové fáze je nepřímá úměra (není to přímka), ve smyslu: čím jsou parametry dotlaku vyšší, tím je výrobní smrštění menší. Pro teplotu stěn tvarových dutin formy to platí obráceně: čím je teplota formy vyšší, tím je vyšší i výrobní smrštění. [2]

Vzhledem k těmto skutečnostem je nutné si vytvořit model zohledňující smrštění materiálu v tvarové dutině formy. Takový model je nazván jako „Schwund model“ (odvozeno z Němčiny – die Schwindung = smrštění).

Postupuje se následovně:

Nejprve se určí střední hodnota smrštění. Spočítá se jako aritmetický průměr z hodnot smrštění rovnoběžného a kolmého na tok taveniny, v případě použitého materiálu Genestar™ G1350A-M42 je střední hodnota smrštění 0,6 %.

Pak je o tuto hodnotu navýšen objem součásti, kromě těch geometrií, které mají na výkrese předepsané geometrické či délkové tolerance. U těchto rozměrů se postupuje tak, že se jejich rozměr sice navýší o střední hodnotu smrštění, ale ještě se dodatečně upraví hodnota rozměru s ohledem na to, jestli se jedná o prvek typu „hřídel“ nebo „díra“. V případě hřídelového prvku to znamená, že se od rozměru navýšeného o hodnotu smrštění dodatečně odebírá ještě 0,1 mm nebo v případě díry přidává 0,1 mm, a to z důvodu pozdějších korekcí nástroje (vloček formy nebo posuvných jader), tedy kvůli dodržení požadovaných tolerancí výstřiku z výrobního výkresu.



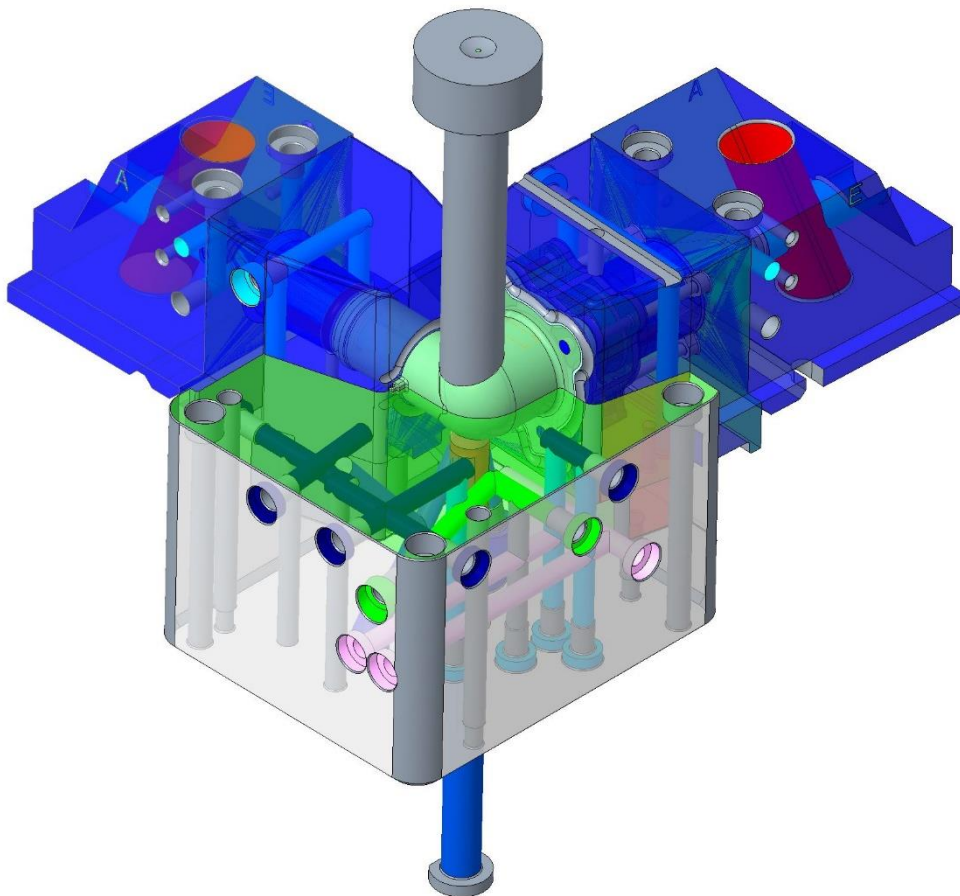
Obr. 50.: „Schwund model“ Stutzenu včetně geometrie nálitku (negativu vnitřní geometrie vtokového pouzdra)



Pro odhad a kontrolu správnosti zvětšení dílčích geometrií dílu, s ohledem na anizotropii smrštění, posloužila zkušební simulace v programu CADMOULD. Bylo již zmíněno, že má díl tendenci, mimo jiné, se svírat, viz komentář u Obr. 45. a 46. Tomu se předejde tak, že se úhel sevření (tj. úhel mezi válcovou geometrií s náběhovou hranou a válcovou geometrií s přírubovou částí) zvětší o hodnotu  $0,5^\circ$ .

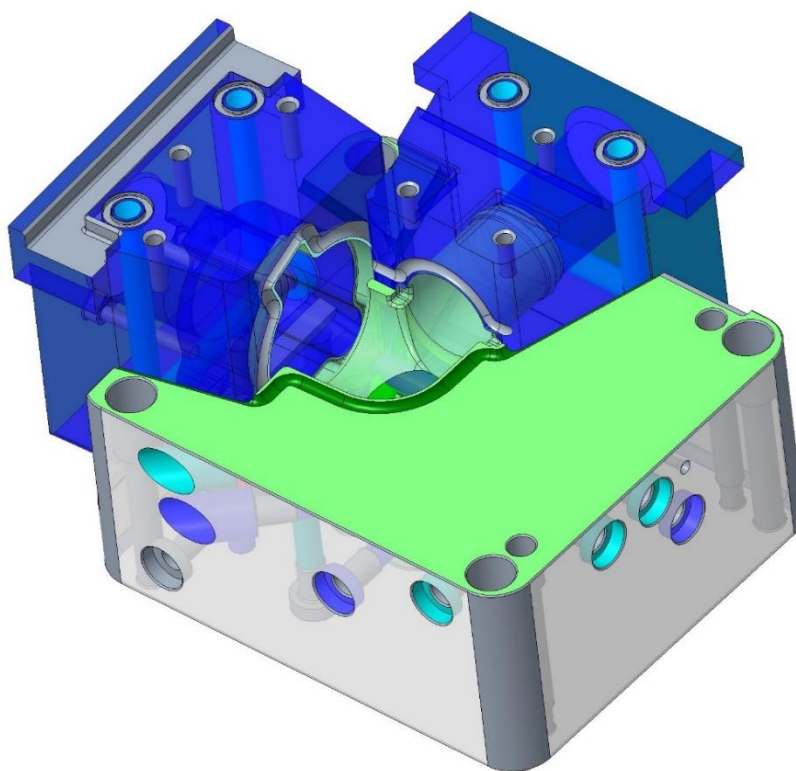
#### 3.3.2.5. Zaformování dílu

Zaformování dílu souvisí s vhodným obtisknutím „Schwund modelu“ do tvarových vložek formy a příslušných dílů jader (schieberů) dle orientace dělicích rovin, což se, zjednodušeně řečeno, provede odečtením objemu patřičné části Schwund modelu od geometrie příslušného formovacího dílu – vznikne tak dutina v příslušném díle, která je negativem příslušné části dílu. K tomu má firma Schaeffler ke konstrukčnímu programu Creo speciální nástavbu MOLD. Toto zaformování provedl kolega, jež má zkušenosti jednak s nástavbou MOLD, druhak i s dělením tvarové dutiny (tvořené všemi formovacími díly) na jednotlivé části.



