

Návrh konstrukce vstřikovacího nástroje pro výrobu části závěsu automobilového pedálu

Ladislav Surý

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Ladislav Surý
Osobní číslo:	T22038
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh konstrukce vstřikovacího nástroje pro výrobu části závěsu automobilového pedálu

Zásady pro vypracování

- Vypracovat literární studii zabývající se řešenou tematikou.
- Vyhotovit trojrozměrný model dané vstřikované součásti.
- Navrhnout sestavu vstřikovacího nástroje pro výrobu zadane součásti.
- Vytvořit výkres sestavy vstřikovací formy včetně kusovníku a daných pohledů.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BEAUMONT, John P. Návrh a řešení vtokových soustav: příručka pro úspěšné vstřikování plastů. Brno: Jan Svoboda, 2022. ISBN 978-80-11-01188-8.

KAZMER, David O. Injection Mold Design Engineering. 3rd Edition. Munich: Hanser Publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-891-4.

MENNIG, Günter a STOECKHERT, Klaus. Mold-Making Handbook. 3rd Edition. Munich: Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-56990-446-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na konstrukci vstřikovací formy pro výrobu části závěsu automobilového pedálu. Teoretická část práce se věnuje konstrukci vstřikovacích strojů a forem, polymerním materiálům a základním zásadám při konstrukci vstřikovaných výrobků. Praktická část popisuje konstrukci 3D modelu vstřikovací formy pro stanovený výrobek v softwaru CATIA V5 s využitím online knihovny společnosti Meusburger a znalostí uvedených v teoretické části. Z vytvořeného modelu formy byla vypracována výkresová dokumentace.

Klíčová slova: vstřikovací formy, polymery, vstřikování plastů, 3D modelování

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design of an injection mould for a component of car pedal mounting bracket. The theoretical part of the thesis is devoted to the design of the injection moulding machines and moulds, polymer materials and basic principles in the design of the injection moulded products. The practical part describes the construction of the injection mould 3D model for the specified component in CATIA V5 software using the Meusburger online library and the knowledge stated in the theoretical part. Based on the created mould model, the technical drawings were produced.

Keywords: injection moulds, polymers, injection moulding, three-dimensional modelling

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce, Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D., za užitečné rady a věnovaný čas během vedení této práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	13
1.1 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	13
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	14
1.2.1 Vstřikovací jednotka	15
1.2.2 Uzavírací jednotka	15
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	17
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	17
2.1.1 Termoplasty.....	17
2.1.2 Reaktoplasty	17
2.1.3 Elastomery.....	17
2.2 APLIKACE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	18
2.2.1 Polyamid	18
2.2.2 Polyoxymethylen.....	19
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	20
3.1 SMRŠTĚNÍ.....	20
3.2 ÚKOSY	20
3.3 ZAOBLENÍ HRAN.....	21
3.4 TLOUŠTKY STĚN VÝROBKŮ.....	22
3.5 ŽEBRA	23
3.6 VADY VÝROBKŮ.....	24
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	26
4.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	26
4.2 NÁSOBNOST FORMY	27
4.3 ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	27
4.4 VTOKOVÝ SYSTÉM	28
4.4.1 Studený vtokový systém	28
4.4.2 Vyhřívaný vtokový systém	29
4.5 TEMPERACE FORMY	30
4.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	31
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	34
6 POUŽITÝ SOFTWARE.....	35
6.1 CATIA V5	35

6.2	ONLINE KNIHOVNA MEUSBURGER.....	35
7	VÝROBEK.....	36
7.1	MATERIÁL VÝROBKU.....	36
8	KONSTRUKCE FORMY.....	38
8.1	DĚLÍCÍ ROVINY	38
8.2	PRAVÁ ČÁST FORMY	39
8.3	LEVÁ ČÁST FORMY	40
8.4	TVAROVÉ DÍLY FORMY	41
8.4.1	Tvárník a tvárnice.....	42
8.4.2	Boční posuvná tvarová čelist.....	43
8.4.3	Posuvná tyč s tvarovými jádry	44
8.5	TEMPERACE FORMY	45
8.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	46
8.7	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	47
8.8	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	47
9	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	48
	ZÁVĚR.....	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Výrobky získané vstřikováním mají uplatnění v mnoha odvětvích, jelikož vstřikování umožňuje výrobu kvalitních přesných výrobků s vysokou reprodukovatelností vlastností. Ke vstřikování plastů se používá vstřikovací stroj spolu s nástrojem nazývaným vstřikovací forma. V závislosti na násobnosti formy a délce vstřikovacího cyklu lze dosáhnout velkosériové výroby. Výrobní cena vstřikovací formy může být u složitých výrobků velmi vysoká, proto je kladen důraz na kvalitní provedení její konstrukce.

V současné době lze konstrukci formy zjednodušit a zefektivnit použitím moderních softwarů a využitím normalizovaných komponent, které nabízí několik specializovaných společností. Kvalitní konstrukcí formy lze docílit efektivní úsporné výroby s minimálním rizikem vad na výrobcích a také lze prodloužit životnost formy se sníženými náklady na údržbu.

Cílem této práce je vypracovat 3D model vstřikovací formy vhodné pro výrobu části závěsu automobilového pedálu s využitím softwaru CATIA V5, normalizovaných komponent a následně na základě tohoto modelu vytvořit výkresovou dokumentaci.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je diskontinuální výrobní proces velmi často používaný v oblasti zpracování plastů, umožňuje cyklickou hromadnou výrobu rozměrově přesných výrobků s vysoce kvalitním povrchem a složitým tvarem. Výrobní cyklus se pravidelně opakuje, lze tak zhotovit výrobky, které budou mít velmi podobné rozměry i mechanické a fyzikální vlastnosti. Vstřikování je rozšířené v mnoha odvětvích: od výroby hraček, přes zdravotní vybavení či elektroniku až po automobilový nebo letecký průmysl. [1; 2]

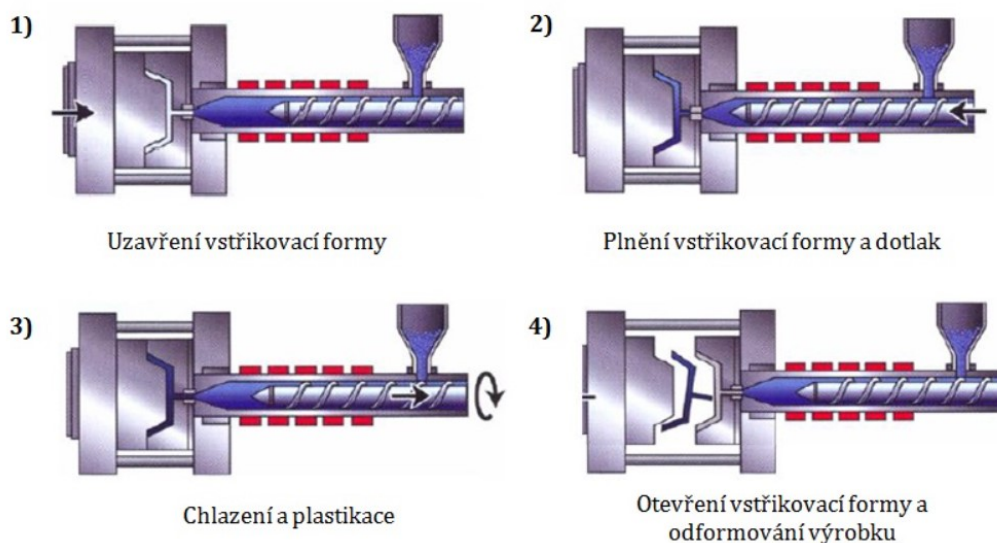
1.1 Průběh vstřikovacího cyklu

Proces vstřikování termoplastů začíná plastikační fází, při které je vstupní materiál v podobě prášku nebo granulí vystaven vysoké teplotě a tlaku, dochází k jeho tavení a homogenizaci. Právě teplota a homogenita taveniny má vysoký vliv na kvalitu výrobku. Příliš nízká teplota může způsobit vysoké vnitřní pnutí, anizotropní vlastnosti, nízkou pevnost studených spojů a při příliš nízké teplotě dojde k předčasnému ztuhnutí a tavenina nezaplní celou dutinu formy. [2; 3]

Po plastikaci následuje vstřikování, kdy za působení vysokého tlaku je tavenina během krátké doby vstříknuta skrz vtokový systém do dutiny formy. Pro získání kvalitního výrobku je důležité udržet rychlost čel taveniny konstantní napříč celou dutinou formy. Nevhodná rychlost vstřikování vede k velkému množství defektů a zhoršených vlastností. [3]

Během plnění formy dochází k přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak, je důležité přepnutí provádět plynule tak, aby tlak nadále stoupal bez propadu nebo jeho prudkého zvýšení. Když se přepnutí provede příliš brzy, dojde ke změně rychlosti taveniny, když k přepnutí dojde příliš pozdě, mohou vznikat přetoky v dělicí rovině či jiné defekty. Hlavní funkcí dotlaku je zajištění úplného zaplnění dutiny bez bublin, dotlak také umožňuje dosáhnout menšího smrštění či detailnější textury povrchu. [3]

Chlazení je nejdelší částí vstřikovacího cyklu. Z ekonomických důvodů by měl být proces chlazení co nejkratší, naopak ke zhotovení výrobku nejvyšší kvality je nezbytné provádět chlazení pomalu, proto je důležité nalezení kompromisu mezi kvalitou a produktivitou. Výrobek musí být ochlazen alespoň na takovou teplotu, aby nedošlo k jeho poškození při vyjmutí z formy. [3]

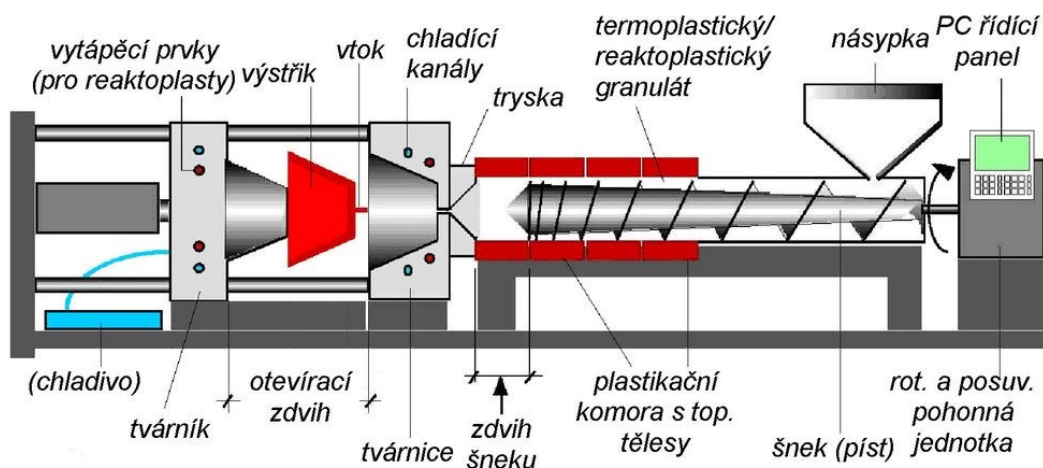


Obrázek 1 Schéma vstřikovacího cyklu

(Zdroj: [4])

1.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroje jsou neúměrně velké vzhledem k velikosti výrobku a jejich pořizovací cena je velmi vysoká, avšak moderní stroje umožňují provádět výrobu automaticky, pro hromadnou sériovou výrobu jsou tedy vhodné. Hlavními částmi stroje je vstřikovací a uzavírací jednotka, dále pro zvýšení úrovně automatizace je k dispozici velký výběr periferních zařízení. [1]



Obrázek 2 Popis vstřikovacího stroje

(zdroj: [1])

1.2.1 Vstřikovací jednotka

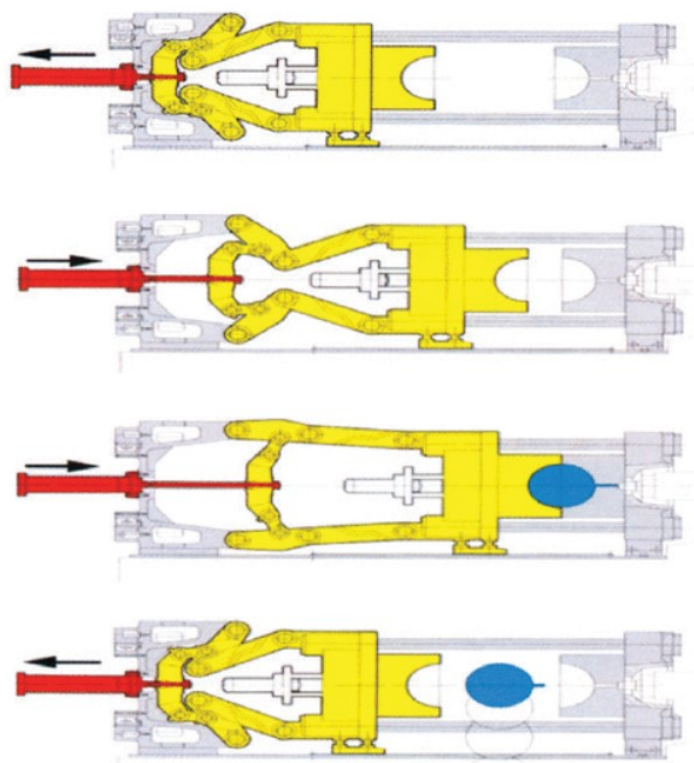
Vstřikovací jednotka slouží k přeměně tuhého vstupního materiálu na homogenní taveninu a vstřikování přesné dávky taveniny při dodržení stanoveného času a teploty. Vstřikování taveniny bylo dříve prováděno využitím pístu, později byly pístové jednotky nahrazeny výhodnějšími jednotkami šnekovými. Při výrobním cyklu během plastikace se šnek otáčí a pomalu se posouvá ve směru jeho osy zpět, během těchto pohybů je na vstupní části šneku doplňován vstupní materiál v tuhém stavu a před čelem šneku se připravuje dávka taveniny. Následně při procesu vstřikování se šnek přestane otáčet a rychlým posuvem směrem ke trysce dojde ke vstříknutí připravené dávky taveniny do dutiny formy. [1]

Rozměry a tvar šneku se udávají několika parametry. Kompresní poměr mezi vstupní a výstupní částí šneku je obvykle ovlivňován zvyšujícím se průměrem jádra šneku, nízký kompresní poměr je vhodný pro amorfní polymery a vysoký poměr pro semikrystalické. Poměr L/D určuje délku šneku, nejčastější je poměr 18 až 20, u nižšího poměru hrozí nedostatečná homogenita taveniny, naopak u vysokého poměru je materiál je vystaven vysoké teplotě delší dobu, což může vést například k jeho degradaci. [1; 5]

Šnek lze rozdělit na tři zóny. První nejdelší zóna je vstupní zóna sloužící k přepravě a stlačování materiálu z násypky do následující zóny šneku, v této zóně je tvorba taveniny nežádoucí. Ve druhé zóně nazývané kompresní je zvětšován průměr jádra šneku, tím dochází ke zmenšení prostoru pro materiál, vzduch je vytlačěn proti směru pohybu materiálu zpět k násypce, topnými tělesy a třením se zvyšuje teplota materiálu a dochází k jeho tavení, délka této zóny bývá u amorfních polymerů delší než u semikrystalických. Poslední je zóna dávkovací, zde již přestane průměr jádra šneku narůstat, jelikož dochází jen k míchání a homogenizaci taveniny. [1; 5]

1.2.2 Uzavírací jednotka

Jejím úkolem je vyvinout dostatečnou sílu na uzavřenou formu, aby nedošlo k jejímu otevření při vstřikování a následně formu otevřít pro vyhození výrobku. Výhodou mechanických systémů oproti hydraulickým je jejich vyšší uzavírací rychlost a nižší provozní cena, nevýhodou je náchylnost k přetížení, častější údržba, vyšší opotřebení součástek a nižší maximální vzdálenost otevření formy která činí stroj méně univerzální. Další výhodou hydraulického uzavíracího systému je jeho vlastnost koncentrování uzavíracího tlaku ke středu desky, avšak nejmodernější mechanické uzavírací systémy jsou také schopny dosáhnout této vlastnosti. [1; 5]



Obrázek 3 Schéma kloubového uzavíracího mechanismu

(Zdroj: [5])

