

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu pedálu

Bc. Jonáš Jarkuliš

Diplomová práce
2017

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jonáš Jarkuliš**
Osobní číslo: **T15402**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu pedálu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Nakreslete zadaný plastový díl ve 3D.
3. Vytvořte 3D model vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Nakreslete 2D sestavu formy včetně kusovníku

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

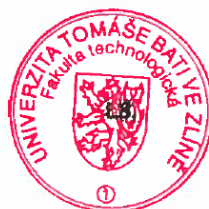
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2017**

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: JARKULIS JONÁŠ

Obor: VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2017



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávlečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní díla).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, a právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní díla:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh konstrukce formy pro výrobu plastového plynového pedálu technologií vstřikování s použitím moderní výpočetní techniky a CAE softwaru pro simulaci tečení plastů. Součástí práce je vymodelování zadaného pedálu, výstupy z analýzy tečení plastů a implementování těchto výsledků do finálního návrhu formy. Práce rovněž obsahuje cenovou kalkulaci plastového dílce.

Klíčová slova: Pedál, plastový výstřik, vstřikování plastů, konstrukce formy, simulace vstřikování.

ABSTRACT

The goal of master theses is design of mold for pedal production by injection molding technology with using modern CAE software. The theses includes model of pedal and results of moldflow which are implemented into the design of the mold. In work is some space for quotation of the plastic part.

Keywords: Pedal, plastic part, injection molding technology, design of mold, analysis.

Na tomto místě bych rád poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Michalovi Staňkovi, Ph.D. za jeho rady a čas, který mi věnoval při vypracování mé diplomové práce. Dále pak panu Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D. za jeho pomoc při vytváření simulačních analýz a panu Jaroslavu Jelínkovi za jeho cenné rady při návrhu vstřikovací formy.

Mé díky patří v neposlední řadě mé partnerce a mým rodičům, za všestrannou podporu, kterou mi poskytli po celou dobu studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Brně,

Podpis:

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 HISTORIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	12
1.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	15
1.3 PŘÍPRAVA SYNTETICKÝCH POLYMERŮ A VÝROBA GRANULÁTU.....	17
1.4 REOLOGIE, DISIPAČNÍ OHŘEV A FONTÁNOVÝ TOK POLYMERNÍCH TAVENIN	18
1.5 POLYMERY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....	19
2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	22
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	22
2.1.1 Doba vstřikování	23
2.1.2 Doba dotlaku	24
2.1.3 Doba chlazení a ochlazování, čas plastikace.....	26
2.1.4 Tlaky při vstřikování	27
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	28
2.2.1 Vstřikovací jednotka	29
2.2.2 Uzavírací jednotka	29
2.3 SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE TERMOPLASTŮ.....	31
2.4 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ.....	34
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	37
3.1 VTOKOVÉ SOUSTAVY	39
3.1.1 Studené vtokové soustavy.....	39
3.1.2 Horké vtokové soustavy.....	41
3.2 CHLAZENÍ FOREM.....	42
3.2.1 Chlazení beryliovou mědí AMPCOLOY	43
3.3 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	43
3.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	46
3.5 ODFORMOVÁNÍ PODKOSŮ.....	48
II PRAKTICKÁ ČÁST	51
4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	52
5 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	53
5.1 MATERIÁL VÝROBKU	53
6 POUŽITÝ SOFTWARE	55
6.1 SOLIDWORKS 2015	55
6.2 AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT SYNERGY 2012.....	55
6.3 HASCO 3D – MODUL NORMÁLÍ	55
7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	56
8 KONSTRUKCE FORMY	57

8.1	RÁM FORMY	57
8.2	TVAROVÉ PRVKY	59
8.3	VTOKOVÝ SYSTÉM	62
8.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	63
8.5	CHLAZENÍ FORMY	64
8.6	ZÁKLADNÍ PARAMETRY FORMY	67
8.7	KONTROLA VHODNOSTI ZVOLENÉHO VSTŘIKOVACÍHO STROJE	69
9	ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ.....	71
9.1	VARIACE VTOKOVÉHO ÚSTÍ.....	72
9.2	ANALÝZA VHODNOSTI UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ	73
9.3	ČAS PLNĚNÍ	73
9.4	VSTŘIKOVACÍ TLAK A BOD PŘEPNUTÍ NA DOTLAK	75
9.5	TEPLOTA NA ČELE TAVENINY	76
9.6	ČAS POTŘEBNÝ K DOSAŽENÍ VYHAZOVACÍ TEPLoty	79
9.7	PROPADLINY	81
9.8	UZAVÍRACÍ SÍLA	82
9.9	UZAVŘENÝ VZDUCH	83
9.10	ORIENTACE VLÁKEN.....	85
9.11	YOUNGŮV MODUL PRUŽNOSTI V HLAVNÍM SMĚRU	87
9.12	DEFORMACE.....	88
9.13	TEPLOTA CHLADÍCÍHO MEDIA A FORMY.....	91
9.14	EFEKTIVITA ODVODU TEPLA A REYNOLDSOVO ČÍSLO.....	92
9.15	DISKUZE NAD VÝSLEDKY ANALÝZY	94
10	CENOVÁ KALKULACE PEDÁLU	95
10.1	VSTUPNÍ PARAMETRY KALKULACE	95
10.2	VÝPOČET CENY PEDÁLU	96
	ZÁVĚR	98
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	99
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	102
	SEZNAM OBRÁZKŮ	103
	SEZNAM TABULEK.....	106
	SEZNAM PŘÍLOH.....	107

ÚVOD

Využití plastů v automobilovém a spotřebním průmyslu exponenciálně roste od padesátých let dvacátého století. Důvodem tohoto nebývalého růstu je objevení nových konstrukčních plastů a rozvoj výpočetní techniky. Díky výkonným počítačům a CAD/CAM systémům dokážeme v dnešní době navrhovat a obrábět tvary a plochy tak, jak by bylo v minulosti zcela nemyslitelné. Nahrazování tradičních materiálů plastovým ekvivalentem výrazně zlevňuje výrobu a hmotnost automobilů. Jedná se jak o díly pohledové (jako příklad uveďme víčko tankovací nádrže, interiérové prvky atd.), tak o technické výstřiky, které jsou mnohdy skryty pod kapotou vozu nebo přímo v motorové oblasti, kde musejí čelit vysokým provozním teplotám (termoregulační systémy motorů a atd.).

Cílem diplomové práce bude návrh konstrukce formy pro výrobu plynového pedálu s využitím programu simulujícího vstřikování. Pedál a forma budou vymodelovány v CAD programu SolidWorks 2015.

Vzhledem k vysoké pořizovací ceně nástroje je velmi výhodné využívat programy na analýzy vstřikování, které nám mohou pomoci poukázat na slabá místa designu výrobku, případně optimalizovat návrh formy před samotnou výrobou nástroje. V diplomové práci budou analýzy prováděny v programu Autodesk Simulation Moldflow Insight. Program nabízí kromě standardní tokové analýzy, analýzu kvality chlazení či predikci smrštění a deformaci výrobku. Na základě výsledku analýzy deformace bude zvolena nejvhodnější poloha vtokového ústí. Vtokový systém bude variován dvěma způsoby. Zvolený materiál bude kompozitní termoplast PA6 plněný 30% krátkých skleněných vláken. S ohledem na velkou hmotnost výstřiku (okolo 106g) bude ve všech níže zmíněných variantách použito horkých trysek s přímým vstřikováním do dílu.

První varianta se bude nacházet ve středu dílu. U tohoto vtokových systémů předpokládám menší vstřikovací tlak, což je výhodné z pohledu délky životnosti formy. Vlivem narušení převládající orientace skleněných vláken v oblasti vstřikovacího bodu a makromolekul očekávám celkovou větší deformaci pedálu.

Druhá varianta počítá s umístěním vtokového ústí v horní polovině výstřiku (funkční část pedálu tzv. koleno). Oproti variantě číslo jedna naroste vstřikovací tlak a dále dojde k jednostranné orientaci makromolekul a skleněných vláken.

Výsledný návrh formy bude mít optimalizovaný systém chlazení. Místa, kde nebude možné zavést chladicí kanály budou vyvložkována a nástrojová ocel bude nahrazena dobře vodivou slitinou beryliové mědi. Na základě analýzy tečení budou určena místa uzavírání vzduchu a bude navržen odvzdušňovací systém.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Z chemického hlediska se většinou jedná o organickou látku, která je tvořena makromolekulami. Tyto velké molekulární řetězce vzniknou několikanásobným spojením základní jednotky tzv. *meru* (řecká předpona *poly*, pak znamená více).

Polymerní materiály, jak již bylo v úvodu zmíněno, zaujímají v posledních dekadách obrovský rozvoj, a to jak v oblasti automobilového, tak i spotřebního průmyslu. V dnešní době máme na výběr z velké škály polymerních materiálů vhodných k jednotlivým aplikacím. Volba vhodného typu polymeru k dané aplikaci, je tak základním parametrem, který ovlivňuje životnost, funkci a vzhled daného výrobku.

1.1 Historie polymerních materiálů

Rozvoj syntetických polymerních materiálů začal ve dvacátém století, nicméně první přírodní (nesyntetický) polymerní materiál přivezl do Evropy Kryštof Kolumbus ve století patnáctém. Jednalo se o Kaučuk, pryskyřici ze stromu *Hevea brasiliensis* (neboli Kaučukovník brazilský). Kaučuk je výchozí látkou pro výrobu pryže. Surový kaučuk musí být vysrážen, poté vyprán a nakonec vysušen. Přidáním dalších aditiv a vulkanizačního činidla (nejčastěji síry) vznikne materiál o velké pružnosti, který je schopen účinkem vnější síly výrazně deformovat a poté opět zaujmout původní tvar.

První patenty využívající vlastnost vulkanizovaného kaučuku se objevily v devatenáctém století. V roce 1888, byla patentována pneumatika britským vynálezcem Johnem Boydem Dunlopem. Nicméně odnímatelné pneumatiky byly vynalezeny bratry Micheliny až roku 1891. První přírodní polymer Gutaperča, byl využíván firmou Siemens k izolaci podmořských telegrafních kabelů již v roce 1848.[1]

Mezi první objevené syntetické polymerní materiály řadíme Celuloid a Bakelit. Celuloid je označován jako syntetický termoplast. Je však založený na přírodní látce celulóze, a tudíž lze říci, že se nejedná o zcela syntetický polymer. Byl patentován v roce 1896 a byl objeven bratry Hyattovými při snaze nahradit slonovinu, která byla používána na výrobu kulečnických koulí, jiným lépe dostupným materiálem. [1] [3]

Bakelit, první reaktoplast, byl vynalezen americko-belgickým vynálezcem Leo Baekelandem v roce 1907. Zajímavostí je jeho první aplikace, kterou byl knoflík rychlostní páky automobilu Rolls-Royce. Více nežli úsporu mělo tato novinka symbolizovat pokrok. [1] Jeho

význam na počátku dvacátého století byl značný, vyráběly se z něj elektrické spotřebiče, radia, telefony atd.



Obr. 1 *Hevea brasiliensis* [4]

Třicátá léta dvacátého století jsou ve znamení velkých objevů nových synteticky připravených polymerů, jakými jsou polyvinylchlorid (PVC), polymethylmethakrylát (PMMA), polystyren (PS). V roce 1939 objevil chemik Roy Plunkett nový vysoce odolný fluoropolymer PTFE, lépe známý pod názvem Teflon. Jeho využití v dnešní době, nepočítajíc všeobecně známé využití v potravinářském průmyslu, je nesmírné. Rok 1940 je rokem, kdy polymery začaly pronikat do textilním průmyslu, velkým hitem se stává prodej nylonových punčoch z materiálu polyamid 66 (PA 66). Na počátku padesátých let se vývoj nových materiálů ještě více urychlil, na trhu se objevují epoxidové pryskyřice (EP), známý konstrukční plast akrylonitril-butadien-styren (ABS), polyolefiny (PP, PE-HD) a amorfni polykarbonát (PC). V šedesátých a sedmdesátých letech je na vzestupu vývoj polymerů s vynikající teplotní odolností, jedná se o polysulfony (PSU) a polyimidy (PI). Na počátku let osmdesátých je trendem příprava polymerních směsí a blendů (PC+ABS, ...). [1]

Současnost vývoje polymerů je zaměřena na budování struktury polymerního řetězce. Výsledkem jsou hypervětvené polymery a dendrimery (např. PAMAM). Aplikace těchto špičkových materiálů nalezneme v medicínské diagnostice (zobrazování krevního řečiště), dále pak v biomedicíně se využívá micelární chování některých těchto materiálů (pro cílené dopravování léčiv) atd. [6]

Tab. 1 Milníky v historii polymerů [1] [6]

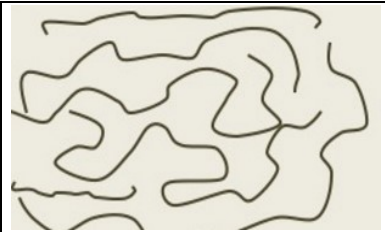


1496	Kolumbus přivezl kaučuk z Nového světa
1791	patent impregnace tkanin kaučukem
1843	objev gutaperči
1844	objev vulkanizovaného kaučuku
1868	objev Celuloidu
1888	objev pneumatiky
1907	objev Bakelitu (PF)
1927	výroba PVC
1928	výroba PMMA
1929	výroba UF
1930	výroba PS
1935	příprava PA66
1938	objev PA6, příprava PE-LD
1939	příprava PTFE
1941	objev PET
1952	objev PE-HD
1953	objev PP, PC
1956	objev PPO
1963	výroba EPDM
1965	výroba TPE
1965	výroba PSU
1982	první syntéza kompletní série PAMAM

1.2 Základní rozdělení polymerů

Vlastnosti neplněných polymerů jsou v základním měřítku odrazem jejich chemické struktury, molekulové struktury a nadmolekulární struktury, která souvisí s uspořádáním makromolekul vůči sobě navzájem. [1]

Tvary molekul a jejich vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti jsou popsány v tabulce 2.

Tab. 2 Rozdělení polymerů dle tvaru a uspořádání makromolekuly [1]

		
LINEÁRNÍ	ROZVĚTVENÉ	SESÍTOVANÉ
vyšší hustota materiálu	nižší hustota materiálu	vysoká pevnost
vyšší pevnost	nižší pevnost	vysoký modul pružnosti
vyšší modul pružnosti	nižší modul pružnosti	vysoká teplotní odolnost
nižší tažnost	vyšší tažnost	velmi nízká tažnost
vyšší teplotní odolnost	nižší teplotní odolnost	
dobrá tekutost taveniny	nižší tekutost taveniny	
snadná krystalizace	nižší schopnost krystalizace	

Polymerní látky, zejména lineární a málo větvené, jsou schopné částečné krystalizace, a to buď z velmi zředěných roztoků, nebo z taveniny. To znamená, že části makromolekul se spolu skládají a vytvářejí tak pravidelnou prostorovou strukturu. Skládají se do lamel, což jsou destičkové útvary s tloušťkou cca 10 nm a s plošnými rozměry v řádu mikrometrů. Lamely vyrůstají na sobě dendritickým způsobem a vytvářejí větší, téměř kulovitý útvar nazývaný *sférolit*. Částečná krystalizace znamená, že mezi krystalicky uspořádanou strukturou je i neuspořádaná amorfní struktura. [5]

Pokud řetězce makromolekul nemají schopnost při přechodu z taveniny do tuhého stavu vytvářet pravidelné struktury, jedná se o látky amorfní. Na rozhraní těchto polymerů nedochází k odrazu světla, a proto jsou čistě amorfní látky transparentní. Mezi významné zástupce amorfních polymerů patří na příklad polykarbonát, kopolymer akrylonitril-butadien-styren nebo polymethylmethakrylát a jiné. Je potřeba si uvědomit, že všechny polymery ve stavu taveniny jsou amorfní. Budeme-li chtít transparentní díl z částečně krystalického materiálu,

můžeme transparentnosti dosáhnout procesními parametry a to tak, že materiál prudce ochladíme. Materiál poté nemá prostor pro vytvoření krystalické struktury a zachovává si amorfni charakter taveniny. Tímto způsobem se vyrábí PET láhev od nápojů. Částečně krystalický polymer PET je při zpracování ve vyfukovací formě prudce a krátce ochlazen. Výsledkem je poté čirá plastová PET láhev.

Tab. 3 Rozdělení polymerních materiálů [5]

POLYMERY			
REAKTOPLASTY	TERMOPLASTY	TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	ELASTOMERY
Fenolické	Částečně krystalické	S vysokou tvrdostí	NR
Melaminové			SBR
Epoxidové	Amorfni	S nízkou tvrdostí	NBS
Polyesterové			EPDM

Polymery můžeme dále rozdělit na *reaktoplasty*, *termoplasty*, *elastomery* a *termoplastické elastomery*.

- *Reaktoplasty* (též *termosety*) jsou polymery s pevně propojenými řetězci vytvořeny síťováním. Řetězce nelze teplem rozpojit.
- *Termoplasty* jsou polymery, které mění tvar působením tepla a smykových sil. Po ochlazení je možné je opět působením tepla převést do taveniny. U termoplastů rozlišujeme amorfni a částečně krystalickou strukturu.
- *Elastomery* jsou polymery s vynikající tažností. Elastomerní spoje mezi řetězci jsou aktivovány teplem tzv. vulkanizací. V okolí spojů se řetězce mohou pohybovat, a proto látky vykazují velkou elasticitu.
- *Termoplastické elastomery* jsou materiály, v nich jsou elastické polymerní řetězce (z vulkanizované) integrovány do polymerní matrice. Integrace není chemické povahy, je pouze fyzikální (jedná se o směs).

[5]

1.3 Příprava syntetických polymerů a výroba granulátu

Syntetické polymery se v zásadě připravují "řetěžením" z nízkomolekulárních látek (monomerů) třemi různými chemickými postupy a to *polymerací*, *polykondenzací* a *polyadicí*.

- *Polymerace*. Reakce, při které spolu přímo reagují malé molekuly monomeru a propojí se do velké řetězovité molekuly polymeru. Polymery, které se takto utvoří, se nejčastěji nazývají podle monomeru přidáním předpony „poly“, například polyethylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid apod. Pro polymeraci je typické, že tvorby makromolekulárního řetězce se účastní celá molekula monomeru a nevzniká tak vedlejší produkt. [1]
- *Polykondenzace*. Stupňovací reakce, při které se rovněž spojují molekuly monomerů do dlouhých řetězců, ale při každém dalším odštěpení monomerní jednotky se odštěpí vedlejší produkt, např. jedna molekula vody nebo chlorovodík či čpavek. Rychlost polykondenzace je oproti polymeraci podstatně menší. Reakci je možné v libovolném stádiu přerušit a opět v ní pokračovat například až při zpracování materiálu na finální výrobek. Polymery takto připravené dostávají jména podle typických chemických skupin například polyformaldehydy, polyamidy, polyimidy, polyestery a jiné. [1]
- *Polyadice*. Při této stupňovité reakci reagují spolu dva odlišné druhy monomerů obsahující v molekule reaktivní atomové skupiny. Nevzniká přitom žádný štěpný produkt, ale vodíková atom se přesouvá z jedné reaktivní skupiny na jinou, čímž probíhá slučování (adice). Polyadicí vznikají např. polyuretany a epoxidové pryskyřice. [1]

Plasty se v technologických procesech používají v různém tvaru, který je potřebný pro samotný proces zpracování. Vstupním tvarem mohou být granule, kaše, pasty, tablety atd. Konečným stupněm přípravného zpracování pro většinu plastů je granulace, kdy materiál dostává tvar granulí. Granule mají dobrou sypkou hmotnost a lze je dobře směšovat a dávkovat s dalšími materiály. Mohou být ve formě válečků, čoček, krychliček nebo kuliček. Do tvaru granulí se často převádí i recyklát získaný mletím nebo drcením, potom mluvíme o regenerátu. [7]

Technologie, která se používá pro výrobu granulí, se nazývá *technologie granulace*. Existují dvě základní metody granulace plastů: *granulace z pásu* a *granulace ze strun* (za studena a za tepla). Výběr technologie granulace závisí na vlastnostech zpracovávané taveniny (tekutosti, tvrdosti), na prostoru, na požadovaném výkonu a na ekonomii celého procesu.

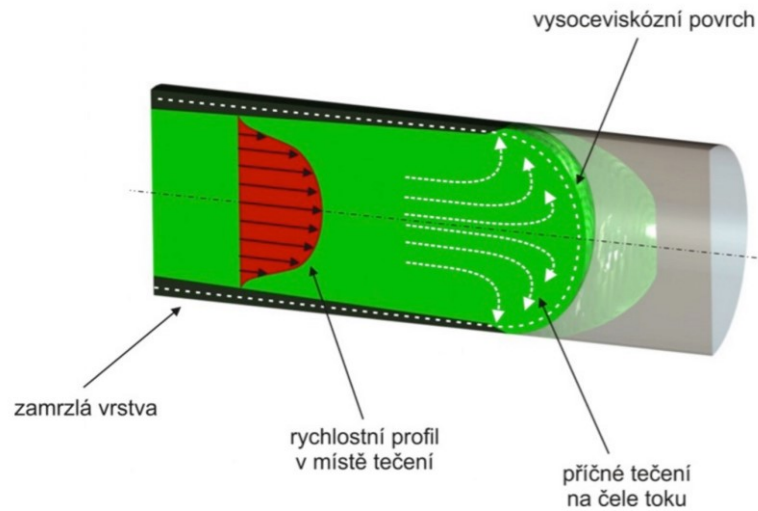
Granulace z pásu je nevhodná pro tvrdé materiály. Princip technologie je založen na rozřezání vstupního materiálu (polotovaru tvaru desky) na proužky, které jsou následně rozsekány na granule. Touto technologií se nejčastěji vyrábí granule polyamidu. [7]

Technologie granulace ze strun využívají technologii vytlačování taveniny plastu skrz granulární hlavu s velkým množstvím kruhových otvorů. Díky tomu získává tavenina tvar strun, které jsou dále sekány na granule buď za studena, nebo za tepla. Při granulaci ze strun za studena jsou vytlačené struny ochlazeny v kapalině a následně jsou sekány na granule. Takto získané granule se musí sušit v důsledku styku plastu s kapalinou (důsledek nasákavosti). Nevýhodou je velké množství strun, které se mohou slepovat, trhat nebo lámat. Další metodou je granulace strun za horka. Granule jsou seřezávány přímo z čela granulární hlavy s mnoha otvory. Pro tento typ granulace nejsou vhodné polymery s nízkou viskozitou taveniny. Podle účinku chladicí vody na nožích rozeznáváme granulaci suchou a granulaci pod vodou. Při suché granulaci za tepla je roztavený polymer seřezáván za sucha nožovým zařízením, které se otáčí velkou rychlostí a odhazuje granule od čela hlavy, které jsou potom ochlazeny ve vodní lázni. Při granulaci pod vodou (pro polymery, které mají tendenci se roztírat) jsou odříznuté granule, ale i nože, bezprostředně chlazeny vodou. Výkon linek je okolo 2000 kg/hod. [7,8]

1.4 Reologie, disipační ohřev a fontánový tok polymerních tavenin

Mechanismus toku polymerních tavenin je značně odlišný od toku nízkomolekulárních kapalin, jejichž chování je tzv. newtonské. Tok polymerních tavenin je neneutonský, pseudo-plastický. K jeho popisu se nejvíce používá empirický vztah, tzv. mocninový zákon. Experimentálně se tokové vlastnosti konkrétního polymeru vyjadřují ve zpracovatelském rozsahu smykových napětí pomocí tokových křivek, konstruovaných jako závislosti experimentálně naměřených smykových napětí na rychlosti smykové deformace v měřeném místě. [5]

Při nevratné deformaci hmoty, kdy dochází účinkem vnější síly k přeskokům jejich částic do nových poloh, se práce spojená s tímto přeskokem obecně mění v teplo. Mluvíme o disipaci mechanické energie na energii tepelnou. K tomuto jevu dochází při toku taveniny spontánně a je jen otázkou kvantitativních poměrů, kdy se projeví dodatečným zvýšením teploty v daném místě. Disipační výkon při toku je v daném místě úměrný součinu smykového napětí a smykové rychlosti. K reálnému ohřevu polymerní taveniny při jejím toku bude docházet v místech jejího nejrychlejšího proudění, tedy v místech s největším zúžením tokové dráhy. Lokální ohřev může způsobit překročení teploty, která již způsobuje degradaci materiálu.



Obr. 2 Fontánový tok polymerní taveniny s rychlostním profilem [7]

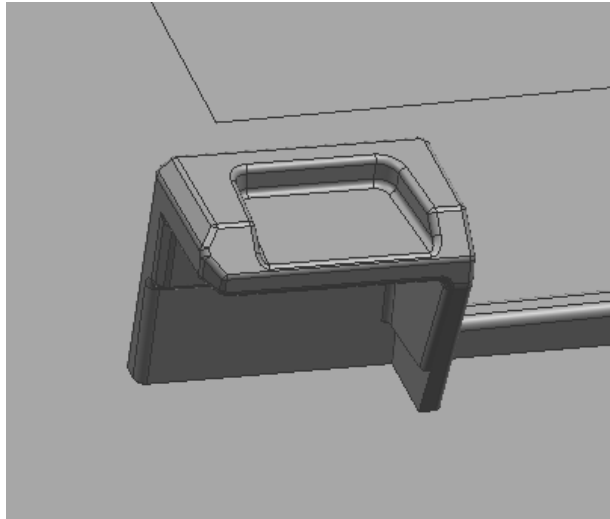
Při toku polymerních tavenin dochází k časově neustálenému toku, kdy na studené stěně tokového kanálu tavenina tuhne v rostoucí vrstvě. Pod tuhnoucí vrstvou směrem ke středu kanálu tavenina nadále teče, ale tak, že na povrchu chladnoucí vrstvy není nulová rychlost toku taveniny. Takový tok nazýváme tokem fontánovým. [5]

1.5 Polymery v automobilovém průmyslu

S využitím plastových dílů se čím dál častěji setkáváme v místech, kde by to bylo ještě před pár lety zcela nemyslitelné. Jedním z tahounů změn je automobilový průmysl, který vyžaduje neustále lehčí a levnější díly při zachování nebo i zlepšení jejich vlastností.

Používané materiály jsou termoplasty, termosety a elastomery. Z důvodů snahy o co možná nejmenšího negativního vlivu na životní prostředí, jsou nahrazovány tradiční nerecyklovatelné termosety recyklovatelnými termoplasty. Ovšem ne ve všech případech je možné nalézt vhodnou alternativu termosetu.

Vstřikované plastové díly se dají rozdělit do dvou skupin, a to na díly pohledové a funkční (též technické). Na pohledové díly jsou kladeny velmi vysoké nároky, a to mnohdy až za hranice možností technologie vstřikování. Jako příklad pohledového dílu uveďme víčko od tankovací nádrže. Tento díl byl ještě před deseti lety vyráběn výhradně z plechu. V dnešní době je již většinou automobilek přijat koncept plastového víčka.