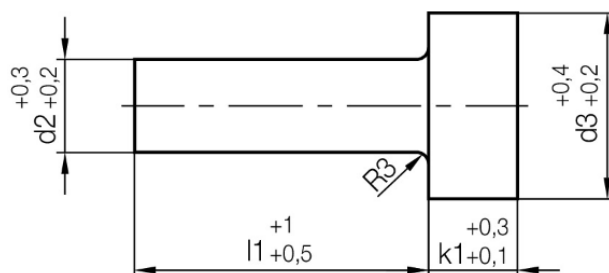
Obr. 51.: Formovací sestava – sestava dílů uvnitř formy, která přímo vytváří negativ dílu Stutzen (uprostřed světle zelený), chybí zde však, z důvodu lepšího náhledu dovnitř, druhá tvarová vložka (tvárnice)

Součásti, které nekonají během procesu výroby výstřiku žádný stranový pohyb (jsou tedy přišroubovány k příslušné formovací desce) jsou tvárník a tvárnice (tvárník přišroubován do formovací desky na pohyblivé straně formy, tvárnice na pevné). Obě tvarové vložky mají v rozích zhotovené průchozí díry se zahlobením, kterými se přišroubují pomocí šroubů ISO 4762 k formovacím deskám a také jsou v nich zhotoveny průchozí díry se závitem pro případ demontáže vložek – do závitové díry se našroubuje šroub, jež utahováním vyvodí axiální posuv, čímž od sebe odtlačí oba díly. Tvárník i tvárnice jsou opatřeny vrtanými kanály temperačního systému, na jejichž výstupu se po stranách součásti zhotoví závitové díry se zahlobením pro šrouby s hlavou a měděnou podložkou (viz Obr. 73. a 74.). Tyto díly se také podílejí na odvzdušnění tvarové dutiny, to znamená, že jsou všechny díly opatřeny drobnými geometriemi, které napomůžou vzduchu, jež přirozeně vyplňuje dutinu, uniknout při plnění taveninou z formy. Mezi tyto geometrie patří například odvzdušňovací kanály, které je možno vidět na tvarové vložce (na Obr. 52 tmavě zelený kanál kopírující ekvidistantně tvar dutiny, jehož výběh je vyveden do prostoru mezi tvarovou vložkou a příslušnou část vnějšího jádra) nebo na čelech částí vnějších posuvných jader (tmavě modré, také ekvidistantně kopírují průmět obrysu dutiny na čelní ploše a výběh odvzdušňovacího kanálu je vyveden do prostoru, kde k sobě doléhají zaoblení vložky a vnějšího jádra – konkrétní příklad: poloměr zaoblení vložky v příslušném místě je zde 5 mm, u části vnějšího jádra je 6 mm, tím vznikne kýžená vůle a prostor pro únik vzduchu).

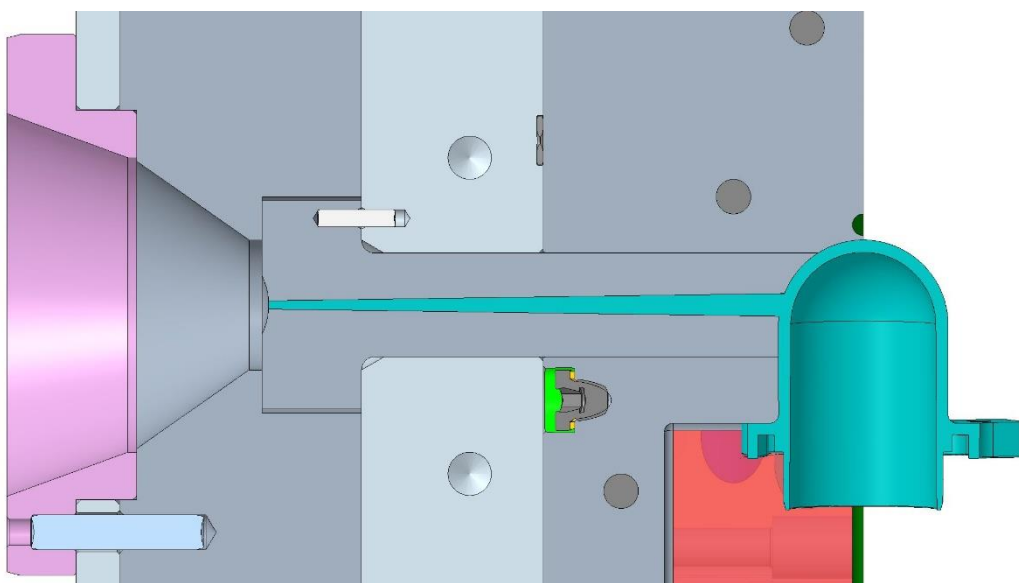


*Obr. 52.: Pohled na vzájemně doléhající tvárnici a formovací části jednotlivých posuvných jader*

Součástí tvarové dutiny formy je také vtokové pouzdro (jinak řečeno dýza – z Němčiny die Düse), jež prochází skrze díru ve tvarové vložce (viz Obr. 52 díra uprostřed), tudíž má podle negativu příslušné geometrie zhotoven tvarový konec a také má vytvořenou vnitřní kavitu dle trysky vstříkovacího stroje. Polotovarem vtokového pouzdra je, dle HASCO, součást s označením Z50/24x136 (označení typu dílu / d2 x l1 viz Obr. 53). Vtokové pouzdro se sevře mezi upínací a formovací desku na pevné straně formy a proti otočení se zajistí kolíkem ISO 8734 (vidno na Obr. 54).



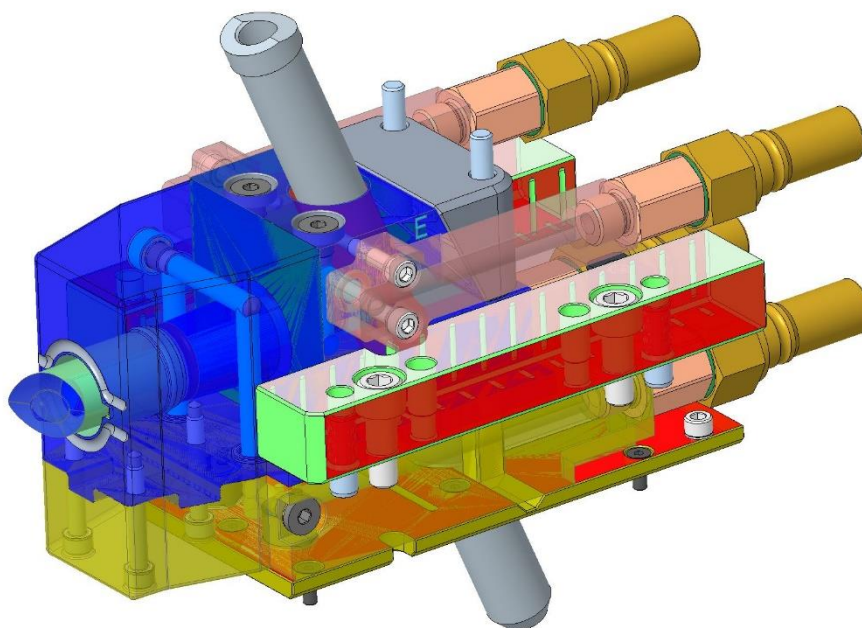
Obr. 53.: Základní rozměry vtokového pouzdra Z50 [10]



Obr. 54.: Ukázka axiálně-rotačního zajištění vtokového pouzdra na pevné straně formy

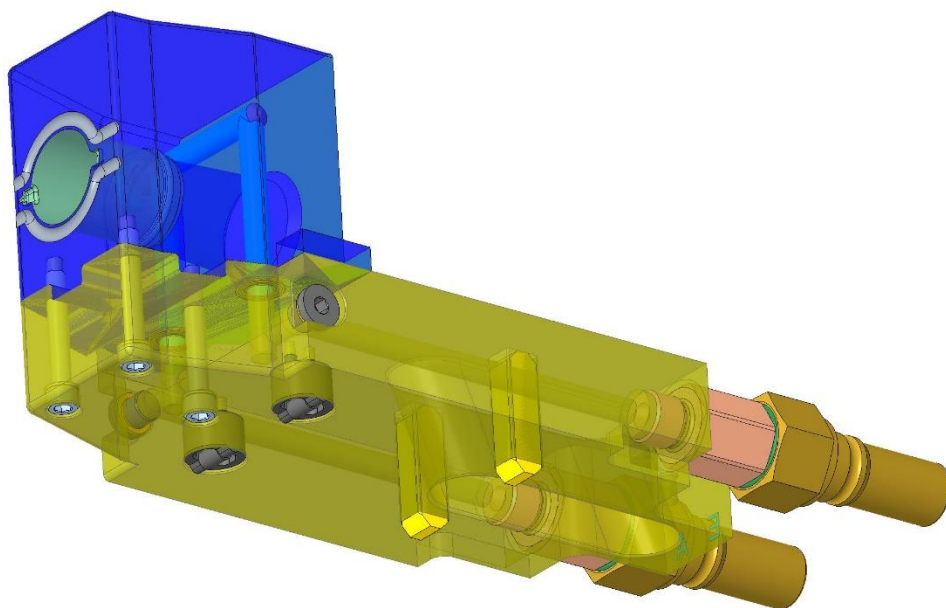
### 3.3.2.6. Konstrukce posuvných jader a výroba nátrubku „převlečením“

Posuvná jádra jsou v tomto případě řešena jako tzv. schieber v schieberu (posuvné jádro v posuvném jádru), jelikož vnitřní jádro, které vytváří dutinu (vnitřní geometrii) dílu, se posouvá dříve než to vnější. To je nezbytné pro výrobu nátrubku (náběhové geometrie), jelikož tuhnutí tavenina, tvořící tento nátrubek, musí mít možnost a prostor se v průběhu posouvání jader zdeformovat směrem dovnitř (do prostoru, který normálně vymezuje tvarová část vnitřního posuvného jádra), a toho se dosáhne jedině tehdy, pokud bude vnitřní jádro plně vysunuto a pak až se může vysouvat vnější jádro, čímž dojde k tzv. převlečení.