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou makromolekuly s vysokou molekulovou hmotností a nachází se buď v organické nebo syntetické formě v mnoha různých podobách. Jejich velké molekuly vznikají spojováním menších monomerů pomocí vazeb během procesu polymerace. [5]

2.1 Rozdělení polymerních materiálů

Polymery lze rozdělit na elastomery a plasty. Nejčastějšími elastomery jsou kaučuky, plasty se dělí na termoplasty a reaktoplasty. [6]

2.1.1 Termoplasty

Výhodou termoplastů je možnost opakovaného roztavení na taveninu, což nejen usnadňuje jejich zpracování, ale také to přináší možnost jejich opakovatelného použití recyklací, komoditní termoplasty lze takto recyklovat až sedmkrát bez výrazného zhoršení vlastností, u konstrukčních plastů je doporučeno přidávat do výrobků až 30 % recyklátu. Podle struktury lze termoplasty rozdělit na amorfní a semikrystalické. Zatímco u semikrystalických termoplastů dochází ke změně z tuhého do kapalného skupenství při teplotě tavení, amorfní termoplasty nemají konkrétní teplotu změny skupenství, proto se u nich používá teplota skelného přechodu, při této teplotě se začínají pohybovat jejich řetězce. Všeobecně jsou semikrystalické plasty oproti amorfním více chemicky odolné, amorfní plasty mohou být transparentní a při chladnutí z taveniny se méně smršťují a deformují. [7]

2.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty vytváří nevratné chemické vazby, kde se řetězce molekul spojují do trojrozměrné sítě. Po vytvrzení je tedy není možné zahřátím tvářet, aniž by došlo k degradaci vazeb. Pro získání lepších vlastností se často plní například vlákny. Jejich výhodou je vysoká teplotní odolnost, nevýhodou je pomalejší výroba a obtížná recyklace. [7; 8]

2.1.3 Elastomery

Jsou to amorfní materiály za běžných podmínek elastické, nejčastěji se jedná o přírodní kaučuky. Nejčastěji se jejich vytvrzování, kdy dochází k řídkému zesíťování, provádí pomocí síry, kromě kaučuku a vulkanizačního činidla je směs tvořena i dalšími složkami pro lepší vlastnosti či vzhled. [9]

Zvláštním druhem jsou termoplastické elastomery, které kombinují vlastnosti termoplastů a elastomerů. Lze je zpracovávat vytlačováním či vstřikováním a recyklovat je stejně jako termoplasty, což činí jejich výrobu časově i finančně výhodnější oproti kaučukům a také mají vyšší reprodukovatelnost a konzistentnost vlastností výrobků. Jsou ale méně elastické než kaučuky a při konstantním zatížení se více stlačují. Jejich struktura je tvořená jak měkkými částicemi elastomerů, tak i tvrdými částicemi termoplastů. [7; 8]

2.2 Aplikace polymerních materiálů

Pro vstřikování závěsu automobilového pedálu jsou nejvíce vhodné dva polymerní materiály, polyamid a polyoxymethylen, zkráceně PA a POM.

2.2.1 Polyamid

Polyamid je semikrystalický konstrukční polymer, z kategorie konstrukčních polymerů se používá polyamid v největším množství, zejména se uplatňuje v automobilovém průmyslu. Nejčastějšími polyamidy je PA6 a PA66. Často se polyamidy plní skelnými vlákny pro získání lepších vlastností i za vysokých teplot, polyamidy mohou dlouhodobě pracovat při teplotách do 120 °C a krátkodobě až 180 °C, dále jsou polyamidy dobrými elektrickými izolanty a je možné je vyrobit s retardanty hoření, proto se často používají v elektrotechnice. Jsou otěruvzdorné, odolávají benzínu či olejům, mají ale nižší odolnost vůči UV záření. Mezi nevýhody polyamidů patří navlhavost, kdy polyamid přijímá vlhkost z okolního vzduchu, což vede ke snížení rozměrové stability a mechanických vlastností. Nemodifikované polyamidy jsou za nízkých teplot křehké. [5; 7]

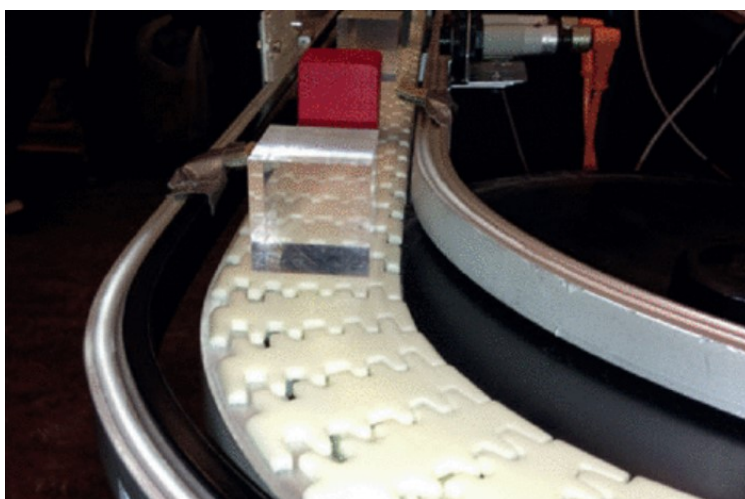


Obrázek 4 Část automobilového pedálu z polyamidu plněného skelnými vlákny

(Zdroj: [7])

2.2.2 Polyoxymethylen

Polyoxymethylen, známý také jako polyacetal či polyformaldehyd, je semikrystalický konstrukční polymer, ze všech konstrukčních polymerů má největší podíl krystalické části, a proto má z těchto polymerů vlastnosti nejvíce podobné kovům. Jedná se o polymer náročný na výrobu, rozděluje se na homopolymer a kopolymer, kde homopolymer má lepší mechanické vlastnosti, zatímco kopolymer má vyšší odolnost horké vodě. POM má malou nasákavost, z neplněných konstrukčních polymerů má nejvyšší tuhost, má vysokou rozměrovou stálost a ořezuvzodornost, odolává olejům a benzínu a se změnou teplot se jeho mechanické vlastnosti mění slabě. Nevýhodou je nižší provozní teplota do 80 °C a krátkodobě 120 °C, také není možné vyrobit POM s retardanty hoření. [5; 7]



Obrázek 5 Články dopravníku vyrobené z POM

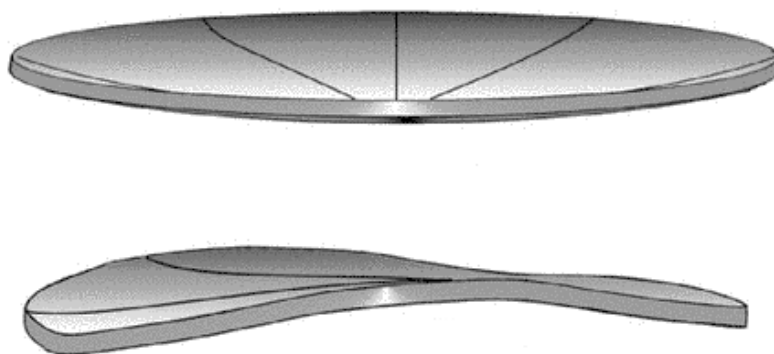
(Zdroj: [7])

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Každý způsob výroby klade určitá omezení na tvary, jaké lze vyrobit. Proto během návrhu vstřikovaného výrobku je nutné zajistit nejen požadovanou funkčnost a vlastnosti výrobku, ale i jeho vyrobiteľnost. [10]

3.1 Smrštění

Smrštění je vlastnost materiálu nezbytná pro správný návrh rozměru dutiny formy. Udává, jak se liší rozměry dutiny formy při pokojové teplotě oproti rozměrům získaného výrobku za 48 hodin od odformování při pokojové teplotě. Dodatečné smrštění určuje smrštění po uplynutí původních 48 hodin. Velikost smrštění se obvykle zvětšuje se zvyšující se teplotou formy při vstřikování, teplotou vyhazovaného výrobku nebo zvýšením teploty nebo vlhkosti okolního vzduchu. Také může být smrštění zvýšeno či sníženo v závislosti na použitém plnivu, teplotě taveniny či tloušťce stěny. [11]

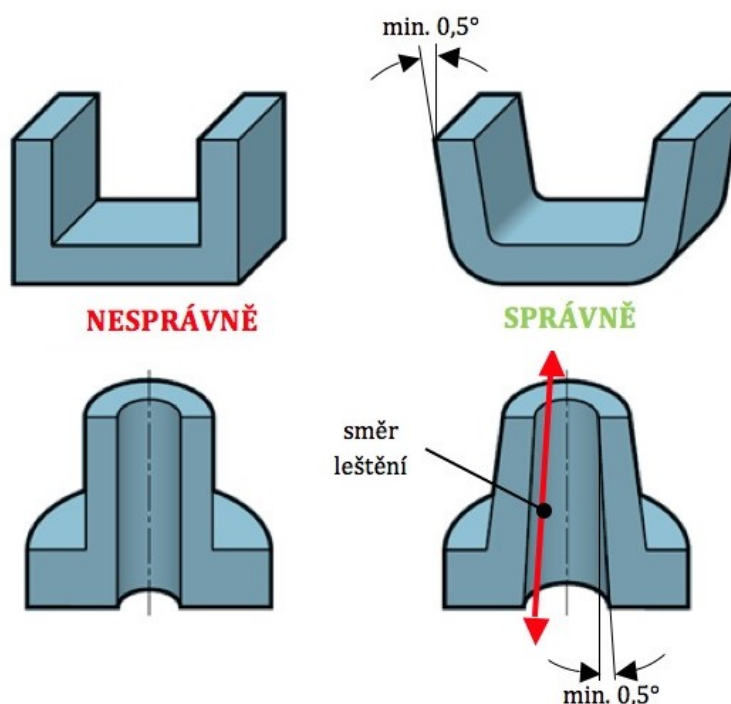


Obrázek 6 Miskový a sedlový tvar způsobený nerovnoměrným smrštěním

(Zdroj: [11])

3.2 Úkosy

Úkosy ovlivňují, jak obtížné bude vyjmutí výrobku z formy, příliš nízký úkos může vést i k poškození výrobku či formy. Minimální doporučená velikost úkosu je $0,5^\circ$, většinou se používá u termoplastů úkos 1° , dále je doporučeno k základnímu úhlu úkosu přidat další 1° úhlu úkosu na každých 20 až 25 μm drsnosti povrchu stěny formy, jinak by se mohla vytvořená textura na výrobku poškrabat při vyhazování. Velikost úkosu závisí i na materiálu, jelikož některé plněné polymery mají zvýšenou drsnost povrchu, která znesnadňuje vyhazování. [12; 13]

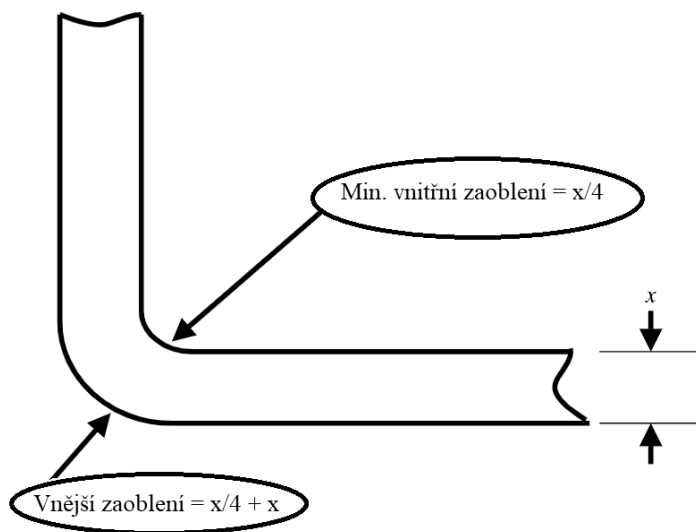


Obrázek 7 Doporučené konstrukce úkosů

(Zdroj: [14])

3.3 Zaoblení hran

Přestože by ostré hrany mohly být vhodné z hlediska vzhledu či snadnějšího skládání výrobků na sebe, u vstřikovaných výrobků jsou nežádoucí z mnoha důvodů. Výroba ostrých hran v dutině formy je náročná, obráběcí nástroje totiž zpravidla zanechávají v rohu malé zaoblení způsobené jejich konstrukcí. Všechny materiály jsou náchylné ke koncentraci napětí v ostré hraně, více náchylné jsou křehké materiály, u některých polymerů může být vyžadovaná síla na zlomení zaoblené hrany i více jak čtyřicetkrát vyšší než u ostré hrany. Vnitřní zaoblení by mělo mít velikost minimálně 50 % tloušťky stěny, u menších zaoblení výrazně narůstá koncentrace napětí. Zaoblená hrana dutiny formy s kvalitním povrchem usnadňuje tok taveniny a vyjmutí výrobku. [7; 8; 13]

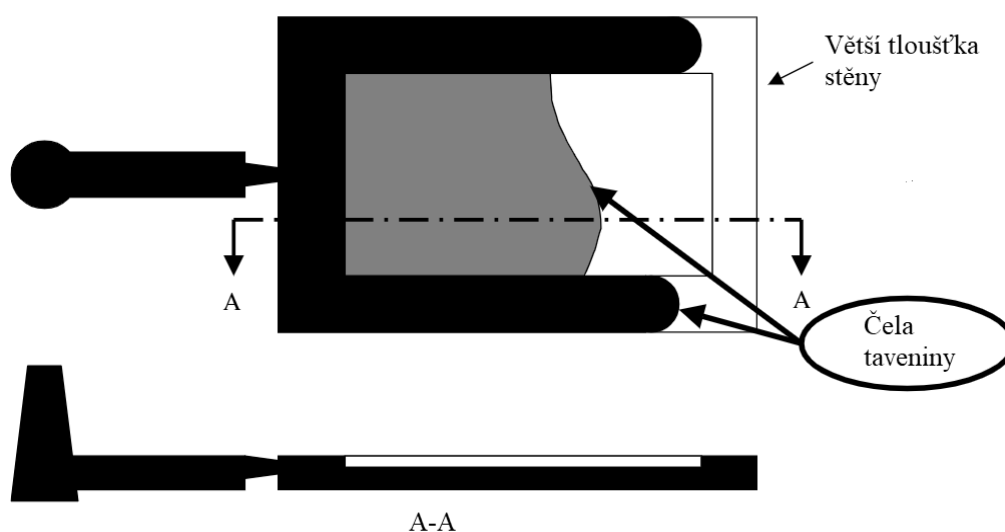


Obrázek 8 Zaoblení hran

(Zdroj: [12])

3.4 Tloušťky stěn výrobků

Volba jmenovité tloušťky stěny výrobku je základním krokem návrhu. Tenká stěna je vhodná z hlediska nízké hmotnosti a nízké ceny způsobené kratší dobou chlazení a nižší spotřebou materiálu, její nevýhodou je ale obtížnější plnění dutiny formou taveninou, vyšší smrštění či nízká pevnost. Tlustá stěna má sice vysokou pevnost, její chlazení ale trvá dlouhou dobu a je zde riziko tvorby dutých míst. Proto se zpravidla u výrobků z termoplastů volí tloušťka stěny mezi 1,5 a 4 mm, větší tloušťky je vhodné vyrobřit vstřikováním s asistencí vzduchu či vody, nebo nahradit tlustou stěnu tenkou stěnou se žebry pro vyšší pevnost. Pokud je potřeba mít u výrobku různé tloušťky stěn, je nutné, aby nebyly příliš rozdílné a jejich přechod je potřeba provést plynule. Odlišné tloušťky stěn vedou k nejednotnému smrštění způsobené různou rychlostí chlazení, což je příčinou deformací. Dále příliš rozdílné tloušťky mohou vést k předbíhání čel taveniny, například u desky se zvýšenou tloušťkou okrajů bude tenká stěna plněna pomaleji než její okraje se zvýšenou tloušťkou, hrozí tedy, že se okraje zaplní dříve než samotná deska a dojde tak k uvěznění vzduchu v dutině. Také je doporučeno vyhnout se konstrukci dutiny formy, kde musí tavenina nejprve téct tenkou stěnou, která na jejím konci přechází v tlustší stěnu, jelikož takové výrobky často mají sníženou kvalitu, horší povrch a v tenké stěně může docházet k tuhnutí dříve, než se začne plnit tlustší stěna. [7; 12; 13]