Obr. 3 Design klipu tankovacího víčka se zúženým napojením na plochu víčka

Používané materiály plastových víček jsou polyamid 6 s 40% podílem minerálních plniv, popřípadě polyfenylenether (PPE). Snaha vyhnout se propadlinám na pohledové straně víčka, vede k minimalizaci tloušťky klipů. Tloušťka klipů je tak mnohdy menší než 1 mm, což vede k velkým technologickým problémům při vstřikování (nedostříknutý klip) a malé pevnosti této funkční části výrobku. Dalším příkladem pohledového dílu je klika od dveří osobního automobilu. Klika je pochromována a byla vyrobena technologií vstřikování s podporou plynu (technologie GIT), v tomto případě dusíku. Materiál kliky je stejně jako u víčka PA6 s podílem minerálních plniv, který se dobře snáší s následující operací pochromování. Důvodem použití náročné technologie GIT je samotný design kliky. Při použití běžného vstřikování bez podpory plynu, by velká koncentrace hmoty způsobila masivní propadliny v oblasti těla kliky. Jediným možným způsobem, jak se těmto propadlinám vyhnout je plynové jádro, které vytvoří dutinu v těle kliky (obr. 4).

Druhou skupinou jsou technické díly. U těchto dílů je kladen důraz na správnou funkci dílu a vizuální stránka je posunuta do pozadí. Do této skupiny patří i pedály automobilu. Plastové pedály jsou spojkové a plynové. Z bezpečnostních důvodů je brzdový pedál stále vyráběn z kovového materiálu. Pro výrobu pedálu se používají speciální technologie vstřikování. Je jím na příklad dvou komponentní vstřikování (technologie 2K). Do formy se kromě plastového materiálu vstřikuje v menší míře i termoplastická pryž. Pryž se vstřikuje do té části pedálu, kde dochází k otěru při kontaktu s protikusem. Pedál může být i vyztužen kovovým jádrem (zálisková výroba).



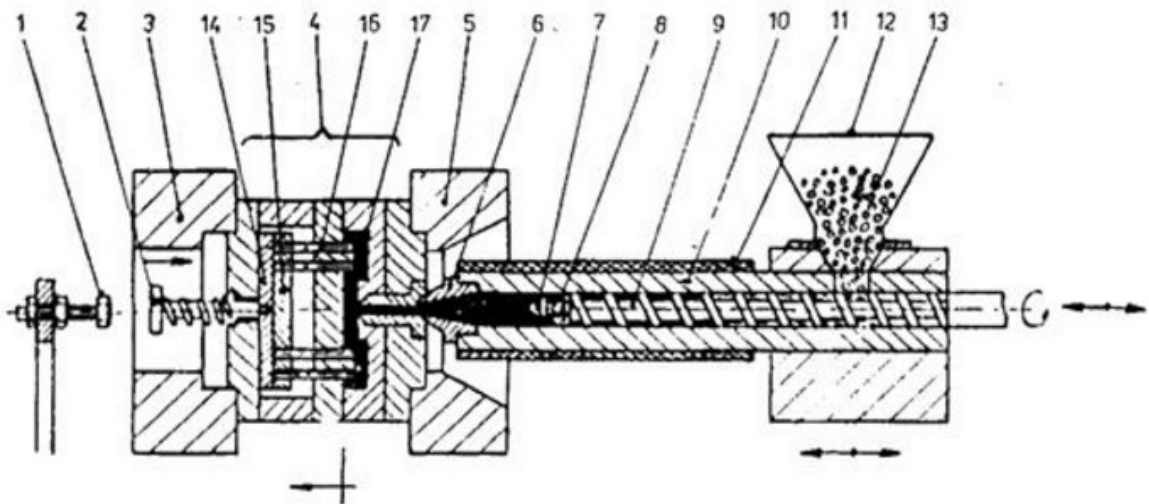
Obr. 4 Řez klikou dveří osobního automobilu vyrobenou technologií GIT

2 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Technologie vstřikování termoplastů má mezi zpracovatelskými plastikářskými technologiemi zásadní význam. Více než jedna třetina všech termoplastů je vstřikována. Princip vstřikování vychází z technologie tlakového lití. Podstata je založena na cyklickém opakování vstřikovacího cyklu. Ideální technologie pro masovou produkci tvarově složitých dílů, které vyžadují dobrou rozměrovou přesnost. [8]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací proces začíná přivedením materiálu (granulát) do násypky z níž je odebírán pracovní částí stroje (nejčastěji šnekem), který jej dopravuje do tavicí komory. Granulát vlivem topných těles a tření taje a vzniká tavenina, která se hromadí před čelem šneku. V momentě, kdy se před šnekem nahromadí dostatečné množství nataveného polymeru, přestane se otáčet a začne konat axiální pohyb (v této fázi funguje šnek jako píst). Tavenina je přes trysku vstříknuta do dutiny formy, která tvarem odpovídá výrobku. Následuje dotlaková fáze pro snížení smršštění. Výstřík je ve formě ochlazován na vyhazovací teplotu. Poté se forma otevře a pomocí vyhazovacího systému formy je výrobek vyhozen. Forma se zavírá a celý proces se opakuje.



Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje se šnekovo plastikací [9]

(1 - doraz, 2 - tyč vyhazovače, 3, 5 - upínací desky, 4 - forma, 6 - vstřikovací tryska, 7 - špička šneku, 8 - zpětný uzávěr, 9 - šnek, 10 - tavicí komora, 11 - topná tělesa, 12 - násypka, 13 - granule plastu, 14 - deska vyhazovačů, 15 - kotevní deska, 16 - vyhazovače, 17 - výstřík)

2.1.1 Doba vstřikování

Doba vstřikování je doba naplnění dutiny materiálem a odvíjí se od rychlosti vstřikování (rychlost šneku směrem vpřed k trysce). Je závislá na velikosti a designu výstřiku, na druhu polymeru, vtokového systému (studený nebo horký vtokový systém) a procesních parametrech vstřikování (teplota taveniny, teplota formy atd.). Čas vstřikování se pohybuje od zlomku sekundy pro malé výstřiky až řádově k jednotkám sekund u výrobků s velkou hmotností.

Obecně platí, že pro technické díly je lepší volit větší rychlost vstřikování než u dílu pohledových. Větší vstřikovací rychlost způsobuje lepší tekutost plastu a příznivější vliv na orientaci makromolekul. Na druhou stranu může dojít k degradaci a spáleninám z důvodu překročení maximální hodnoty smykové rychlosti materiálu. Hodnota vstřikovací rychlosti nemusí být po celou dobu vstřiku konstantní, ale je možné ji profilovat (například z důvodů lepší funkce odvodu dutiny formy).

Optimální vstřikovací rychlost je možné určit z tzv. *viskózní křivky*. Vstřikovací stroj nedokáže „udržet“ každý cyklus naprosto stejnou nastavenou hodnotu vstřikovací rychlosti. Důsledkem špatně zvolené rychlosti může docházet k výrazným změnám viskozity při různých cyklech. Tyto změny ovlivňují kvalitu výrobků a mohou vést ke zvýšení zmetkovitosti. Cílem je nalézt takovou rychlost vstřikování, u které je možné se v určité toleranci neobávat velkých změn viskozity. Pro vykreslení křivky je potřeba testování u stroje.

Obrázek 6 ukazuje typickou viskózní křivku. Osa x odpovídá hodnotě smykové rychlosti, osa y relativní viskozitě. Před samotnou zkouškou je třeba vhodně nastavit stroj (více o nastavení stroje pro viskózní test např. v [10]). Test začíná určením maximální hodnoty rychlosti vstřikování (rychlost, která je schopná naplnit díl z 95 % bez dotlaku). Následuje odstupňované snižování rychlosti (například u každého dalšího vstřikování snížit rychlost o 5 mm/s oproti předešlému). Po každém cyklu jsou zapisovány hodnoty hydraulického tlaku a času vstřikování. Je dobré otestovat alespoň deset až dvanáct rychlostí, ať je k dispozici dostatek bodů na vykreslení křivky. Jako optimální rychlost je volena taková, u které nehrozí výrazná změna viskozity při nepatrné změně rychlosti viz Obr. 6.

Ze získaných hodnot je vypočítána smyková rychlost γ a relativní viskozita η . Faktor K (Screw Intensi fication Ratio [11]) je konstanta charakterizující vstřikovací šnek a její hodnotu udává výrobce.

Zmíněné veličiny jsou získány z níže uvedených vztahů [11,12]:

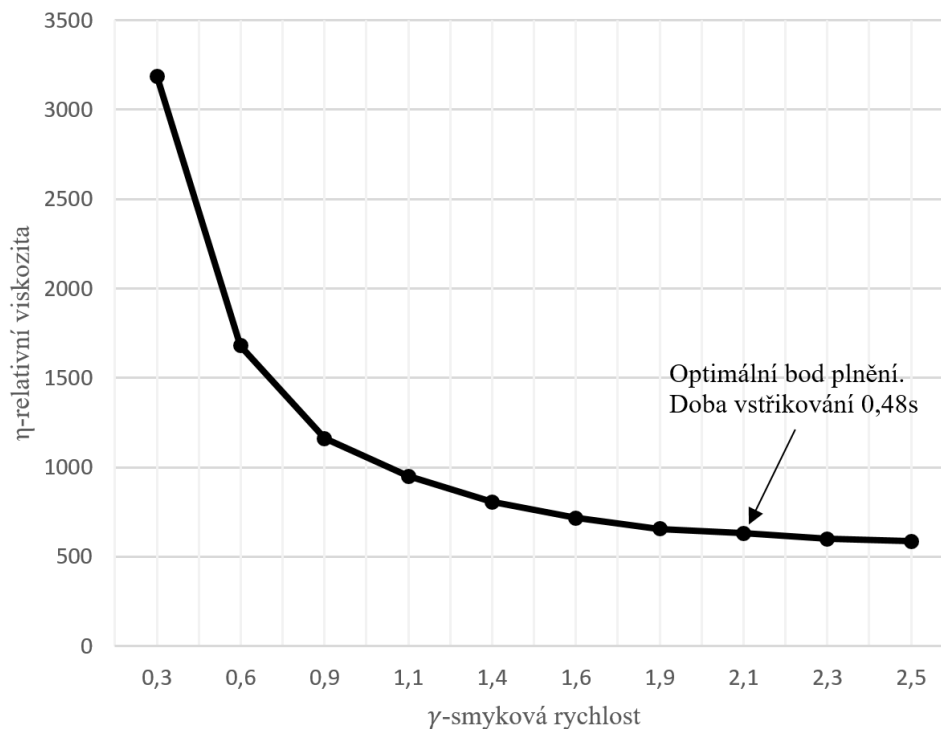
$$\dot{\gamma} = 1/t \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

$$\eta = K \cdot t \cdot p \text{ [bar} \cdot \text{s]} \quad (2)$$

kde

t doba vstřikování [s]

p tlak v hydraulice [bar]



Obr. 6 Viskózní křivka

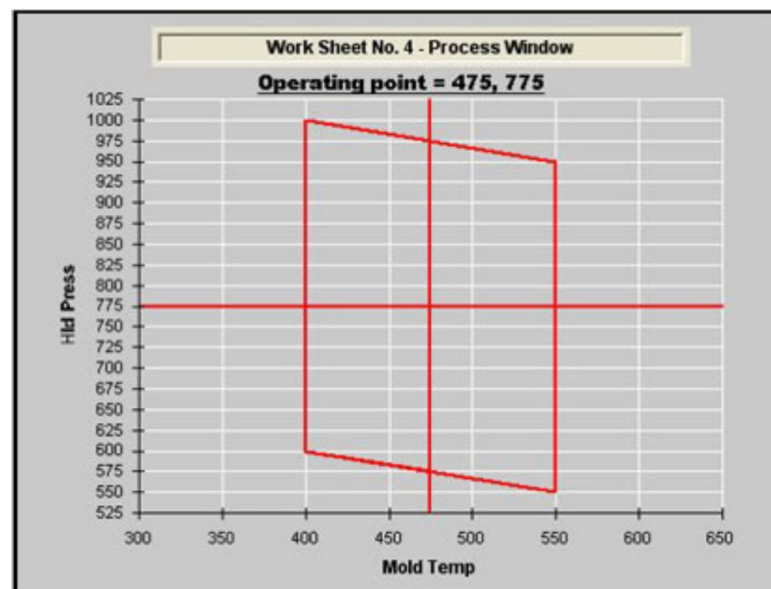
2.1.2 Doba dotlaku

Vstřikování končí 95 – 97 % naplněním dutiny formy (důležitý procesní parametr vstřikování – *bod přepnutí* na dotlak). Po něm následuje dotlaková fáze. Jejím úkolem je kompenzovat smrštění výstřiku, které nastává v důsledku ochlazování výrobku. V průběhu dotlaku se šnek pohybuje axiálně směrem vpřed. Stejně jako vstřikovací tlak může být dotlaková fáze profilována. Její profilací je možné dosáhnout v různých místech výstřiku různého naplnění.

Dobu dotlaku odpovídá době zamrznutí vtokového ústí (delší působení dotlaku je neefektivní a snižuje životnost nástroje). Test na zjištění optimální doby dotlaku probíhá u stroje.

Nejprve je nastavena vhodná hodnota dotlaku (např. pomocí *kosmetického procesního okna*). Poté je zvolen *počáteční čas dotlaku* (podhodnocený odhad doby dotlaku vycházející např. z tloušťky stěny viz níže) a každý další cyklus je zvyšován čas o jednu sekundu. Jednotlivé zdvihy jsou váženy a následně je vytvořen graf závislosti hmotnosti zdvihu na času dotlaku. Optimální doba je poté rovna času, od kterého se dále nenavýšuje hmotnost zdvihu s rostoucí dobou působení dotlaku.

Doba dotlaku je závislá na materiálu a průměrné tloušťce stěny výrobku. Amorfnní termoplasty potřebují kratší dobu dotlačovací fáze, oproti tomu u semikrystalických materiálů tvoří doba dotlaku velmi významnou část celkového cyklu. Z mojí dosavadní praxe vyplývá, že například pro částečně krystalický materiál, jakým je polyoxymetylen (POM) je potřeba až 8 s dotlaku na 1 mm tloušťky stěny výstřiku.



Obr. 7 Příklad procesního okna [12]

Dotlak v jednotkách [psi]; teplota formy ve stupních [°F]

Kosmetické procesní okno je metoda, jak určit hodnotu dotlaku. Spočívá v testování různých tlaků v dotlakové fázi. Podle výsledné kvality výstřiku se rozhodne pro nejoptimálnější dotlak. Osa x reprezentuje teplotu formy (Mold Temp), osa y pak velikost dotlaku (Hold Press). Překročení horní hranice znamená neakceptovatelné přetoky na díle, spodní hranice pak nedostříknutý dílec nebo významné propadliny. Za pravou vertikální hranicí okna se nachází

spálené a degradované díly, za levou hranicí potom dílce s obecně špatnou kvalitou způsobené příliš studenou formou. Uvnitř procesního okna se nachází výlisky s akceptovatelnou kvalitou.

2.1.3 Doba chlazení a ochlazování, čas plastikace

Rozeznáváme dobu chlazení a dobu ochlazování. Dobou chlazení se označuje doba, která začíná od zamrznutí vtokového ústí (konec doby dotlaku) a končí otevřením formy. Doba ochlazování je součet času dotlaku a chlazení.

Obecně platí, že doba chlazení má být pouze tak dlouhá, aby zajistila, že při vyhazování výrobku z formy nedojde k jeho deformaci, proznačení vyhazovačů, přetržení výstřiku atd. Pro výpočet doby ochlazování je možné použít vzorec, který byl odvozen z teorie nestacionárního vedení tepla pro jednorozměrný případ [5]:

$$t_{och} = C \cdot \frac{s^2}{A_{ef}} \cdot \ln(B \cdot D) \quad (3)$$

$$D = \frac{T_T - T_F}{T_{VY(S)} - T_F} \quad (4)$$

kde

t_{och}	doba ochlazování [s]
s	tloušťka stěny [mm]
B, C	bezrozměrné konstanty charakterizující geometrický tvar (více v [5])
A_{ef}	efektivní teplotní vodivost [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
D	hodnota určená na základě technologických teplot
T_T	teplota taveniny [$^{\circ}\text{C}$]
T_F	teplota formy [$^{\circ}\text{C}$]
T_{VY}	vyhazovací teplota výstřiku pro $s < 4\text{mm}$ [$^{\circ}\text{C}$]
T_{VYS}	vyhazovací teplota výstřiku pro $s \geq 4\text{mm}$ [$^{\circ}\text{C}$]

Doba ochlazování je nejdelší část vstřikovacího cyklu a tam, kde je to jenom trochu možné, je snaha o jeho minimalizaci, a to z ekonomických důvodů.

Doba plastikace je doba potřebná k homogenizaci a přípravě nové dávky před čelo šneku. U běžných vstřikovacích strojů musí v době chlazení proběhnout plastikace (ve fázi vstřikování koná šnek axiální pohyb vpřed). Doba plastikace je tak součástí doby chlazení. Šnek

v této fázi koná pohyb axiální vzad a zároveň se otáčí. Počet otáček šneku je důležitý parametr významně ovlivňující kvalitu připravené taveniny (nízké otáčky znamenají nedokonalé zhomogenizování taveniny, naproti tomu vysoké otáčky znamenají degradaci).

Celkový *cyklový čas* pak vypočítáme dle vztahu:

$$t_{cykl} = t_v + t_{och} + t_{stroj} \quad (5)$$

$$t_{och} = t_d + t_{ch} \quad (6)$$

kde

t_{cykl}	čas cyklu [s]
t_v	doba vstřikování [s]
t_{stroj}	strojný čas (zavření, otevření formy) [s]
t_d	doba dotlaku [s]
t_{ch}	doba chlazení [s]

Doba plastikace ve vztahu nefiguruje, protože probíhá v průběhu chlazení. Strojní čas se obvykle pohybuje okolo 5 s bez použití manipulátoru.

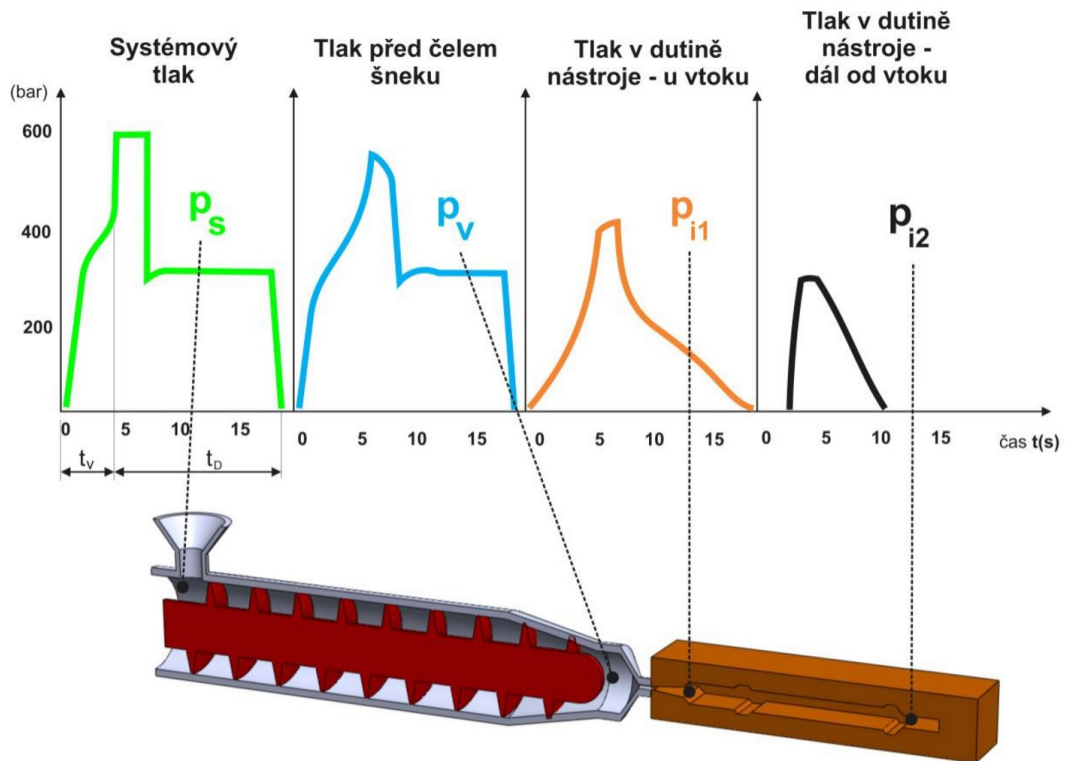
2.1.4 Tlaky při vstřikování

V kapitole 2.1.1 byla zmínka o tzv. *hydraulickém tlaku* p_s . Tento tlak je možné naměřit v hydraulickém systému vstřikovacího stroje. Další měřitelné tlaky jsou vnitřní a vnější vstřikovací tlak. *Vnější vstřikovací tlak* označovaný jako p_v je tlak měřený před čelem šneku. *Vnitřní vstřikovací tlak* p_i je tlak v dutině vstřikovací formy, který je přítomen v průběhu procesu vstřikování. Tento tlak není v celé dutině konstantní a jeho hodnota je závislá na vzdálenosti od vtokového ústí. [7]

Na měření vnitřního tlaku se do forem zabudovávají tlaková čidla. Mezi společnostmi nabízející systémy kontroly kvality založené na měření tlaku patří například firma Kistler, jejíž čidla fungují na principu piezoelektrického jevu.

Tyto systémy dokáží odhalit výrobní zmetek již v procesu vstřikování. Skládají se ze tří hlavních částí, a to tlakového čidla, systému CoMo (procesní analýza a monitorování výroby) a vyřazovače zmetků, který slouží na rozřídění dobrých a špatných kusů (obvykle je instalován v prostoru pod formou). Vyhodnocování kvality výstřiku je založeno na monitorování časového průběhu tlaku v dutině formy. Vykazuje-li tlak nestandardní průběh v

cyklu, je výrobek tohoto cyklu vytřízen jako zmetkový kus. Nedosažení tlakového maxima v průběhu vstřikování poukazuje na nedostříknutý dílec. Významné propadliny na dílci systém rozpozná jako menší hodnotou integrálu (obsahu plochy pod tlakovou křivkou) oproti standardnímu cyklu. [14]



Obr. 8 Tlaky u vstřikování [7]

2.2 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroje jsou určeny pro zpracování polymerních materiálů. Polymery a směsi jsou nejčastěji dodávány v podobě granulí, méně často ve formě prášku či hmoty těstovinové konzistence. Vstřikovací stroje je možné dělit do skupin dle různých kritérií [13]:

- dle pohonu zajišťující pohyby v hlavních osách: *hydraulické, elektrické, hybridní*
- dle uzavírací síly stroje: *25–5000 tun*
- dle směru posuvu pohyblivé desky: *vertikální, horizontální*
- dle pracovního členu v tavicí komoře vstřikovací: *pístové, šnekové*
- dle počtů šneků: *jednošnekové, vícešnekové*

Vstřikovací stroje mají dvě na sobě nezávislé jednotky, a to *vstřikovací* a *uzavírací*.

2.2.1 Vstříkovací jednotka

Základní funkce vstříkovací jednotky je převedení polymeru do stavu vysoce viskózní taveniny a následný přesun taveniny do tvarové dutiny formy. Nejrozšířenějším typem jednotek pro zpracování plastů jsou jednotky se šnekem, který rotuje kolem své osy a axiálně se pohybuje vpřed a vzad. Vstříkovací jednotka je připevněna k posuvné konzole, která zajišťuje její pohyb, konkrétně přísun trysky vstříkovací jednotky ke vtokové vložce vstříkovací formy a vybudování a udržení potřebné přitlačné síly. Je složena z hydraulického pohonu, násypky, tavicí komory, topných tělísek, šneku a trysky (Obr.5). Hlavní pohony vstříkovací jednotky musí také zajistit rotaci šneku při plastikaci dávky taveniny a přesun této dávky do tvarové dutiny výrobního nástroje dopředným pohybem šneku, kdy šnek působí jako píst, který vytlačuje taveninu polymeru z tavicí komory vstříkovací jednotky. Takto šnek působí na taveninu i během fáze dotlaku. Konstrukční řešení vstříkovací jednotky a tavicí komory vychází především z typu materiálu, pro jehož zpracování je určena. [13]

Celkový potřebný objem taveniny, který musí plastikační jednotka, respektive šnek zpracovat a připravit v rámci jednoho cyklu, je roven součtu objemů tvarové dutiny (dutin) vstříkovací formy, objemu vtokové soustavy a objemu polštáře. Tento objem (zdvih) by se měl pohybovat mezi jedno až tři násobkem průměru šneku (pravidlo 1-3D). V opačném případě může hrozit nestabilní proces (méně jak 1D) nebo zdegradovaný materiál (více jak 3D).

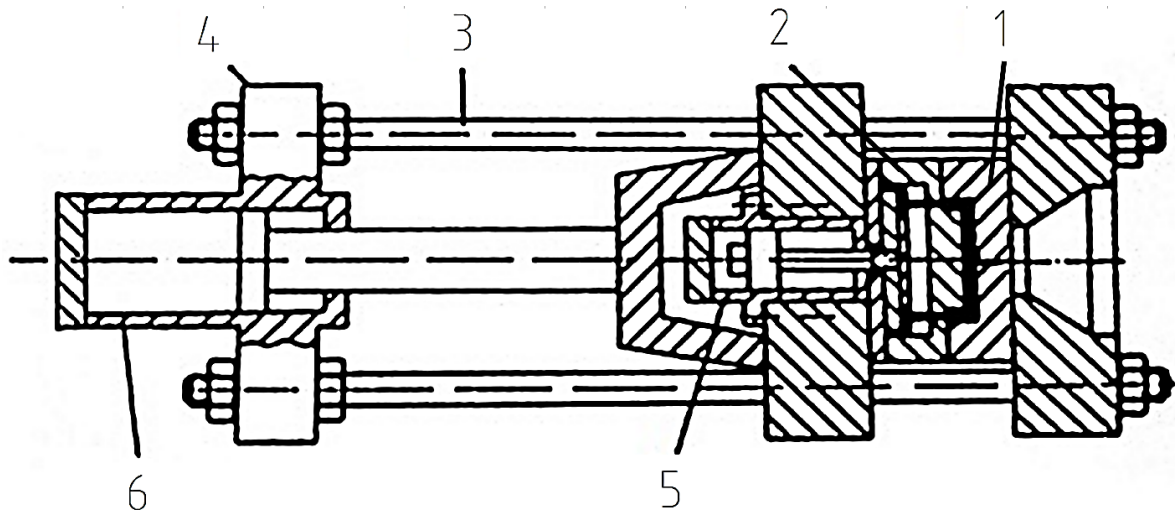
2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka vstříkovacího stroje zajišťuje upnutí a plynulé pohyby vstříkovací formy a podobně jako vstříkovací jednotka je tvořena několika samostatnými prvky a mechanismy.