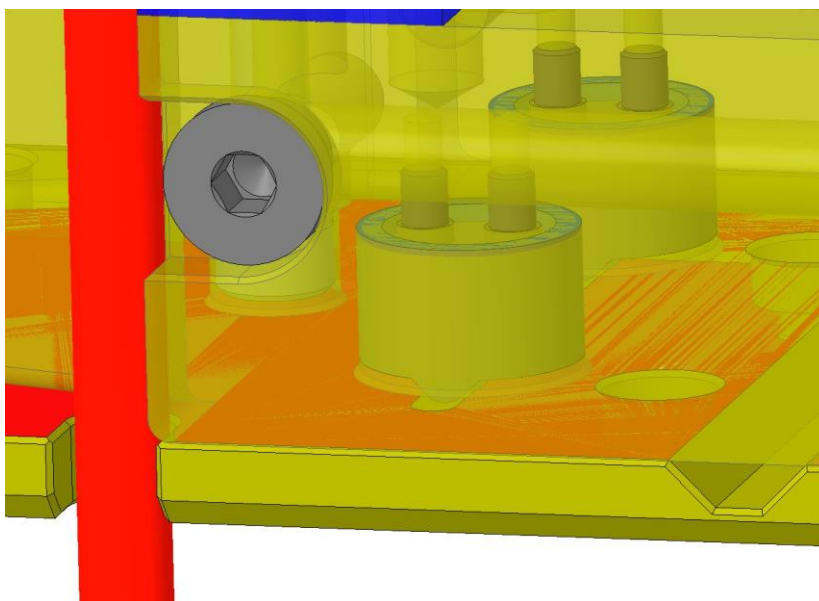
*Obr. 55.: Kompletní sestava posuvného jádra (schieberu) včetně příslušenství pro realizaci výroby nátrubku „převlečením“*

Podsestava vnějšího schieberu nátrubku – tvořícího geometrii nátrubku (celá viz Obr. 56) se pohybuje po kluzné destičce (spodní červená viz Obr. 55), která se pomocí šroubů s nízkou válcovou hlavou přišroubuje do formovací desky na pohyblivé straně formy. Dále jsou k této destičce přišroubovány dva šrouby ISO 4762 s podložkami (bílý viz Obr. 55), které slouží k vymezení maximálního stranového posuvu celé podsestavy vnějšího jádra skrze tvarové vybrání (kapsy zesponu v zadní části deskového dílu viditelné na Obr. 56 nebo na Obr. 59.) při maximálním otevření formy. Tuto podsestavu tvoří formovací díl vnějšího jádra (modrý na Obr. 56), který se s deskovým dílem (žlutý viz Obr. 56) slícuje pomocí „T“ drážky (viditelná na přechodu mezi oběma součástmi na Obr. 56), resp. spojí se jako pero (výčnělek tvaru „T“ na modrém formovacím díle zespod) a drážka (vybrání ve tvaru „T“ žlutého deskového dílu zvrchu), a vzájemně se tyto díly spojí pomocí 3 šroubů ISO 4762 s podložkami. Mezi těmito díly jsou v příslušných drážkách sevřeny dva O-kroužky, jelikož temperační okruh vede oběma součástmi a musí dokonale těsnit. Trajektorie okruhu začíná u náustků (sytě žluté na Obr. 56), pokračuje přes šroubení (růžové na Obr. 56), vstupuje do kanálu (žlutého) deskového dílu, dále vstupuje do formovacího dílu vnějšího jádra (modrý) a vrací se zpět do kanálu deskového dílu, kde voda (temperační medium), skrze šroubení a druhý náustek, proudí pryč.

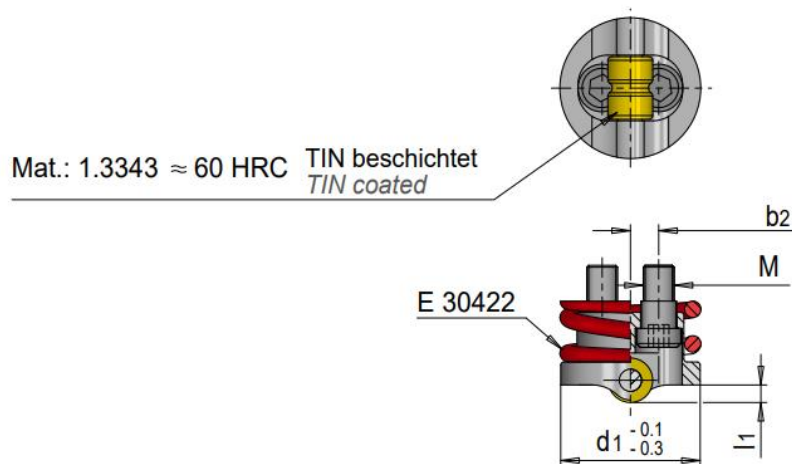


*Obr. 56.: Podsestava vnějšího posuvného jádra včetně příslušenství – formovací (modrý) a deskový (žlutý transparentní) díl*

Jak již bylo zmíněno u rammstiftů, k aretaci pohybu sestavy vnějšího posuvného jádra slouží elementy s odtlačovací pružinou a válečkem (viz Obr. 58 nebo také šedý pár dílů na Obr. 56. vespod) a jsou k sestavě přišroubovány. Tyto válečky vespod, odtlačované pružinou, jsou v poloze zavřené formy zatlačené a v případě zcela otevřené formy přesně zapadnou do půlkulové drážky v kluzné destičce, což zajišťuje setrvání v této pozici (aretaci sestavy), viz Obr. 57.

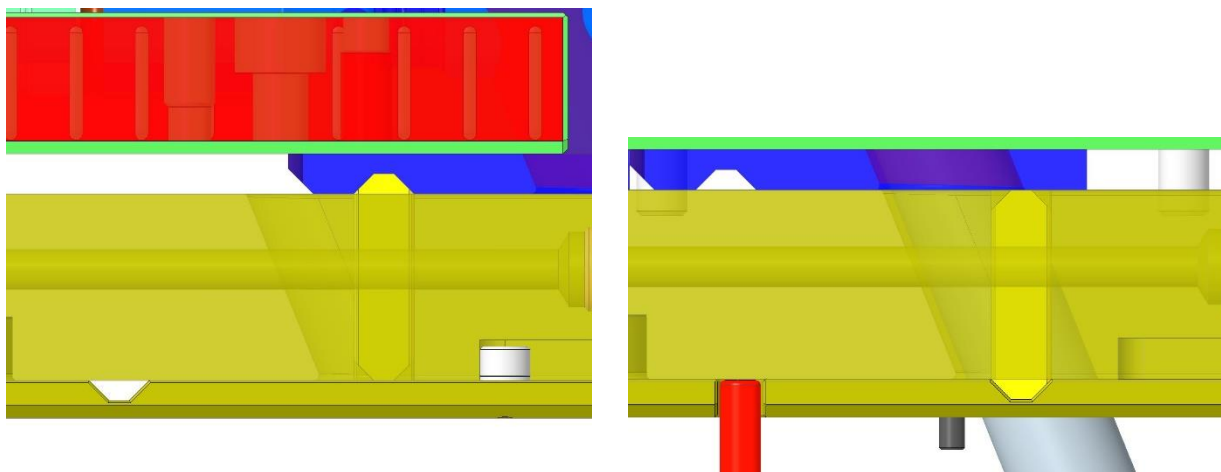


*Obr. 57.: Zapadnutí válečků odtlačovacích elementů do půlkulové drážky kluzné destičky v případě otevřené formy, viditelný je i vysunutý rammstift (červený), o nějž se čelně opírá deskový díl (transparentní žlutý)*



Obr. 58.: Zajišťovací elementy s odtlačovací pružinou a válečkem E3042 [12]

Pro aretaci je sestava opatřena také tzv. zdvihacími kameny, které mají také pojišťovací funkci. Tyto kameny se pohybují vertikálními drážkami deskového dílu, jsou vyrobeny z ocelového polotovaru s průřezem 10 x 12 mm a jsou opracovány na obou koncích do trapézového profilu. Drážka tohoto profilu se zhotoví i do kluzné destičky (vůči kamenu nejspodnější žlutý díl, viz Obr. 59. a 60.) a do vnitřního posuvného jádra (modrý díl navrchu). V případě otevírání formy se začne posouvat vnitřní posuvné jádro, které dosáhne krajní polohy vymezené dorazovým kamenem (černý, viz Obr. 64). V této poloze dojde k vycentrování kamene vůči drážce vnitřního posuvného jádra, takže vznikne prostor pro pohyb kamene směrem vzhůru. V ten moment se, samozřejmě, nadále otevírá forma a vzájemným stranovým pohybem kluzného deskového dílu vůči kluzné destičce dojde k posunu (vytlačení) kamene v drážce směrem vzhůru (kvůli vzájemnému pohybu trapézových profilů kamene a drážky) a úplného zapadnutí tohoto kamene do trapézové drážky vnitřního jádra, čímž se uvolní mechanická vazba kamene a kluzné destičky, takže kámen svou dolní částí může volně klouzat po povrchu destičky a již nic nebrání plnému otevření (posunutí) sestavy posuvných jader.