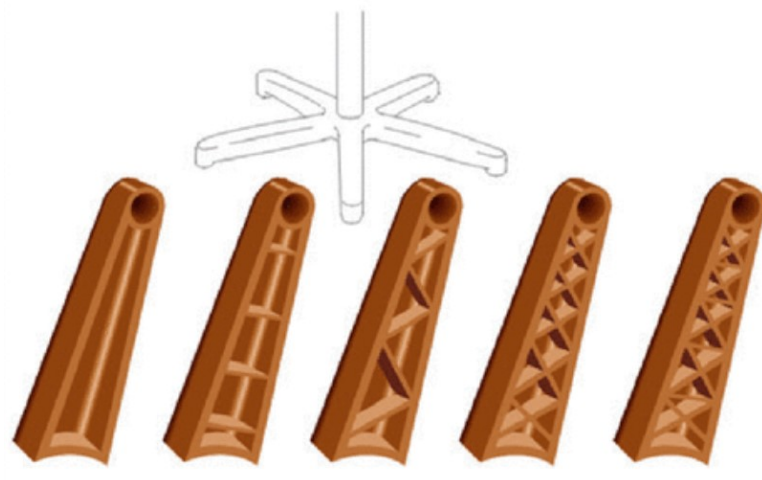


Obrázek 9 Předbíhání čel taveniny

(Zdroj: [12])

3.5 Žebra

Vyztužení výrobku pomocí žeber je efektivní způsob zvýšení pevnosti výrobku, mohou ale také snížit míru smrštění a umožňují snížit tloušťku stěny. Nejen počet žeber, ale i jejich samotná konstrukce má velký vliv na pevnost i kvalitu výrobku. Příliš vysoká žebra se mohou zbourat při zatížení, obvykle se volí výška žebra trojnásobek tloušťky stěny. Příliš široká žebra vlivem smrštění objemu při chladnutí způsobují propadliny na protější stěně, a proto je vhodné, aby tloušťka žebra nepřekročila 50 % tloušťky stěny. Použití vhodného zaoblení snižuje koncentraci napětí a pravděpodobnost vad při vstřikování, vyšší úhel zkosení je důležitý u vysokých žeber a usnadňuje vyjmutí výrobku z formy, avšak u velmi nízkých žeber je možné konstruovat žebra s nulovým úkosem. [7; 8; 12; 13]



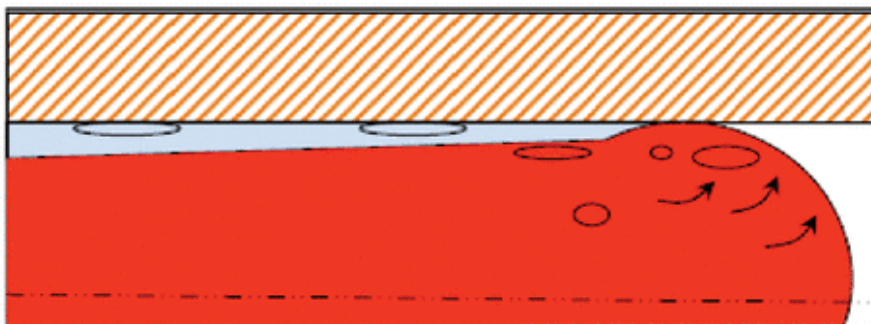
Obrázek 10 Konstrukce žeber má velké množství řešení s různými vlivy na pevnost součásti

(Zdroj: [7])

3.6 Vady výrobků

Tokové čáry patří mezi estetické vady viditelné převážně v okolí vtoku způsobené uvolněním ztuhlých částic polymeru ze stěny formy, tyto částice se následně shromažďují a orientují ve směru toku taveniny. [3]

Nedostatečným sušením často dochází ke stříbření na povrchu výrobku, tato vada je viditelná jako světlé pruhy, často orientované do tvaru vějíře. Pruhy jsou způsobené vlhkostí, která se změnila v tavenině v páru. Tyto bubliny páry nebo jiných vzniklých plynů se shromažďují na povrchu, jelikož tavenina nacházející se uprostřed plněné stěny je rychlejší než tavenina poblíž studené stěny formy. Takto přitisklé bubliny na povrch formy zanechají na výrobku pruhy odlišné barvy a lesku, tyto stopy jsou porézní a tuto zvýšenou drsnost lze vidět pomocí mikroskopu. [3; 5]



Obrázek 11 Schéma tvorby stříbření na povrchu

(Zdroj: [5])

Rýhovaný povrch ve tvaru soustředných kruhů, podobně jako u gramofonové desky, je způsoben rychle chladnoucím čelem taveniny. Z jeho tuhnoucí části se část odtrhne a přichytí se na stěnu formy, proudící tavenina nemůže vyplnit prostor v těsné blízkosti za těmito odtrženými kousky, nevyplněním prostoru vzniká rýha, která je následována dalším útržkem tuhého čela taveniny, které opět způsobí rýhu na povrchu a tento proces pokračuje. Mezi možnosti na odstranění této vady patří zvýšení teploty taveniny, použití méně viskózního materiálu či zvýšení rychlosti vstřikování. [5]



Obrázek 12 Schéma vzniku rýhovaného povrchu

(Zdroj: [5])

Při styku několika čel taveniny může vzniknout studený spoj. Když čela taveniny nemají dostatečnou teplotu vlivem teploty stěn formy a vzduchu uvnitř, nedojde k homogennímu propojení čel taveniny. [5]

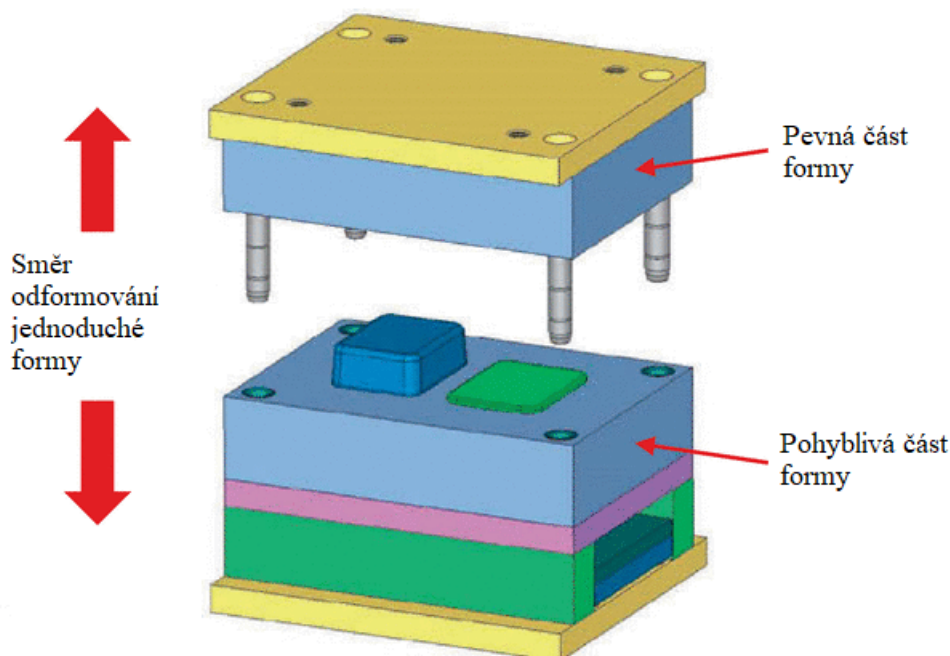


Obrázek 13 Studený spoj

(Zdroj: [5])

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Základními úkoly vstřikovací formy je doprava vstřikovaného materiálu do dutiny formy, chlazení dutiny po vstříknutí a vyhození výrobku z její dutiny. [14]

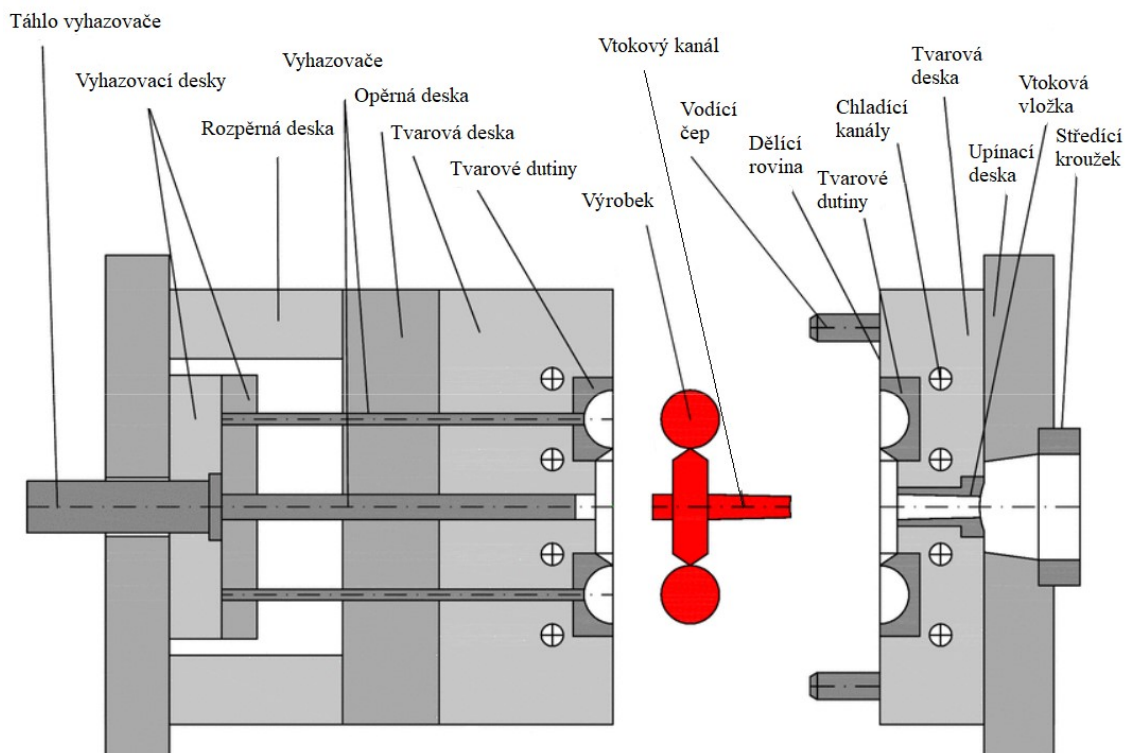


Obrázek 14 Pohyb částí vstřikovací formy

(Zdroj: [15])

4.1 Konstrukce vstřikovací formy

Základní jednoduchá forma s jednou dělicí rovinou je tvořena pevnou a pohyblivou polovinou. Pevná část je tvořena pravou tvarovou deskou a upínací deskou. Vodící čepy jsou upevněny v tvarové desce a jejich vypadnutí brání upínací deska, která je pomocí šroubů těsně spojena s tvarovou deskou. Pohyblivá část formy je tvořena levou tvarovou deskou, volitelně opěrnou deskou, dále rozpínacími deskami a upínací deskou. Středící trubky slouží k vystředění desek v této polovině formy a vodící pouzdra středí obě poloviny formy pomocí vodících čepů v pevné polovině. Systém vyhazování je umístěn mezi rozpěrnými deskami. Desky jsou obvykle tvaru kvádra a vodící prvky jsou umístěny v jejich rozích, aby se zabránilo při manipulaci s polovinami formy jejich rotaci, což by vedlo k nesprávnému spojení polovin, je možné použít pro jeden vodící čep a pouzdro odlišný průměr. [15]



Obrázek 15 Prvky vstřikovací formy

(Zdroj: [16])

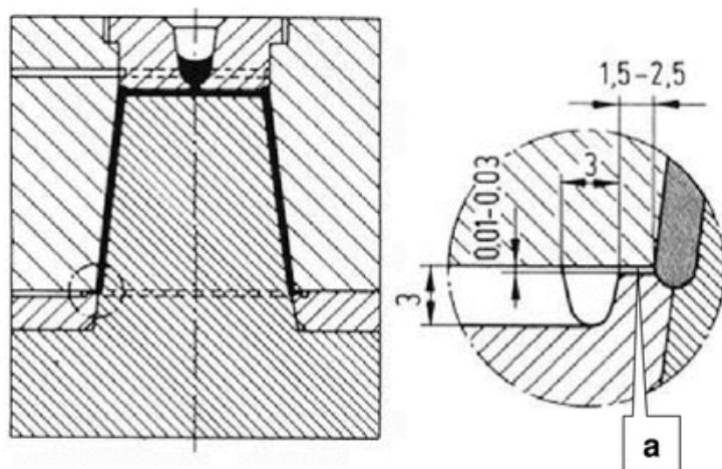
4.2 Násobnost formy

Z ekonomických důvodů se často vyrábějí formy s větším počtem tvarových dutin, které umožňují v jednom pracovním cyklu vyrobit dva nebo více výrobků, tento cyklus sice bude lehce delší, ale produkce bude násobně vyšší. Například čtyřnásobná forma bude mít výrobní cyklus přibližně o čtvrtinu delší než jednonásobná forma, vyrobí ale rovnou 4 výrobky, tato čtyřnásobná forma bude sice dražší, nebude to ale čtyřnásobek ceny. Nevýhodou je ale nutnost použití větší uzavírací síly a vstřikované dávky a také desky mohou mít větší rozměry, tyto navýšení vyžadují větší stroj, který je nákladnější. Pro zjednodušení výroby a dodržení symetrie se vyrábí dutiny do tvaru obdélníku v sudém počtu, je ale možné vyrábět i liché počty násobností v kruhovém rozložení. [17]

4.3 Odvzdušnění formy

Tavenina plní dutinu formy vytlačí ven z dutiny vzduch. Při tomto procesu hrozí riziko uvěznění vzduchu v dutině při příliš rychlém zaplnění nebo nedostatečném odvzdušnění. Dále při nedostatečném odvzdušnění hrozí zvýšení teploty vzduchu jeho stlačením, což může degradovat výrobek, při velmi vysoké teplotě vzduchu dochází lokálně k diesel efektu

tvořící spáleniny na povrchu výrobku. Odvzdušnění lze zlepšit vytvořením drážek v dělicí rovině. [18]



Obrázek 16 Drážka pro odvzdušnění při vysoké rychlosti vstřikování, snížení odporu vzduchu vlivem krátké vzdálenosti mezery označené „a“

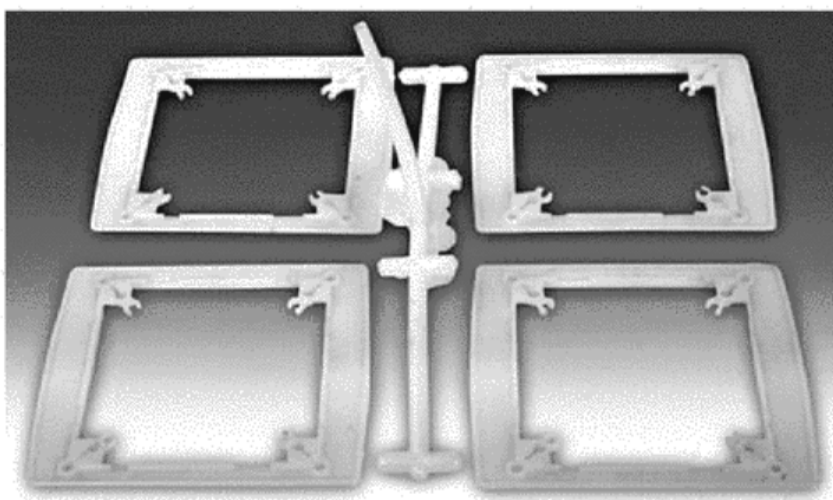
(Zdroj: [18])

4.4 Vtokový systém

K dopravě vstřikovaného materiálu ze vstřikovacího stroje do dutiny formy slouží vtokový systém, jehož konstrukce může být velmi jednoduchá ale také velmi složitá. Dalším úkolem vtokového systému je zajistit, aby si tavenina udržela dostatečný tlak, který umožňuje rychle zaplnit dutiny. Zároveň je ale materiál, který ztuhne ve vtokovém systému odpadem, je tedy vhodné navrhnout délky a průměry vtokového systému menších rozměrů pro minimalizaci odpadu. Vtokový systém dále umožňuje regulovat průtok taveniny, lze tak u vícenásobné formy naplnit všechny dutiny pro jednotlivé výrobky ve stejnou chvíli, přestože musí tavenina urazit do jednotlivých dutin rozdílnou vzdálenost. [13]