Základními součástmi jsou vodící sloupky, pevná a pohyblivá upínací deska stroje s potřebným upínacím systémem a mechanismus, který umožní vytvoření takové síly, která působí proti vstříkovacímu tlaku a drží formu uzavřenou během fází vstříku a dotlaku. Uzavírací síla je vyvozena buďto mechanicky (dojde k mechanickému zapříčení formy v potřebné poloze), hydraulicky (potřebná síla je vyvozena hydraulickým pístem) nebo kombinací obou systémů. [13]

Podle pohonu, který zajišťuje posuvy pohyblivé desky, se uzavírací jednotky dělí na elektrické (zdrojem pohybu je elektromotor) nebo hydraulické (hydraulický píst). Hydraulický píst může být napojen přímo na pohyblivou upínací desku (hydraulický uzavírací systém),

nebo stejně jako u elektromotoru je síla přenášena přes další mechanický systém. Tyto systémy jsou potom nazývány hydraulicko-mechanické nebo elektro-mechanické. [13]



Obr. 9 Hydraulická uzavírací jednotka [13]

1 - pevná část formy, 2 - pohyblivá část formy, 3 - vodící sloupky, 4 - rám stroje,
5 - hydraulický vyhazovač, 6 - hydraulický válec pro ovládnání pohyblivé části formy

Při hledání vhodného stroje pro danou formu je nezbytné vypočítat potřebnou *uzavírací sílu*. Zjištěná uzavírací síla musí být vždy menší než maximální uzavírací síla stroje. Síla se obvykle udává v tunách:

$$F_{mu} > F_u = \frac{n \cdot S \cdot p_i}{g} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

kde

F_{mu}	maximální uzavírací síla stroje [tun]
F_u	uzavírací síla [tun]
n	násobnost formy
S	průmět plochy výrobku a vtoku do směru působící síly [mm]
p_i	vstřikovací tlak [MPa]
g	gravitační zrychlení $\approx 9,8 \text{ m/s}^2$

2.3 Smrštění a deformace termoplastů

Při vstřikování plastů platí, že rozměry výstřiku ihned po jeho vyhození z formy jsou rozdílné od rozměrů měřených po nějaké době. Důvodem je jev zvaný *smrštění*. Jedná se tedy o objemovou změnu plastového dílce, která vznikla v důsledku chlazení výrobku bez současného působení tlaku. Smrštění měřené po 24 hodinách od vyrobení při normovaných podmínkách (teplota 23 °C, relativní vlhkost vzduchu 50 %) se nazývá *výrobní smrštění*. Rozměry výstřiků po uplynutí 24 hodin však ještě nejsou zcela stabilizované a rozměry výrobku se ještě mění v důsledku relaxace napětí nebo druhotné krystalizace u semikrystalických plastů. Tyto sekundární změny rozměrů se nazývají *dodatečné smrštění*. [7]

Rozeznáváme výrobní smrštění *lineární* a *objemové*. Pro výpočet objemového smrštění platí vztah [5]:

$$S_{VV} = \frac{V_F - V_V}{V_F} \cdot 100 [\%] \quad (8)$$

kde

V_F objem tvarové dutiny formy za teploty 23 °C [mm³]

V_V objem výstřiku za teploty 23 °C [mm³]

a pro lineární smrštění [5]:

$$S_L = \frac{L_F - L_V}{L_F} \cdot 100 [\%] \quad (9)$$

kde

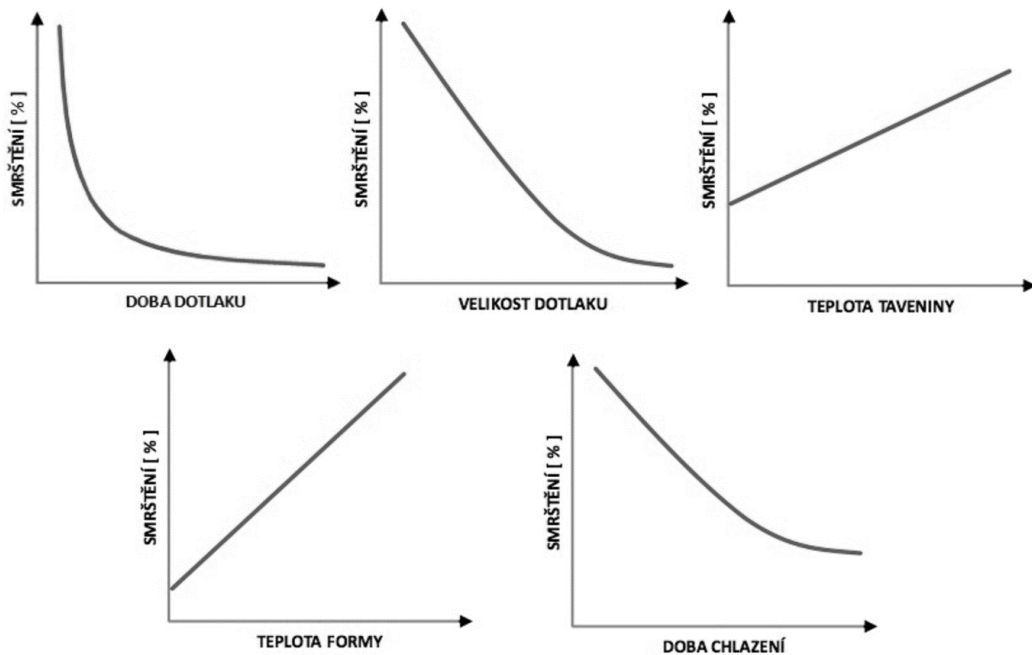
L_F rozměr formy při teplotě 23 °C [mm]

L_V rozměr výstřiku za teploty 23 °C [mm]

Obecně na velikost smrštění mají vliv:

- procesní parametry (dotlak, teplota taveniny, teplota formy atd.)
- vlastní polymer (různá hodnota u amorfních a částečně krystalických polymeru)
- umístění vtoku na plastovém dílu (orientace makromolekul a plniv)
- tloušťka stěny
- druh plniva (vláknitá nebo kuličková)

Hodnotu smrštění udává výrobce materiálu v materiálovém listě. V případě plněných polymeru skleněným vláknem se často udávají dvě hodnoty smrštění, v podélném a příčném směru vlákna. Velikost smrštění musí být při návrhu dutiny formy zohledněna. V praxi konstruktér formy nejprve zvětší model dle hodnoty smrštění a poté až modeluje tvarové vložky. Obr. 10 ukazuje vlivy některých vybraných procesních parametrů na smrštění vstřikovaného



Obr. 10 Vliv procesních parametrů na smrštění [2]

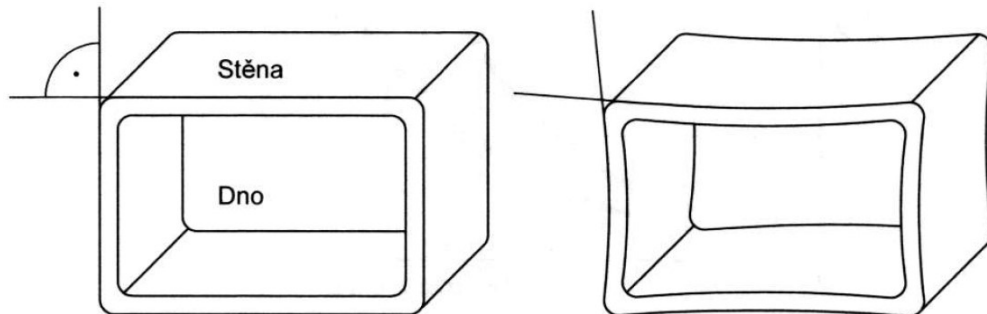
dílu. Není zcela možné zohlednit všechny tyto aspekty a předem tak stanovit přesný rozměr dutiny vstřikovací formy. K tomuto účelu se používají moderní CAE programy simulující tok taveniny polymeru (např. Autodesk Moldflow). [2]

Deformace výstřiku je změna tvaru při zachování konstantního objemu. Jsou v největší míře výsledkem působení různých složek celkového smrštění a to zejména [5]:

- odlišného smrštění ve směru toku taveniny a ve směru kolmém na tok taveniny (vliv orientace makromolekul a plniva)
- různých hodnot smrštění u výstřiku s rozdílnými tloušťkami stěn
- rozdílného místního smrštění v důsledku lokálních změn teploty formy
- rozdílnému smrštění zapříčiněným místním rozdílným působením dotlakové fáze při vstřikování

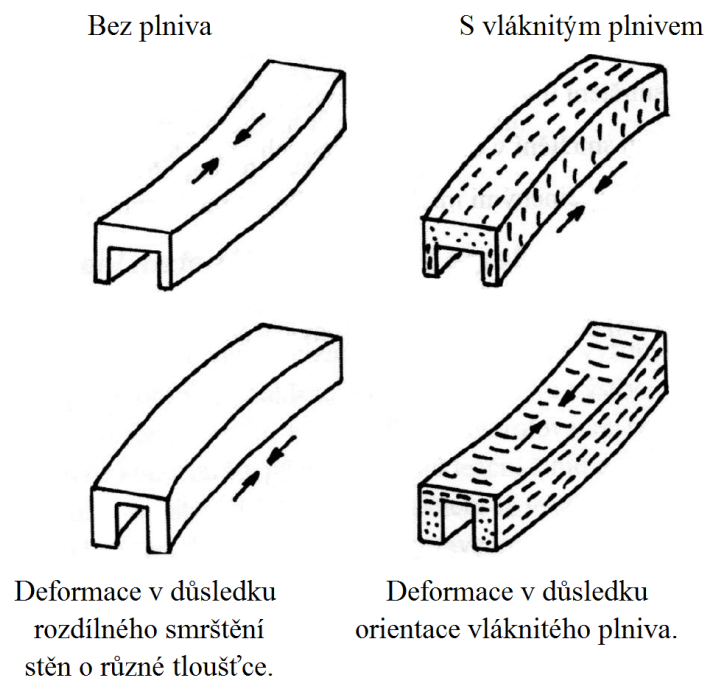
Na obr. 11 je zobrazena deformace výrobku tvaru krabice. Vlivem rozdílné velikosti kontaktních ploch elementů dílce se stěnou formy, dochází k nerovnoměrnému odvodu tepla

z rohů krabice. Z vnitřních rádiusů v rozích krabice je teplo odváděno pomaleji než z vnějších. To má za následek rozdílné smrštění v těchto místech, které vyvolá napětí. Toto napětí může zapříčinit zborcení stěn výstřiku tak, jak jde vidět na obrázku 11.



Obr. 11 Deformace výstřiku „krabice se dnem“ [5]

Vliv vláknitého plniva na deformaci dobře dokumentuje obr. 12. Zde se jedná o rozdílné typy deformací pro identické geometrie, včetně ústí vtoku pro neplněné a plněné materiály v závislosti na tloušťce stěn. U materiálů plněných skleněnými vlákny je zřejmý výraznější vliv jejich orientace než vliv smrštění v důsledku rozdílných tlouštěk stěn. [5]



Obr. 12 Odlišné chování plněných a neplněných materiálů při deformaci [5]

2.4 Vady vstřikovaných dílů

I přes velké penzum znalostí v oblasti vstřikování plastů dochází k četným vadám výrobků, které mohou být způsobeny nevhodnou konstrukcí výstřiku a formy, špatně zvoleným typem polymeru, nesprávným nastavením vstřikovacích parametrů nebo lidským faktorem.

Nedostříknutý díl je jedna z nejviditelnějších a nejzávažnějších funkčních vad. Dutina formy nebyla v průběhu vstřikovacího cyklu zcela naplněna. Tato vada může mít nejružnější příčiny. Z pohledu designu dílu může jít o malou tloušťku stěny výrobku, kde tavenina zamrzne dříve, nežli je daná část zcela zaplněna (problémy při vstřikování výrobků s tloušťkou stěn pod 1 mm). Na vině může být i volba materiálu s příliš vysokou viskozitou. Další možností je nevhodně navržená vtoková soustava (vícenásobné formy s nestejnou délkou toku – neplní se vzdálené tvarové dutiny) nebo nedostatečně odvzdušněná forma, kde nahromaděný a uzavřený vzduch působí proti tlaku taveniny a nedovolí tak materiálu zcela zaplnit dutiny formy (takto ohroženy jsou poslední místa plnění, které lze odhalit simulací tečení).

Propadliny jsou závažnou pohledovou vadou. Vznikají v místech s velkou koncentrací materiálu. Příčinou propadlin je smrštění. Vrchní vrstva tuhne, zatímco vnitřek (jádro) je stále ve stavu taveniny (rozdílná teplota znamená rozdílné smrštění). Tuhnoucí jádro „natáhne“ okolní již ztuhlý materiál k sobě a tím vzniklá propadlina na povrchu. Propadliny se velmi často nacházejí například pod žebry. Lze je částečně zmírnit vhodným nastavením technologických parametrů (zvýšit dotlak, posun bodu přepnutí k vyšším hodnotám, zvýšit čas chlazení, snížit teplotu formy atd.).

Lunkry neboli dutiny jsou vzduchové kapsy v řezu výstřiku (skrytá vada). Vznikají tehdy, když zamrzající povrchové vrstvy již odolávají silám smrštění a při ochlazování se vnitřní vrstvy oddálí od zamrzlých vnějších vrstev v důsledku objemové změny. Lunkr může být způsoben i uzavřeným vzduchem. V obou případech se jedná o vadu, které významně snižuje pevnost výrobku. Náprava je možná lepším odvodem tepla z postižené oblasti nebo kvalitnějším odvzdušněním (v případě, že je lunkr způsoben uzavřeným vzduchem). [5]

Přetoky povětšinou pohledová vada, která může mít několik důvodů. Jednou z možných příčin je volba stroje s nedostatečnou uzavírací silou. Dále může být na vině nedokonalé uzavírání formy vlivem nepřesnosti v dělicí rovině, což může být způsobeno znečištěním, poškozením nebo opotřebením dělicích rovin a lícovaných dílů. Špatně nastavené procesní parametry také mohou způsobovat přetoky, jedná se především o vysoký vstřikovací tlak a vysoké teploty taveniny a formy atd. [5]

Studený spoj způsobuje pevnostní zeslabení výrobku a zároveň se projevuje jako vzhledová vada povrchu. Vzniká všude tam, kde se spojují čela taveniny (obtékání jádra ve formě atd.). Na kvalitu studeného spoje má vliv teplota, při které se čela spojují, čím je teplota nižší, tím bude spoj méně kvalitní. Budou-li se tavenina spojovat čelně, jedná se o tzv. primární studený spoj, je-li spojení tangenciální, poté hovoříme o sekundárním studeném spoji. Zatímco amorfní polymery vykazují značné pevnostní zeslabení v místě studeného spoje, který může přecházet až v podobu vrubu, semikrystalické plasty jsou na tom z pevnostního hlediska studeného spoje podstatně výhodněji. Sferolitická struktura totiž většinou prorůstá studeným spojem a pevnostní zeslabení pozitivně ovlivňuje. V konkrétním místě lze studené spoje eliminovat vhodnou konstrukcí vtokové soustavy. V případě dílu, který se naplňuje z více míst lze použít kaskádovité vstřikování. Jedná se o systém horkých trysek s pneumaticky nebo hydraulicky ovládanými jehlami, který umožňuje řídit vstřikování z jednotlivých trysek nezávisle na sobě. [15]



Obr. 13 Dieselefekt vlivem nedostatečného odvzdušnění formy [29]

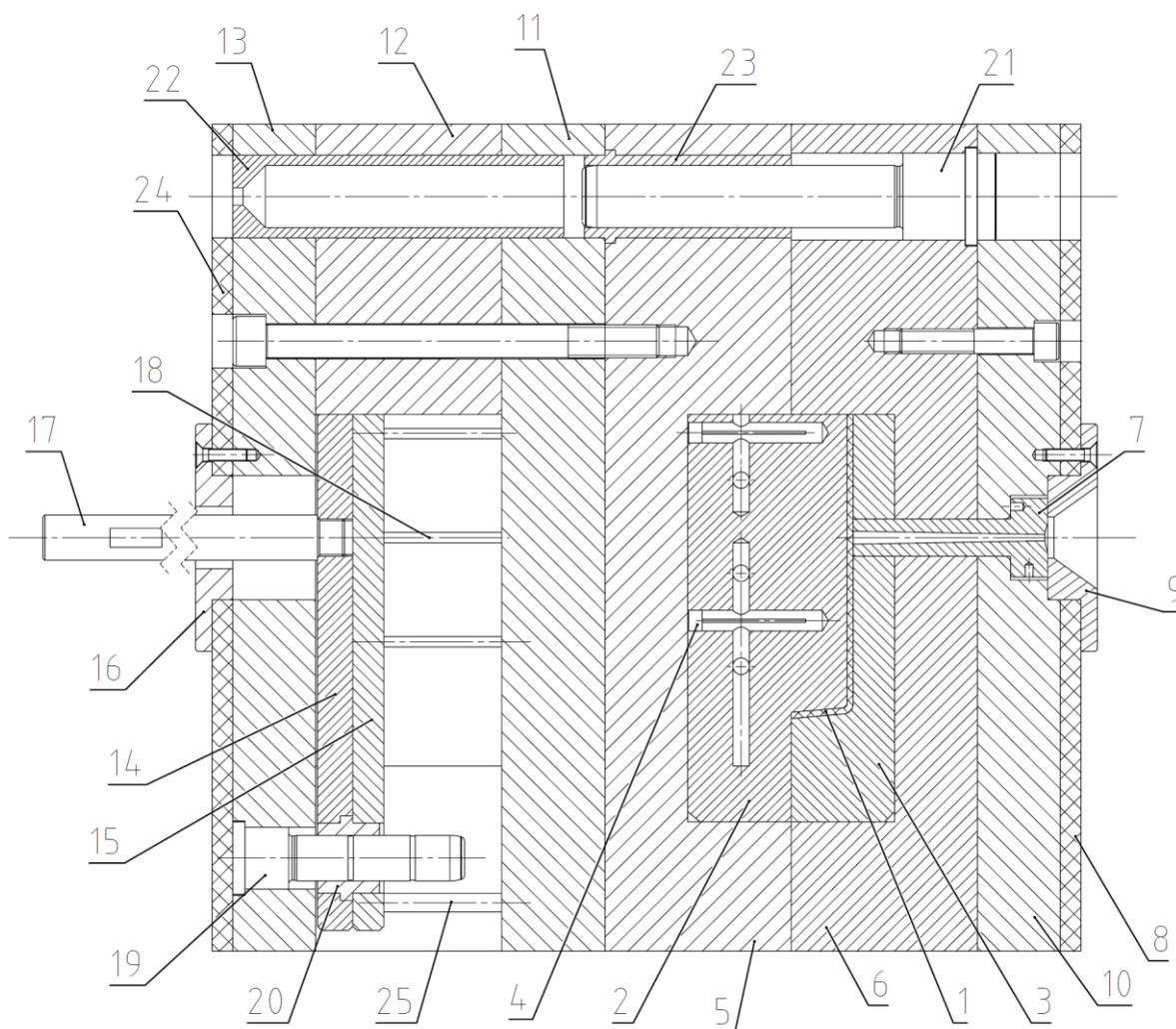
Dieselefekt se objevuje v místech, která nejsou dostatečně odvzdušněna. Při vstřikování dochází k nahromadění neuniklého vzduchu, který se dále komprimuje. Stlačený vzduch se ohřívá, čímž dochází k lokální degradaci a spálení materiálu. Na díle se vada projevuje jako hnědá stopa a materiál se v tomto místě může lehce drodit. Pro vyvarování se tomuto jevu je potřeba ve formě vytvořit dobrý systém odvzdušnění. Důraz by měl být kladen na správnou a pravidelnou údržbu nástroje, a to především na čištění odvzdušňovacího systému. Problémy se špatným odvzdušením mají velmi často nové formy, které mají dobře slícované

dělicí roviny a tvarové prvky. V průběhu života formy dojde k opotřebení těchto částí, což paradoxně vede ke zlepšení odvzdušnění.

Volný proud taveniny (jetting) vzniká v důsledku špatně navrženého vtokového ústí. Proud taveniny volně postupuje středem tvarové dutiny a zastaví se u protilehlé stěny nebo při dosažení nějaké překážky. Potom teprve následuje zaplnění celé tvarové dutiny. Prvotní proud taveniny se na povrchu ochladí, a tím vznikne viditelná stopa po volném proudu jako vzhledový defekt (jedná se o sekundární studený spoj). Náprava této vady je velice obtížná a zpravidla vyžaduje přemístění vtokového ústí. Vhodné místo vtokového ústí je tam, kdy proud taveniny narazí do stěny ihned po vstupu do tvarové dutiny. Není-li z konstrukčního důvodu přesun vtokového ústí možný, je nutno vytvořit proti ústí umělou překážku, o kterou se volný tok taveniny rozbije (například vložit před vtok jádro). [15]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je komplexní systém skládající se z mnoha dílů. Její primární funkcí je dopravit polymer ve stavu taveniny do tvarové dutiny a efektivní odvod přivedeného tepla, dále musí forma zajistit bezpečné a rychlé vyhození dílu. Při tom musí odolávat velkým silám, které mohou formu otevřít nebo jí v horších případech i poškodit.



Obr. 14 Řez dvou deskovou formou se studeným kuželovým vtokem

- 1 – výstřík; 2 – tvárník; 3 – tvárnice; 4 – přepážka chlazení; 5,6 – tvarová deska; 7 – vtoková vložka; 8,24 – izolační deska; 9,16 – středící kroužek; 10,13 – upínací deska; 11 – opěrná deska; 12 – rozpěrná deska; 14 – vyhazovací deska opěrná; 15 – vyhazovací deska kotevní; 17 – táhlo desek vyhazovače; 18 – válcový vyhazovač; 19 – vodící čep vyhazovací desky; 20 – vodící pouzdro vyhazovacího paketu; 21 – vodící čep tvarové desky; 22 – středící pouzdro; 23 – vodící pouzdro; 25 – vraccí kolík

Všechny formy jsou rozdělené hlavní dělicí rovinou na dvě části, pohyblivou a pevnou polovinu. Pohyblivá polovina se na konci cyklu pohybuje se strojem směrem od trysky a její hlavní funkcí je vyhodit výrobek, proto je někdy nazývána vyhazovací stranou. Pevná polovina formy (též vstřikovací strana) je propojená se vstřikovací jednotkou stroje a v rámci cyklu se nepohybuje. Jejím úkolem je bezpečně distribuovat taveninu do dělicí roviny formy.

Existuje velké množství variant vstřikovacích forem. Formy mohou být dvou a tří deskové (podle počtu desek, které přijdou do styku s taveninou), jedno nebo více kavitové, s horkým nebo studeným vtokovým systémem, jedno nebo více komponentní (dle počtu typů vstřikovaných polymerů) atd.

Jak již bylo zmíněno, vstřikovací forma se skládá z velkého počtu komponentů. Z důvodu úspory peněz a času je snaha při návrhu použít co největší počet normálií od renomovaných dodavatelů. V současné době lze vybírat z velkého počtu firem, které tyto normálie nabízejí (Hasco, Meusburger, DME a mnoho dalších). Mezi nejčastěji nakupované díly patří desky a rámy, vyhazovače, kluzná pouzdra, vodící prvky (např. čepy, lišty čelistí), vtokové vložky, centrovací prvky (zámky, příruby), vložky ústí (např. vložka banánového ústí), prvky chlazení (zátky, trubky, přepážky) atd. Výrobci normálií také dodají na objednávku vtokové trysky nebo dokonce celé systémy horkých vtoků.

Samotná výroba je pak soustředěna především na výrobu tvarových vložek, popřípadě jiných tvarových prvků (čelisti, šikmé a tvarové vyhazovače atd.). Na výrobu forem používáme konvenční i nekonvenční technologie obrábění. Mezi konvenční technologie výroby forem patří frézování, soustružení, vrtání a broušení, mezi ty nekonvenční pak EDM a WEDM obrábění a svařování laserem. Z důvodu kladení vysokých nároků na životnost formy (požadovaná garantovaná životnost forem je často až jeden milion zdvihů) jsou tvarové části kaleny na tvrdost 57 HRC.

Některé základní požadavky kladené na konstrukci forem jsou ve vzájemném rozporu. Na příklad lepšího odvodu tepla z dutiny vstřikovací formy může být dosaženo použitím velkého počtu chladících kanálů. Ovšem odformování vstřikovaného dílu může vyžadovat přítomnost většího množství vyhazovačů v oblastech, kde by bylo z hlediska odvodu tepla vhodné umístit kanály chladicího systému vstřikovací formy. Výsledný návrh konstrukce musí být tedy nejlepším možným kompromisem. Kvalita formy a finálního výrobku je pak velmi ovlivněna zkušenostmi konstruktéra formy. [2]

3.1 Vtokové soustavy

Vtokové systémy spojují trysku vstřikovacího stroje s dutinou formy. Dobře navržený vtokový systém musí zajistit rovnoměrné naplnění dutiny formy, snadné odtržení, nebo oddělení od výstřiku a v neposlední řadě nenáročné vyhození vtokového zbytku. Při vstřikování termoplastů má umístění a typ vtoku významný vliv na deformaci a tvar výrobku. Poloha vtoku, respektive vtokového ústí určuje orientaci plniva a makromolekul, místa studených spojů a celkové naplnění dutiny. Vtokové ústí se zpravidla volí do nejtlustšího místa výrobku. Důvodem je efektivní využití dotlakové fáze. [16]

Základní rozdělení vtokových systémů je na *horké* a *studené* vtokové soustavy. V praxi se často využívá kombinace těchto systémů, kdy je například ve formě přítomná horká tryska, která ale ústí do studeného rozvodného kanálu.

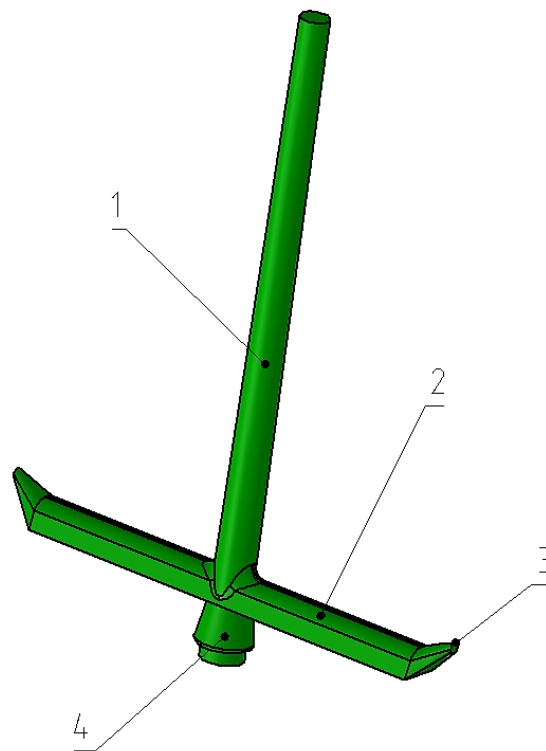
3.1.1 Studené vtokové soustavy

Studené vtokové soustavy nemají ve formě vyhřívanou trysku. Tavenina, která opouští dýzu stroje, se dostává do nevyhřívané vtokové vložky a rozváděcích kanálků, kde začíná okamžitě tuhnout. Nevýhodou studených vtokových systémů je množství materiálu, které se spotřebuje na vyplnění vtokové soustavy. Tento zbytkový materiál, respektive vtokový zbytek je pak bez užitku vyhozen. Za jistých okolností je možné část tohoto materiálů rozemlít a vrátit zpět ve formě regranulátu do násypky stroje. Naopak výhodou těchto systémů je jejich relativně příznivá cena oproti horkým vtokovým systémům. Studený vtokový systém se skládá z *vtokového kužele*, *rozdávěcího kanálu*, *vtokového ústí* a *přidržovače vtoku*.