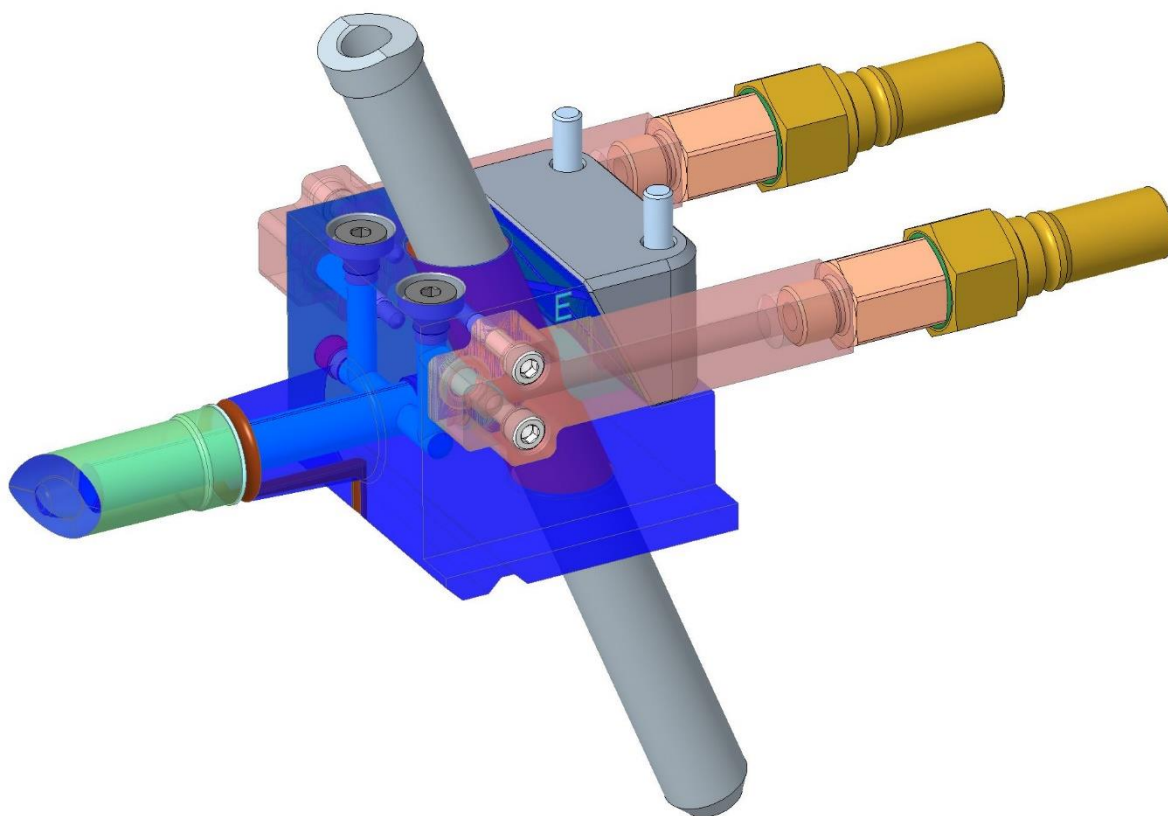


*Obr. 59. a 60.: Princip funkce kamenu – na obrázku vlevo v případě otevřené formy (kámen jistí vnitřní posuvné jádro)*

*Obr. 60.: Princip funkce kamenu – na obrázku vpravo v případě zavřené formy (kámen je zasunut do drážky v klzné destičce a vnitřnímu jádru tak nic nebrání v pohybu)*

Dalším dílem, nezbytným pro zhotovení nátrubku, je vnitřní posuvné jádro (vnitřní schieber). To se pohybuje přímo po vodícím kolíku a svým pohybem uvádí v pohyb obě posuvná jádra včetně jejich příslušenství. Toto jádro má vlastní temperační okruh, který je ve své podstatě stejný jako u vnějšího posuvného jádra jen s tím rozdílem, že se zde musí, z důvodu příčných rozměrů, temperační medium přivést ze strany pomocí temperačních dílů (na Obr. 61. růžové), jež se k tělu vnitřního posuvného jádra přišroubují pomocí šroubů ISO 4762 s podložkami pod hlavou a sevrou se mezi ně O-kroužky, opět z důvodu dokonalého těsnění okruhu. Zde je ještě jedna zvláštnost, oproti temperačnímu okruhu vnějšího jádra, a to ta, že uvnitř kónické (formovací) části těla vnitřního jádra je vyvrtán kanál, kam se nasune a upevní zátka (šedivý, horizontálně uložený díl ve světle modrém kanále, viz Obr. 64), na jejímž konci je plíšek (sloužící jako bariéra), který donutí medium proudící v tomto kanále tento plíšek obtékat (a sdílet tak teplo prouděním media), nikoli jen v tomto kanále setrvávat.

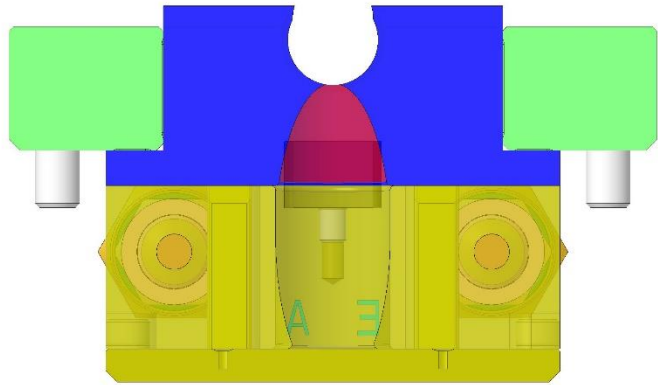
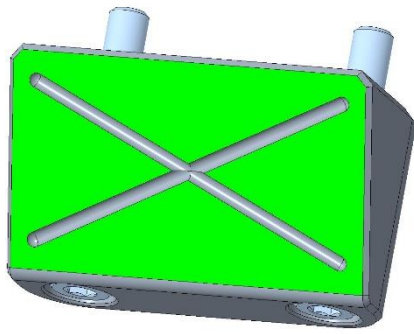
Formovací část vnitřního jádra je opět opatřena rotační odvodušňovací drážkou (hnědá na Obr. 61.), která má vývod mimo kuželovou dutinu, jež sdílí vnější i vnitřní jádro a v níž se vnitřní vůči vnějšímu centruje (kuželem v kuželové díře).



*Obr. 61.: Podsestava vnitřního posuvného jádra včetně klínu, vodícího kolíku a příslušných částí temperačního systému*

Jelikož konají sestavy posuvných jader v průběhu otevírání formy složený pohyb – posouvají se v ose formy a také kolmo na ní do stran, je potřeba dílů, které jim tento pohyb usnadní. Mezi tyto díly patří klíny (šedivý viz Obr. 62.), které se pomocí páru šroubů ISO 4762 přišroubují do formovací desky pevné strany formy a na jejichž čelní nakloněné ploše (po níž se pohybuje i zadní nakloněná rovina vnitřních jader), je zhotovena půlkulová drážka ve tvaru „X“, která má usnadnit vzájemné klouzání povrchů. Dalším takovým vodícím dílem jsou lišty (zelené na Obr. 63.) jež jsou po stranách i zespoda opatřeny půlkulovými drobnými drážkami pro zlepšení kluzných vlastností tohoto vedení. Tyto lišty slouží k přesnému přímočarému vedení obou částí posuvných jader. Toto vedení se realizuje postranními výstupky na tělech vnějšího i vnitřního jádra, jež jsou součástí geometrie těl formovacích dílů jader.