4.4.1 Studený vtokový systém

U jednonásobných forem s jednou dělicí rovinou se používá jednoduchý vtokový systém tvořený pouze vtokovým kanálem bez rozvodných kanálů, tento způsob se používá převážně na výrobu velkých výrobků, jeho nevýhodou je velký průměr vtokového ústí a nutnost zatuhlý vtok odříznout, případně i odstranit obráběním. [17]



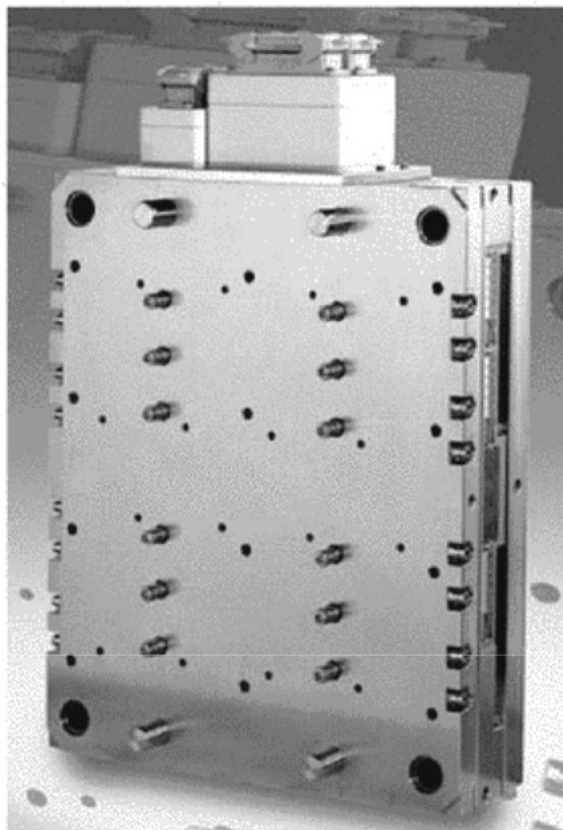
Obrázek 17 Vstříkované rámečky vypínače se zatuhlým vtokovým systémem

(Zdroj: [18])

U vícenásobných forem by měl být průměr všech rozvodných kanálů minimálně takového rozměru, jako je největší tloušťka stěny výrobku. Třideskové formy umožňují odstranit vtokový systém od výrobku hned při otevírání formy. To je provedeno pomocí prvků, které ve vedlejší dělicí rovině přidrží vtokový systém během otevírání formy, tím dojde k odtržení výrobků v místě zúženého vtokového ústí, výrobky tak mohou být vyhozeny samostatně v hlavní dělicí rovině a vtokový systém ve vedlejší dělicí rovině. Ne vždy je vyhození vtokového systému z formy bezproblémové, a proto se buď používá robot, dále jelikož vtokový kanál často činí vyhazování obtížnější, je možné jej nahradit horkou tryskou. [16]

4.4.2 Vyhříváný vtokový systém

Vyhříváný vtokový systém je teoreticky prodloužením vstříkovací jednotky. Slouží k vedení taveniny ze vstříkovací jednotky do dutin formy ideálně bez teplotních a tlakových ztrát, uvnitř vyhříváného vtokového systému tavenina během vstříkovacího cyklu nesmí tuhnout. Používají se u výrob velkých sérií výrobků, vzhledem k jejich rostoucí složitosti vzniklo několik výrobců specializujících se na tyto systémy. Zákazník si tak může zvolit, zda chce celou sestavu již nainstalovanou v deskách s rozvedenými kabely, kterou již stačí jen vložit mezi ostatní desky formy, či zda si zákazník zakoupí jednotlivé části a provede sám instalaci do svých obrobených desek, tak tomu často bývá u malých jednoduchých forem s malou násobností. [17; 16]



Obrázek 18 Dvanáctinásobná sestava
horkých vtoků

(Zdroj: [18])

Použití vyhřívaného vtokového systému přináší řadu výhod. Vstřikovací cyklus může být kratší, jelikož není potřeba čekat na zatuhnutí studeného vtokového systému, který může mít výrazný objem. Dále odpadá nutnost odstranění zatuhlých vtoků a jejich následná recyklace, tyto kroky vyžadují stroje a obsluhu, navíc lze tak vyrábět výrobky bez recyklátu který snižuje kvalitu výrobků. Dále je zvýšena spolehlivost vyhazování, zatuhlé vtoky se totiž mohou při vyhazování ve formě zaseknout, což prodlužuje výrobní cyklus. Velikost uzavírací síly je ovlivněna velikostí promítnuté plochy dutin výrobků i vtokového systému, absencí vtoků je možné použít menší uzavírací sílu, což spolu se sníženým objemem vstřikované dávky materiálu umožňuje použití menšího a levnějšího stroje. [18]

4.5 Temperace formy

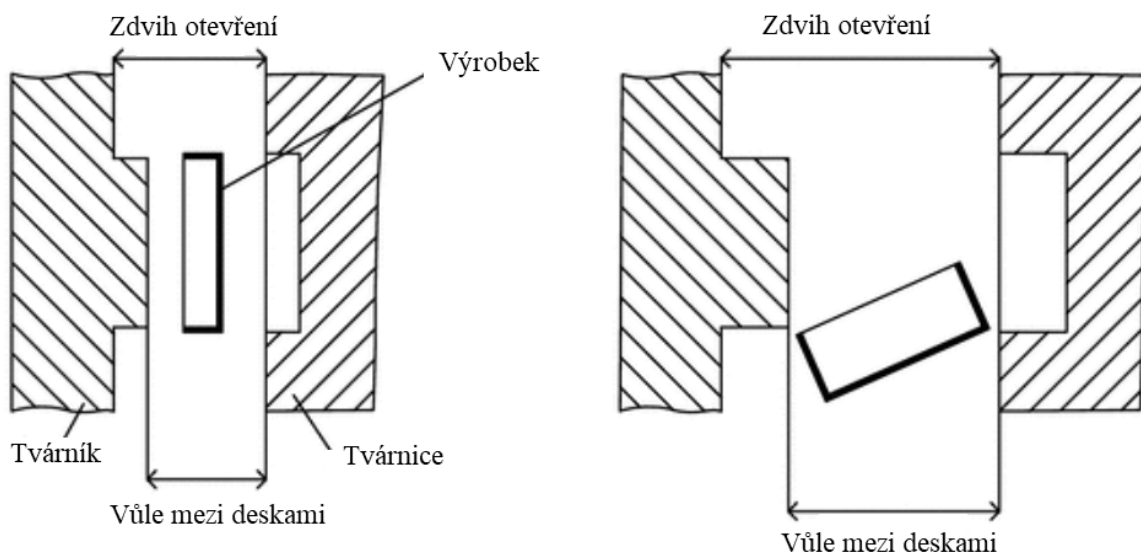
Pokud by došlo ke změně teploty formy v průběhu dlouhotrvající výroby, i kdyby jen lehce, mohlo by dojít ke změně vlastností výrobků. K této změně teploty může dojít velmi snadno, například změnou vlhkosti vzduchu či pokojové teploty nebo třeba otevřené dveře v zimním

období. Proto má temperace formy vysokou prioritu při jejím návrhu. K temperaci se většinou používá voda, olej nebo elektřina. Voda se používá u teplot do 100 °C, v uzavřeném systému je možné dosahovat i teplot do 200 °C, v takovém případě ale musí být hadice, přípojky a ostatní zařízení schválena pro požadovanou teplotu a tlak. Formy by měly být tepelně izolovány, aby nepředávaly teplo do samotného stroje nebo do okolí. [15]

Pro nejintenzivnější výměnu tepla mezi taveninou v dutině formy a temperačním médiem je potřeba, aby byla mezi nimi vzdálenost co nejmenší. Za tímto účelem byly vyvinuty konformní chladicí systémy. Tyto systémy mají chladicí kanály kopírující tvar dutiny, a tak mají vysokou účinnost snižující dobu chlazení a zlepšující rovnoměrnost chlazení v celé dutině. Jejich design je často ve tvaru spirály, do tvaru zig-zag nebo tvaru vzájemně propojených porézních struktur připomínající síť. Jelikož konformní chladicí kanály mají složitý tvar, k jejich výrobě se používají převážně rapid prototyping a aditivní technologie. [19; 20]

4.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je základní částí každé formy, jeho návrh může být velmi složitý, složitost je ovlivněna požadovanou kvalitou výrobku a produktivity výroby. Vyhození lze provést u výrobku až poté, co je dostatečně zchladlý, například u stírací desky je možné vyhazovat výrobek i když je horký, zatímco u tyčových vyhazovačů nebo vyšroubování závitů je nutné zchladit výrobek více, aby nedošlo k deformacím. Vyhazovací systém obvykle zaujímá velkou část prostoru ve formě, navíc potřebuje prostor pro jeho pohyb a rozpěrné desky vytvářející tento prostor, dále otvory pro vyhazovací systém mohou oslabit tvarovou desku a je tedy nutné zvolit správné rozložení vyhazovačů, často u vícenásobné formy je nutné upravit rozložení jednotlivých dutin. Pohyb vyhazovacích desek by neměl být veden po vyhazovačích, hmotnost desek by je mohla ohnout. [17]



Obrázek 19 Pro spolehlivé vyhazování je nutné zvolit dostatečný zdvih otevření formy

(Zdroj: [17])

Některé formy mohou mít částečně automatický nebo manuální systém vyhazování, často buď z důvodu nespolehlivého vyhazování nebo levnější formy. Tento systém vyžaduje obsluhu, která manuálně vyjme výrobek z dutiny otevřené formy, případně občas použije přípravek usnadňující vyjmutí výrobku. U tohoto vyhazování nejen výrazně klesá produktivita, roste cena výroby, ale hrozí zde i vysoké riziko úrazu. Jelikož rychlost vyhazování zde závisí na zkušenosti pracovníka, nemusí být dodržena shodná kvalita výrobků, při dlouhém času vyhazování bude uvnitř stroje delší dobu připravená tavenina, která zde může vlivem teploty degradovat. Z těchto důvodů je doporučeno navrhnout spolehlivý automatický vyhazovací systém. [17]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro bakalářskou práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracovat literární studii zabývající se řešenou tematikou.
- Vypracovat trojrozměrný model dané vstřikované součásti.
- Navrhnout sestavu vstřikovacího nástroje pro výrobu zadané součásti.
- Vytvořit výkres sestavy vstřikovací formy včetně kusovníku a daných pohledů.

S využitím informací z teoretické části této práce byl po vytvoření trojrozměrného modelu dané součásti vytvořen návrh konstrukce vstřikovacího nástroje v programu CATIA V5 s využitím normálí a online konfigurátoru společnosti Meusburger. Následně byla vytvořena výkresová dokumentace sestavy vstřikovacího nástroje.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1 CATIA V5

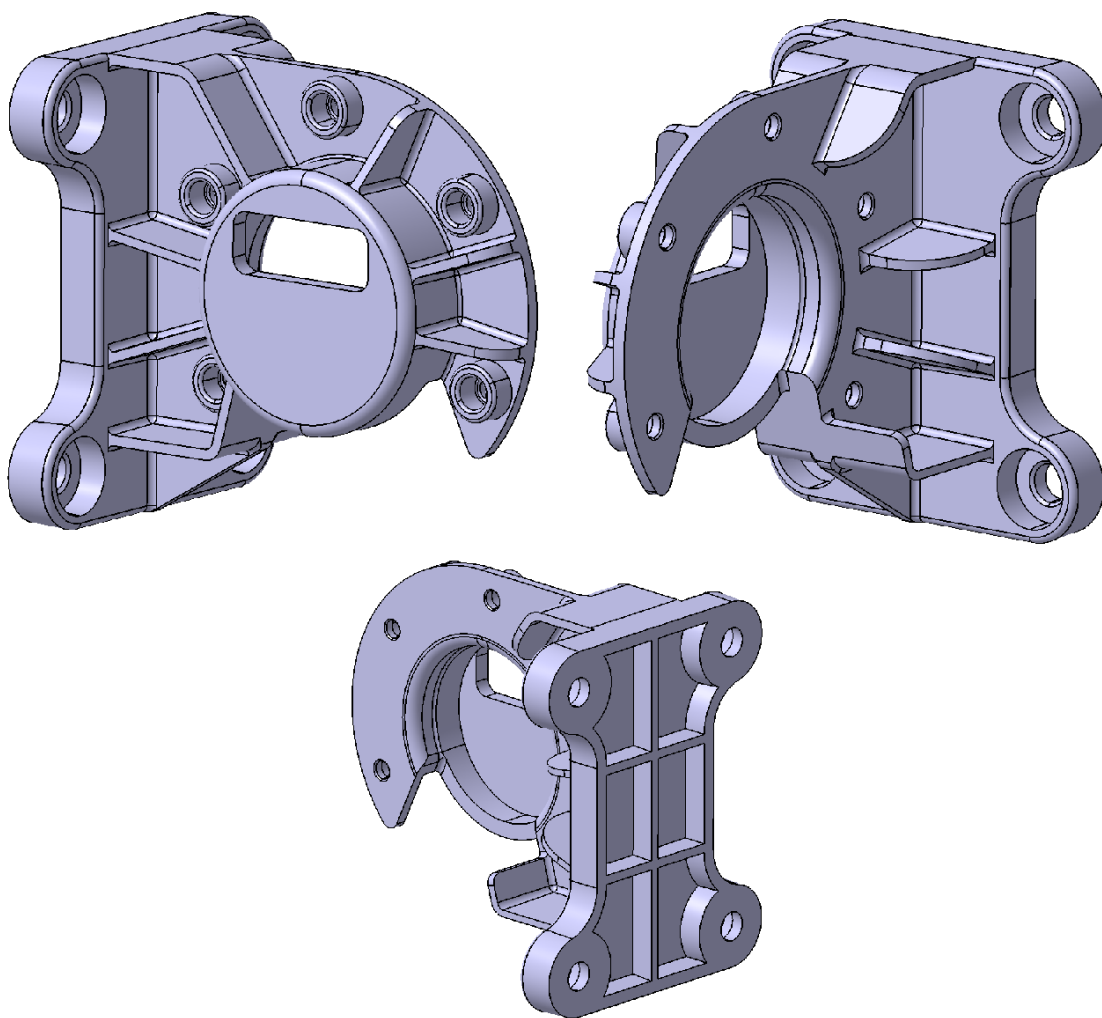
CATIA V5 je software od francouzské společnosti Dassault Systemes kombinující velké množství vzájemně propojených modulů s podobnými uživatelskými prostředími. Pro praktickou část této práce byl využit modul Part Design k vytvoření modelu výrobku a pro úpravu některých komponent formy, tento modul byl také použit společně s modulem Generative Shape Design pro vytvoření tvarových částí formy. Kombinací modulů Mold Tooling Design a Assembly Design byla vytvořena sestava formy a následně pro vytvoření výkresové dokumentace této sestavy byl použit modul Drafting.

6.2 Online knihovna Meusburger

Společnost Meusburger sídlí v Rakousku a nabízí velké množství vysoce přesných standardizovaných komponent z oblasti vstřikovacích a lisovacích strojů. Online knihovna umožňuje efektivně a přehledně vybírat z velkého množství normalizovaných komponentů, zobrazit jejich vlastnosti a návody k instalaci a následně je lze s využitím online konfiguratoru zobrazit jako trojrozměrný model s možností model stáhnout ke vložení do požadovaného softwaru. Využitím normalizovaných komponentů lze zaručit jejich vzájemnou kompatibilitu ve formě a zároveň se snižuje náročnost výroby formy.

7 VÝROBEK

Vstřikovaným výrobkem je část závěsu automobilového pedálu o největších rozměrech 77 x 70 x 55,5 mm, výrobek má několik otvorů pro uchycení šrouby a velké množství žeber pro zvýšení tuhosti součásti, jedná se totiž o konstrukční automobilový díl. Tyto parametry výrobku spolu s jeho účelem rozhodovaly o volbě materiálu a násobnosti formy. Vzhledem k účelu výrobku a jeho umístění v automobilu měl vzhled získaného výrobku nízkou prioritu, tudíž zvolení poloh kontaktních ploch vyhazovačů, polohy dělicích rovin či poloha a způsob vtoku nezohledňovaly jejich vliv na vzhled výrobku.