Průřezy rozváděcích kanálů jsou nejčastěji kruhové (kanál je rozdělený dělicí rovinou) nebo lichoběžníkové (kanál se nachází v pevné polovině formy). Jejich velikost závisí na délce toku taveniny, tekutosti plastu, tloušťce a hmotnosti vstřikovaného výrobku. [16]

Existuje několik nejpoužívanějších typů vtokových ústí:

- tunelové
- filmové
- kuželové
- banánové
- talířové
- deštníkové



Obr. 15 Vtokový zbytek

1 – vtokový kužel; 2 – rozváděcí kanál; 3 – tunelové vtokové ústí; 4 – přidržovač vtoku

Ve formách se nejvíce objevuje ústí tunelové. Mezi jeho největší přednost patří automatické oddělování při vyhození výstřiku a nahrazuje tak tři deskové řešení formy. Nevýhodou může být poměrně náročná výroba elektroerozivním hloubením. Dalším významným typem je banánové vtokové ústí. Tento druh ústí umožňuje plnění dutiny formy ze strany, která je protilehlá ke straně, z níž probíhá plnění. Díky tomu může být jedna strana výrobku zcela bez pohledových vad (zbytků vtokového ústí nebo otisků po vyhazovačích). Výrobkem, kde se používá plnění pomocí banánového vtokového ústí je například víčko tankovací nádrže. Vzhledem k relativně náročné výrobě tohoto typu ústí, je vhodnějším řešením použití vložky banánového ústí, kterou lze koupit od dodavatelů normálií. Filmový vtok využíváme u plošných výrobků, které jsou vstřikovány z materiálů plněných skelnými vlákny. Použitím filmového vtoku docílíme dobrého naorientování vláken a makromolekul v jednom směru. Nevýhodou tohoto typu vtokových systémů je dodatečné oddělování vtokového zbytku od výstřiku.

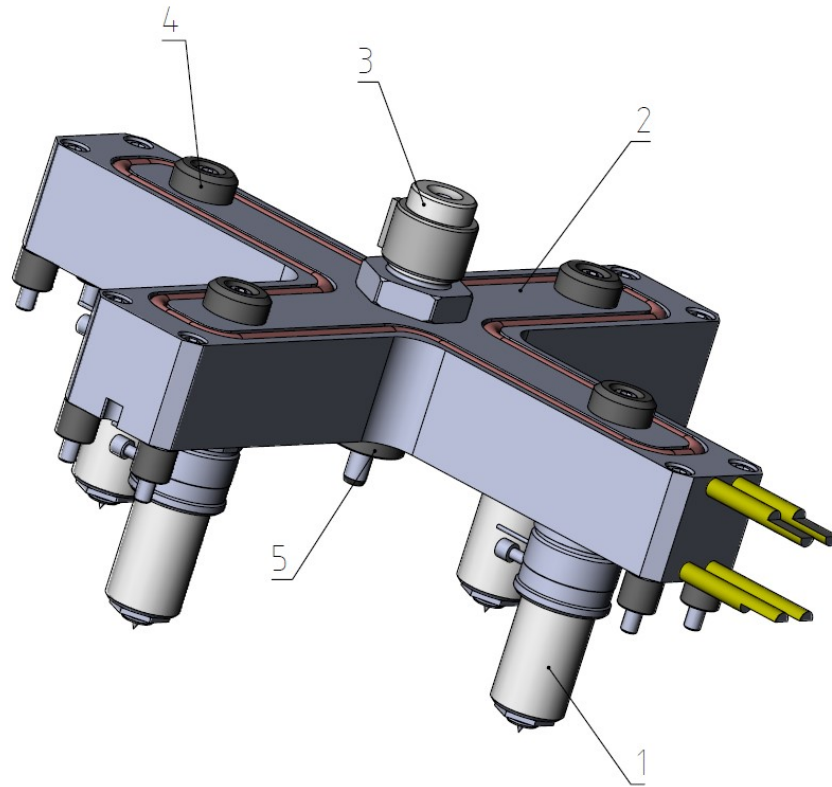
Důležitou součástí vtokového systému je přidržovač vtoku. Jeho funkce je dostat vtokový zbytek z pevné poloviny formy na pohyblivou, kde je poté společně s výrobkem vyhozen z formy vyhazovacím systémem. Jedná se vlastně o podkos, pod kterým se nachází válcový

vyhazovač. Velikost negativního úhlu přidržovače závisí na druhu vstřikovaného materiálu (největší negativní úhel budou mít výrobky z elastomerů).

3.1.2 Horké vtokové soustavy

Neustálá snaha po co největší automatizaci a mechanizaci vstřikovacích procesů, a navíc stále stoupající ceny plastů, donutily konstrukční kanceláře vyvíjet vstřikovací systémy s minimálními nároky na dodatečné opracování výstřiků a s minimálním vtokovým zbytkem. Výsledkem jejich snažení byl objev systému horkých trysek. Princip horkých vtokových soustav spočívá v udržení polymeru v roztaveném stavu v oblasti mezi dýzou vstřikovacího stroje a ústím vtoku po celou dobu vstřikovacího cyklu. Výsledkem je skutečnost, že není produkován žádný nebo minimální odpad v podobě vtokového systému, jak je tomu v případě dvou deskové vstřikovací formy. Jelikož horký rozvod taveniny umožňuje udržení polymeru v roztaveném stavu až k ústí vtoku, je možné pomocí něj vstřikovat díly s menší tloušťkou stěny. Mezi další výhody „bez zbytkových“ vtokových systémů patří kratší cyklus vstřikování, snadná výměna poškozeného vtokového systému a vlastní regulace teploty. Špičku trysky je možné umístit do jakékoliv části výrobku a pod jakýmkoliv úhlem. V případě vtokových systémů horkým systémem přímo do dílu je vhodné v místě jeho vyústění provést na výstřiku zahloubení, aby případný nepatrný vtokový zbytek (jedná se o zbytek o výšce řádově jednotek milimetrů v závislosti na druhu trysky) nevystupoval přes jeho úroveň. [17]

Na trhu jsou dostupné horké vtokové soustavy s uzavíratelným ústím vtoku. Tyto systémy umožňují dosahovat povrchu výstřiku v místě vtoku, jakého lze jinými systémy trysek dosáhnout jen velmi obtížně. Tato technika znamená zlepšení jakostní stopy po vtoku do té míry, že nijak nenarušuje vzhled výrobku. K uzavírání ústí se zpravidla používají jehly, které jsou vyrobeny z nástrojové oceli, kaleny na 54 HRC, a jsou vyrobeny s maximální vůlí ve vedení 0,015mm. Jehly jsou ovládány buďto pružinou nebo pákou. Při ovládání jehly pružinou se tavenina při vstřikování dostává pod jehlu, vlivem vstřikovacího tlaku se tato posune do zadní polohy a tím se otevře ústí vtoku. Při poklesu tlaku se jehla ústí vtoku uzavře. Pákové ovládání jehly je řízeno pneumatickým nebo hydraulickým válcem. Kaskádové neboli sekvenční vstřikování je založeno na řízeném otvírání jednotlivých ústí trysek pomocí jehel. Používá se u rozměrných výrobků, kde vstřikujeme do více míst a naším cílem je minimalizovat počet studených spojů. [2,16,17]



Obr. 16 Systém horkých trysek s vyhříváním trámcem

1 – horká tryška; 2 – vyhříváný trámec; 3 – vtoková vložka; 4 – dotlačovací podložka;
5 – středící kroužek

3.2 Chlazení forem

Významným faktorem ovlivňující kvalitu dílu, smrštění a deformaci, je teplota formy respektive podmínky teploty formy. Teplota formy probíhá prostřednictvím chladicího média (nejčastěji vody a oleje), které proudí v chladicích kanálech. Chladicí kanály jsou do rámu a vložek forem vrtány. Obecně platí, že je lépe volit větší množství kanálu s menším průměrem nežli méně kanálu o větším průměru.

Chlazení tvárníku je povětšinou realizováno pomocí *přepážek*, *spirál* a *fontánek*. Přepážka chlazení pění vedlejší kanál, který je kolmo orientovaný na hlavní kanál. Chladicí médium poté může odvádět teplo z okolí vedlejšího kanálu. Nevýhodou přepážky je citlivost na přesné umístění tak, aby průřez vedlejšího temperačního kanálu rozdělila přesně na polovinu a bylo tak docíleno stejných podmínek toku chladicího média v obou částech vedlejšího kanálu. Přepážka je povětšinou nakupovaným dílem. Nejčastěji je spojena závitem s příslušnou vložkou vstřikovací formy. Spirála chlazení pracuje na stejném principu jako přepážka chlazení jenom s tím rozdílem, že plochou přepážku nahradíme spirálovou. Oproti systému

plochých přepážek lze dosáhnout rovnoměrnějšího, takřka homogenního teplotního pole v přilehlé temperované oblasti. Limitující je však průměr vedlejšího temperačního kanálu, který by neměl být menší než 6 mm. Fontánka je v podstatě opět určitým druhem přepážky, ovšem přepážku zde představuje malá trubička. Stejně jako přepážka a spirála chlazení je umístěna do vedlejšího kanálu. [2]

Alternativním způsobem chlazení je výroba příslušných kovových částí laserovým sintrováním. Tuto technologii můžeme vytvořit libovolný tvar chladícího systému (ne jak v případě konvenčního vrtání chladících kanálů).

3.2.1 Chlazení beryliovou mědí AMPCOLOY

Mezi nekonvenční metodu chlazení je možné zařadit chlazení pomocí vysoce vodivé beryliové mědi. Princip tohoto způsobu chlazení je jednoduchý. V částech formy, kde není možné chladit konvenčním způsobem pomocí vrtaných kanálů, je nástrojová ocel nahrazena touto slitinou. Teplo je poté odváděno z těchto míst mnohem rychleji než v případě částí z oceli. Nevýhodou je poměrně vysoká cena tohoto speciálního materiálu a menší tvrdost, která není srovnatelná s kalenou ocelí. Navíc vodivost tohoto materiálu klesá s růstem tvrdosti. Mezi renomované dodavatele těchto materiálu patří společnost AMPCO. V jejich katalogu je možné nalézt velké množství typů těchto slitin, které se liší svou vodivostí a tvrdostí. Jako příklad je možné uvést dvě slitiny, jednu s velkou vodivostí a malou tvrdostí, druhou naopak s vysokou tvrdostí a menší vodivostí. První zmíněnou slitinou je AMPCOLOY[®] 95, jejíž součinitel tepelné vodivosti je roven 225 W/mK a její udávaná tvrdost je 24 HRC. Slitina z opačné strany spektra – AMPCOLOY[®] 83, je slitina s tvrdostí 43 HRC a s hodnotou součinitele tepelné vodivosti 125 W/mK. Jenom pro představu součinitel tepelné vodivosti nástrojové oceli 1.2344 je 29,3 W/mK, což je více než sedmkrát méně než u slitiny AMPCOLOY[®] 95. Vlastností slitin beryliové mědi a bronzů se využívá mimo výroby nástrojů pro zpracování plastů, též v námořnickém, leteckém a petrochemickém průmyslu. [18]

3.3 Odvzdušnění forem

Dobré odvzdušnění formy je základní předpoklad kvalitního výrobku. Při vstřikování je vzduch ve formě taveninou tlačěn do posledních míst natékání. Pokud poslední místo plnění není odvzdušněno, může dojít k uzavření vzduchu v dutině, což může mít za následek vznik

spálenin (důsledek přehřátí vzduchu vlivem jeho extrémního stlačení). V některých případech je uzavřený vzduch příčinou nedostříknutého dílce (tlak stlačeného vzduchu nedovolí zaplnit místo taveninou). Paradoxně nové formy mají větší problémy s odvzdušněním nežli formy zaběhlé. Důvodem je, že nové formy mají dobře slícované plochy. Ty se však časem opotřebují a umožní tak vzduchu z formy lépe unikat. Místa uzavírání vzduch ve formě jsou určena umístěním vtokového ústí. Zjistit, ve kterých místech se vzduch bude uzavírat lze pomocí simulačních programu tečení plastů nebo přímo na stroji analýzou plnění (záměrnou volbou kratších časů vstřikování a sledováním způsobu plnění dílce).

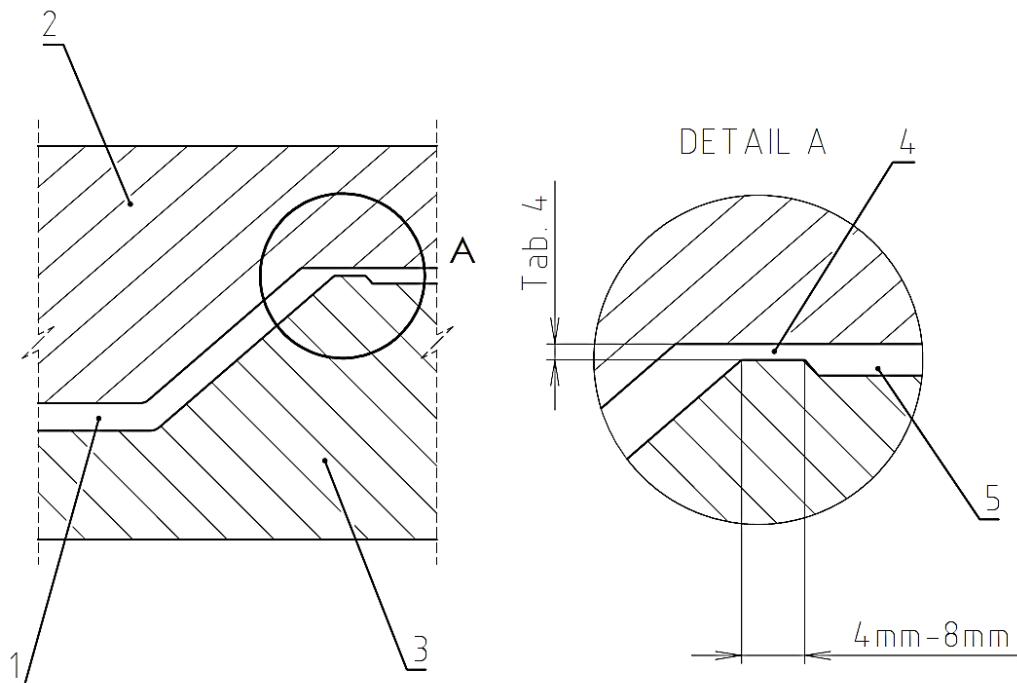
Nejjednodušší možností odvodu vzduchu z dutiny formy je umístění odvzdušňovacích kanálů do dělicí roviny (Obr. 17). Tyto jsou jednoduše vyrobitelné a představují přímou cestu pro taveninou vytlačovaný vzduch. V Tab. 4 je možné nalézt obecná doporučení pro návrh odvzdušnění umístěného v dělicí rovině vybraných polymerních materiálů (šířka odvzdušňovacího kanálu). Pravidelná údržba formy je základ správné funkce odvzdušnění přes dělicí rovinu.

Tab. 4 Šířka odvzdušňovacích kanálů dle materiálu [2]

Typ plastu	Šířka odvzdušňovacího kanálu [mm]
POM	max. 0,05
PC	max. 0,05
ABS	max. 0,05
PS	max. 0,05
PA	0,02-0,03
PBT	max. 0,03
PA + skelná vlákna	0,05
strukturní pěny	max. 0,10

V místech, kde není možné odvzdušňovat v dělicí rovině, může být další vhodnou alternativou odvzdušnění přes válcové vyhazovače. Tento způsob spočívá v mírné úpravě tvaru vyhazovače, a to jeho zploštěním na protilehlých stranách. Není-li odvzdušnění pomocí vyhazovačů dostatečné, je možné použít lamelární odvzdušnění. Oblast tvárníku (tvárnice), kde dochází k uzavírání vzduchu je odebrána a nahrazena vložkou, která je složena z několika lamel. Vzduch poté uniká vůlí mezi lamelami a dále odvzdušňovacím (vyvrtaným) kanálem pryč z formy. Tímto systémem není možné odvzdušnit všechna místa ve formě. Pověštinou

není možné lamely tvarovat do složitých tvarů, proto se tímto systémem nejčastěji od-
vzdušňují rovinná, málo tvarovaná místa ve formě. Tento typ odvzdušnění vyžaduje častou
údržbu. V případě, že se lamely zanesou, přestane odvzdušnění plnit svou funkci.



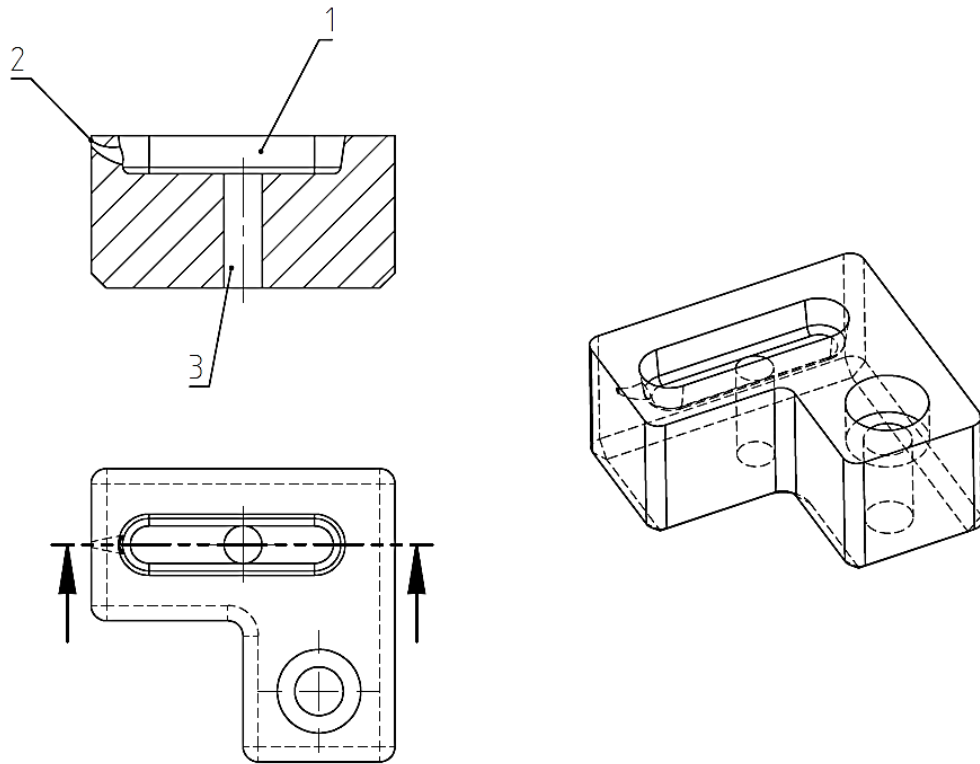
Obr. 17 Konstrukce odvzdušňovacího kanálu v dělicí rovině.

1 – dutina formy; 2 – tvárník; 3 – tvárnice; 4 – odvzdušňovací kanál; 5 – odváděcí kanál

Další metoda odvzdušnění dutiny formy je pomocí přetokové kapsy. Princip této metody je založen na záměrném vytvoření přetoku s uzavřeným vzduchem. Přetok je poté automaticky oddělen od výstřiku při vyhození dílu z formy. Kapsa musí být umístěna v posledním místě plnění. Její konstrukce je podobná tunelovému vtokovému ústí (Obr. 18), což umožňuje odtržení přetoku bez následných víceprací. Rozdíl mezi vtokovým a přetokovým ústím je především v jeho průměru, které se u přetoku pohybuje v rozmezí od 0,3 až do 0,4 mm („stopa“ po přetoku na dílci je potom minimální). Při vyhazování je přetok vyhozen z formy vyhazovačem nacházejícím se pod kapsou.

Mezi nekonvenční způsoby odvzdušnění forem patří odvzdušnění pomocí vývěvy. Nejznámější firmou nabízející odvzdušňování forem pomocí této metody patří firma Cumsa. Krom samotné jednotky vytvářející podtlak, nabízí firma i vytvoření celého systému odvzdušnění, a to jak u forem nových, které jsou teprve ve stadiu návrhu, tak u forem již vyrobených. Vývěva vytváří podtlak v dutině prostřednictvím vůlí ve vedení vyhazovačů nebo pomocí

vzduchového ventilu. Samotné vytváření vakua pomocí těchto jednotek pak funguje na principu aerodynamického paradoxu. S výhodou se těchto systému využívá všude tam, kde design dílce, špatná zatékavost použitého materiálu a aplikace běžných způsobů odvzdušnění neumožňuje úplné zaplnění dutiny při vstřikování.



Obr. 18 Přetoková kapsa

1 – kapsa přetoku; 2 – přetokové ústí; 3 – vedení vyhazovače

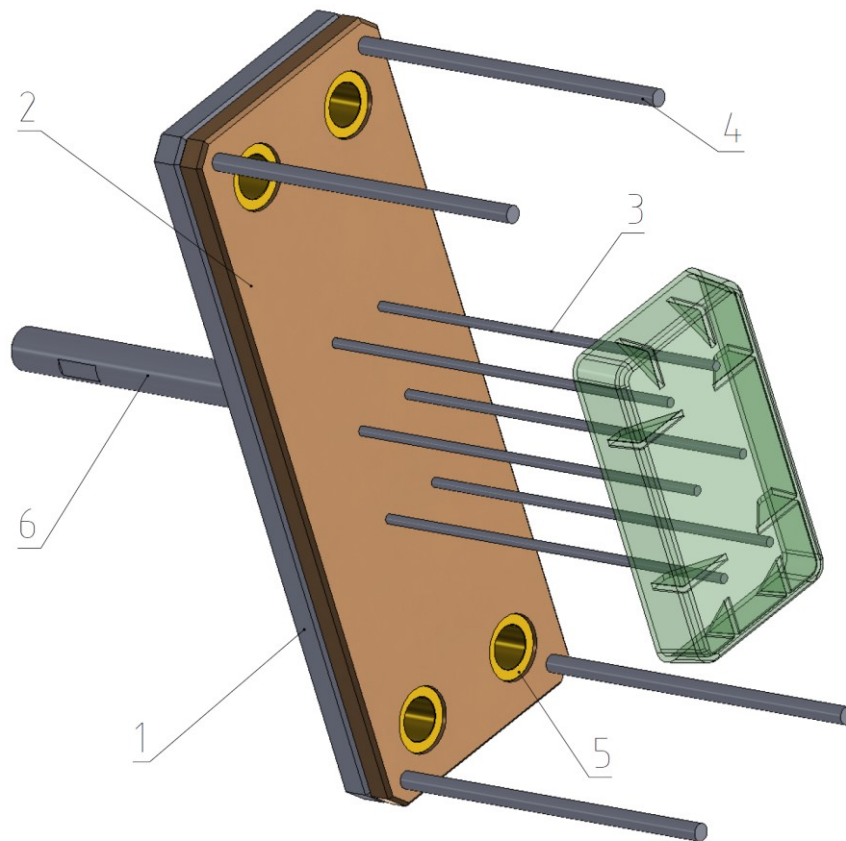
3.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém vstřikovací formy je zodpovědný za bezproblémové vyhození vstřikovaného dílu z dutiny poté, co je vstřikovací forma otevřena. Komplexnost vyhazovacího systému se může výrazně lišit podle požadavků konkrétní procesní aplikace. Musí být vyřešena řada bodů tak, aby fungoval nejen vyhazovací systém ale i vstřikovací forma jako taková. Mezi tyto body patří [2]:

- Osy směrů pohybů vyhazovacího systému.
- Rozložení vyhazovačů na vstřikovaném dílu.
- Síla na vyhazování.

Vyhazovací paket je součástí pohyblivé poloviny formy, a proto je nezbytné zajistit, aby výstřik a vtokový zbytek zůstal při otvírání formy na této polovině formy. Nejednoduší způsob, jak zaručit tuto nutnou podmínku, je využít jevu smrštění materiálu. Materiál se vždy smršťuje na tvárník, a proto je ten obvykle umístěn na pohyblivou polovinu. K udržení studeného vtokového zbytku na vyhazovací straně formy je využíváno přidržovačů vtoků. Běžný vyhazovací systém se skládá z těchto součástí:

- Vyhazovače
- Kotevní deska vyhazovače
- Přidržovací deska vyhazovače
- Vraccí kolíky
- Vodící pouzdra
- Táhlo desek vyhazovače



Obr. 19 Vyhazovací systém vstřikovací formy

- 1 – přidržovací deska; 2 – kotevní deska; 3 – válcový vyhazovač; 4 – vraccí kolík
5 – vodící pouzdro; 6 – táhlo desky vyhazovače

Před dimenzováním jednotlivých dílů vyhazovačů je nutné stanovit základní princip vyjímání vstřikovaných dílů z formy. Na obr. 19 je uveden základní příklad řešení vyhazovacího mechanismu pro vstřikovaný díl. Jsou zde použity válcové vyhazovače ústící do vnitřní plochy vstřikovaného dílu. Tyto vyhazovače jsou umístěny mezi kotevní a přidržovací vyhazovací desku a tento celek je pak spojen táhlem k vyhazovacímu (obvykle hydraulickému) mechanismu vstřikovacího stroje. [2]

Nejběžnějšími způsoby vyhození výrobku ze vstřikovací formy je pomocí vyhazovačů, popřípadě stírací desky. Existuje několik základních druhů vyhazovačů:

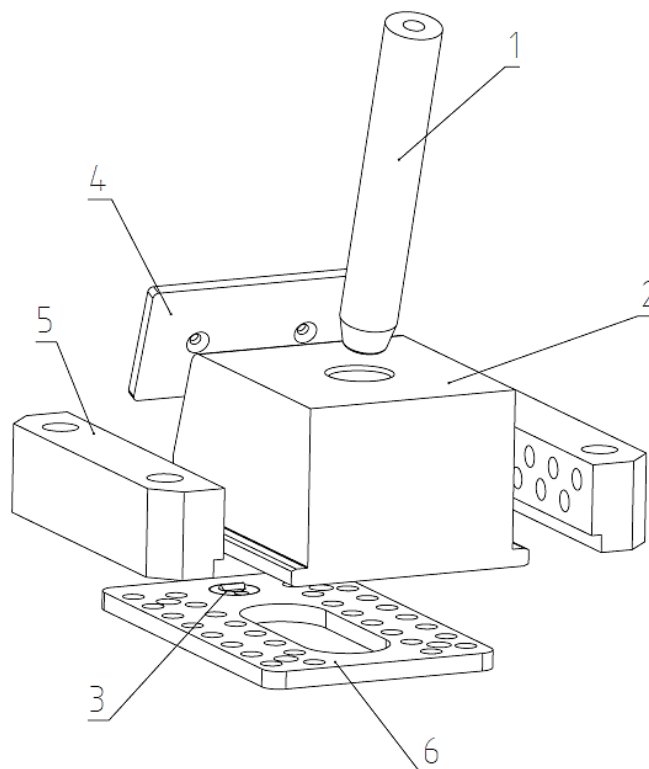
- Válcové
- Trubkové
- Prizmatické
- Tvarové
- Šikmé

Univerzální válcové vyhazovač se ve formách vyskytují nejčastěji. Vyhazovače trubkové se používají v případech, kdy je potřeba setřít výstřik z jádra, které složí k odformování například průchozí díry. Prizmatické vyhazovače mají obdélníkový průřez. Používá se v těch oblastech výrobku, kde by použití válcových vyhazovačů nebylo moc efektivní. Například je-li stěna výrobku kolmá ke hlavnímu pohybu formy. Několik milimetrů tenká stěna bude lépe vyhozena vyhazovačem obdélníkového průřezu o délce strany odpovídající tloušťce stěny výstřiku nežli válcovým vyhazovačem malého průměru. Tvarové vyhazovače jsou negativem oblasti, kterou mají za úkol vyhodit. Šikmý vyhazovač má dvě funkce. Musí výrobek vyhodit a zároveň odformovat podkos (více o tomto typu vyhazovače v následující kapitole). V některých případech je vyhazování pomocí vyhazovačů neúčinné nebo by mohlo dojít k poškození výrobku (například vstřikované pryžové výrobky). V těchto případech je nejvhodnějším řešením stírací deska.