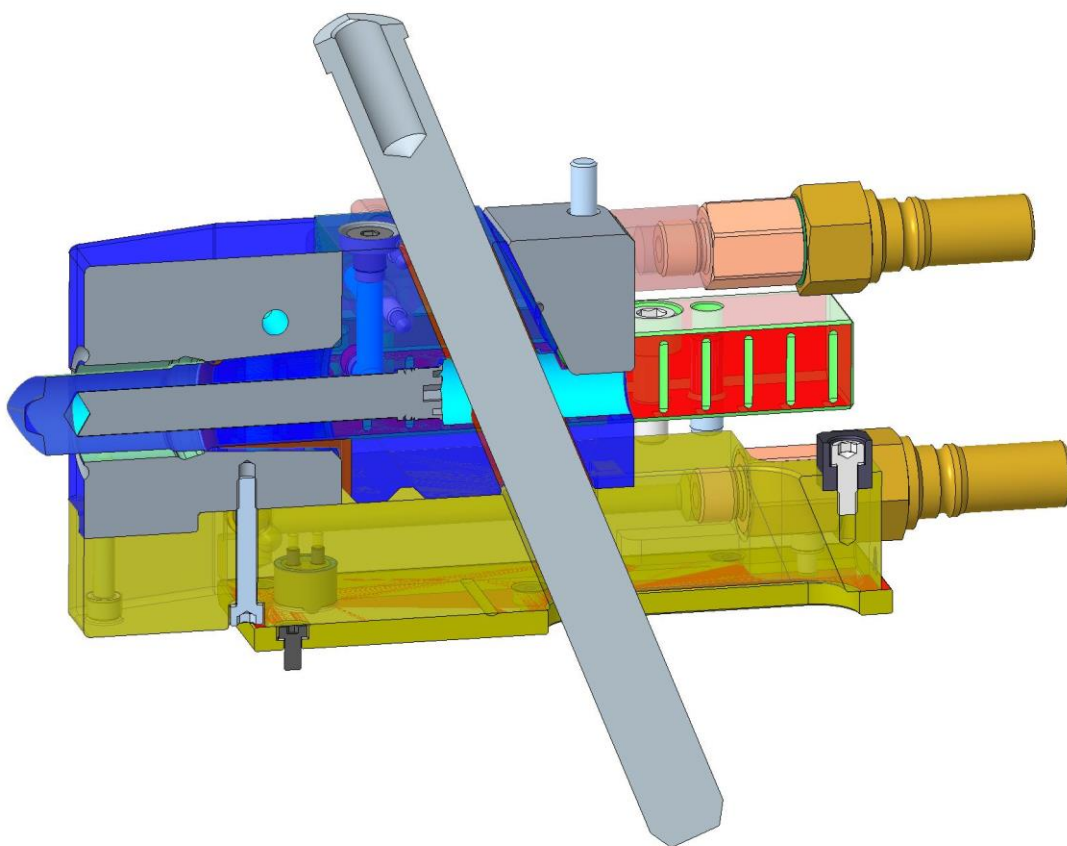




*Obr. 62.: Na obrázku vlevo se nachází klín včetně příslušných spojovacích prvků*

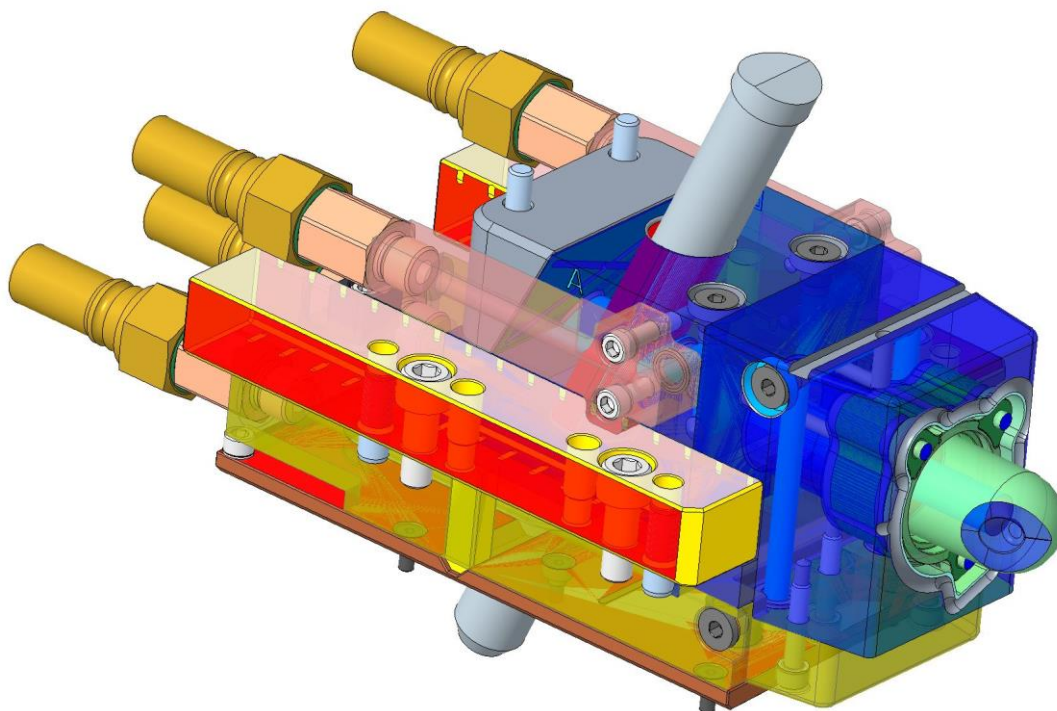
*Obr. 63.: Na obrázku vpravo je ukázán řez sestavou a vedení posuvného jádra mezi lištami*

Vzájemného pohybu mezi kluznou destičkou a deskovým dílem se docílí pomocí vodicích kolíků, které jsou na pevně upnuty mezi upínací a formovací deskou pevné strany formy. Jelikož jsou tyto kolíky orientovány vůči podélné ose formy pod úhlem, dojde při otevírání formy k posuvu částí jader do strany, což díky konstrukci různých průchozích otvorů v jednotlivých dílech způsobí, že se nejdříve začnou vysouvat vnitřní jádra a pak až vnější. Jelikož je průchozí díra vnitřním jádrem kruhová, začne díky kruhové geometrii díry reagovat okamžitě (bez prodlevy v pohybu) na pohyb vůči nehybnému vodicímu kolíku. Vnitřní jádro se vysouvá, dokud se vzájemně čelně neopře formovací díl vnitřního jádra (prochází jím kolík na Obr. 64) o čelo dorazového kamenu (na Obr. 64 černý díl, jež je přišroubován šroubem ISO 4762 k deskovému dílu). Toto dosednutí čely o dorazový kámen v průběhu otevírání formy způsobí, že se od této chvíle začne pohybovat již celá sestava, dokud se nevysune do své maximální polohy (maximálního otevření). Na Obr. 64 lze spatřit viditelnou vůli mezi vodicím kolíkem a vnitřním schieberem nátrubku. Ta zde slouží k vytvoření pohybové (kinematické) prodlevy posuvu při zavírání formy, aby tak nedošlo k současnému vzájemnému dosednutí obou vnitřních pohyblivých jader, které by mohlo vést k deformaci či lomu obou kónických tvarových částí těchto jader.



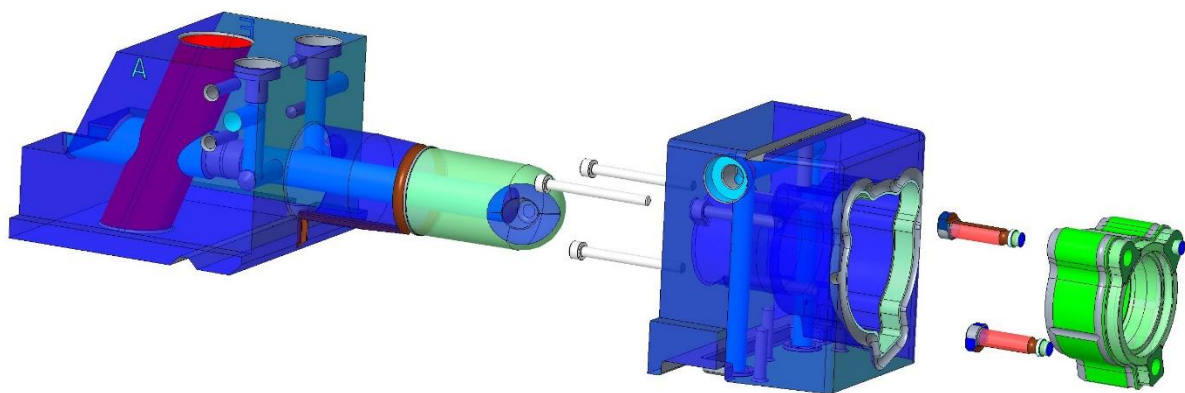
*Obr. 64.: Řez kompletní sestavou posuvných jader nátrubku*

### *3.3.2.7. Výroba přírubové části*



*Obr. 65.: Kompletní sestava posuvného jádra (schieberu) včetně příslušenství pro realizaci výroby přírubové části dílu*

Konstrukce sestavy vytvářející přírubovou část dílu je ve své podstatě naprosto totožná jako konstrukce sestavy pro výrobu nátrubku (náběhové geometrie). Liší se však v počtu a tvaru formovacích dílů, které tvoří tvarovou dutinu formy. V tomto případě se jedná o vnitřní posuvné jádro (na Obr. 66. nejvíce vlevo), formovací část vnějšího posuvného jádra s dutinou (modrý díl uprostřed), tvarovou formovací vložku (zelený díl vpravo), do něj vkládané piny sloužící ke zhotovení průchozích děr v přírubové části Stutzenu (piny jsou zde barevné díly s červeným vodičím dráhem, nachází se mezi formovací vložkou a částí posuvného jádra s dutinou a slouží ke zhotovení děr v přírubové části) a nakonec šrouby ISO 4762 s podložkami, které přišroubují tvarovou formovací vložku do dutiny formovací části vnějšího posuvného jádra. Použití tvarové vložky je z důvodu odvodu vzdušné přírubové geometrie.