Obrázek 20 3D model vstřikovaného výrobku

7.1 Materiál výrobku

Pro uvedený výrobek byl zvolen materiál PA66-GF30, což je polyamid PA66 s výztuží 30 % skelných vláken. Materiál je vhodný pro automobilový konstrukční díl jeho výjimečnými mechanickými vlastnostmi, odolností vysokým teplotám a vysokou chemickou odolností,

zejména olejům a organickým rozpouštědlům. Konkrétně byl zvolen materiál od společnosti Envalior pod názvem Novamid® 3021GH30 NAT. [21]

Tabulka 1 uvedená níže obsahuje vybrané vlastnosti tohoto materiálu, materiálový list je uveden v příloze P I této práce.

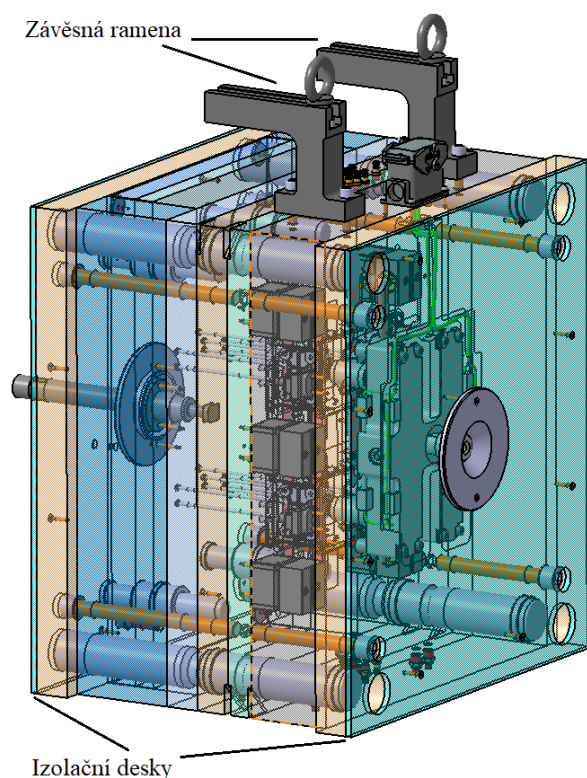
Tabulka 1 Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu ve vysušeném stavu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Teplota tavení	260	°C
Index toku taveniny	19	g/10min
Modul pružnosti	9700	MPa
Napětí při přerušení	170	MPa
Prodloužení při přerušení	2,6	%
Hustota	1370	kg/m ³
Absorpce vlhkosti	1,7	%

(Zdroj: [22])

8 KONSTRUKCE FORMY

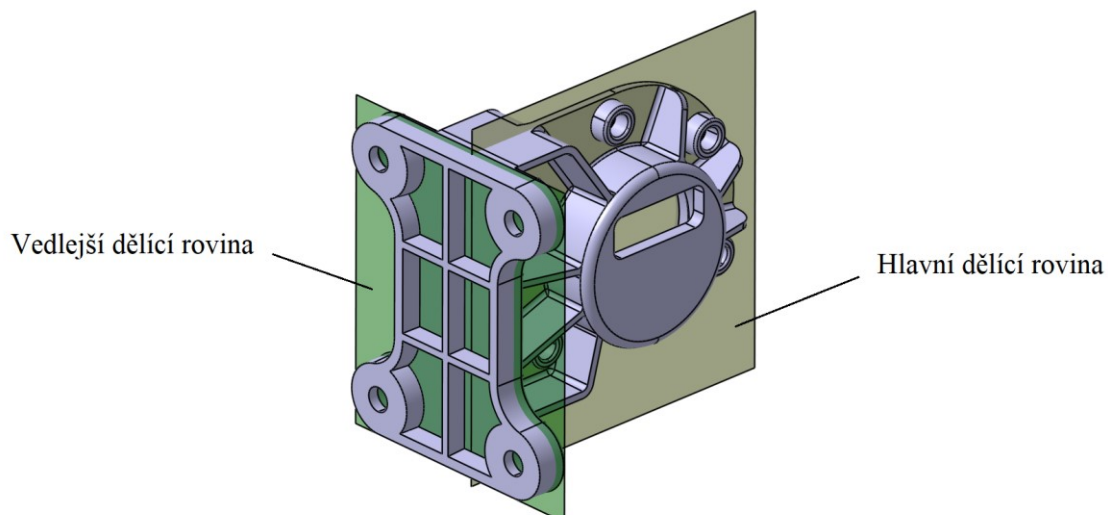
Forma byla zkonstruována jako čtyřnásobná a skládá se z pravé a levé části, jejich vzájemný pohyb s přesným středěním umožňují vodící elementy. Pro zjednodušení a snížení ceny výroby formy bylo při volbě jednotlivých komponent upřednostňováno použití normálií společnosti Meusbuger. Forma je dále vybavena přestavitelnými závěsnými rameny pro zjednodušení transportu a dále zejména z důvodu použití horkých vtoků má forma na obou upínacích deskách izolační desky pro zamezení úniku tepla do vstřikovacího stroje.



Obrázek 21 3D sestava vstřikovací formy

8.1 Dělicí roviny

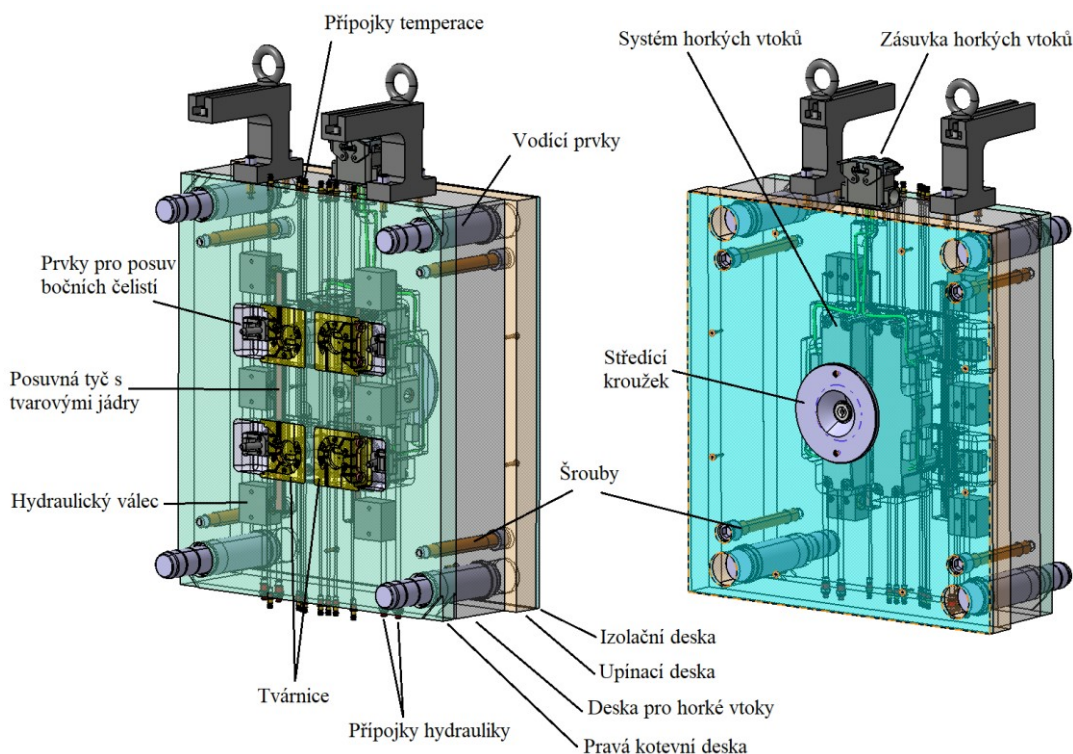
Výrobek byl rozdělen na dělicí rovinu hlavní a rovinu vedlejší. Hlavní dělicí rovina rozděljuje formu na pevnou pravou část formy a pohyblivou část formy, kolmo k této rovině je vedlejší dělicí rovina, která odděluje boční posuvnou čelist od tvárníku s tvárnicí.



Obrázek 22 Dělicí roviny výrobku

8.2 Pravá část formy

Pravá nepohyblivá část formy se skládá z desky pravé kotevní, upínací, izolační a desky pro horké vtoky, desky jsou vzájemně pevně spojeny pomocí šroubů. Součástí pravé části formy je dále systém horkých vtoků s kabely a zásuvkou, tvárnice a prvky pro pohyb bočních čelistí, systém vrtaných temperačních kanálů, hydraulický systém pro vysunutí jader, závěsná ramena pro transport, vodící elementy pro přesné středění s levou částí formy a středící kroužek pro vystředění formy se vstřikovacím strojem.

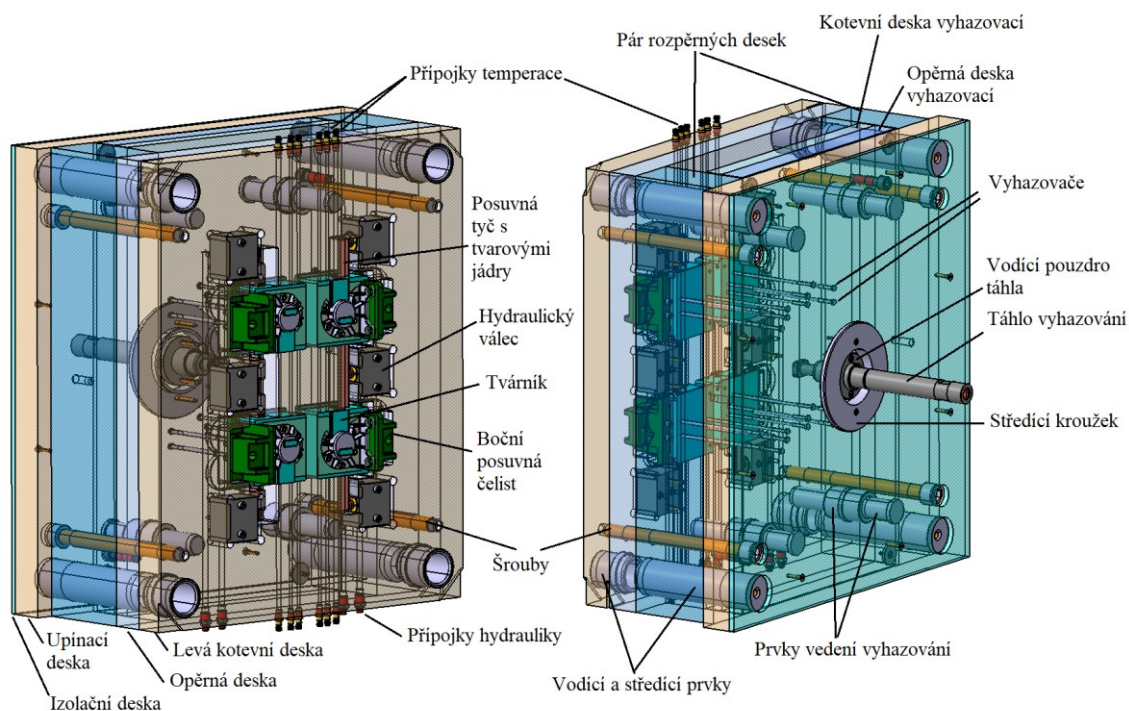


Obrázek 23 Pravá část formy

8.3 Levá část formy

Levou pohyblivou část formy tvoří celkem 8 desek, kde všechny desky kromě dvou vyhazovacích jsou vzájemně spojeny pevně šrouby. Dvě rozpěrné desky tvoří pár a v prostoru vzniklém mezi nimi se nachází vyhazovací deska kotevní a opěrná, které jsou spojené šrouby. Tyto spojené vyhazovací desky mají otvory s vodícími kuličkovými pouzdry, které pomocí vodících čepů uložených v upínací desce umožňují pohyb vyhazovacích desek ve směru otevírání formy, tento pohyb koná vstřikovací stroj pomocí vodícího čepu pro vedení vyhazování vyčnívajícího z formy vedeného v pouzdru.

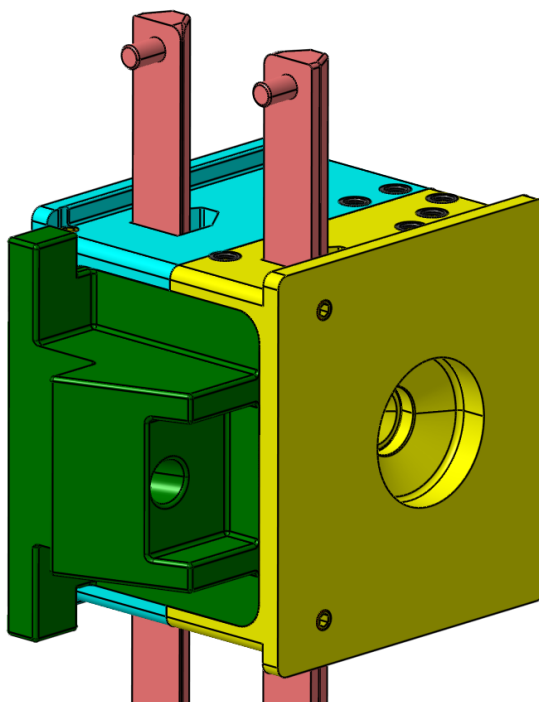
Levá část formy se dále skládá z tvárníků, bočních posuvných čelistí spolu s jejich prvky pro posuv a zajištění, temperačních a hydraulických systémů a vodících a středících elementů.



Obrázek 24 Levá část formy

8.4 Tvarové díly formy

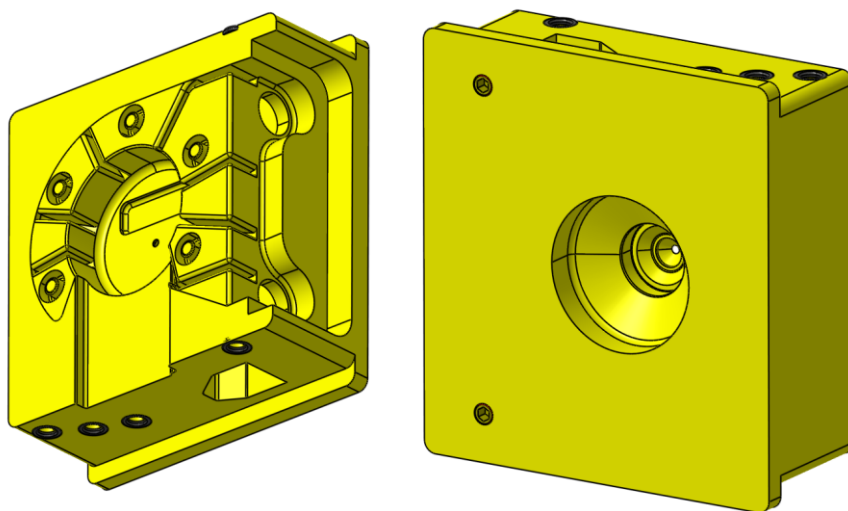
Tvarové díly společně vytváří dutinu formy a definují tak tvar výrobku. Pro tento výrobek byl použit tvárník, tvárnice, boční posuvná tvarová čelist a posuvné tyče s tvarovými jádry.