3.5 Odformování podkosů

Při návrhu formy je snaha odformovat co největší část výrobku v dělicí rovině. Zbylé podkosy (negativní úkosy) je možné odformovat pomocí pohyblivých šoupátek (čelistí) nebo šikmých vyhazovačů. Existují i jiné způsoby odformování podkosů, například pro vnitřní závity se používají vytáčecí mechanismy, k odformování se dá i využít pohybu třetí desky u třídeskových forem.

Pohyblivá šoupátka neboli čelisti můžeme rozdělit na čelisti ovládané šikmými kolíky (mechanicky) nebo čelisti ovládané hydraulikou. Čelisti ovládané šikmým kolíkem jsou závislé na úhlu nastavení kolíku, úhlu dráhy čelisti a délce šikmého kolíku. Při uzavírání formy je pohyblivé šoupátko prostřednictvím šikmého kolíku nuceno konat přímočarý pohyb směrem k tvarové vložce. Naopak při otvírání formy koná čelist pohyb zpět. Kolíky jsou zatěžovány zvýšeným cyklickým ohybovým namáháním a vlivem toho jsou náchylné k poškození. Jsou vyrobeny z oceli ČSN 14 220, následně jsou cementovány a kaleny na hodnotu $60 \pm 2\text{HRC}$. Na obr. 20 jsou popsány základní prvky mechanismu. [21]



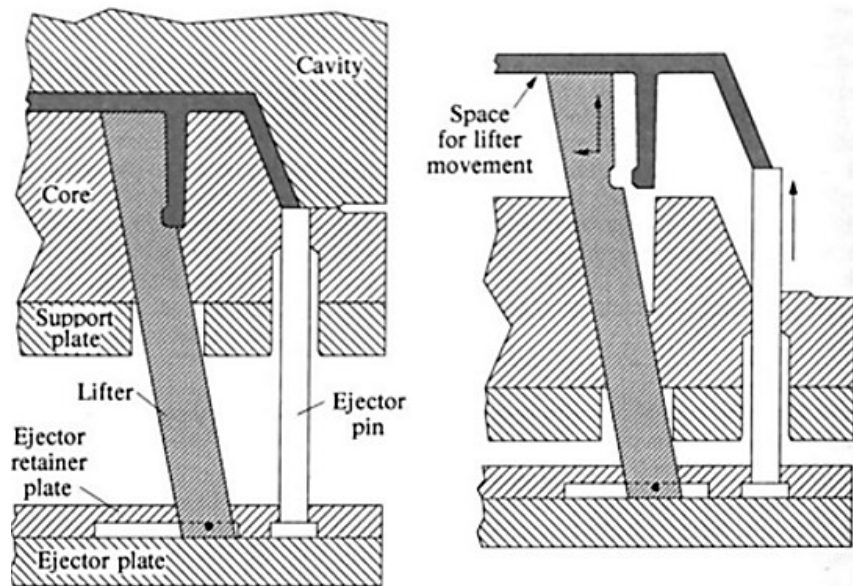
Obr. 20 Mechanická čelist

- 1 – šikmý kolík; 2 – tělo čelisti; 3 –zámek; 4 –tlaková podložka;
5; 6 – samomazné vodící elementy

Z důvodu montážních vůlí je čelist opatřena uzavíracím klínem, který zajišťuje jejich vymezení. Jeho úhel bývá o 2° větší než úhel vodícího kolíku. Vrtání pro kolík musí být o 1–2 mm větší než průměr kolíku a drsnost stěny by měla být 1,6 Ra nebo lepší. Běžné uložení vodících kolíků je pod úhlem $18^\circ - 20^\circ$ vůči rovině pevné upínací desky (málo používané úhly jsou $23^\circ - 25^\circ$). Důležitou úlohu má zámek, který zajišťuje čelist proti nechtěnému pohybu při otevřené formě. Mezi další nezbytné konstrukční součásti patří vodící elementy. Dnes již většina dodavatelů normálií nabízí samomazné vodící lišty (mosaz s grafitovými

segmenty). Nefunkční vodící plochy je nutné konstruovat s dostatečnou vůlí. Čelisti ovládané hydraulickým (popřípadě méně častým pneumatickým) válcem používáme v případech dlouhého chodu vyhazovače, potřeby pohybu čelisti nezávislého na pevné části, nebo velkých úhlů naklonění vůči základní rovině. [21]

Na obr. 21 je znázorněn princip odformování prostřednictvím šikmého vyhazovače. Takto se nejčastěji odformovávají podkosy, které se nacházejí pod dělicí rovinou na straně tvárníku. Typickým konstrukčním prvkem, který bývá odformován šikmými vyhazovači jsou klipy. Vyhazovač je uložen v pouzdru, ve kterém se pohybuje kolmo vůči hlavnímu pohybu formy. Pouzdro vyhazovače se nachází ve vyhazovacím paketu, kde je šrouby spojeno s opěrnou vyhazovací deskou.



Obr. 21 Princip šikmého vyhazovače (lifter) [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

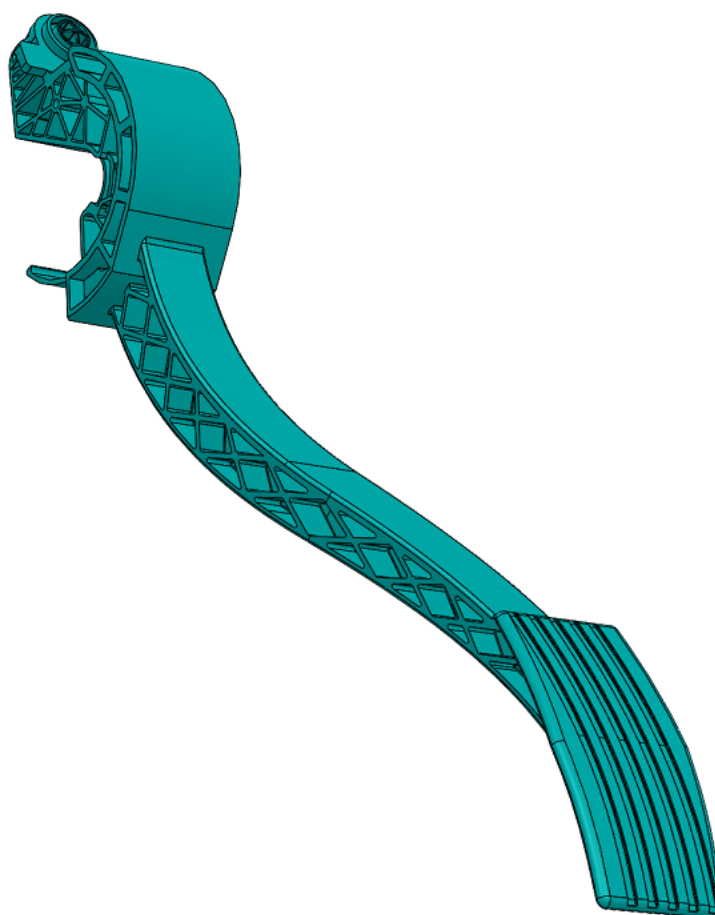
- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Vymodelovat zadaný plastový díl ve 3D.
- Vytvořit 3D model vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.

Tento díl bude podroben analýze vstřikování v programu Moldflow Insight. Budou testovány dvě umístění vstřikovacího bodu. Na základě výsledků analýzy, pak bude rozhodnuto, kde se bude vtokové ústí nacházet.

- Nakreslit 2D sestavu formy včetně kusovníku

5 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaným dílcem je plynový pedál osobního automobilu, který je možné nalézt v menších automobilech určených především do městského provozu. Tento výrobek spadá do kategorie technických výstřiků, u kterých je obecně nadřazená funkce nad vzhledem výrobku. Bude se předpokládat, že zákaznické odvolávky budou v objemech 100 tisíc kusů těchto dílů za rok po dobu 7 let (roční produkce automobilu ŠKODA Citigo je dle výroční zprávy firmy Škoda a.s. za rok 2015 cirká 50 tis. kusů).



Obr. 22: Model výrobku

5.1 Materiál výrobku

Používaným materiálem pro vstřikování pedálu zpravidla bývá polyamid 6 plněný krátkými skleněnými vlákny, a to především pro své výborné mechanické vlastnosti. Jako materiál výrobku je zvolen polyamid 6, který je plněn 30 % skelných vláken a je vyráběn společností BASF. Obchodní název tohoto materiálu je *Ultramid B3EG6*.

Vybrané charakteristiky materiálu [22]:

- Hustota pevné fáze 1,36 [g/cm³]
- Objemový index toku taveniny MVR 50 [cm³/10min]]
- Smrštění (ve směru toku) 0,3 %
- Modul pružnosti v tahu 9500 [MPa]
- Pevnost v tahu 185 [MPa]
- Modul pružnosti v ohybu 8600 [MPa]
- Pevnost v ohybu 270 [MPa]

Polyamidy patří mezi polymery, které přijímají vzdušnou vlhkost. Výše uvedené hodnoty odpovídají vysušenému stavu polymeru. Při navlhnutí polymeru dochází k poklesu meze pevnosti a modulu pružnosti, zvýšení houževnatosti a tažnosti a celkovému zvětšení výrobků. [1]

Doporučené procesní parametry vstřikování a sušení polymeru [22]:

- Teplota sušení 83 [°C]
- Čas sušení 2–4 [hod]
- Teplota taveniny 270–295 [°C]
- Teplota formy 80–95 [°C]

6 POUŽITÝ SOFTWARE

V praktické části byl použit CAD program Solidworks 2015, který sloužil k tvorbě 3D modelu pedálu a formy a všech potřebných výkresů. K zhotovení tokových analýz byl použit program Autodesk Moldflow Insight Synergy 2012.

6.1 SolidWorks 2015

SolidWorks je strojírenský CAD software pro platformu Microsoft Windows, který byl vyvinut společností SolidWorks Corporation. Tato společnost byla založena v roce 1993 Jonem Hirschtickem. Svůj první produkt, SolidWorks 95, vydala v roce 1995. V roce 1997 byla společnost zakoupena konkurenční firmou Dassault Systèmes (výrobce softwaru Catia). Ředitelem SolidWorks Corporation je Gian Paolo Bassi. [23]

V prémiové verzi programu SolidWorks je k dispozici modul *formy*, kde je možné jednoduše vytvářet dělicí roviny, analyzovat úkosy a používat množství jiných pokročilých funkcí sloužící pro snazší modelování forem. K balíčkům lze přikoupit i CAE program Solidworks Plastic. Tento program je používán na simulaci tečení polymerů.

6.2 Autodesk Moldflow Insight Synergy 2012

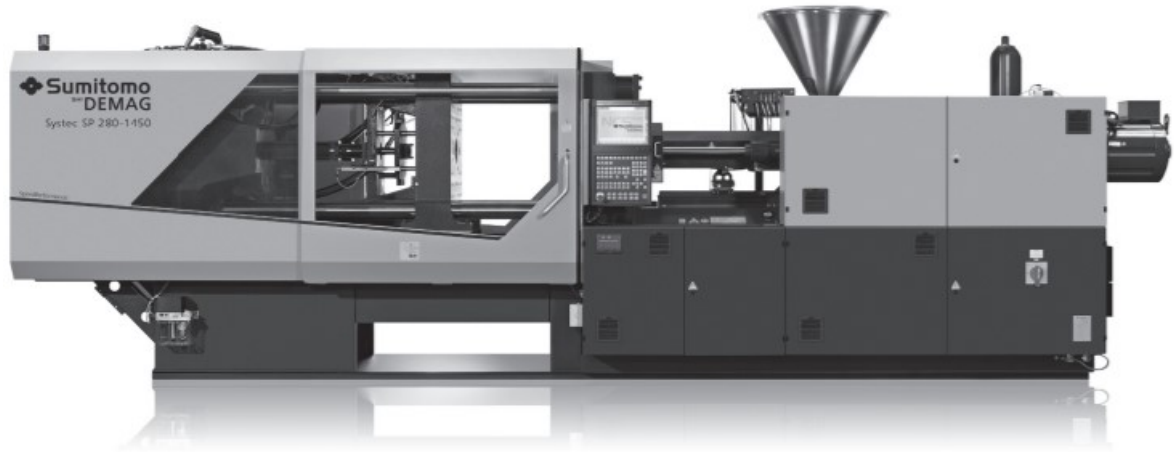
Autodesk Moldflow je simulační software poskytující nástroje, které pomáhají vyhodnotit a optimalizovat konstrukci plastových dílů a vstřikovacích forem. Pomáhá předcházet vzniku potencionálních vad za pomoci predikce chování taveniny uvnitř tvarové dutiny. Součástí software je také databáze s více než 8000 polymerních materiálů, charakteristických pro technologii vstřikování. [24]

6.3 Hasco 3D – modul normálií

Knihovna normálií od firmy Hasco nabízí 3D modely jednotlivých komponentů potřebných při konstruování vstřikovacích forem. Tato knihovna zrychluje a usnadňuje konstrukční práce. Firma Hasco poskytuje na svých webových stránkách online katalog normálií a desek rámu formy.

7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Forma bude navržena na vstříkovací stroj *Sumitomo Demag Syntec SP 210/580-600*.



Obr. 23 Vstříkovací stroj Sumitomo Demag [25]

Základní parametry stroje [25]:

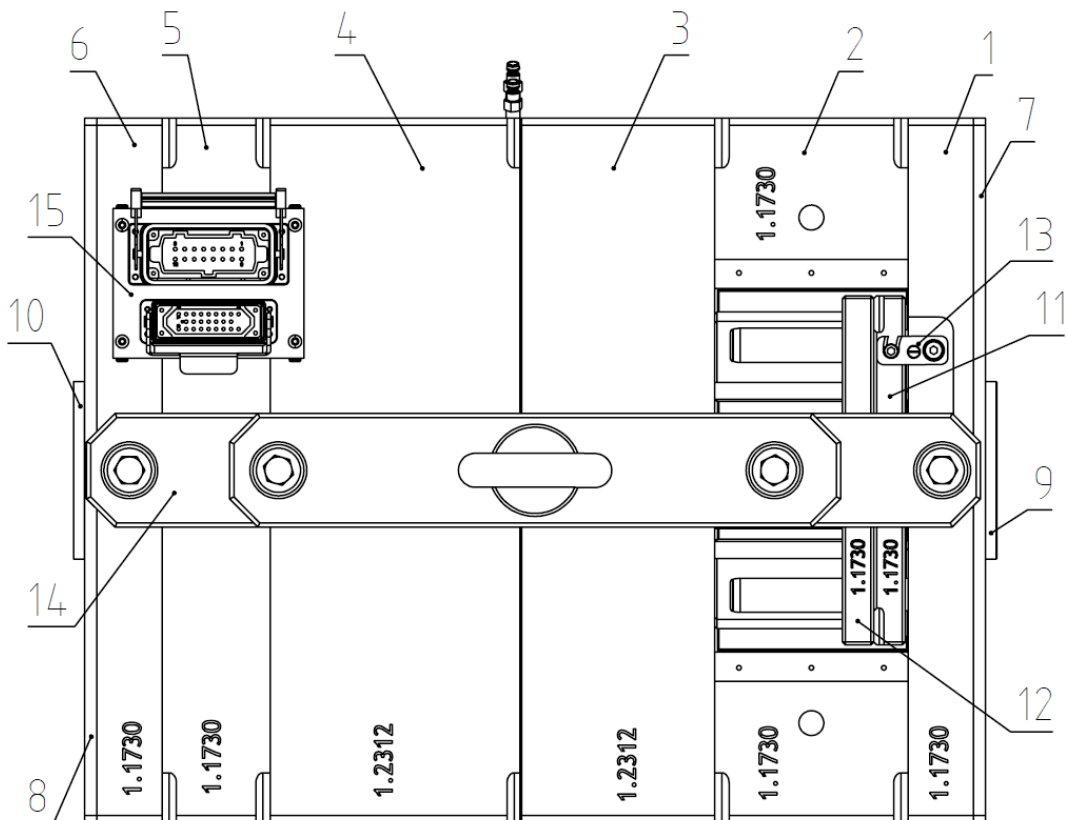
• Uzavírací síla	2100 [kN]
• Maximální výška formy	690 [mm]
• Minimální výška formy	340 [mm]
• Velikost upínacích desek	860x860 [mm]
• Rozměr mezi sloupky	580x580 [mm]
• Maximální hmotnost formy	3300 [kg]
• Průměr šneku	40 [mm]
• Průměr středícího kroužku	160 [mm]
• Poměr šneku L/D	20
• Maximální hmotnost dávky	232 [g]
• Zdvih šneku	203 [mm]
• Kapacita násypky	50 [l]

8 KONSTRUKCE FORMY

Výstřik má hmotnost 106 g a jeho nejdelší rozměr je 350 mm. Vzhledem k těmto parametřům a požadavku maximálního ročního množství 100 tisíc kusů, je zvolena jednonásobná forma s horkým vtokovým systémem s přímým vstřikováním do dílu. Varianta dvou kavitové formy byla zavrhnuta, a to z důvodu neúměrného zvětšení rozměrů formy. Vzhledem k předpokládanému objemu výroby by tato varianta neměla ani ekonomický význam.

8.1 Rám formy

Rám formy tvoří celek, který se skládá z desek, spojovacích prvků, vodících a středících částí. Uvnitř rámu se nacházejí funkční tvarové prvky.



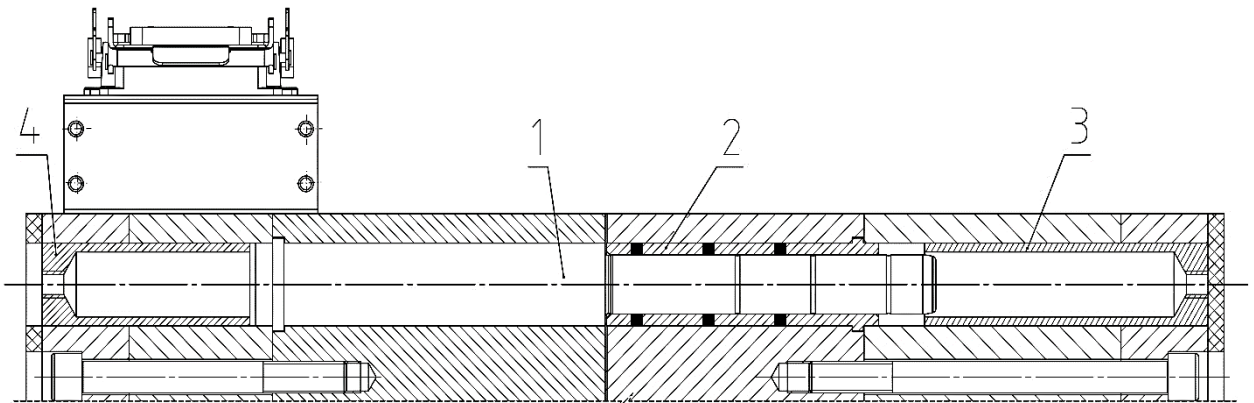
Obr. 24 Rám vstřikovací formy pro výstřik pedálu

1,6 – upínací desky; 2 – rozpěrky; 3,4 – tvarové desky; 5 – deska horkého rozvodu;
 7,8 – izolační desky; 9,10 – středící kroužky; 11 – opěrná deska vyhazovací; 12 – kotevní
 deska vyhazovací; 13 – jištění vyhazovacího paketu; 14 – transportní most; 15 – zásuvka
 horkého systému

Rám formy je složen z normálií firmy Hasco. Tvarové desky jsou vyrobeny z materiálu 1.2312 a zbylé z materiálu 1.1730 (vyjímá desek izolačních, které jsou z polyamidu).

Zabezpečení přesného ustavení pohyblivé části vůči nepohyblivé zajišťují středící zámky, které jsou ve formě instalovány čtyři a to po 90°. Vystředění vůči stroji je realizováno pomocí centrovacích kroužků, které jsou na pohyblivé i pevné polovině formy. Oba tyto centrovací kroužky mají průměr 160 mm.

Na obr. 25 je vidět vodící sloupek, který zajišťuje vedení pohyblivé poloviny formy při otevírání a zavírání na konci a začátku vstřikovacího cyklu. Vodící pouzdra pro tyto sloupky jsou z mosazi a obsahují grafitové elementy.



Obr. 25 Vedení pohyblivé poloviny

1 – vodící sloupek; 2 – vodící pouzdro (samomazné); 3,4 – středící pouzdra (trubky)

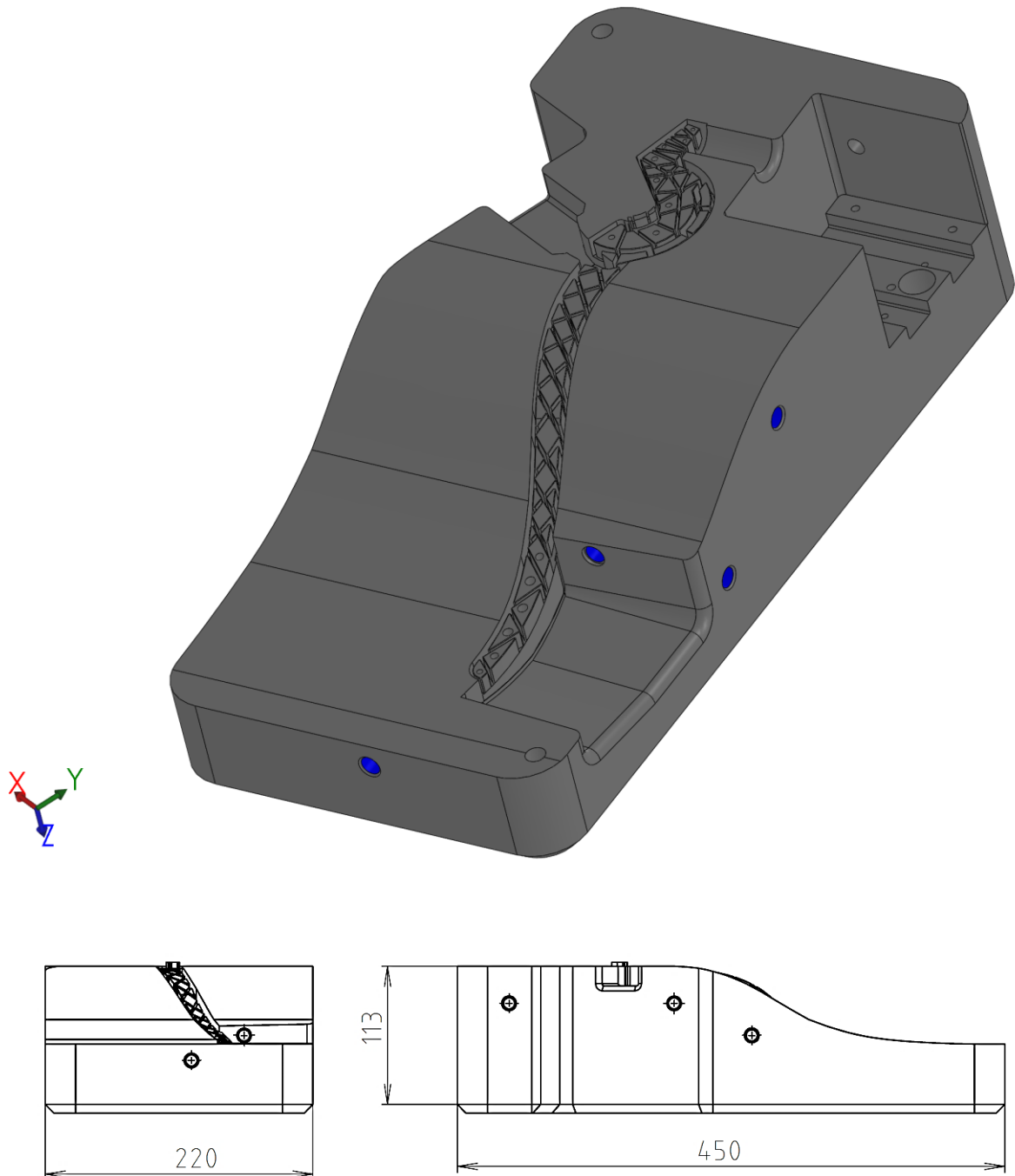
Ve formě je použito celkem osm středících pouzder (trubek). Z toho čtyři pouzdra jsou na pohyblivé polovině formy, kde umožňují vystředění děr v rozpěrných deskách vůči upínací desce a vodícímu sloupku. Zbylé čtyři pouzdra jsou na vstřikovací straně formy, kde spojují desku horkého rozvodu s upínací deskou.