Obr. 66.: Rozpadová sestava formovacích dílů sloužících pro výrobu přírubové části Stutzenu

### 3.3.2.8. Konstruktivní řešení odvodu vzdušné formy

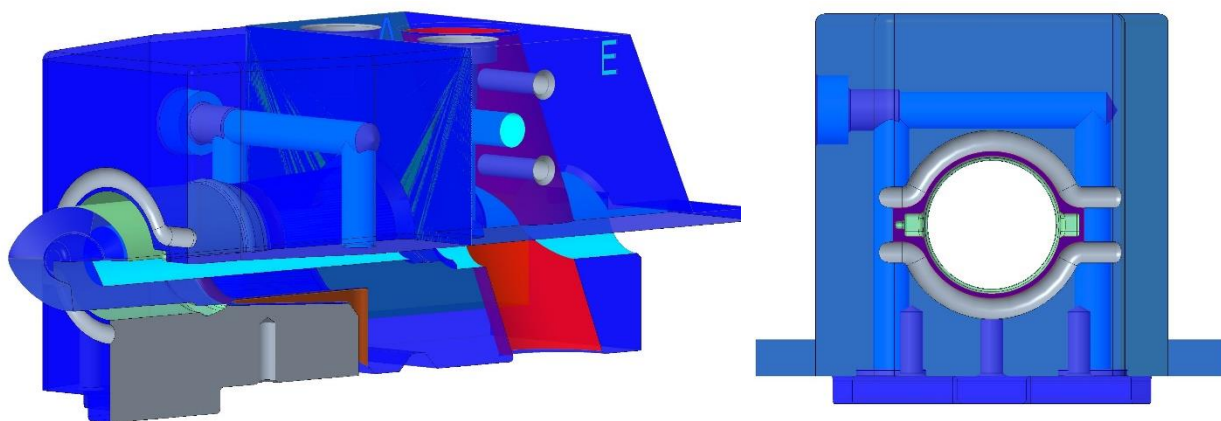
Odvzdušnění formy, tedy soustava odvodu vzdušných geometrií (kanálů, dutin, děr atp.), slouží k odvedení vzduchu z dutiny formy. Vzduch, přirozeně se vyskytující v dutině při zavření formy, musí mít možnost uniknout, jelikož v průběhu vstřikovacího procesu jej v dutině stlačuje čelo taveniny velkou rychlostí (vzhledem k vysokému vstřikovacímu tlaku), což by mohlo vést k již zmíněnému Dieselově efektu uvnitř dutiny formy. Tomu je nutné se vyvarovat, jelikož by to mělo za následek spálení některých částí dílu (a to je nepřijatelné jednak z hlediska funkce dílu a druhá z hlediska vzhledu dílu).

V předchozí konstrukční části, u formovacích dílů posuvných jader a tvarových vložek, již bylo naznačeno (viz komentář k Obr. 52.), jak se odvodu tyto díly – pomocí odvodu vzdušných geometrií ekvidistantně vzdálených od obrysu tvarové dutiny. Další možností jsou třeba různé výběhy do prostoru mezi jednotlivými díly anebo například vytvoření nepatrného vzájemného odsazení dosedacích rovin o hodnotu v řádu jednotek mikrometrů (vznikne tak mezi

rovinami vůle, kterou unikne stlačený vzduch, avšak je dost drobná na to, aby do ní nenatekla dosti vazká tavenina plastu a nevznikl tak na díle břit – stopa po tomto odsazení).

Správně provedenému odvzdušnění formy napomůže analýza odvzdušnění z programu CADMOULD. Na těchto obrázcích, z proběhnuší analýzy (viz Obr. 48. a 49.), je patrné, že je nutné odvzdušnit zejména geometrii čela nátrubku (náběhové geometrie), dorazových částí (dorazových výstupků), přírubovou geometrii včetně obvodové části i děr a nakonec také geometrii kruhové vodící části na spodní straně dílu.

Odvzdušnění čela nátrubku a dorazových částí se provede rotačním kanálem a výběhem (hnědé kanály viz Obr. 61. nebo Obr. 67.) na kónické (formovací) části vnitřního posuvného jádra nátrubku. V případě dosednutí kuželovou částí vnitřního posuvného jádra nátrubku do kuželové díry vnějšího (na Obr. 67. se kónická část nachází mezi čely obou dílů a světle zelenou tvarovou dutinou) se vzduchu umožní, díky radiální vůli v řádu mikrometrů na čele geometrie vytvářející nátrubek, uniknout do hnědého odvzdušňovacího kanálu. Čelní plocha vnějšího formovacího posuvného jádra je opatřena půlkulovým kanálem (ten je ekvidistantně odsazen od obrysu dutiny o 1 mm). Tento kanál má za úkol odvést vzduch do prostoru mezi díly a k tomu mu napomůže také odebrání materiálu z čela dílu (fialově vybarvený na Obr. 68.) mezi dutinou a kanálem, čímž vznikne již zmíněná vůle v řádu jednotek mikrometrů mezi čelními rovinami při dosednutí čel jádra a tvarové vložky formy.

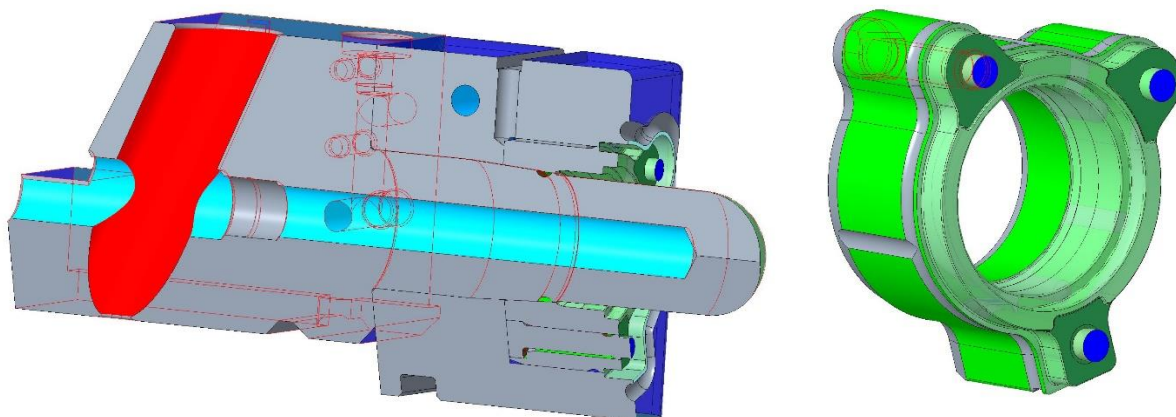


*Obr. 67.: Vlevo je  $\frac{3}{4}$  řez formovacími částmi posuvných jader nátrubku*

*Obr. 68.: Vpravo je pohled na čelní plochu vnějšího posuvného jádra s fialově zvýrazněnou odebranou geometrií*

Odvzdušnění kruhové vodící části přírubové geometrie je opět řešeno pomocí rotačního kanálu ve vnější formovací části posuvného jádra (na Obr. 69. uprostřed), do kterého vedou jednotlivé odvzdušňovací kanály nebo drážky pinů a tvarové vložky (šedé půlkulové kanálky po obvodu

vložky viz Obr. 70.), a vývod tohoto kanálu je řešen dírou, která ústí do drážky na vrchní straně vnější formovací části jádra, odkud vzduch unikne prostorem mezi díly (například vůlí vytvořenou rozdílnými zaoblenými hran dosedajících dílů).



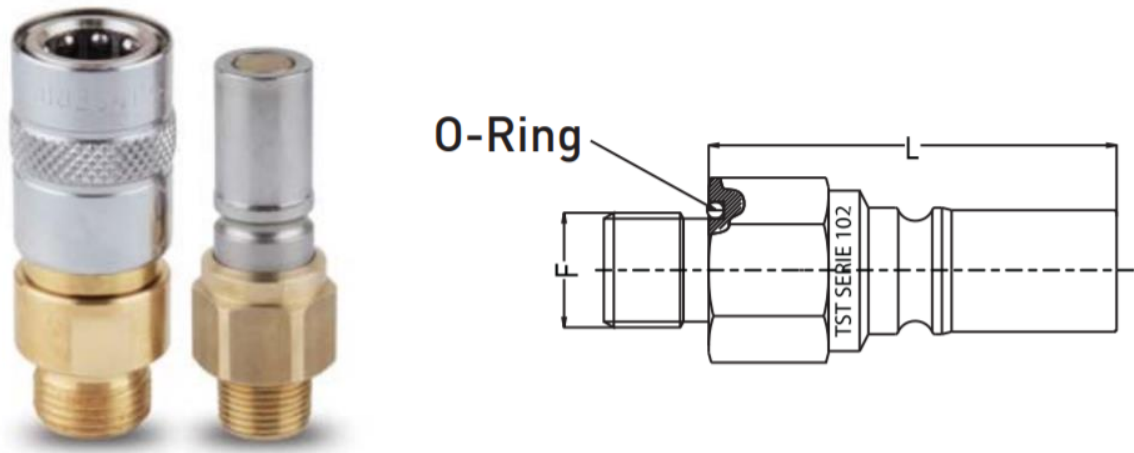
*Obr. 69.: Vlevo se nachází řez formovacími částmi posuvných jader přírubové geometrie Obr. 70.: Vpravo je pohled na sestavu formovací vložky s vloženými piny (jeden z nich je červeně zvýrazněn)*

#### *3.3.2.9. Konstrukční řešení temperace formy*

Temperace jednotlivých částí formy slouží, zjednodušeně řečeno, ke zrovnoměnění tepelného zatížení dílu od vysoké vstřikovací teploty odvodem tepla taveniny teplosměnným médiem z inkriminovaných míst, což by mělo napomoci ke snížení výsledné deformace dílu vlivem konformace vnitřní struktury plastu v průběhu chladnutí dílu.