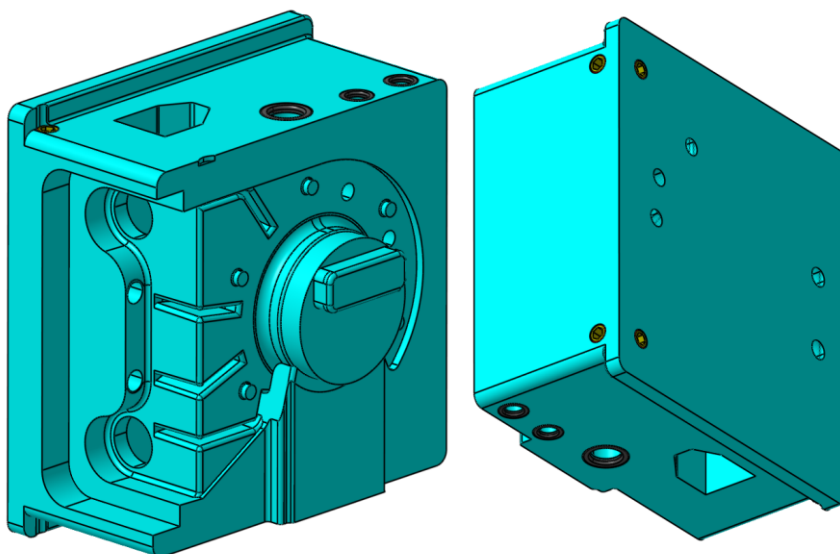
Obrázek 25 Model tvarových částí formy

8.4.1 Tvárník a tvárnice

Tvar většiny ploch výrobku určuje tvárník s tvárnici. Tvárníky jsou umístěny do levé kotevní desky v pohyblivé části formy a tvárnice do pravé kotevní desky v pevné části formy. Obě tvarové vložky mají vyvrtané kanály pro temperaci zakončené zahloubením pro O-kroužky a otvor pro posuvnou tyč, jejich pohybu ve formě směrem do dělicí roviny brání vyvýšený lem a pohybu v opačném směru brání připevněné desky formy, tvárník má vyvrtané díry pro vyhazovače, tvárnice má otvor pro vtok a horkou trysku. Všechny tvárníky jsou tvarově shodné, což umožňuje jednoduchou výměnu poškozeného kusu za náhradní, stejně je tomu tak i u tvárnice.



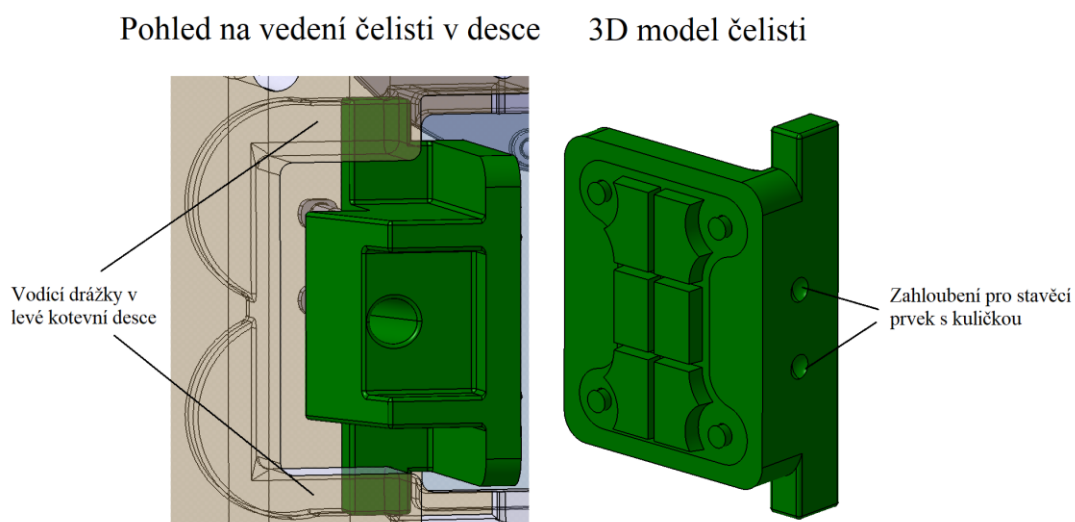
Obrázek 26 Model tvárnice



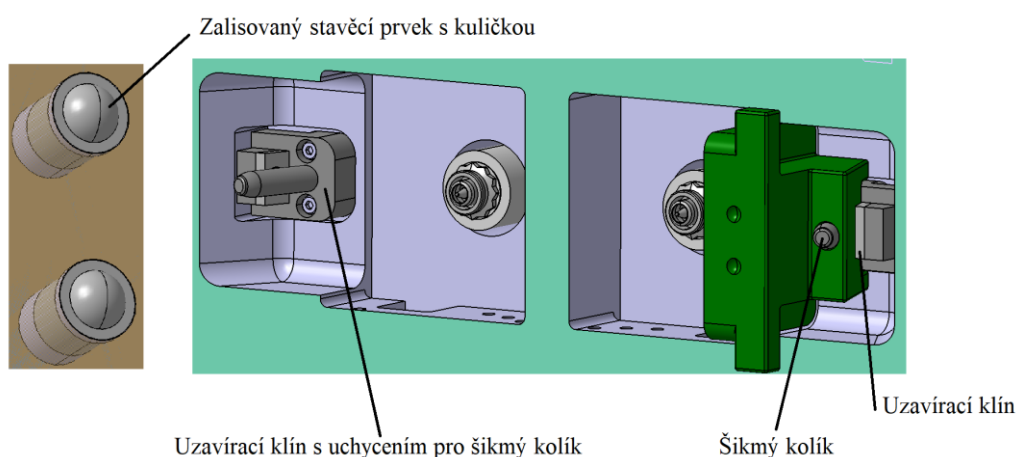
Obrázek 27 Model tvárníku

8.4.2 Boční posuvná tvarová čelist

Boční tvarové čelisti se posouvají pomocí šikmých kolíků ve směru kolmém na směr otevírání formy. Při zavření formy zajišťuje přesnou polohu posuvné čelisti uzavírací klín s uchycením pro šikmý kolík. Zatímco posuvná čelist je umístěna v drážkách v levé kotevní desce, uzavírací klín spolu se šikmým kolíkem je vložen do pravé kotevní desky a klín je přišroubován do desky horkých vtoků. Čelist se při otevírání formy posune maximálně o 7,5 mm, poté šikmý kolík čelist opustí, samovolnému pohybu plně vysunuté čelisti brání stavěcí prvek s kuličkou zalisovaný do levé kotevní desky, jeho kulička na pružině se zasekne v zahloubení v posuvné čelisti, do pohybu se tedy dá posuvná čelist až při zavírání formy působením šikmého kolíku. Pro snížení tření a opotřebení lze kluzné plochy posuvné čelisti spolu s drážkami v desce formy opatřit povrchovou úpravou.



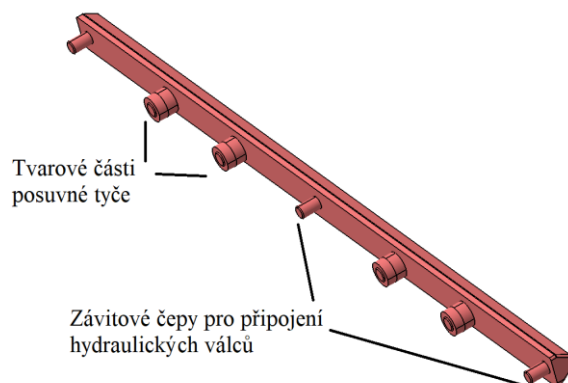
Obrázek 28 Model posuvné čelisti a její vodící drážky v desce



Obrázek 29 Posuvné a zajišťovací prvky posuvné čelisti

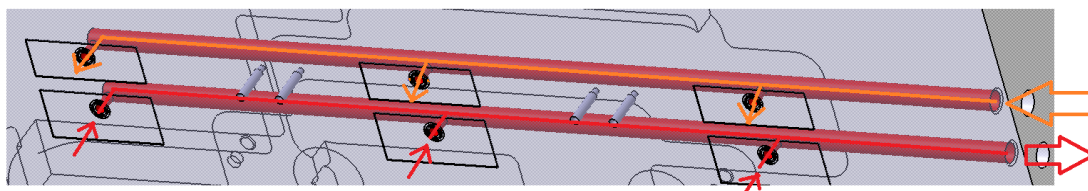
8.4.3 Posuvná tyč s tvarovými jádry

Vzhledem k tvarům výrobku, tvarovým dílům formy a polohám a tvaru dělicích rovin, je nutné použít posuvná tvarová jádra pro výrobu děr kolmých na směr otevírání formy na straně tvárníku i tvárnice. Pro pohyby těchto jader byly použity posuvné tyče poháněné hydraulickými válci. Zatímco u jader na straně tvárnice je nezbytné jejich vysunutí po ztuhnutí výrobku ještě před otevřením formy, na straně tvárníku je možné jádra hydraulikou vysunout až po úplném otevření formy krátce před vyhozením výrobku vyhazovači pro spolehlivější přidržení výrobku uvnitř tvárníku a snížení rizika poškození povrchu výrobku nebo jeho deformaci. Pro snížení počtu hydraulických válců byla použita delší tyč společná pro dva výrobky. Tvar průřezu tyče byl upraven z důvodu prostorového omezení způsobeného těsnou blízkostí dutiny pro horkou trysku a tvarové dutiny na straně tvárnice, stejná úprava byla provedena i u tyčí na straně tvárníku pro zjednodušení výroby a možnost záměny tyče za náhradní.

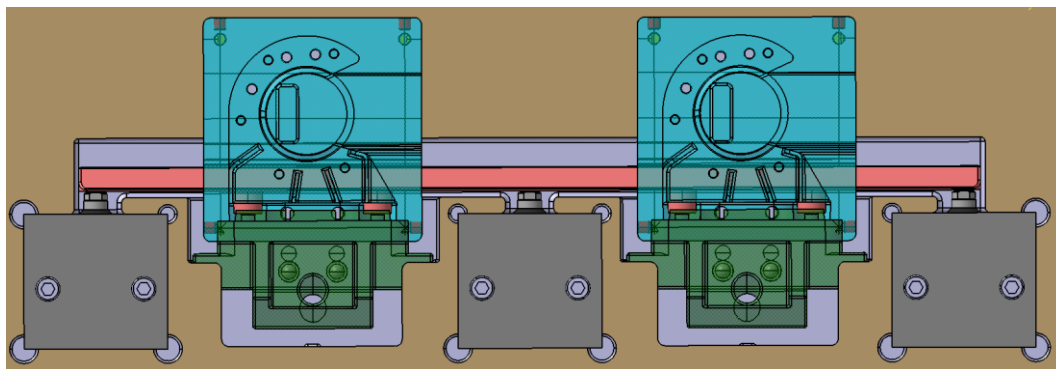


Obrázek 30 Model posuvné tyče

Každou posuvnou tyč ovládají tři nad sebou se nacházející hydraulické válce, které mají navzájem propojené vstupy a propojené výstupy, pohybují tedy tyčí společně a působí rovnoměrnou silou.



Obrázek 31 Schéma propojení kanálů hydraulického systému od přípojky k hydraulickým válcům



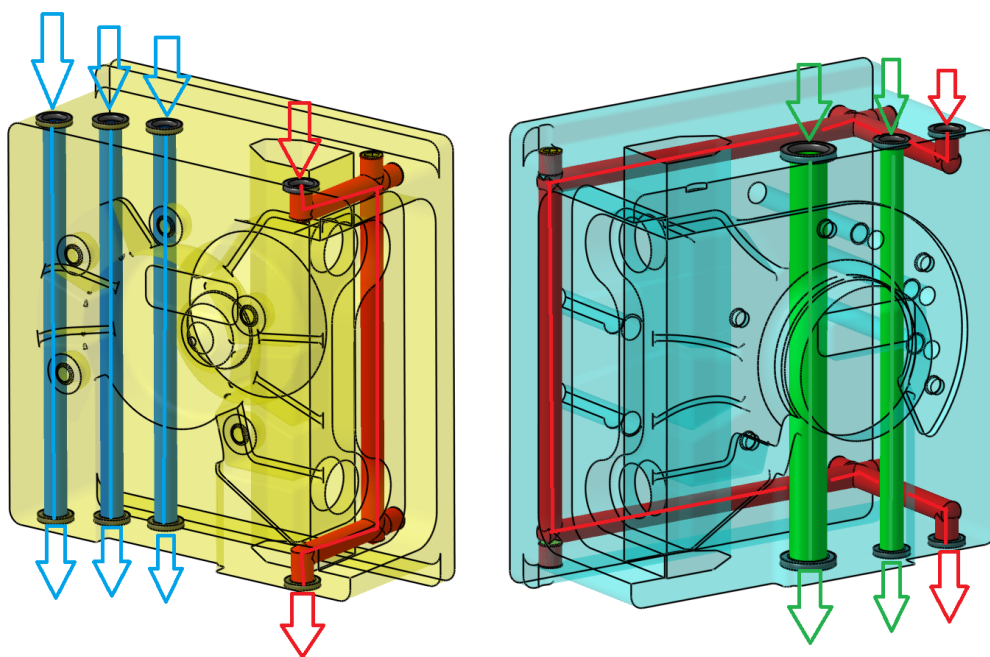
Obrázek 32 Detailní pohled na posuvnou tyč v levé části formy

8.5 Temperace formy

K temperaci slouží přímo vrtané kanály procházející svisle skrz kotevní desky a skrz kanály v tvarových vložkách utěsněné O-kroužky. Temperační médium vstupuje a vystupuje z formy pomocí přípojek.

Tvárníkem prochází dva svislé kanály o průměrech 5 a 8 mm poblíž tvarové dutiny a jeden kanál průměru 5 mm procházející kolem dutiny poblíž posuvné čelisti systémem několika vrtaných propojených děr s těsnícími uzavíracími šrouby.

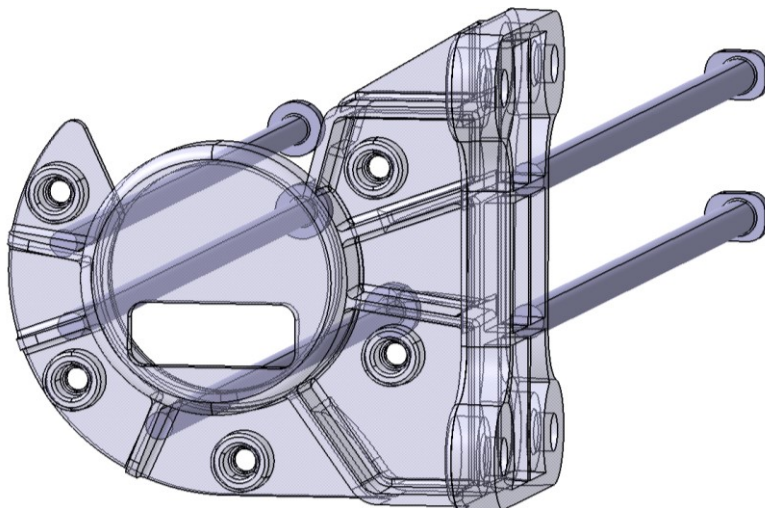
U tvárnice jsou všechny kanály průměru 5 mm, z toho tři jsou přímé svislé kanály a jeden kanál opět prochází systémem propojených děr poblíž tvarové dutiny u posuvné čelisti.



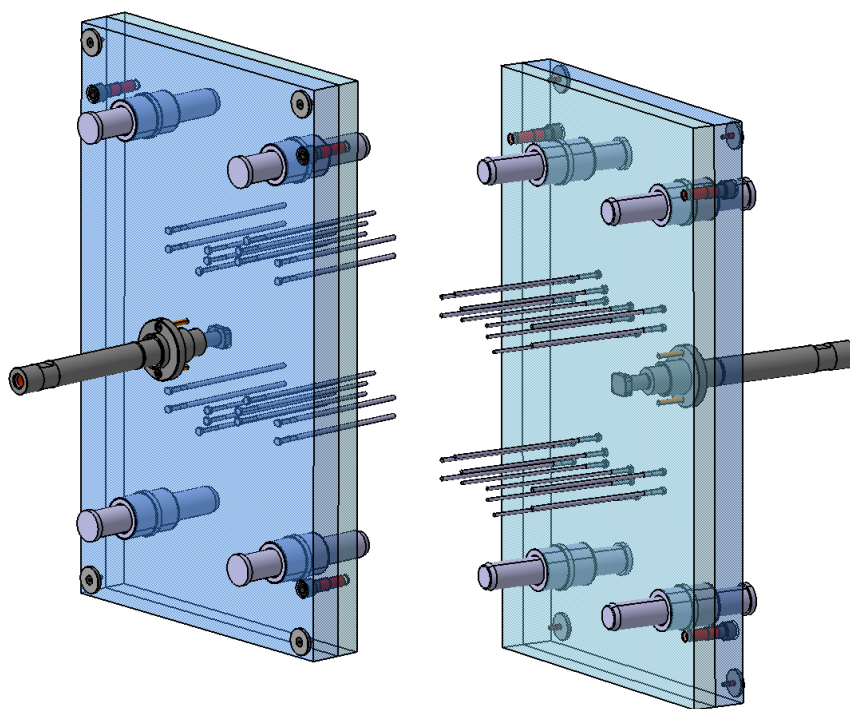
Obrázek 33 Směr proudění temperačního média skrz kanály ve tvárnici a tvárníku

8.6 Vyhazovací systém

Vyhazování je prováděno kalenými vyhazovači kruhového průřezu. Na každý výrobek působí tři vyhazovače průměru 4 mm na plochu poblíž dělicí roviny a dva vyhazovače průměru 5 mm se zajištěním proti pootočení, jelikož se dotýkají výrobku poblíž posuvné čelisti a stěna výrobku zde má úkos a zaoblení. Všechny vyhazovače jsou umístěny naproti žebër výrobku pro minimalizaci rizika jeho poškození při vyhazování.