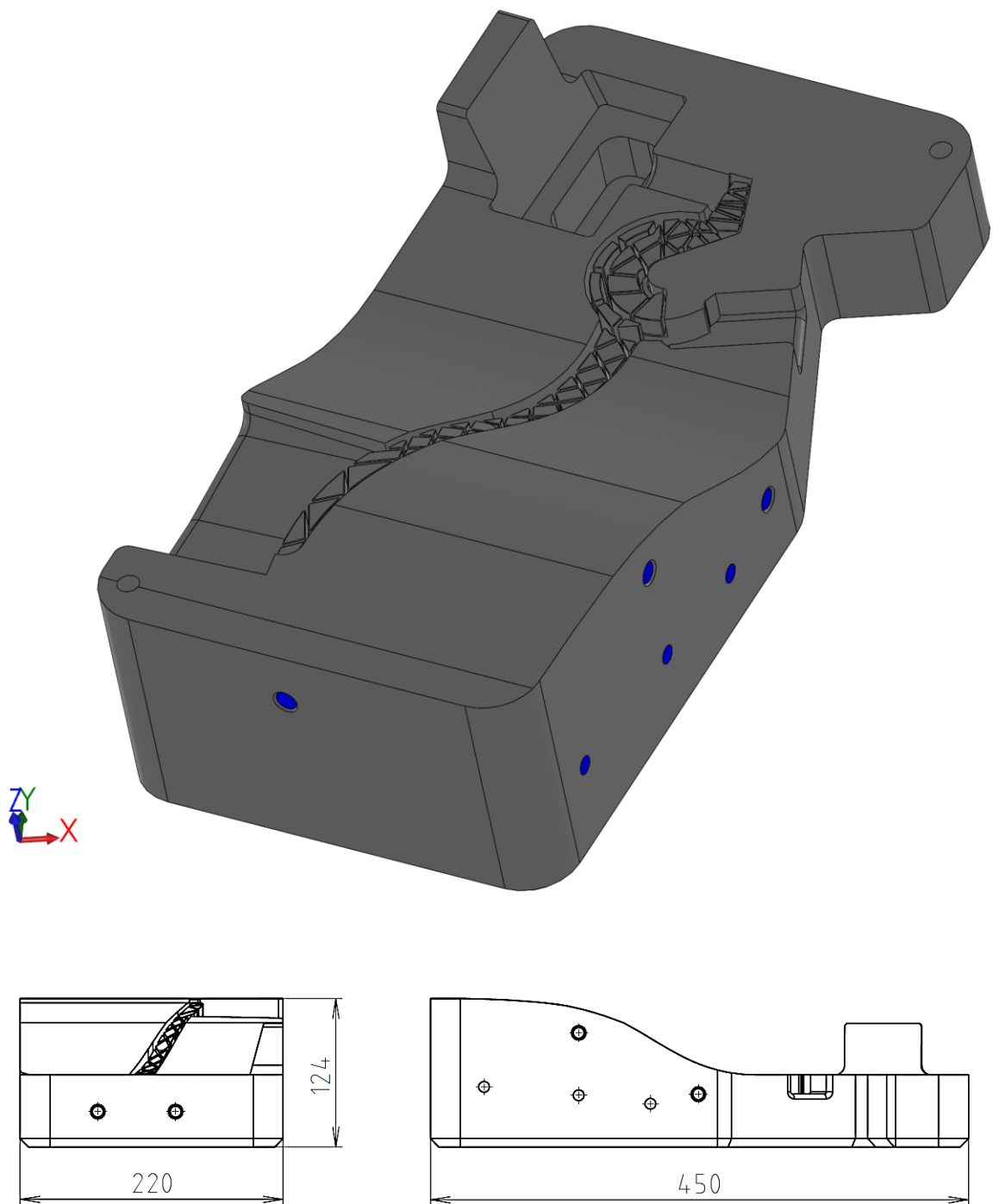
Obr. 26 Samomazné vodící pouzdro od firmy Hasco

8.2 Tvarové prvky

Dělicí rovina jde středem pedálu a rozděluje ho na dvě téměř stejné poloviny. Na obr. 27 a 28 jsou znázorněny tvarové vložky. Jsou vyrobeny z materiálu 1.2343 a kaleny na 57 HRC.

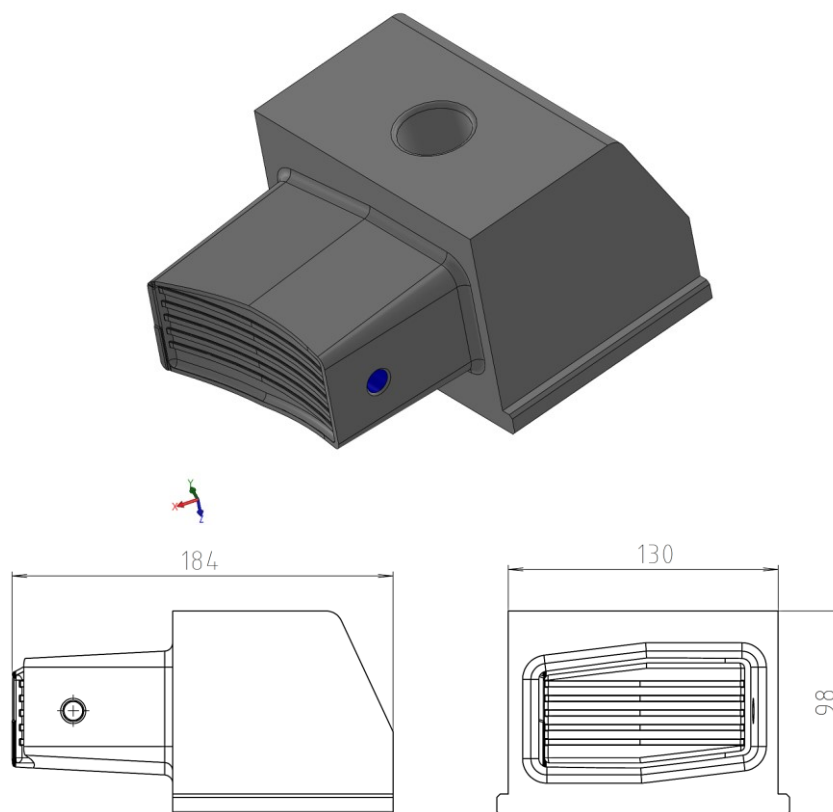


Obr. 27 Tvarová vložka vyhazovací strany

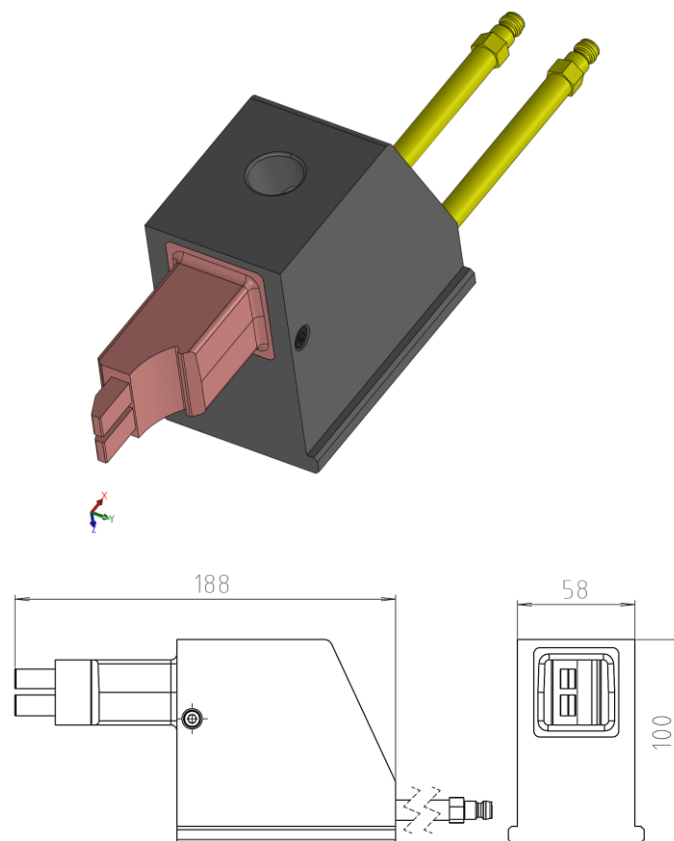


Obr. 28 Tvarová vložka vstřikovací strany

Odformování podkosů je realizováno třemi mechanickými čelistmi. Největší čelist odformovává šlapátko pedálu (obr. 29). Je vyrobena z materiálu 1.2343 a kalena na 57 HRC. V šoupátku jsou vyvrtány kanály chlazení o průměru 9 mm, které tvoří samostatný okruh chlazení.

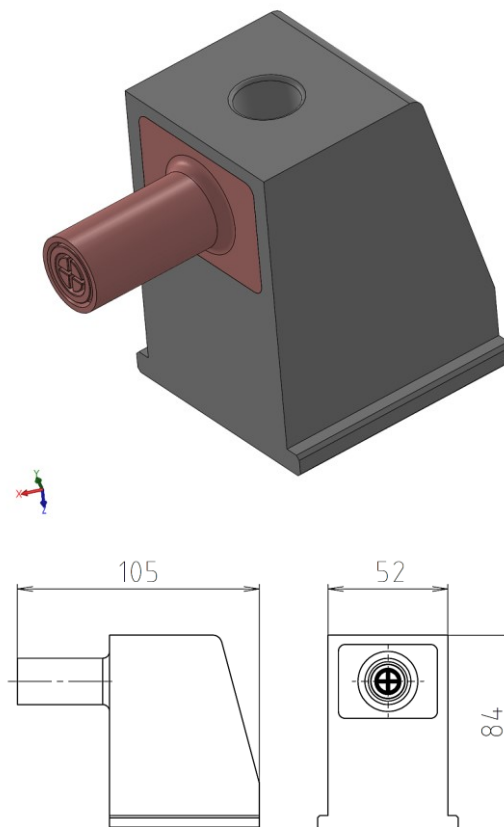


Obr. 29 Mechanická čelist šlapátka pedálu



Obr. 30 Mechanická čelist s AMPCO vložkou a s přepážkou chlazení

Zbylé dvě čelisti odformovávají podkosy v kloubu pedálu. Větší z obou čelistí (obr. 30) je chlazená samostatným okruhem. Chladící medium vstupuje do čelisti trubkou chlazení o průměru 8 mm. Dále pokračuje vyvrtaným kanálem o stejném průměru do vložky. Vložka čelisti odformovává tvar podkosu. Je v ní vyvrtán kanál o průměru 10 mm, který je rozdělen přepážkou chlazení. Pro lepší odvod tepla je vložka vyrobena z materiálu AMPCOLOY® 83 (viz podkapitola 3.2). Tělo čelisti je z materiálu 1.2343. Poslední mechanická čelist má opět vložku, která odformovává požadovaný tvar a dělí tak čelist na dvě části. Tělo ani vložka nejsou temperovány chladícím mediem napřímo. Odvod tepla z tvarové části je podpořen vodivou slitinou AMPCOLOY® 83, ze které je vložka vyrobena. Tělo čelisti je z materiálu 1.2343. V obou případech je vložka spojena s tělem šrouby s vnitřním šestihranem.



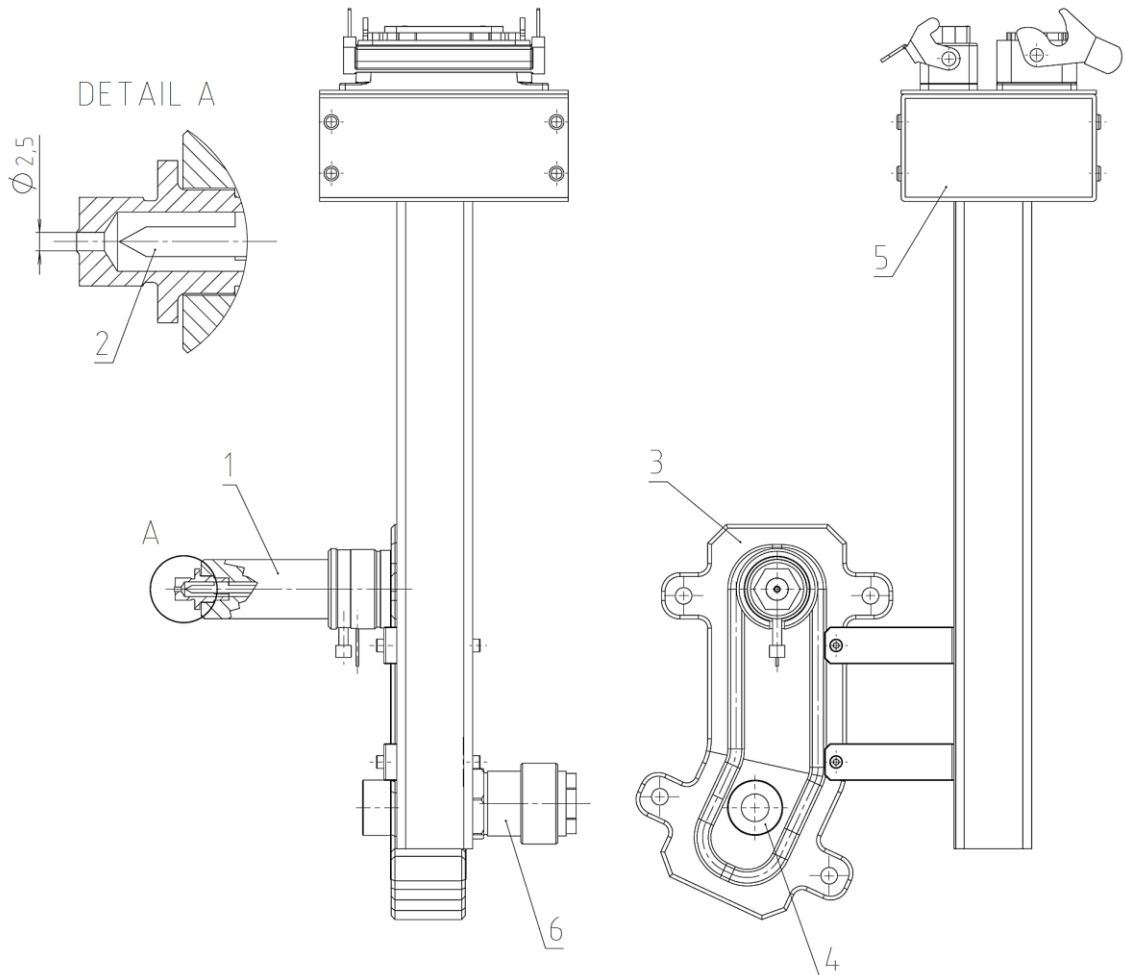
Obr. 31 Mechanická čelist s AMPCO vložkou bez chlazení

Čelisti se pohybují v samomazných lištách, které obsahují grafitové elementy.

8.3 Vtokový systém

Tavenina jde přes dýzu stroje do vtokové vložky a dále pokračuje vyhřívaným trámcem do horké trysky, která plní dutinu nástroje. Horká tryska je vybrána z katalogu francouzské

firmy *Rabourdin*. V trysce se nachází torpédo, které zajišťuje lepší přívod tepla k ústí (tímto se sníží pravděpodobnost tzv. „tahání vlasů“). Průměr tohoto vtokového ústí je 2,5 mm a je umístěno na základě výsledků analýzy tečení, která je podrobně rozebírána v kapitole 9.



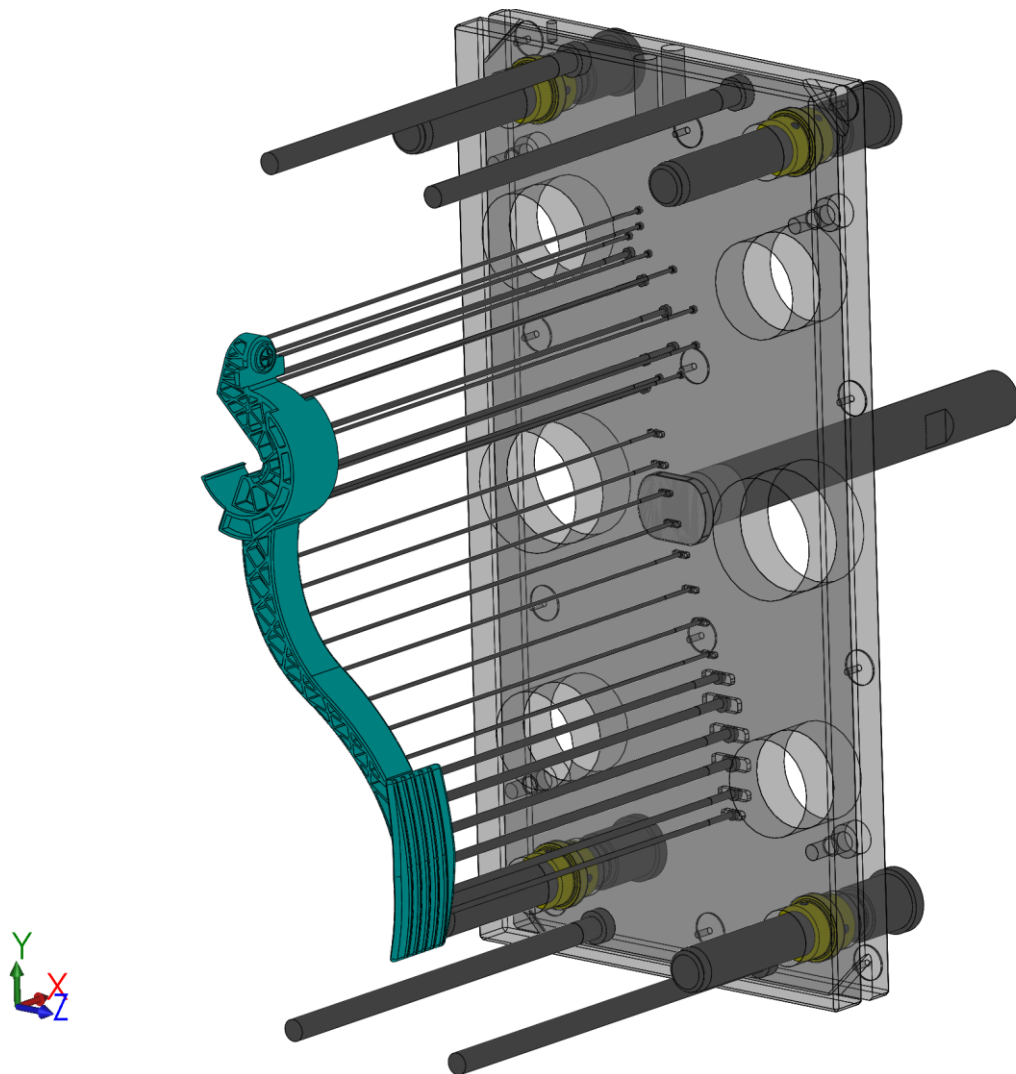
Obr. 32 Vtokový systém formy

- 1 – horká tryska; 2 – torpédo trysky; 3 – vyhřívaný trámec; 4 – středící kroužek;
5 – zásuvka; 6 – vtoková vložka

8.4 Vyhazovací systém

Vyhození výstřiku je realizováno prostřednictvím dvaceti devíti válcových vyhazovačů. Z toho je patnáct vyhazovačů o průměru 2 mm, osm vyhazovačů o průměru 3 mm, dva vyhazovače o průměru 4 mm a čtyři vyhazovače o průměru 5 mm. Konce některých vyhazovačů jsou seříznuty tak, aby kopírovaly oblast, kterou vyhazují. Záleží tedy na tom, jak jsou tyto vyhazovače uloženy v kotevní vyhazovací desce. Hlavy těchto vyhazovačů a vybrání na kotevní desce jsou upraveny takovým způsobem, že není možné vyhazovač nesprávně

založit do desky (metoda *poka yoke*). Pouzdra vodících čepů jsou samomazné (mosaz s grafitovými elementy). Vyhazovací táhlo je spojeno s deskou závitem M18x1,5. Ve vyhazovacích deskách jsou kruhová vybrání pro podpěry tvarové desky. Vyhazovače, vodící čepy, pouzdra, vraccí kolíky a desky jsou nakupované díly. Dodavatelem těchto normálií je firma Hasco.

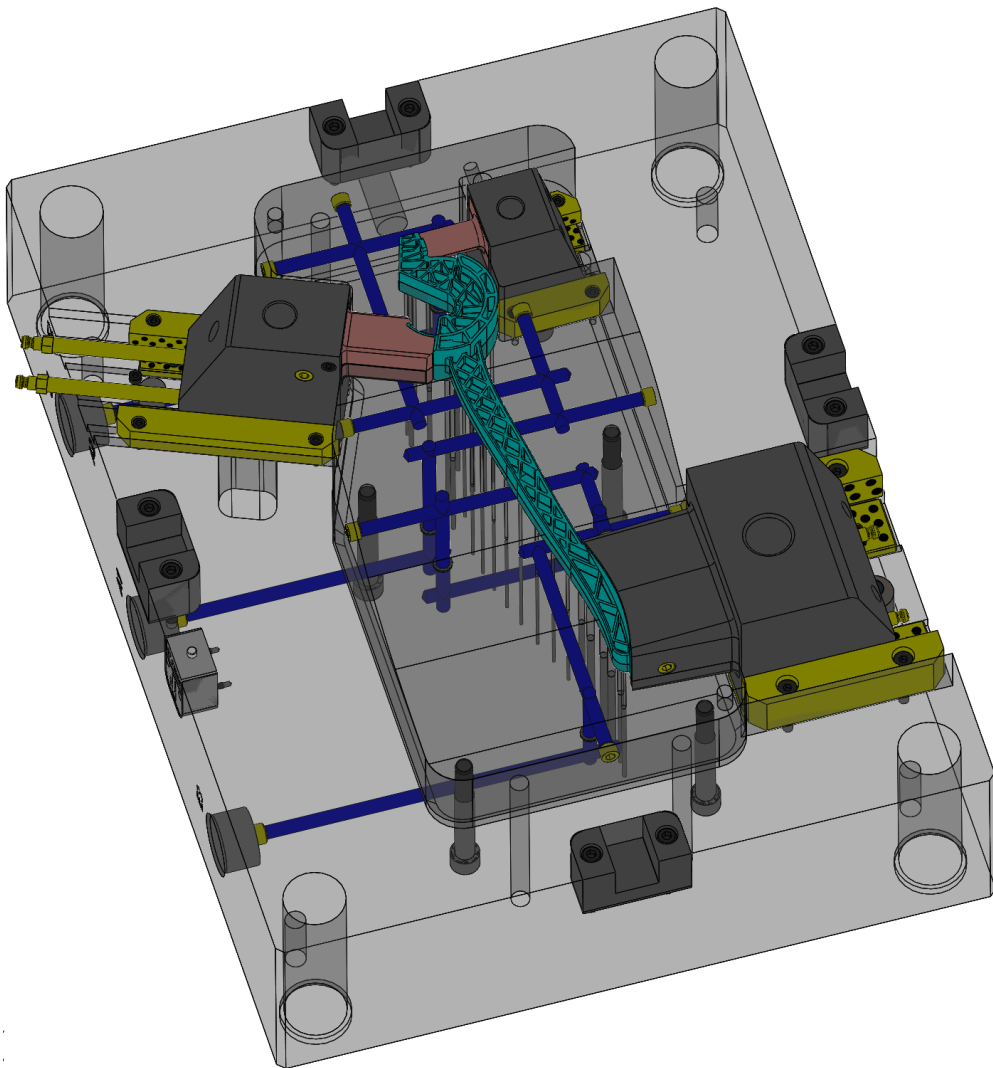


Obr. 33 Vyhazovací systém formy

8.5 Chlazení formy

Chladicí systém formy tvoří devět temperačních okruhů. Odvod tepla z dvou mechanických čelistí je navíc podpořen vodivou slitinou AMPCOLOY 83. Vrtané kanály chlazení mají

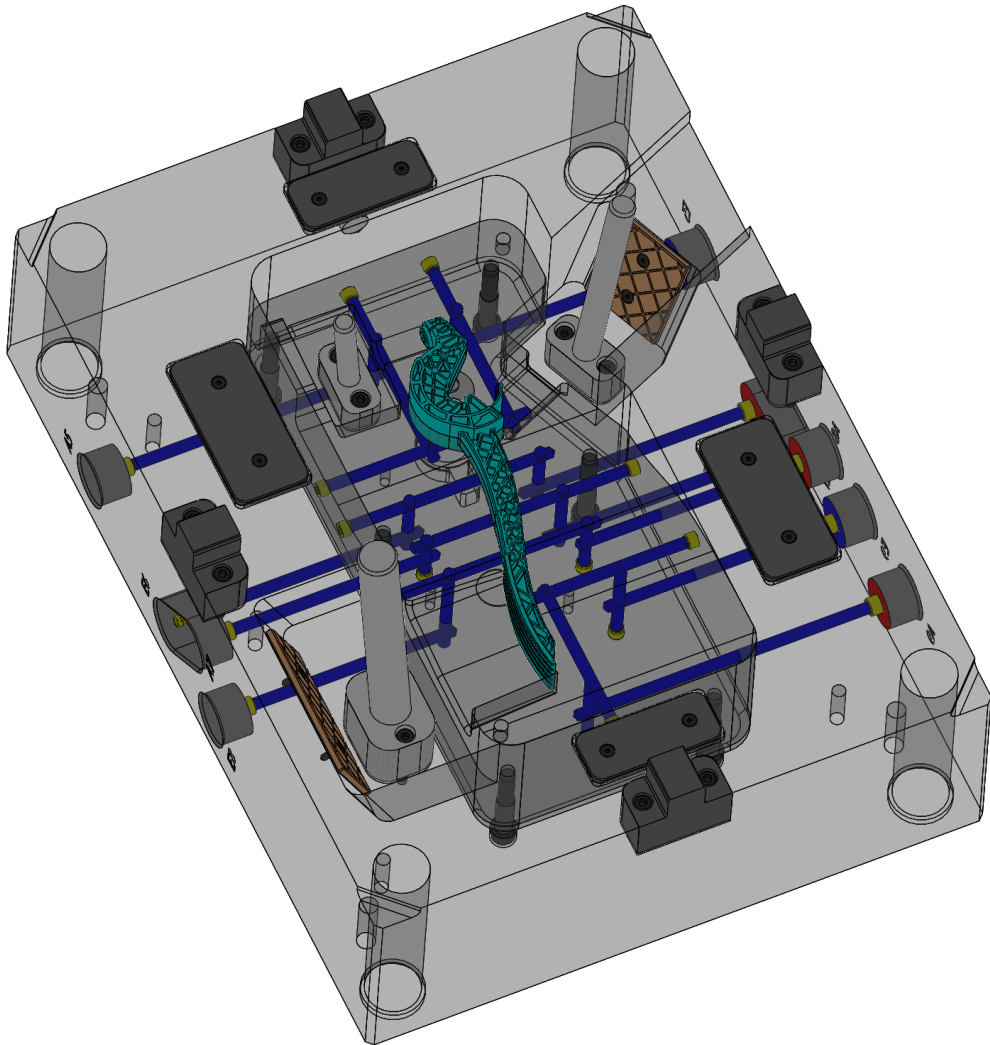
průměr 9 mm. Jednotlivé okruhy jsou propojeny hadicemi, které jsou připojeny k formě pomocí rychlospojek. Vstup a výstup temperačního okruhu je označen na formě písmenem a barvou. Vstup je značen písmenem „E“ s modrou barvou, výstup písmenem „A“ s červenou barvou. Zátky, koncovky a přepážka chlazení jsou nakupované díly dodávané firmou Hasco. Na obr. 34 a 35 jsou znázorněny umístění vrtaných kanálů v tvarových vložkách a deskách formy. Těsnost chladicích kanálů při přechodu z desky do vložky zajišťují o-kroužky.