Z technologického hlediska je pro použitý materiál Genestar™ G1350A-M42 stanovena teplota temperace jednotlivých částí formy na hodnotu 130 °C. K dosažení této teploty slouží jako teplonosné (teplosměnné) medium voda, která proudí v uzavřeném přetlakovém okruhu, tudíž nedochází k varu media. Voda se rozvádí v jednotlivých částech formy pomocí sítě (nebo sítí v případě například tvarových vložek) vrtaných kanálků o průměru 8 a 10 mm (záleží na konkrétním dílu), které se různě kříží tak, aby medium dílem mohlo snadno protékat a sdílet teplo a zároveň, aby bylo možné tyto kanálky jednoduše vyrobit pomocí běžných konvenčních metod odebrání materiálu.

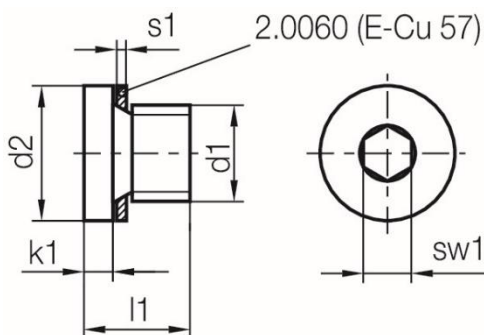
Pro přívod media do jednotlivých dílů se použijí TST náústky (rychlospojky) typu 102.12 OUB 21 s přípojovacím závitem G1/2'', jejichž maximální pracovní teplota je 150 °C.



Obr. 71.: Nalevo jsou vyobrazeny obě části TST náustku typu 102.12 OUB 21,

Obr. 72.: Vpravo je schéma použitého „samce“ se základními rozměry [13]

Naopak v případě utěsnění media je nutné použít uzavírací šrouby s hlavou a měděnou podložkou s označením Z941/12x1,5/VA dodavatele HASCO. Tyto šrouby z ušlechtilé oceli s měděnou podložkou se standardně používají při teplotě proudícího media vyšší než 90 °C. Tyto šrouby se umísťují do děr se zahloubením v příslušných dílech.



Obr. 73.: Nalevo jsou základní rozměry šroubu s podložkou

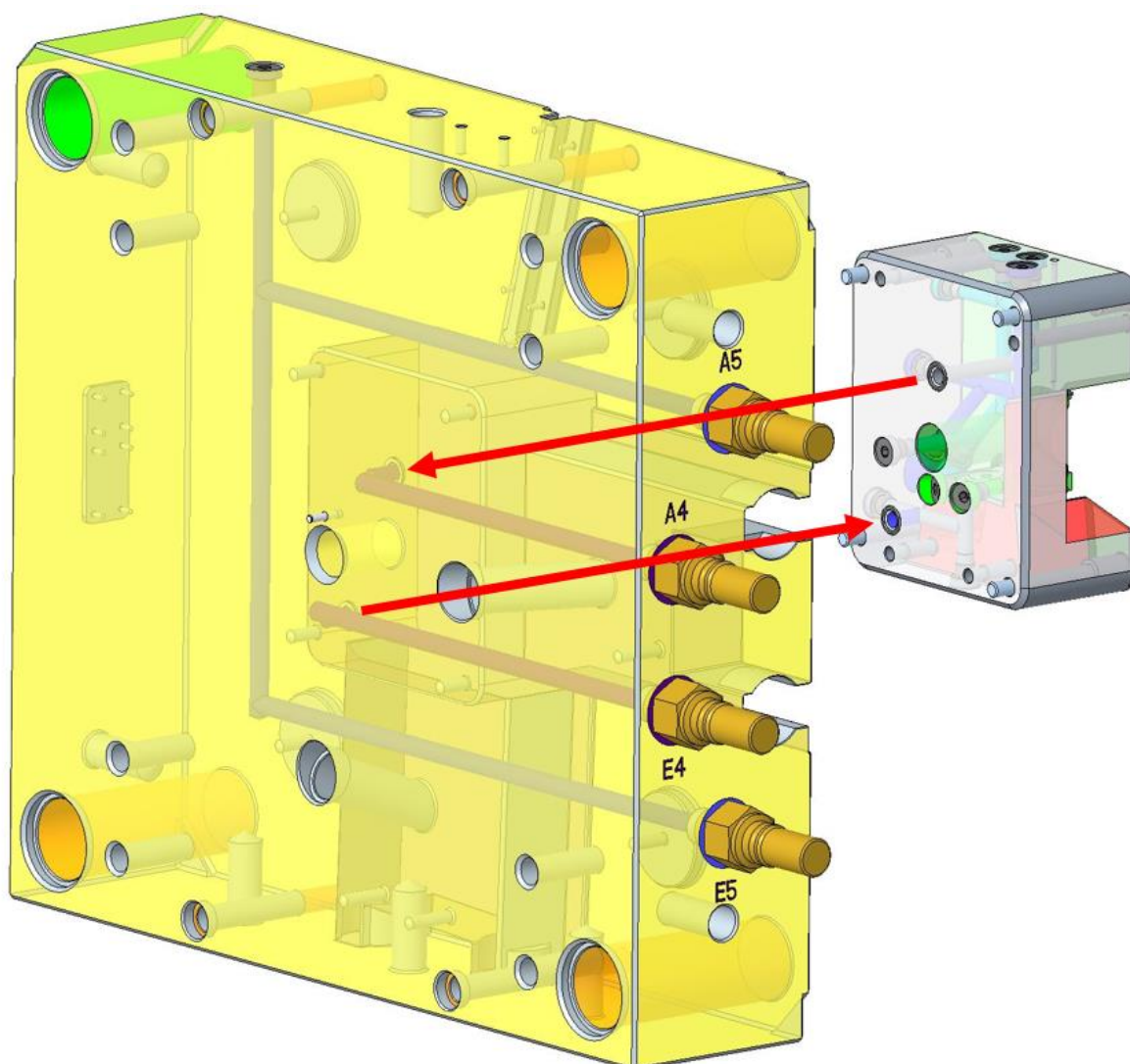
Obr. 74.: Napravo pohled na šroub s podložkou [14]



Způsob temperace, respektive konstrukce temperačních okruhů některých dílů, například temperace vnitřních posuvných jader, již byla naznačena výše.

Jako demonstrativní případ, pro ukázkou konstrukce dalších temperačních okruhů, použijí sestavu dílů, jež sdílí temperační okruh, a to formovací desku a tvarovou vložku na pevné straně formy. Na Obr. 75. je naznačeno, jakým způsobem přitéká voda do tvarové vložky. Temperační okruh vložky začíná náustkem na pozici E4 (Eintritt – vstup) formovací desky. Odtud putuje voda fialovým kanálem tvaru „L“, jež má výstup na čelní ploše a jež je společná i pro zadní čelní plochu vložky. Zde je zhotovena drážka pro O-kroužek DIN 3771 (černý pár dílů na zadní straně tvarové

vložky u šipek). Odtud vstupuje voda do spleti kanálů, jež jsou koncipovány tak, aby se, pokud možno, co nejvíce koncentrovaly okolo tvarové dutiny vložky. Výstup těchto kanálů z tvarové vložky je opět utěsněn O-kroužkem v drážce a o čelní plochu vložky. Voda poté pokračuje opět zalomeným fialovým kanálem tvaru „L“ a vystupuje náustkem u pozice A4 (Austritt – výstup). Následně se hadicí spojí výstup A4 se vstupem E5. Voda na vstupu E5 proudí okruhem formovací desky (v modrých kanálech), který kolem dokola obestupuje vložku. Temperační okruh by se na výstupu A5 zapojil na vstup A6 a došlo by k pokračování temperačního okruhu.



*Obr. 75.: Rozpadová sestava formovací desky (žluté) a vložky (šedé) na pevné straně formy, kde je naznačeno propojení jednotlivých částí okruhu červenými šipkami*

### 3.3.3. Stanovení uzavírací síly

Rozhodující pro výpočet potřebné uzavírací síly vstřikovacího stroje pro konkrétní formu je znalost maximálního tlaku v tvarové dutině formy. Nejpřesněji tlak v dutině formy určí počítačové simulace plnění dutiny formy, které i automaticky vypočítají průběh potřebné uzavírací síly v celém vstřikovacím cyklu.