Obrázek 34 Model výrobku a umístění vyhazovačů naproti jeho žebër

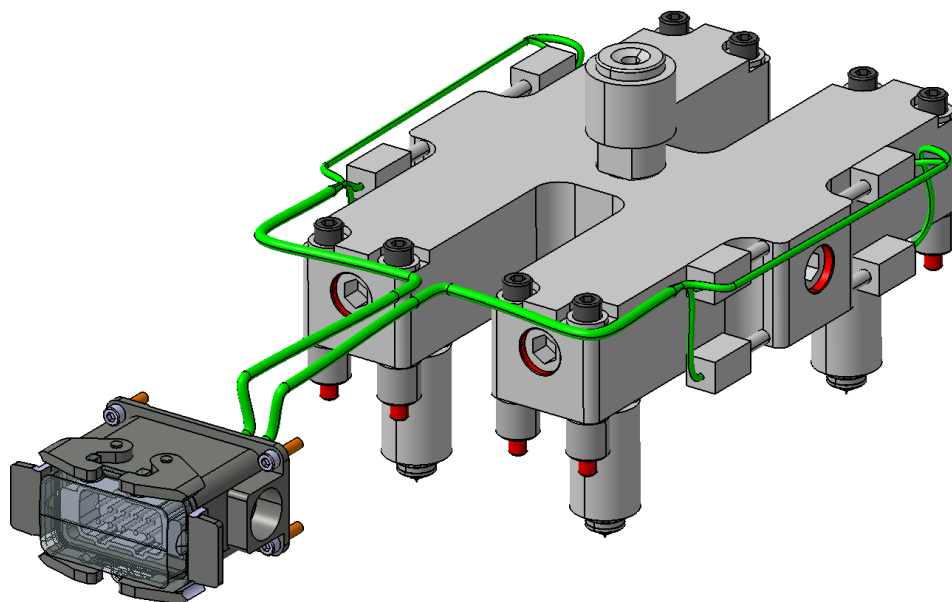


Obrázek 35 Sestava prvků vyhazovacího systému

8.7 Vtokový systém

Jelikož je forma konstruována pro konstrukční automobilový díl, je očekávána velkosériová výroba, z toho důvodu byl použit systém horkých vtoků, který vstříkovaný materiál udržuje ve stavu taveniny až do jeho ústí s uzavíratelnou jehlou u tvarové dutiny, díky čemuž zde nevzniká odpad ve formě studeného vtoku, který by se musel odstraňovat a před otevřením formy vždy schladit do tuhého stavu, což prodlužuje vstřikovací cyklus a tudíž snižuje produktivitu.

Systém horkých vtoků včetně celého bloku byl na základě zadaných parametrů vygenerován jako 3D model v online konfiguratoru společnosti Meusburger, ve formě se systém nachází ve vlastní desce, ve které je vyfrézován i prostor pro kabeláž vedoucí do zásuvky nacházející se na vrchní stěně formy.



Obrázek 36 Sestava horkých vtoků včetně zásuvky a kabeláže

8.8 Odvzdušnění formy

Během plnění dutiny formy taveninou je nutné umožnit vzduchu opustit dutinu pro spolehlivé plnění, jinak by mohl mít výrobek vady způsobené nedostatečným odvzdušněním. U formy je uvažováno, že vzduch unikne vůlemy mezi tvarovými díly do dělicí roviny nebo vůlemy kolem vyhazovačů. Po otestování formy lze odvzdušnění dodatečně přidat například vytvořením odvzdušňovacích drážek v dělicí rovině.

9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Před zvolením vhodného vstřikovacího stroje je nutné nejdříve zjistit parametry formy.

Tabulka 2 Parametry formy

Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozměry upínacích desek (v x š)	646 x 596	mm
Délka uzavřené formy (bez střed. kroužků)	485	mm
Průměr středících kroužků	160	mm
Maximální zdvih vyhazovačů	69	mm
Objem 4 výrobků	112	cm ³
Hmotnost 4 výrobků	154	g

Na základě těchto parametrů formy byl zvolen vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 720 S Clamp-Design, který vyhovuje všem parametrům i při použití nejmenší varianty vstřikovací jednotky ke stroji určené s označením 1300 s průměrem šneku 55 mm. [23]

Tabulka 3 Vybrané parametry stroje Arburg ALLROUNDER 720 S Clamp-Design

Parametr	Hodnota	Jednotka
Vzdálenost mezi sloupky	720 x 720	mm
Min/Max délka formy (variabilní, automaticky)	300-700 / 1000-1400	mm
Průměr otvorů pro středící kroužky	160	mm
Maximální zdvih vyhazovačů	250	mm
Maximální kalkulovaný objem materiálu (vstřikovací jednotka 1300 se šnekem průměru 55 mm)	558	cm ³
Teoretická max. hmotnost dávky materiálu PA 6.6 (vstřik. jednotka 1300 se šnekem průměru 55 mm)	507	g

(Zdroj: [23])

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navržení konstrukce formy pro vstřikování části závěsu automobilového pedálu, doplněné výkresovou dokumentací.

V teoretické části byla popsána základní konstrukce vstřikovacího stroje, popis polymerních materiálů, zásady konstrukce vstřikovaného výrobku a popis jednotlivých částí vstřikovací formy.

V praktické části po vytvoření 3D modelu výrobku v softwaru CATIA V5 a zvolení vhodného materiálu PA66 GF30 byla provedena konstrukce modelu sestavy vstřikovací formy, která byla zkonstruována jako čtyřnásobná a skládající se z pravé pevné části a levé pohyblivé části.

Podle geometrie výrobku byly vytvořeny dvě dělicí roviny, které rozdělují tvarové části formy. Kromě tvárníků a tvárnic byly použity i boční posuvné čelisti, pro tvorbu otvorů ve vedlejší dělicí rovině byly použity posuvné tyče s tvarovými jádry. Tyto posuvné tyče se nachází v pravé i levé části formy, každá tyč v této části formy vytváří otvory pro dva nad sebou ležící výrobky a pohyb každou tyčí provádí trojice hydraulických válců.

Pro zkrácení doby chlazení taveniny v dutině formy je forma vybavena systémem temperačních kanálů procházející v těsné blízkosti těchto tvarových dutin. Vyhazování výrobku z tvárníků po otevření formy je prováděno vyhazovacím systémem pomocí kolíkových vyhazovačů. Jako vtokový systém byl použit systém horkých vtoků pro dosažení vyšší kvality výrobků, model systému horkých vtoků byl vytvořen v konfigurátoru Meusburger. Pro vytvořenou konstrukci formy byl zvolen jako vhodný vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 720 S Clamp-Design.

Pro 3D model navržené konstrukce vstřikovací formy byla následně vypracována výkresová dokumentace s kusovníkem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr. Technologie II. Zpracování plastů. Online. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm. [cit. 2024-11-02].
- [2] CZEPIEL, Mateusz; BAŃKOSZ, Magdalena a SOBCZAK-KUPIEC, Agnieszka. Advanced Injection Molding Methods: Review. Online. Materials. 2023, roč. 16, č. 17. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma16175802>. [cit. 2024-11-01].
- [3] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Online. Grada, 2018. ISBN 978-80-247-2818-6. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/vstrikovani-plastu-4633/>. [cit. 2024-11-02].
- [4] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů. Online. Code Creator, 2015. ISBN 978-80-88058-69-4. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/?book=181-stroje-pro-zpracovani-polymernich-materialu>. [cit. 2025-01-20].
- [5] VALERO, José R. Lerma. Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices. Online. Munich: Hanser publications, 2020. ISBN 978-1-56990-690-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPIMSMRB7/plastics-injection-molding/plastics-injection-molding>. [cit. 2024-11-03].
- [6] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Online. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0. Dostupné z: https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-978-80-7080-788-0. [cit. 2024-11-16].
- [7] BRUDER, Ulf. User's guide to plastic. Online. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-56990-735-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUGPE0007/users-guide-plastic-2nd/users-guide-plastic-2nd>. [cit. 2024-11-16].

- [8] CAMPO, E. Alfredo. The complete part design handbook : for injection molding of thermoplastics. Online. Munich: Hanser Publications, 2006. ISBN 978-1-56990-375-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCPDHFIM1/complete-part-design/complete-part-design>. [cit. 2024-11-16].
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. Online. Code Creator, 2015. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/book/180-polymery>. [cit. 2024-11-16].
- [10] STOKES, Vijay K. Introduction to Plastics Engineering. Online. John Wiley & Sons, 2020. ISBN 978-1-119-53652-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIPE0003L/introduction-plastics/introduction-plastics>. [cit. 2024-12-13].
- [11] FISCHER, Jerry M. Handbook of molded part shrinkage and warpage. Online. Second edition. Plastics design library. William Andrew, 2013. ISBN 978-1-4557-3057-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMPSWE07/handbook-molded-part/handbook-molded-part>. [cit. 2024-11-24].
- [12] HARPER, Charles A. Handbook of Plastic Processes. Online. John Wiley & Sons, 2006. ISBN 978-0-471-78658-0. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471786586>. [cit. 2024-11-24].
- [13] KAZMER, David. Injection mold design engineering. Online. 3rd edition. Munich: Hanser publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-892-1. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDE0011/injection-mold-design/injection-mold-design>. [cit. 2024-11-24].
- [14] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. Online. Code Creator, 2015. ISBN 978-80-88058-63-2. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/book/179-vstrikovaci-formy-pro-zpracovani-termoplastu>. [cit. 2024-12-09].
- [15] DANGEL, Rainer. Injection molds for beginners. Online. 3rd edition. Munich: Hanser Publications, 2023. ISBN 978-1-56990-911-9. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMB00018/injection-molds-beginners/injection-molds-beginners>. [cit. 2024-12-13].

- [16] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. Understanding Injection Molds. Online. 2nd edition. Hanser Publications, 2020. ISBN 978-1-56990-844-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUIME0002/understanding-injection/understanding-injection>. [cit. 2024-12-13].
- [17] CATOEN, Bruce a REES, Herbert. Injection mold design handbook. Online. Munich: Hanser Publications, 2021. ISBN 978-1-56990-816-7. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMDH0003/injection-mold-design/injection-mold-design>. [cit. 2024-12-13].
- [18] MENNIG, Günter a STOECKHERT, Klaus. Mold-Making Handbook. Online. 3rd Edition. Hanser Publications, 2013. ISBN 978-1-56990-550-0. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMMHE001C/mold-making-handbook/mold-making-handbook>. [cit. 2024-12-09].
- [19] WEI, Zhihao; WU, Jiakai; SHI, Nan a LI, Lei. Review of conformal cooling system design and additive manufacturing for injection molds. Online. Mathematical Biosciences and Engineering. 2020, roč. 17, č. 5, s. 5414-5431. ISSN 1551-0018. Dostupné z: <https://doi.org/10.3934/mbe.2020292>. [cit. 2024-10-29].
- [20] ARMAN, Samaneh a LAZOGLU, Ismail. A comprehensive review of injection mold cooling by using conformal cooling channels and thermally enhanced molds. Online. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2023, roč. 127, č. 5-6, s. 2035-2106. ISSN 0268-3768. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11593-w>. [cit. 2024-11-01].
- [21] ENVALIOR. PA6 & PA66 - Novamid®. Online. Dostupné z: <https://www.entialior.com/en-us/products/novamid.html>. [cit. 2025-05-07].
- [22] PLASTICSFINDER-ENVALIOR. Novamid® 3021GH30 NAT. Online. Dostupné z: <https://plasticsfinder.entialior.com/en/datasheet/Novamid%C2%AE%203021GH30%20%20NAT/A80an>. [cit. 2025-05-07].
- [23] ARBURG. Technické údaje ALLROUNDER 720 S Clamp-Design. Online. Dostupné z: https://www.arburg.com/media/daten/publications/technical_data/hydraulic_machin

es/allrounder_s/ARBURG_ALLROUNDER_720S_TD_524325_en_GB.pdf. [cit. 2025-05-07].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma vstřikovacího cyklu.....	14
Obrázek 2 Popis vstřikovacího stroje	14
Obrázek 3 Schéma kloubového uzavíracího mechanismu	16
Obrázek 4 Část automobilového pedálu z polyamidu plněného skelnými vlákny	18
Obrázek 5 Články dopravníku vyrobené z POM.....	19
Obrázek 6 Miskový a sedlový tvar způsobený nerovnoměrným smrštěním	20
Obrázek 7 Doporučené konstrukce úkosů	21
Obrázek 8 Zaoblení hran.....	22
Obrázek 9 Předbílání čel taveniny	23
Obrázek 10 Konstrukce žeber má velké množství řešení s různými vlivy na pevnost součástí	24
Obrázek 11 Schéma tvorby stříbření na povrchu.....	24
Obrázek 12 Schéma vzniku rýhovaného povrchu	25
Obrázek 13 Studený spoj	25
Obrázek 14 Pohyb částí vstřikovací formy	26
Obrázek 15 Prvky vstřikovací formy	27
Obrázek 16 Drážka pro odvětrání při vysoké rychlosti vstřikování, snížení odporu vzduchu vlivem krátké vzdálenosti mezery označené „a“.....	28
Obrázek 17 Vstřikované rámečky vypínače se zatuhlým vtokovým systémem.....	29
Obrázek 18 Dvanáctinásobná sestava horkých vtoků.....	30
Obrázek 19 Pro spolehlivé vyhazování je nutné zvolit dostatečný zdvih otevření formy...32	
Obrázek 20 3D model vstřikovaného výrobku	36
Obrázek 21 3D sestava vstřikovací formy	38
Obrázek 22 Dělicí roviny výrobku	39
Obrázek 23 Pravá část formy.....	40
Obrázek 24 Levá část formy	41
Obrázek 25 Model tvarových částí formy	41
Obrázek 26 Model tvárnice.....	42
Obrázek 27 Model tvárníku	42
Obrázek 28 Model posuvné čelisti a její vodící drážky v desce	43
Obrázek 29 Posuvné a zajišťovací prvky posuvné čelisti.....	43
Obrázek 30 Model posuvné tyče	44
Obrázek 31 Schéma propojení kanálů hydraulického systému od přípojky k hydraulickým válcům.....	44
Obrázek 32 Detailní pohled na posuvnou tyč v levé části formy	45

Obrázek 33 Směr proudění temperačního média skrz kanály ve tvárnici a tvárníku	45
Obrázek 34 Model výrobku a umístění vyhazovačů naproti jeho žeber	46
Obrázek 35 Sestava prvků vyhazovacího systému	46
Obrázek 36 Sestava horkých vtoků včetně zásuvky a kabeláže	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu ve vysušeném stavu.....	37
Tabulka 2 Parametry formy	48
Tabulka 3 Vybrané parametry stroje Arburg ALLROUNDER 720 S Clamp-Design	48

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procento
PA	Polyamid
POM	Polyoxymethylen
°C	Stupeň Celsia
UV	Ultrafialový
°	Stupeň
μm	Mikrometr
mm	Milimetr
g	Gram
min	Minuta
MPa	Megapascal
kg	Kilogram
m ³	Metr krychlový
cm ³	Centimetr krychlový

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list Novamid® 3021GH30 NAT

Příloha P II: Technické údaje ALLROUNDER 720 S

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST NOVAMID® 3021GH30 NAT

Property Data

Envalior
Imagine the Future

Novamid® 3021GH30 NAT

PA66—GF30

30% Glass Reinforced, Heat Stabilized

Print Date: 2024-09-17

PROPERTIES	TYPICAL DATA	UNIT	TEST METHOD
RHEOLOGICAL PROPERTIES			
	DRY / COND		
Molding shrinkage [parallel]	0.4 / *	%	Sim. to ISO 294-4
Molding shrinkage [normal]	1.3 / *	%	Sim. to ISO 294-4
MECHANICAL PROPERTIES			
	DRY / COND		
Tensile modulus	9700 / 6500	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	170 / 130	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	2.6 / 4	%	ISO 527-1/-2
Flexural modulus	8300 / 6500	MPa	ISO 178
Flexural strength	267 / 200	MPa	ISO 178
Charpy impact strength (+23°C)	80 / 110	kJ/m²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	11 / 13	kJ/m²	ISO 179/1eA
THERMAL PROPERTIES			
	DRY / COND		
Melting temperature (10°C/min)	260 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	244 / *	°C	ISO 75-1/-2
ELECTRICAL PROPERTIES			
	DRY / COND		
Relative permittivity (1 MHz)	4 / -	-	IEC 62631-2-1
Dissipation factor (1 MHz)	190 / -	E-4	IEC 62631-2-1
Volume resistivity	>1E13 / -	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	- / 4E14	Ohm	IEC 62631-3-2
Electric strength	26 / -	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	550 / -	V	IEC 60112

All the trademarks mentioned here are trademarks of Envalior.
Seller represents and warrants exclusively that on the date of delivery by Seller the product shall be in conformity with the specifications agreed upon. Seller makes no other representations or warranties, whether express or implied.
Seller is not responsible or liable for the design of the products of the Customer and it is the responsibility of the Customer to determine that the Seller's product is safe, complies with application laws and regulations, and is technically or otherwise fit for its intended use. Seller does not endorse or claim suitability of its products for a specific application and disclaims each and every representation or warranty, whether express or implied, in that respect.
Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. Colorants in the product or other additives may cause significant variations in typical values.
Copyright © Envalior 2024. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of Envalior.