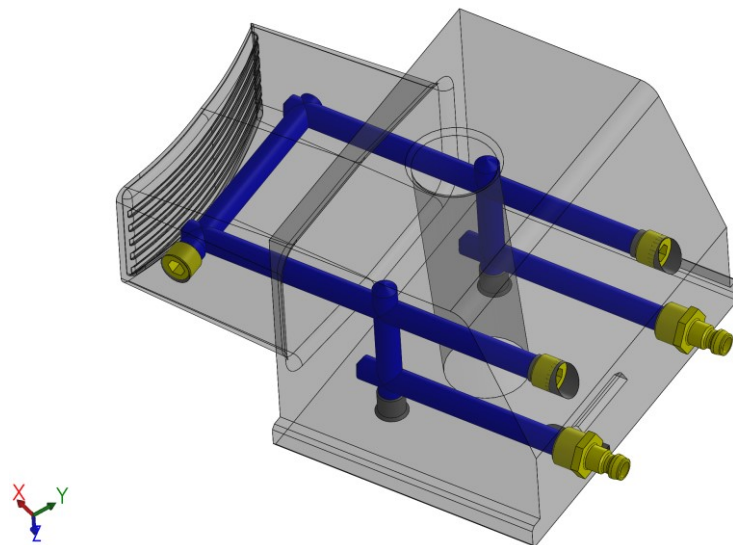
Obr. 34 Chlazení tvarové desky a vložky pohyblivé poloviny formy

Zbývající dva okruhy chlazení se naházejí v mechanických čelistech. Na obr. 36 je znázorněno chlazení čelisti šlapátka včetně koncovek a zátek. Jak již bylo zmíněno průměr kanálu je 9 mm. Na obr. 37 je znázorněna čelist chlazená přes přepážku. Průměr kanálu rozděleného

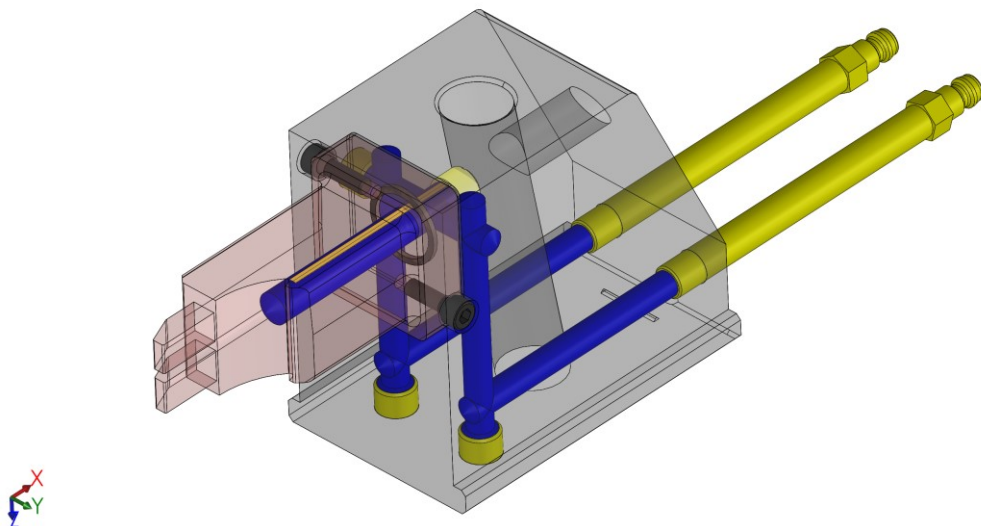
přepážkou má průměr 10 mm. Tento kanál prochází AMPCO vložkou. O-kroužek zabraňuje prolínání chladicího media mezi AMPCO vložkou a tělem čelisti.



Obr. 35 Chlazení tvarové desky a vložky pevné poloviny formy



Obr. 36 Chlazení čelisti šlapátka



Obr. 37 Chlazení čelisti s přepážkou a AMPCO vložkou

8.6 Základní parametry formy

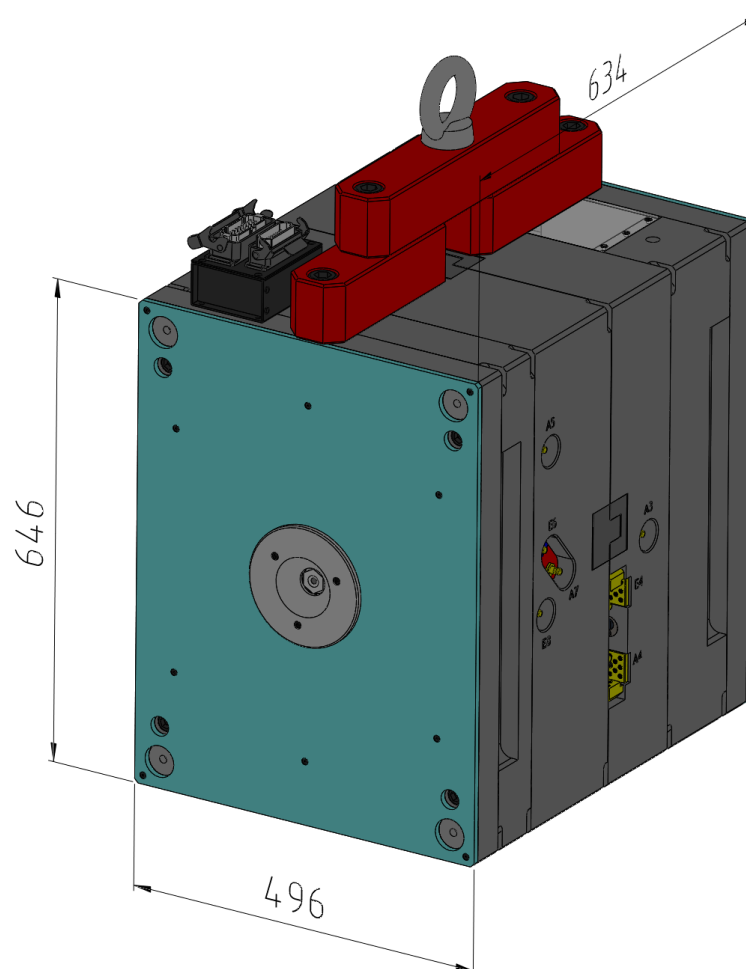
V tab. 5 nalezneme základní parametry formy. Mezi ty nejdůležitější patří šířka formy. Šířka formy spolu a uzavírací silou rozhoduje na jakém stroji bude forma vyrábět. Přitom platí, že čím je forma širší, tím je potřeba většího stroje. Větší stroj pak znamená vyšší hodinovou sazbu. Z ekonomických důvodů je tak snaha mít tento rozměr co nejmenší. Výrazného zmenšení šířky formy bylo docíleno vyfrézováním upínacích drážek (byly tak nahrazeny široké přesahující upínací desky).

Tab. 5 Základní parametry formy

Parametr	Hodnota
Šířka	496 mm
Délka	646 mm
Výška	634 mm
Hmotnost	1471 kg
Průměr středících kroužků	160 mm
Závit táhla desky vyhazovačů	M18x1,5
Dosedací rádius trysky	R15,5

Hmotnost formy je vypočítána z objemu, který byl získán z 3D modelu formy. Objem formy je $V = 187\,394\,532\text{ mm}^3$. Hmotnost formy je tedy:

$$M = \rho_{ocel} \cdot V_{forma} = 7850 \cdot 0,1874 = 1471\text{ kg} \quad (10)$$



Obr. 38 Vstřikovací forma na výrobu pedálu

8.7 Kontrola vhodnosti zvoleného vstřikovacího stroje

V rámci ověření vhodnosti vstřikovacího stroje je kontrolováno splnění níže uvedených podmínek:

- Nepřekročení maximální uzavírací síly stroje v průběhu vstřikovacího cyklu
- Průměr šneku je dle pravidla 1D – 3D
- Nedochozí ke kolizi formy s vodicími sloupky uzavírací jednotky
- Ověření ostatních parametrů (výška formy, hmotnost)

Dle analýzy vstřikování je potřebná uzavírací síla okolo 45 tun (viz kapitola 9). Maximální uzavírací síla stroje je 210 tun. Uzavírací jednotka lisu tedy dokáže udržet formu uzavřenou po celou dobu jejího cyklu.

Průměr šneku zvoleného stroje je 40 mm. Dle pravidla 1D – 3D musí být hmotnost jednoho zdvihu v intervalu:

$$ZDVIH_{\min} = \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot D \right] \cdot \frac{\rho}{1000} = \left[\left(\frac{40}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 40 \right] \cdot \frac{1,34}{1000} \cong 67 \text{ g} \quad (11)$$

$$ZDVIH_{\max} = \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot D \right] \cdot \frac{\rho}{1000} = \left[\left(\frac{40}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 40 \right] \cdot \frac{1,34}{1000} \cong 202 \text{ g} \quad (12)$$

kde

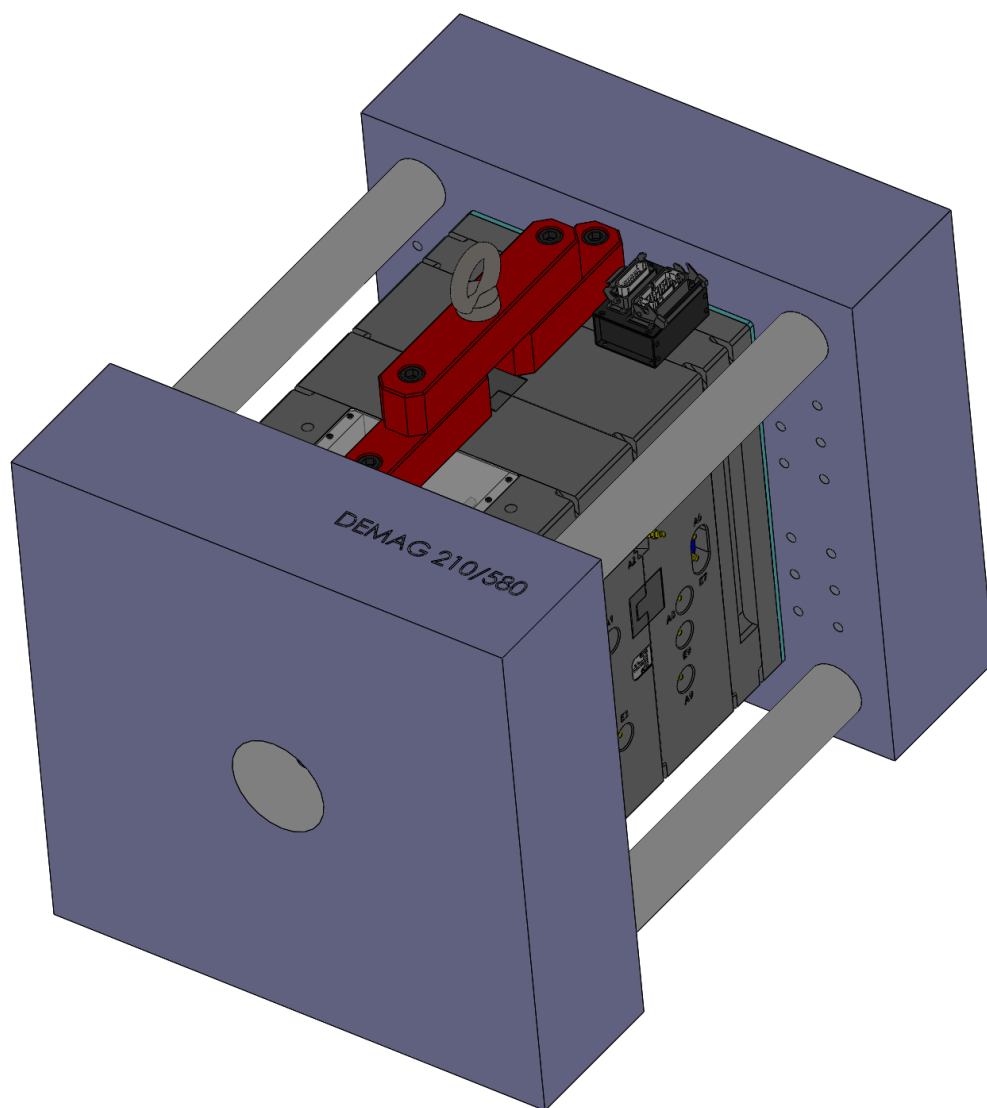
D průměr šneku [mm]

ρ hustota polymeru v tuhé fázi [g/cm³]

Hmotnost výstřiku (v našem případě zdvihu) je 106 g. Tato hmotnost spadá do intervalu ($ZDVIH_{\min}; ZDVIH_{\max}$). Průměr šneku je tedy dle pravidla 1D – 3D v pořádku.

Na obr. 39 je simulace nasazení formy na zvolený vstřikovací stroj Demag 210/580. Ze simulace je patrné, že forma ani její součásti nijak nekolidují s vodicími sloupky uzavírací jednotky zvoleného vstřikovacího stroje.

Maximální povolená výška formy je pro zvolený vstřikovací stroj 690 mm a maximální hmotnost je 3300 kg. Rozměry formy jsou 646x496x634 a její hmotnost je 1471 kg. Proto i tento poslední bod je splněn a forma může být upnuta na zvolený vstřikovací stroj.



Obr. 39 Simulované nasazení formy na vstřikovací stroj Demag SP 210/580

9 ANALÝZA VSTŘIKOVÁNÍ

Před samotnou simulací byla vytvořena síť v režimu Dual Domain (2,5D). Dále jsou nastaveny vstupní parametry. U vstřikovací rychlosti je zvolen automatický režim. U dotlaková fáze je volen rovný profil a nastaven čas dotlaku na 12 s. Hodnota dotlaku je pak 80 % vstřikovacího tlaku. Bod přepnutí je zvolen dle procentuálního naplnění dílce, jeho hodnota je nastavená na 97 %. V tabulkách 6 a 7 jsou pak shrnuty nastavené parametry a výsledky vycházející z analýz pro obě varianty vtokových systémů. Varianty vtokových systémů budou podrobněji rozebírány v následující podkapitole.

Tab. 6 Procesní parametry pro „variantu 1“

VARIANTA 1	Nastavení	Hodnoty ze simulace
Vstřikovací čas	automatické	1 s
Vstřikovací tlak	automatické	57 MPa
Bod přepnutí	97 % naplnění dílce	-
Doba dotlaku	12 s	12 s
Hodnota dotlaku	80 % vstřikovacího tlaku	45 MPa
Čas chlazení	automatické	35 s
Zavření/otevření formy	5 s	5 s
Čas cyklu	49 s	53
Teplota taveniny	280 °C	280 °C
Teplota formy	80 °C	80 °C
Průtok vody	10 l/min.	10 l/min.

Tab. 7 Procesní parametry pro „variantu 2“

VARIANTA 2	Nastavení	Hodnoty ze simulace
Vstřikovací čas	automatické	1,6 s
Vstřikovací tlak	automatické	71 MPa
Bod přepnutí	97 % naplnění dílce	-
Doba dotlaku	12 s	12 s
Hodnota dotlaku	80 % vstřikovacího tlaku	57 MPa
Čas chlazení	automatické	25 s
Zavření/otevření formy	5 s	5 s
Čas cyklu	49 s	43,5
Teplota taveniny	280 °C	280 °C
Teplota formy	80 °C	80 °C
Průtok vody	10 l/min.	10 l/min.

9.1 Variace vtokového ústí

Obě varianty umístění vtokového ústí počítají s horkou tryskou přímo do dílce. Poloha ústí u *varianty 1* se nachází ve středu pedálu. U *varianty 2* je vstřikovací bod umístěn v horní kloubové části výstřiku.



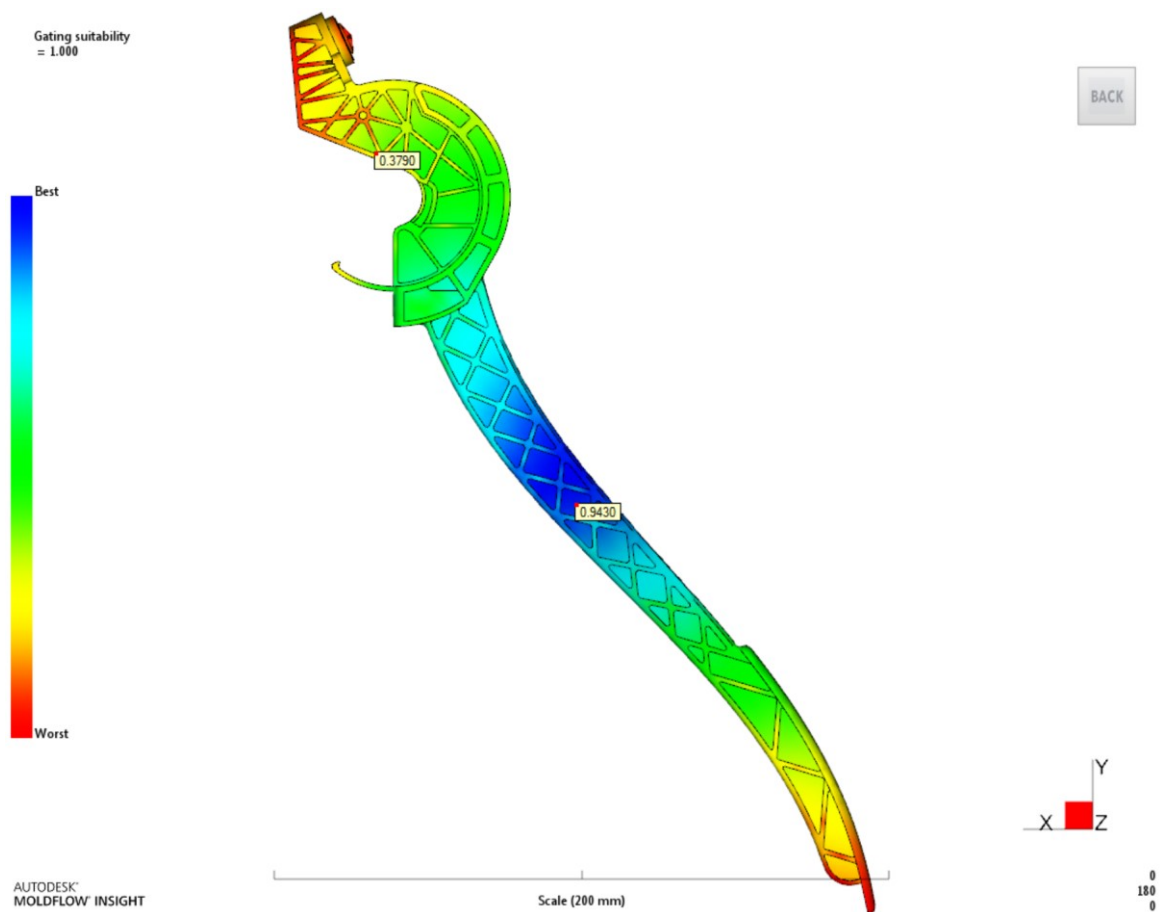
Obr. 40 Vysít'ovaný model – varianta 1



Obr. 41 Vysít'ovaný model – varianta 2

9.2 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí

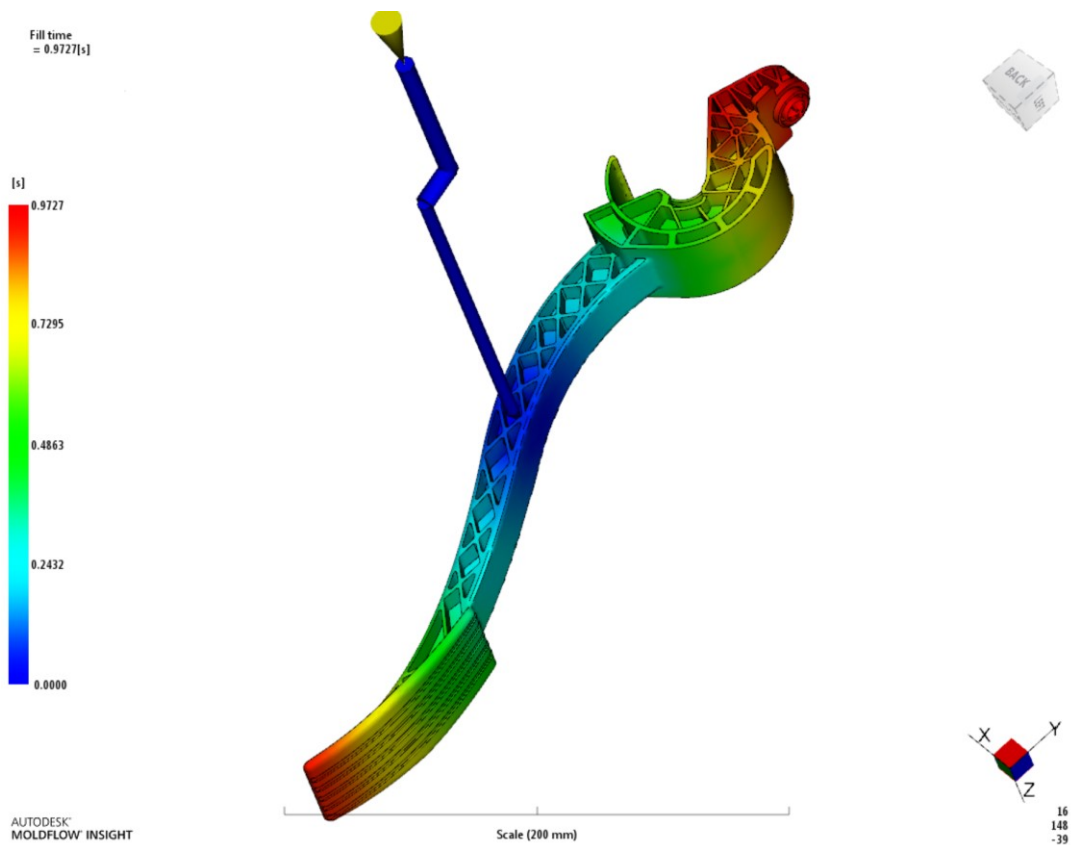
Na obr. 42 je barevnou škálou znázorněna vhodnost umístění vstřikovacího bodu. Modrá barva znamená nejlepší umístění, naopak červená značí nejméně vhodnou variantu. Simulace vlastně říká, které místo je nejvýhodnější z pohledu nejmenšího odporu proti toku taveniny. Odpor proti toku taveniny se dá definovat například poměrem délky toku taveniny ku tloušťce stěny výstřiku podél tokové dráhy. Pro variantu 1 je dle simulace vhodnost umístění 94 %, pro variantu 2 je vhodnost rovna necelým 38 %.



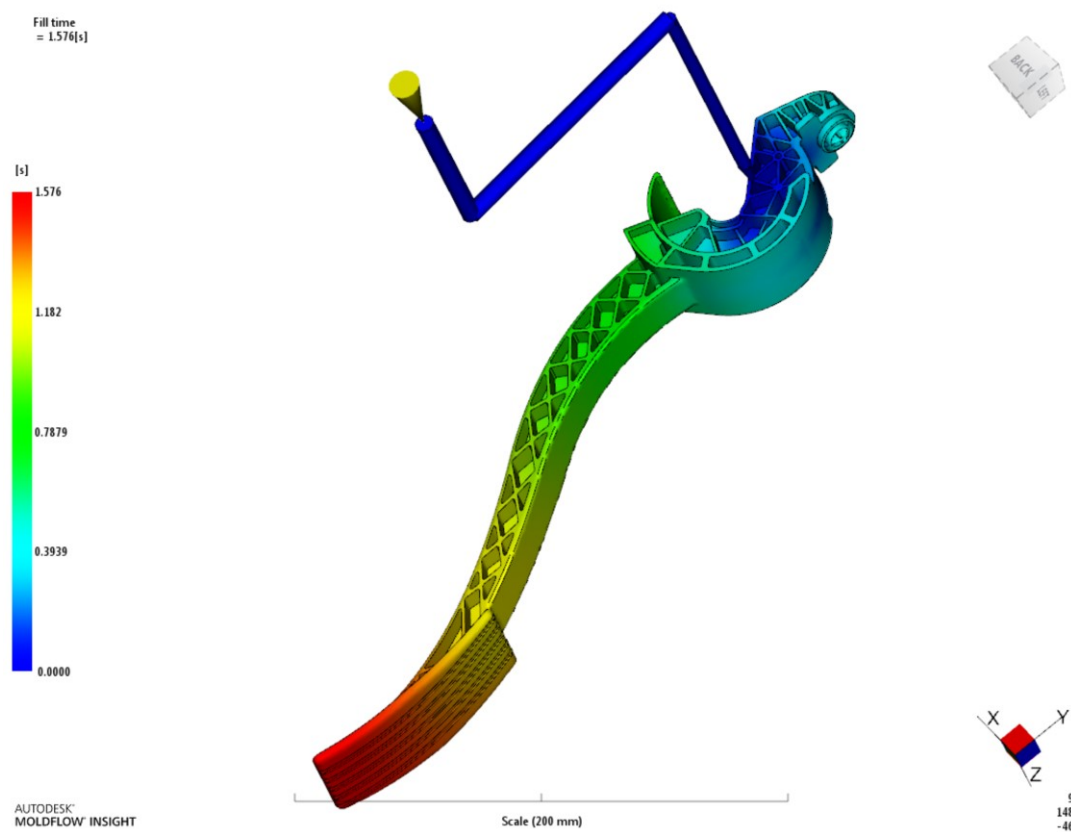
Obr. 42 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí

9.3 Čas plnění

Čas zaplnění dutiny formy je u varianty 1 roven 0,97 s a u varianty 2 je 1,58 s. Rozdílné časy plnění má na svědomí různé délky tokových drah obou systému.