Pro rychlé určení potřebné uzavírací síly je možné vyjít ze známého Pascalova zákona pro výpočet síly, který zjednodušeně říká, že síla odpovídá součinu plochy, na kterou tlak působí, a tohoto tlaku. Při aplikaci uvedeného zákona na určení potřebné uzavírací síly vstřikovacího stroje je plocha dána plochou výstřiku (nebo výstřiků), včetně plochy vtokového rozvodu [2].

Platí tedy vztah:

$$F_c \text{ [N]} = p \text{ [Pa]} \cdot S \text{ [m}^2\text{]}$$

kde  $F_c$  je uzavírací síla,  $p$  je vstřikovací tlak a  $S$  je maximální průmětná plocha dílu do dělicí roviny formy (tzn. průmětná plocha všech výstřiků ve formě do její dělicí roviny + průmětná plocha všech rozváděcích kanálů pro přívod polymerní taveniny do tvarových dutin formy).

Nejvyšší dosažená hodnota tlaku, podle provedené analýzy CADMOULD, je sice 500 bar viz Obr. 39., ale běžná maximální pracovní hodnota vstřikovacího tlaku vstřikolisu Demag je 1 000 bar, proto je nutné počítat s touto vyšší hodnotou. Pro výpočet plochy je potřeba znát maximální možný příčný průřez Stutzenu, ten byl změřen pomocí CAD programu a činí 3 107,88 mm<sup>2</sup>. Výsledná uzavírací síla je tedy dle vztahu výše:

$$F_c \text{ [N]} = p \text{ [Pa]} \cdot S \text{ [m}^2\text{]} = 1\,000 \cdot 10^5 \text{ [Pa]} \cdot 3\,107,88 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]} = 310\,788 \text{ N}$$



## 4. Závěr

V teoretické (rešeršní) části této práce jsem představil fitinkový díl, jeho způsob výroby a materiál, jež takový způsob výroby umožňuje. Dále byla vysvětlena podstata technologie vstřikování plastů, vstřikovacího cyklu, jednotlivých fází vstřikovacího cyklu a vstřikovací stroj. Poté jsem provedl rešerši pro hlubší porozumění principu jednoduchých dvoudeskových forem, jejich funkci, technologicko – procesním systémům forem a nejpoužívanějším typům materiálů. Nakonec této teoretické části jsem zmínil i zjednodušený postup návrhu vstřikovací (sériové) formy.

V praktické části jsem popsal formu, jejíž 3D model jsem vytvořil a z něhož jsem čerpal své autorské obrázky této práce. Musel jsem si zjistit od zadavatele doplňující (dodatečné) požadavky nutné pro zhotovení tohoto konstrukčního návrhu formy. Dále jsem popsal způsob dělení modelu formy na rámovou a formovací část. V rámové části jsem se věnoval detailnímu popisu konstrukce desek včetně příslušenství a dílů, jež spolu tvoří sestavy na pevné a pohyblivé straně rámové části formy. U formovací části roviny jsem vysvětlil důležitost vhodné volby dělicích rovin, porovnání pozice dělicích rovin původního a mého řešení, provedl a okomentoval jsem CADMOULD analýzu – analýzu vyplňování dutiny formy taveninou, dále jsem vysvětlil vliv deformací a smrštění výstřiku na konstrukci formovacích částí formy, k tomu zaformování dílu, ukázal jsem konstrukci posuvných jader pro výrobu nátrubku a přírubové části dílu. Provedená CADMOULD analýza predikovala, mimo jiné, deformace výstřiku, jež byly zohledněny při návrhu zaformování dílu. Nadále tato analýza pomohla určit problémová místa, která souvisí s konstrukcí odvodušnění a temperací formy, jež jsou poslední podkapitoly, které se věnují formovací části formy. Nakonec jsem provedl výpočet velikosti potřebné uzavírací síly.

Bohužel, rady a tipy ke konstrukci z teoretické části nešly ve větší míře aplikovat v praktické části, neboť firma Schaeffler má své vlastní normy, návody a zvyklosti, kterými jsem se musel v průběhu konstrukce řídit. Takový postup je však, u tak velkých průmyslových firem, běžný.

Ze zhotoveného 3D modelu jsem vytvořil výkresovou dokumentaci dle požadavků vedoucího práce a zadání, jedná se o výkres sestavy formy a dva výrobní výkresy tvarových vložek dle standardů firmy Schaeffler.

Závěrem je nutno říci, že konstrukce zjednodušené formy na základě vzoru sériové, která mi sloužila jako vzorová, je velmi zajímavá, avšak časově i objemem práce velmi náročná činnost. Ke zhotovení modelu a patřičné výkresové dokumentace v CAD programu Creo ver.7 jsem potřeboval mít základní konstrukční dovednosti, které mi ulehčovaly postup práce – tvorbu modelu. Největším úskalím bylo pochopení principu funkce posuvných jader a jejich kinematiky, jelikož se jedná o formu, jež je ovládána mechanicky, nikoli za pomoci automatizační techniky.

## 5. Zdroje

- [1] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů 2: Simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk: Teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, a.s., 2021. 448 s. ISBN: 978-80-271-1294-4
- [2] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: Teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, a.s., 2018. 464 s. ISBN: 978-80-271-0614-1
- [3] Materiálový list Genestar™ G1350A-M42; cit. [29. 11. 2021]. Dostupné online na: <https://www.campusplastics.com/material/pdf/102408/GenestarG1350A-M42?sLg=en>
- [4] Obrázek „MACHINE DIMENSIONS“ z prospektu stroje ALLROUNDER 470 C výrobce ARBURG; cit. [8. 11. 2021]. Dostupné online na: [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_470C\\_GOLDEN\\_EDITION\\_TD\\_523679\\_en\\_GB.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_470C_GOLDEN_EDITION_TD_523679_en_GB.pdf)
- [5] Učební text „Stroje pro zpracování polymerních materiálů“, kap. 8.: Kontrolní a řídicí jednotka; [cit. 11. 11. 2021]. Dostupné online na: <https://publi.cz/books/181/08.html>
- [6] KAZMER, David O. Injection Mold Design Engineering. Munich: Hanser Publishers, 2016. 517 s. ISBN: 978-1-56990-570-8
- [7] Datasheet vstřikovacích lisů IntElect od firmy Sumitomo DEMAG; cit. [27. 1. 2022]. Dostupné online na: [https://www.sumitomo-shi-demag.eu/fileadmin/user\\_upload/download\\_fakuma\\_2015/TD\\_IntElect\\_englisch.pdf](https://www.sumitomo-shi-demag.eu/fileadmin/user_upload/download_fakuma_2015/TD_IntElect_englisch.pdf)
- [8] Přehled desek HASCO; cit. [20. 7. 2022]. Dostupné online na: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/K/Jednotliv%C3%A9-desky/c/PIM0101>
- [9] Přehled vodících elementů HASCO; cit. [20. 7. 2022]. Dostupné online na: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/Z/Vod%C3%ADc%C3%AD-elementy/c/PIM0301>
- [10] Přehled podložek HASCO, cit. [24. 7. 2022]. Dostupné online na: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/Z/V%C5%A1eobecn%C3%A9-n%C3%A1strojov%C3%A9-d%C3%ADly/Podlo%C5%BEky/c/PIM030205>
- [11] Vtokové pouzdro HASCO, cit. [26. 7. 2022]. Dostupné online na: [https://www.hasco.com/cs/Z/Vtoky/Vtokov%C3%A1-pouzdra/p/Z50\\_d2x11](https://www.hasco.com/cs/Z/Vtoky/Vtokov%C3%A1-pouzdra/p/Z50_d2x11)
- [12] Zajišťovací elementy s odtlačovací pružinou a válečkem Meusburger E3042, cit. [28. 7. 2022]. Dostupné online na: <https://ecom.meusburger.com/files/pdf/e/e3042.pdf>

- [13] Katalog TST náústků, cit. [29. 7. 2022]. Dostupné online na:  
<https://www.tech-con.cz/wp-content/uploads/2016/05/WATER-SERIE-5-eng-doc.pdf>
- [14] Uzavírací šroub s hlavou a měděnou podložkou Z941, HASCO; cit. [XX. 2. 2022].  
Dostupné online na: [https://www.hasco.com/cs/Z/Chlad%C3%ADc%C3%AD-syst%C3%A9m/Propojen%C3%AD-a-t%C4%9Bsn%C4%9Bn%C3%AD/Z%C3%A1slepka/p/Z941\\_d1\\_Mat#](https://www.hasco.com/cs/Z/Chlad%C3%ADc%C3%AD-syst%C3%A9m/Propojen%C3%AD-a-t%C4%9Bsn%C4%9Bn%C3%AD/Z%C3%A1slepka/p/Z941_d1_Mat#)

## **SEZNAM PŘÍLOH DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Příloha 1 – Výkres sestavy formy (ozn. T-10558569-3000 000)

Příloha 2 – Výrobní výkres tvarové vložky (Formteil, ozn. T-10558569-0020 000)

Příloha 3 – Výrobní výkres tvarové vložky (Formteil, ozn. T-10558569-0040 000)