Property Data

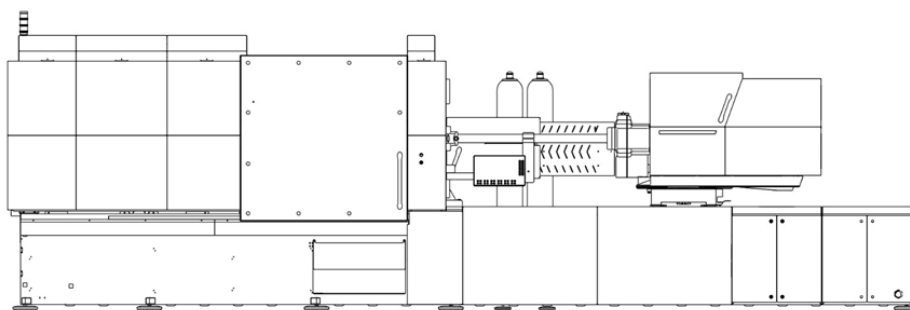
Novamid[®] 3021GH30 NAT

Print Date: 2024-09-17

PROPERTIES	TYPICAL DATA	UNIT	TEST METHOD
OTHER PROPERTIES	DRY / COND		
Humidity absorption	1.7 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1370 / –	kg/m³	ISO 1183

All the trademarks mentioned here are trademarks of Envalior.
Seller represents and warrants exclusively that on the date of delivery by Seller the product shall be in conformity with the specifications agreed upon. Seller makes no other representations or warranties, whether express or implied.
Seller is not responsible or liable for the design of the products of the Customer and it is the responsibility of the Customer to determine that the Seller's product is safe, complies with application laws and regulations, and is technically or otherwise fit for its intended use. Seller does not endorse or claim suitability of its products for a specific application and disclaims each and every representation or warranty, whether express or implied, in that respect.
Typical values are indicative only and are not to be construed as being binding specifications. Colorants in the product or other additives may cause significant variations in typical values.
Copyright © Envalior 2024. All rights reserved. No part of the information may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of Envalior.

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ ÚDAJE ALLROUNDER 720 S



ALLROUNDER 720 S

Clamp-Design

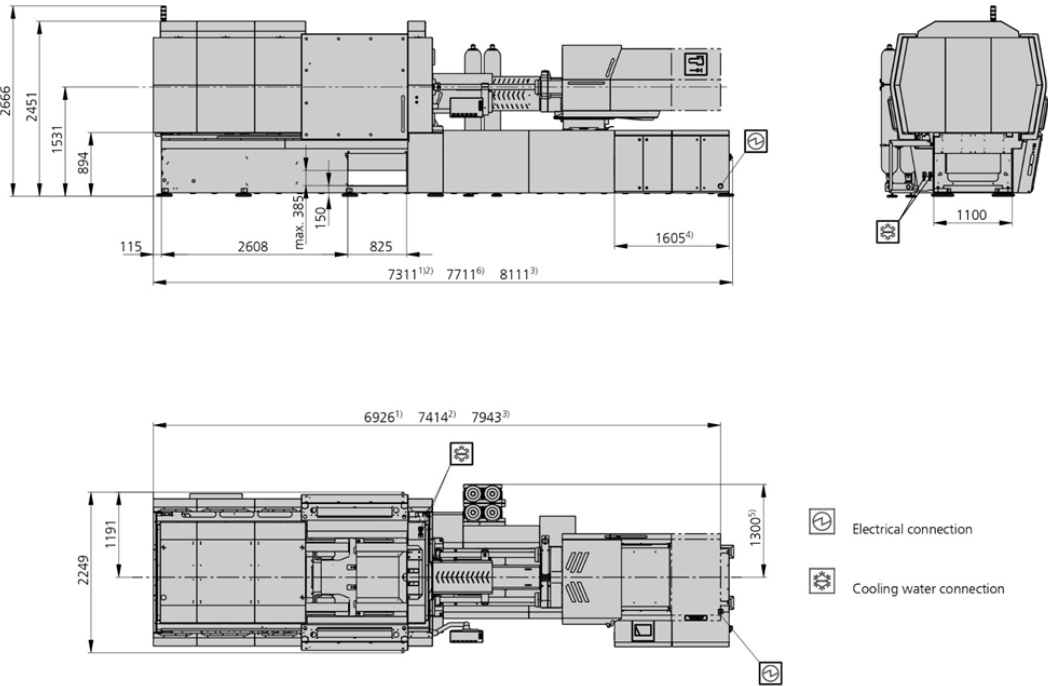
Distance between tie bars: 720 x 720 mm

Clamping force: 3200 kN

Injection unit (acc. to EUROMAP): 1300, 2100, 3200

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 720 S



1) Injection unit 1300
2) Injection unit 2100
3) Injection unit 3200
4) Subject to performance variant and injection unit size
5) Hydraulic accumulator
6) Injection unit 2100 and hydraulic accumulator

TECHNICAL DATA | 720 S

Clamping unit			720 S	
with clamping force	max. kN		3200	
Opening force stroke	max. kN mm		800 700	
Mould height, fixed variable	min. mm		700 [300-700]	
Platen daylight fixed variable	max. mm		1400 [1000-1400]	
Distance between tie bars (w x h)	mm		720 x 720	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		1040 x 1040	
Weight of movable mould half	max. kg		3600	
Ejector force stroke	max. kN mm		100 250	
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	min. s - mm	4,8 - 504	
	2 pumps	min. s - mm	3,5 - 504	
	Accum.	min. s - mm	2,1 - 504	

Injection unit			1300			2100			3200		
with screw diameter	mm		55	60	70	60	70	80	70	80	90
Effective screw length	L/D		22	20	17	23	20	17,5	23	20	18
Screw stroke	max. mm		240			280			320		
Calculated stroke volume	max. cm ³		558	664	904	792	1078	1407	1232	1608	2036
Shot weight	max. g PS		510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860
Material throughput	max. kg/h PS		86	96	115	125	145	175	185	215	250
	max. kg/h PA6.6		43	48	58	62	74	88	93	110	125
Injection pressure	max. bar		2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Holding pressure	max. bar		2380	2000	1470	2500	2000	1530	2500	2000	1580
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	238	284	388	224	306	400	---		
	2 pumps	max. cm ³ /s	238	284	388	224	306	400	290	380	482
	Accum.	max. cm ³ /s	714	848	1156	1132	1540	2012	1188	1552	1964
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	40	43	51	43	51	58	---		
	2 pumps	max. m/min	40	43	51	43	51	58	47	54	61
	Accum.	max. m/min	19	21	25	21	25	28	23	26	29
Screw torque	max. Nm		1510	1640	1920	2140	2500	2550	3140	3510	3510
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm		90 550			110 600			110 600		
Heating capacity zones	kW		22,9 8			31,1 8			38,4 8		

Drive and connection			1 pump (servo)		2 pumps			Accum.		
with injection unit			1300	2100	1300	2100	3200	1300	2100	3200
Net weight of machine			17000	17700	17000	17700	19200	---		
Sound press. level Insecurity ⁴			dB(A)		73 3			< 70		
Oil filling			l		410	410	530	460	530	610
Drive power ²			max. kW		45	55	55	37	37	45
Electrical connection ³			kW		71	76	71	89	96	63
			A		---		---		---	
			A		100	125	125	125	125	100
			A		35	50	35	50	63	35
Cooling water connection			max. °C		30			30		
			min. Δp bar		1.5 DN 25			1.5 DN 25		
								1.5 DN 32		

Machine type

with EUROMAP size designation ¹	Drive
720 S 3200-1300	1 2 -
720 S 3200-2100	1 2 Accum.
720 S 3200-3200	1 2 Accum.

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

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

1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

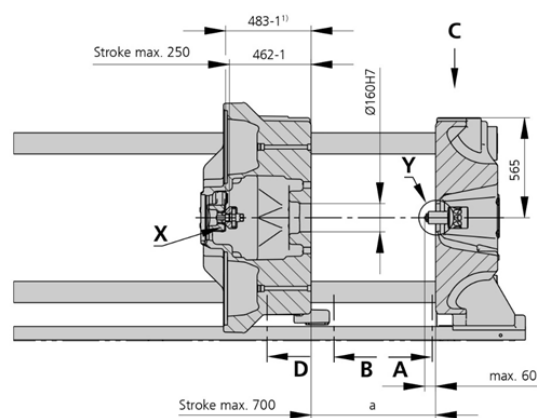
2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

[] Specifications apply to alternative equipment.

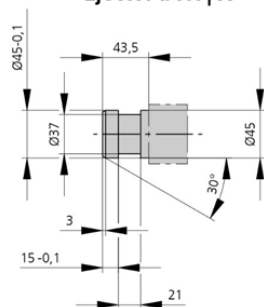
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 720 S



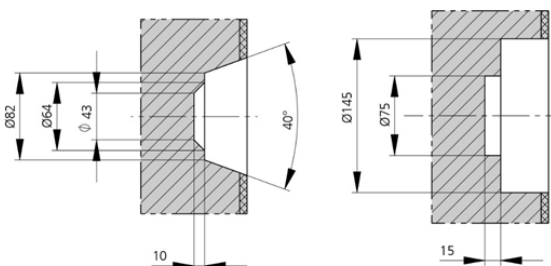
Mould installation height	a min.	a max.
Fixed	700	1400
variable, manually	[400, 500, 600]	[1100, 1200, 1300]
variable, automatically	300-700	1000-1400

[] Value in brackets: option

Ejector bolt | X

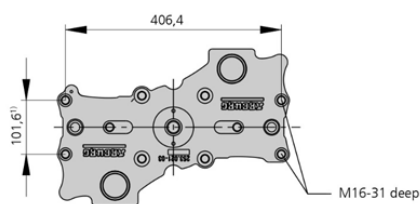


Bore in mould (if required) | Y

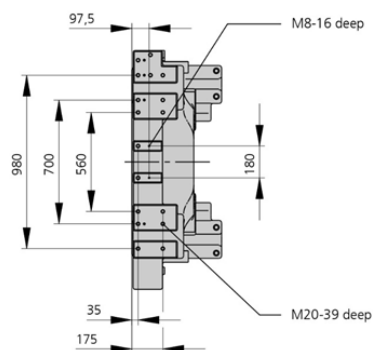


thermoset version - Injection units
2100 and 3200 available upon request

Ejector plate | D



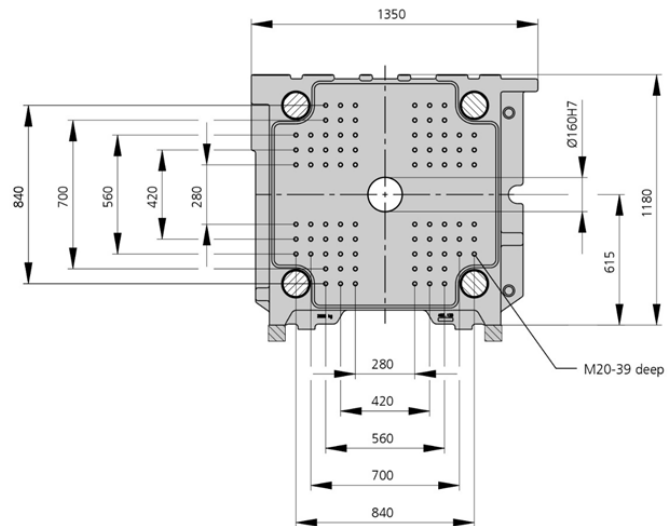
Robotic system mounting | C



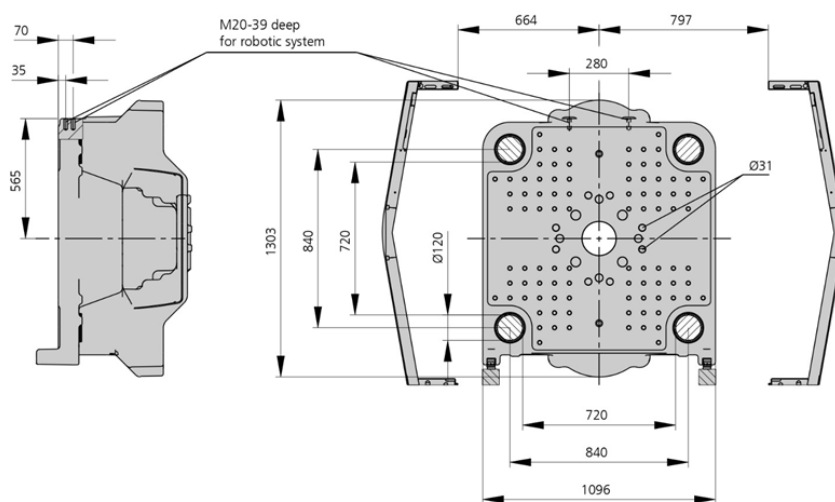
1) Positions of ejector plate

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 720 S

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



SHOT WEIGHTS | 720 S

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		1300			2100			3200		
Screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80	70	80	90
Polystyrene	max. g PS	510	607	826	723	984	1286	1125	1469	1860
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	498	593	807	707	962	1256	1099	1436	1817
	max. g SAN, ABS ¹⁾	488	581	791	693	943	1231	1077	1407	1781
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	574	683	930	814	1108	1447	1266	1654	2093
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	534	635	865	757	1030	1346	1177	1538	1946
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	527	627	854	747	1017	1329	1163	1518	1922
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	473	563	767	671	914	1194	1044	1364	1726
Polycarbonate	max. g PC	536	638	868	760	1034	1351	1182	1544	1954
Polysulphone	max. g PSU	554	659	897	785	1069	1396	1222	1596	2019
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	507	603	821	719	978	1278	1118	1461	1848
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	473	563	767	671	914	1194	1044	1364	1726
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	630	749	1020	893	1215	1588	1389	1814	2296
Polyethylene terephthalate	max. g PET	607	723	984	861	1172	1531	1340	1750	2215
Polyethylene	max. g PE-LD	385	458	624	546	744	971	850	1110	1405
	max. g PE-HD	398	473	644	564	768	1003	877	1146	1450
Polypropylene	max. g PP	406	484	658	576	784	1025	897	1171	1482
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	816	971	1322	1157	1575	2058	1800	2352	2976
	max. g ETFE	716	852	1160	1015	1382	1805	1579	2063	2611
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	616	734	998	874	1190	1554	1360	1776	2247
	max. g PVC-P ¹⁾	569	678	922	808	1099	1436	1256	1641	2076

1) average value

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

© 2024 ARBURG GmbH + Co KG | All data and technical information have been compiled with great care. However we accept no responsibility for correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.