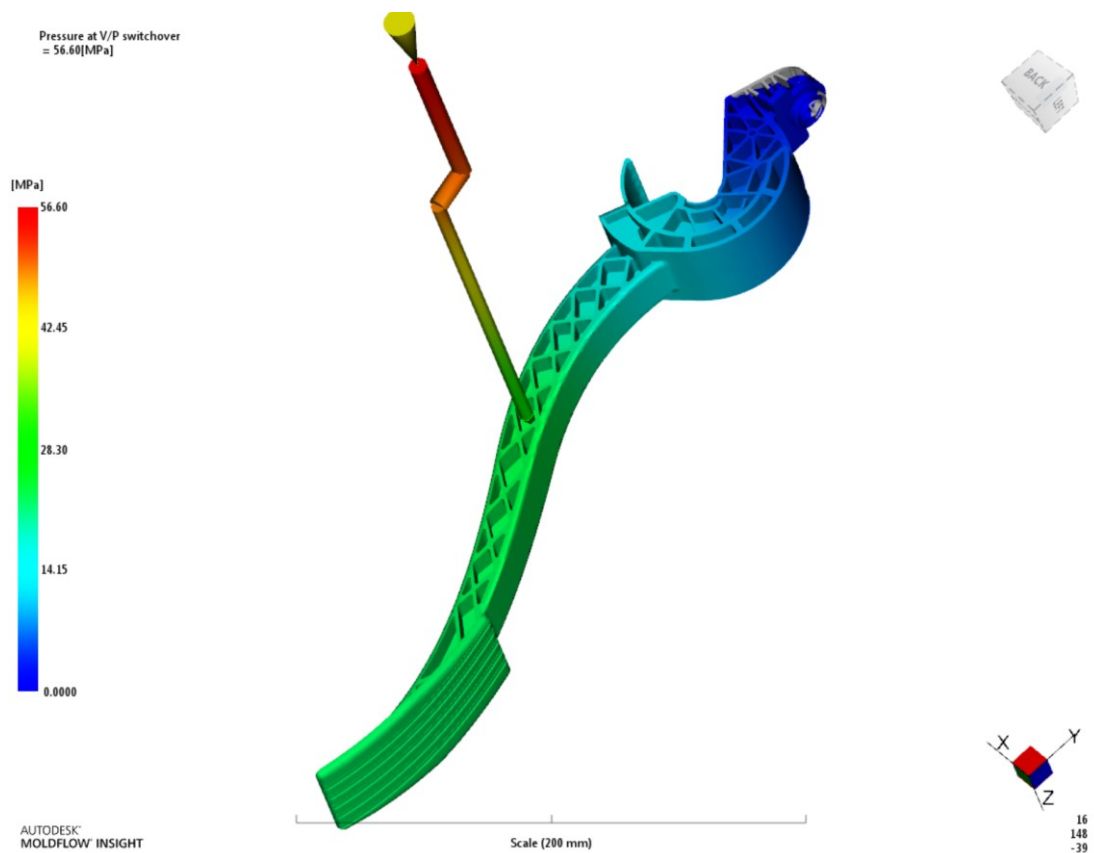
Obr. 43 Čas zaplnění dutiny – varianta 1



Obr. 44 Čas zaplnění dutiny – varianta 2

9.4 Vstřikovací tlak a bod přepnutí na dotlak

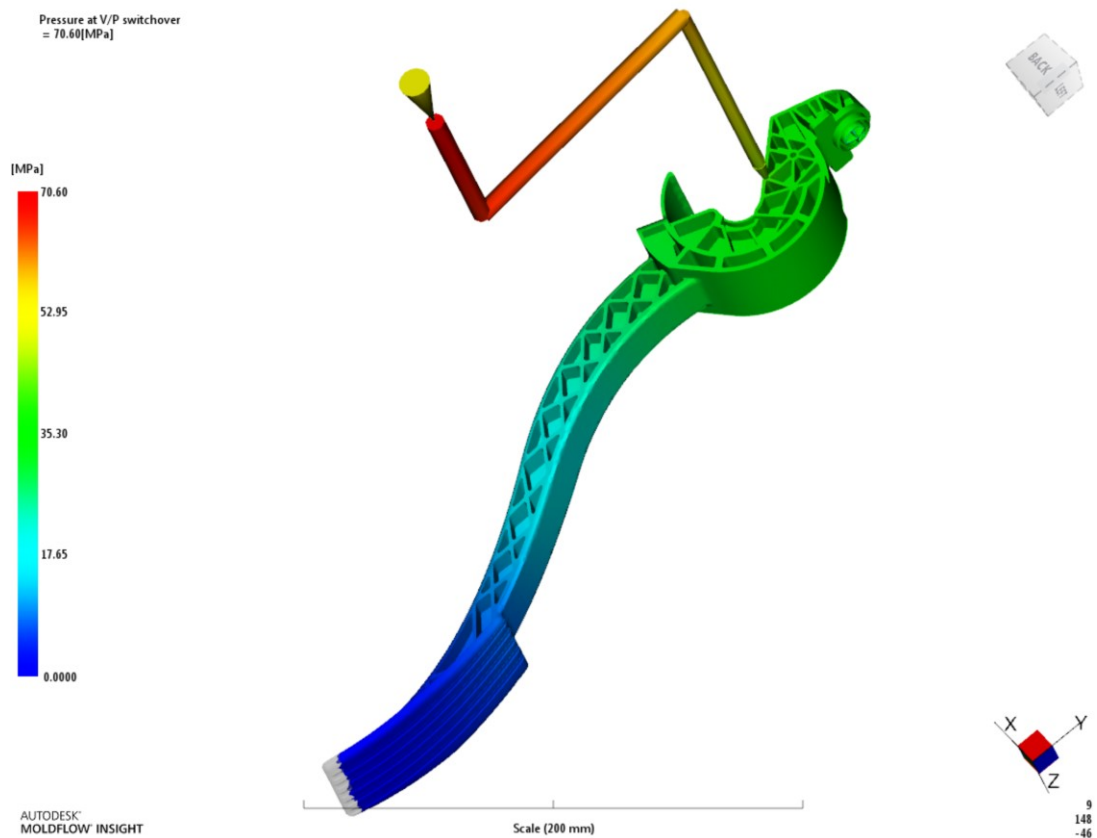
Na obr. 45 a 46 lze vidět rozložení tlaku v dutině formy v době přepnutí na dotlak (konec vstřikování) pro obě varianty. Jak je z obrázku patrné není výstřik zcela vyplněn, což odpovídá našemu nastavení bodu přepnutí při 97 % naplnění dílu. Maximální vstřikovací tlak pro variantu 1 je roven 56,6 MPa a pro variantu 2 odpovídá hodnotě 70,6 MPa. Důvodem rozdílných hodnot je neshodná délka tokových drah. Delší toková dráha způsobuje větší odpor toku taveniny, materiál poté hůře teče a je potřeba většího vstřikovacího tlaku.



Obr. 45 Rozložení tlaku v bodě přepnutí na dotlak – varianta 1

Obecně se doporučuje, aby maximální vstřikovací tlak nebyl větší jak 100 MPa pro díl a vtokový systém dohromady. Pro samotný díl by neměl vstřikovací tlak přesáhnout hodnotu 70 MPa. Tyto podmínky vychází ze skutečnosti, že většina vstřikovacích strojů je schopna vyvinout maximální vstřikovací tlak okolo 140 MPa. Existují i stroje, které jsou schopné vyvinout větší vstřikovací tlaky. V těchto případech platí, že pro samotný díl nemá být překročeno 50 % maximálního vstřikovacího tlaku stroje. Pro díl spolu s vtokovým systémem je

to 75 % maximálního vstřikovacího tlaku. My počítáme s tím, že námi zvolený vstřikovací stroj má standardní parametry. Podmínky maximálních vstřikovacích tlaků jsou tak splněny pro obě varianty vtokových systémů. [27]

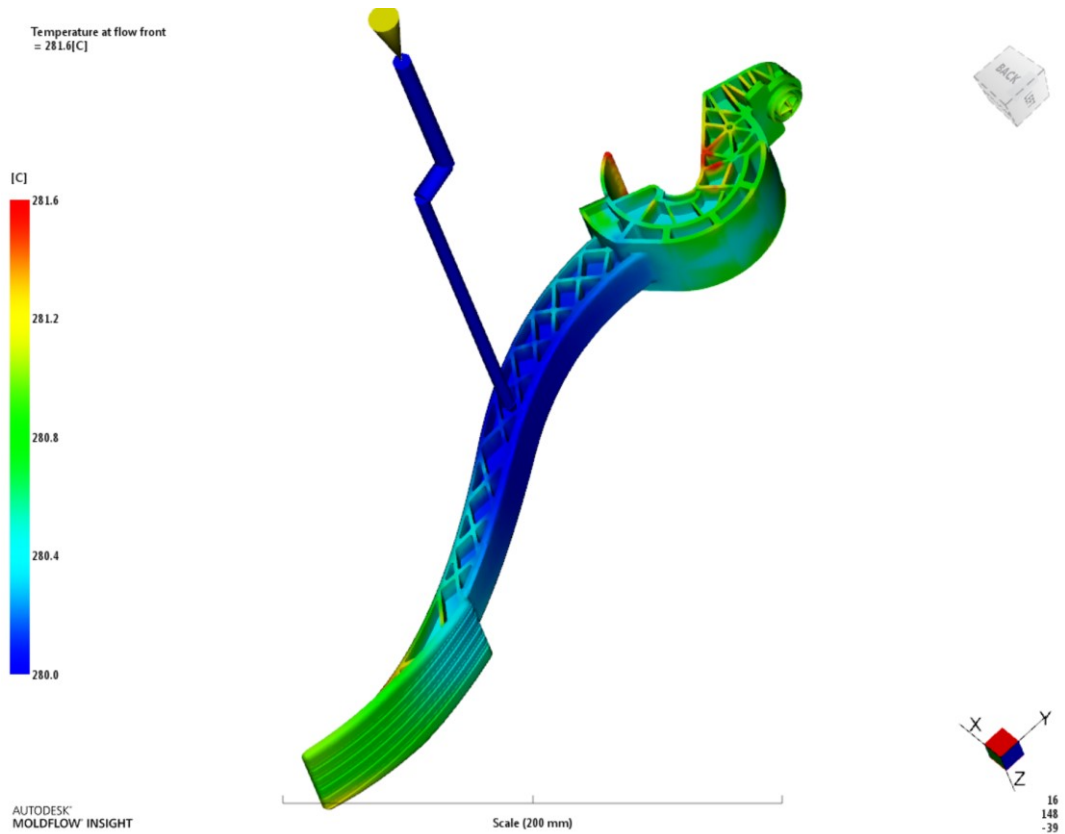


Obr. 46 Rozložení tlaku v bodě přepnutí na dotlak – varianta 2

9.5 Teplota na čele taveniny

Tato analýza ukazuje, jakou teplotu měla tavenina, při dosažení daného místa v dutině formy. Teplota taveniny je 280 °C. Jak lze z obou simulací vyčíst tato teplota byla v obou případech vtokových systémů překročena o 1,6 °C. Dle materiálového listu polymeru je možné taveninu vstřikovat v rozmezí teplot 270–295 °C. Při teplotě 281,6 °C (281,7 °C v případě varianty 2) tedy nehrozí degradace materiálu. Zvýšení teploty taveniny dochází ve zúžených místech výrobku (v žebrech) a to důsledkem zvýšeného smykového namáhání (obr. 48). Teplota čela taveniny by neměla klesnout o více jak 5 °C v průběhu plnicí fáze, větší pokles může mít za následek neuplné vyplnění v místech menší tloušťky výrobku. U varianty 1 pokles teploty nenastává, u varianty 2 je teplotní propad na čele taveniny 3,8 °C. Tento hraniční teplotní pokles se nachází na jednom ze žeber v kloubové části pedálu (viz.

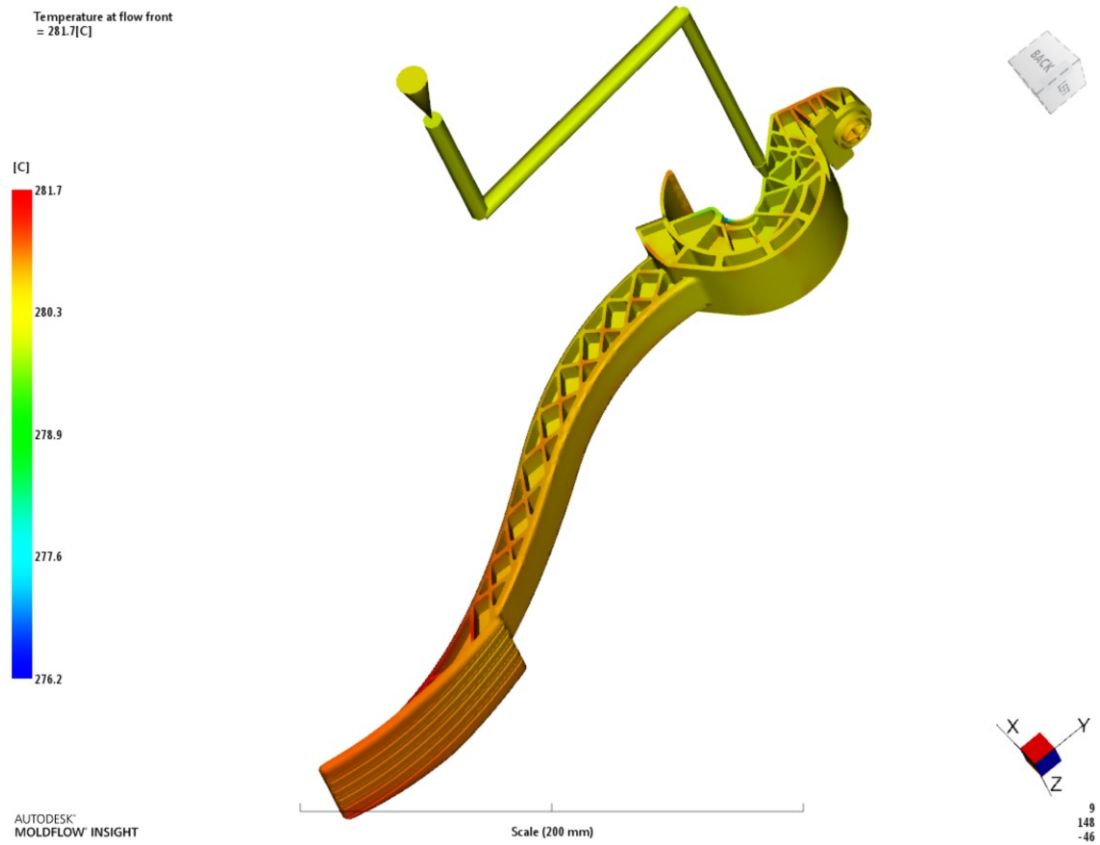
obr 50). Tloušťka tohoto žebra je 1 mm. Toto místo může být z pohledu plnění problematické, nicméně stále spadá do tolerance 5 °C a mělo by být zcela vyplněno. V opačném případě by muselo dojít ke změně procesních parametrů (např. zvýšení teploty taveniny, vyšší teplota formy atd.) [27]



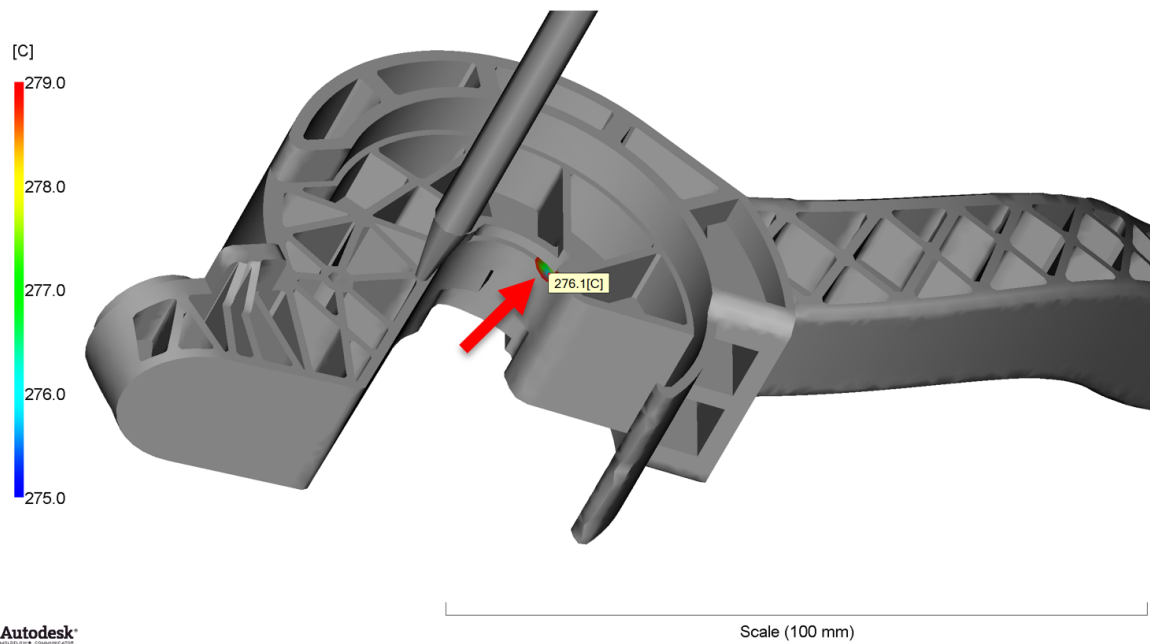
Obr. 47 Teplota na čele taveniny – varianta 1



Obr. 48 Maximální teploty na čele taveniny – varianta 1



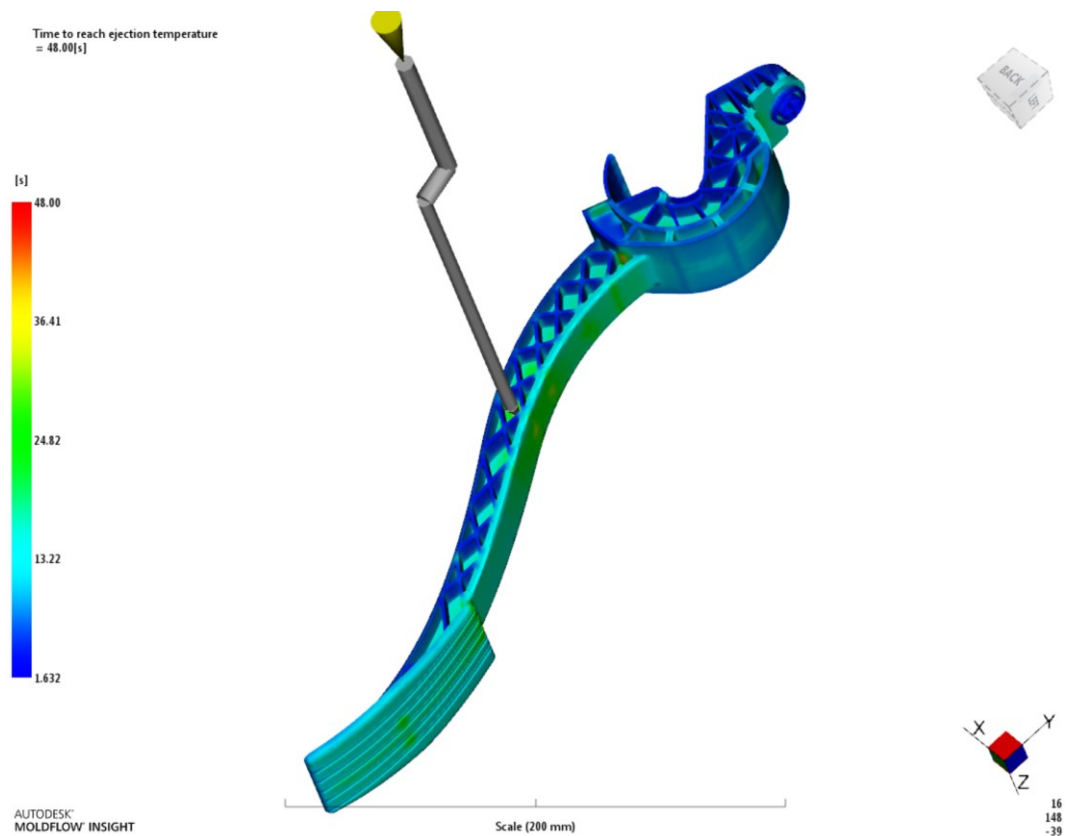
Obr. 49 Teplota na čele taveniny – varianta 2



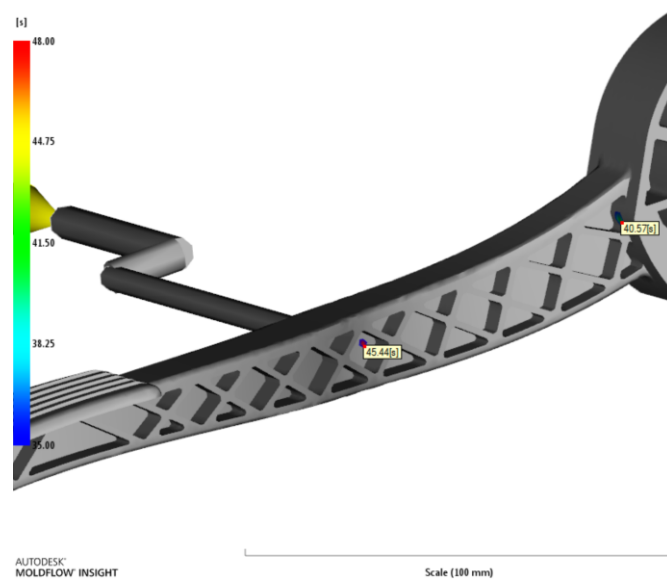
Obr. 50 Místo největšího teplotního poklesu na čele taveniny – varianta 2

9.6 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

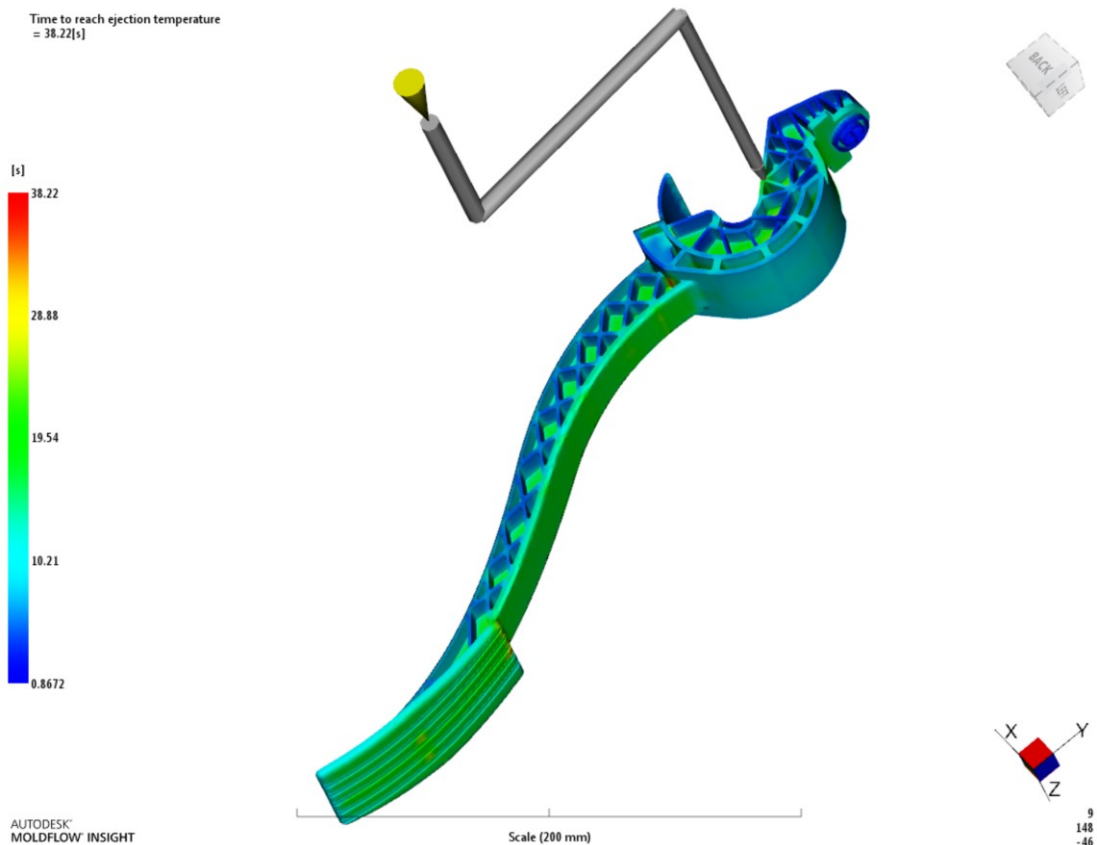
Analýzou můžeme zjistit, za jaký čas je možné výrobek bezpečně vyhodit z formy. V síťování Dual Domain to znamená, že 100 % vrstev v dané oblasti dosáhlo vyhazovací teploty.



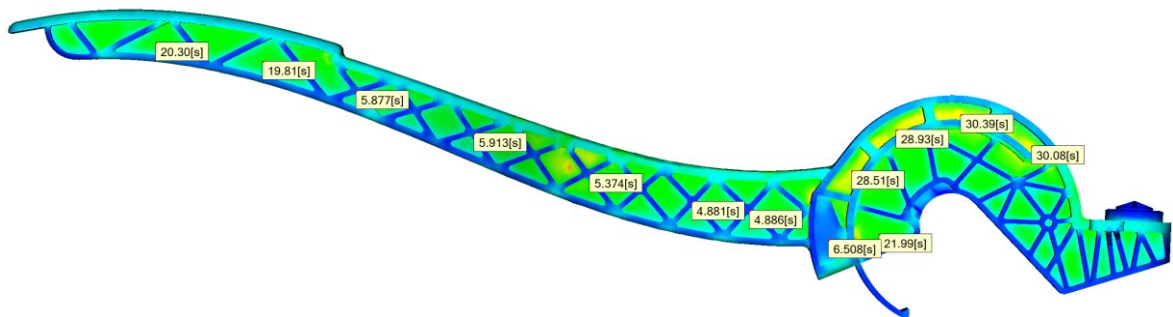
Obr. 51 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – varianta 1



Obr. 52 Poslední místa ochlazování – varianta 1



Obr. 53 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – varianta 2



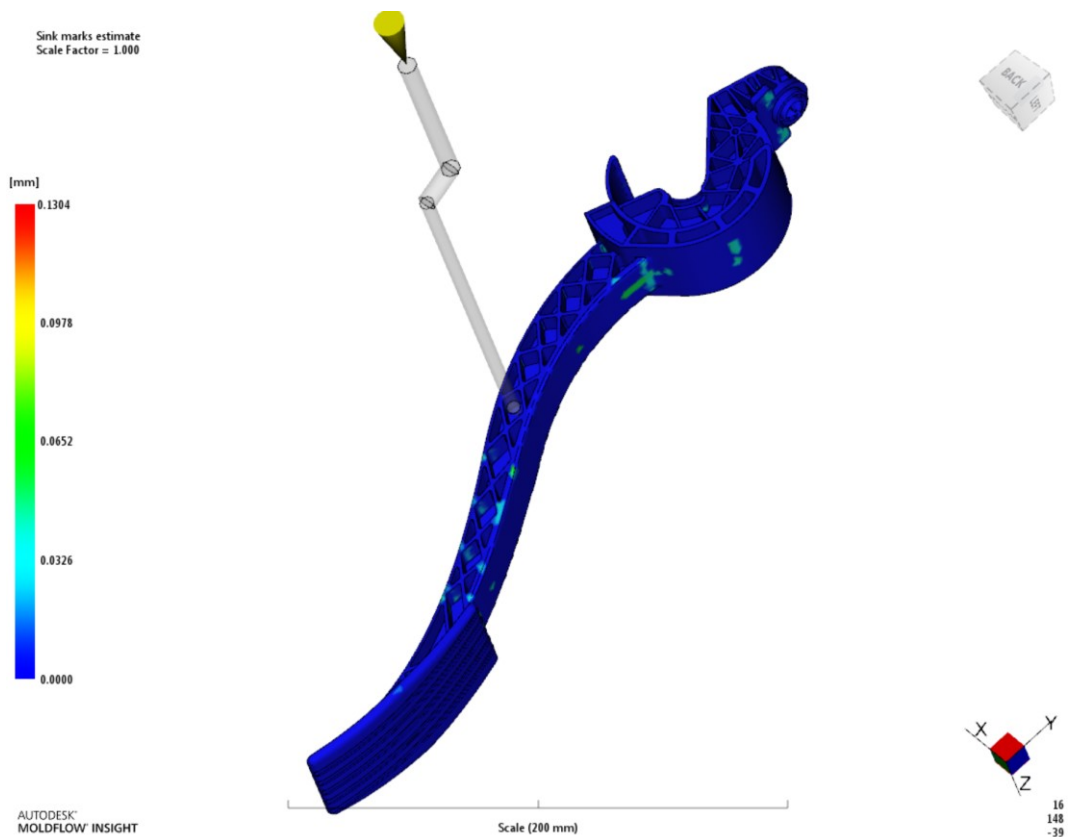
Obr. 54 Časy vyhození v oblastech vyhazovačů

Tento čas je měřen od počátku plnění (= čas vstřiku + dotlaku + chlazení). Pomocí této analýzy je možné odhadnout celkový cyklový čas připočítáním 5 s na pohyby formy. Pro variantu 1 tak vychází celkový cyklový čas na 53 s, pro variantu 2 vychází cyklus na 43,5 s. Optimální čas chlazení je poté možné snadno dopočítat známe-li čas plnění a dotlaku. Výrobek je možné u obou variant bezpečně vyhodit již dříve viz obr. 54, kde jsou znázorněny časy vyhození v oblastech vyhazovačů. Bezpečně lze výstřik vyhodit z formy již po 31 s pro obě varianty. Připočítáním 5 s na otevření a zavření formy je celkový cyklový čas 36 s. Při

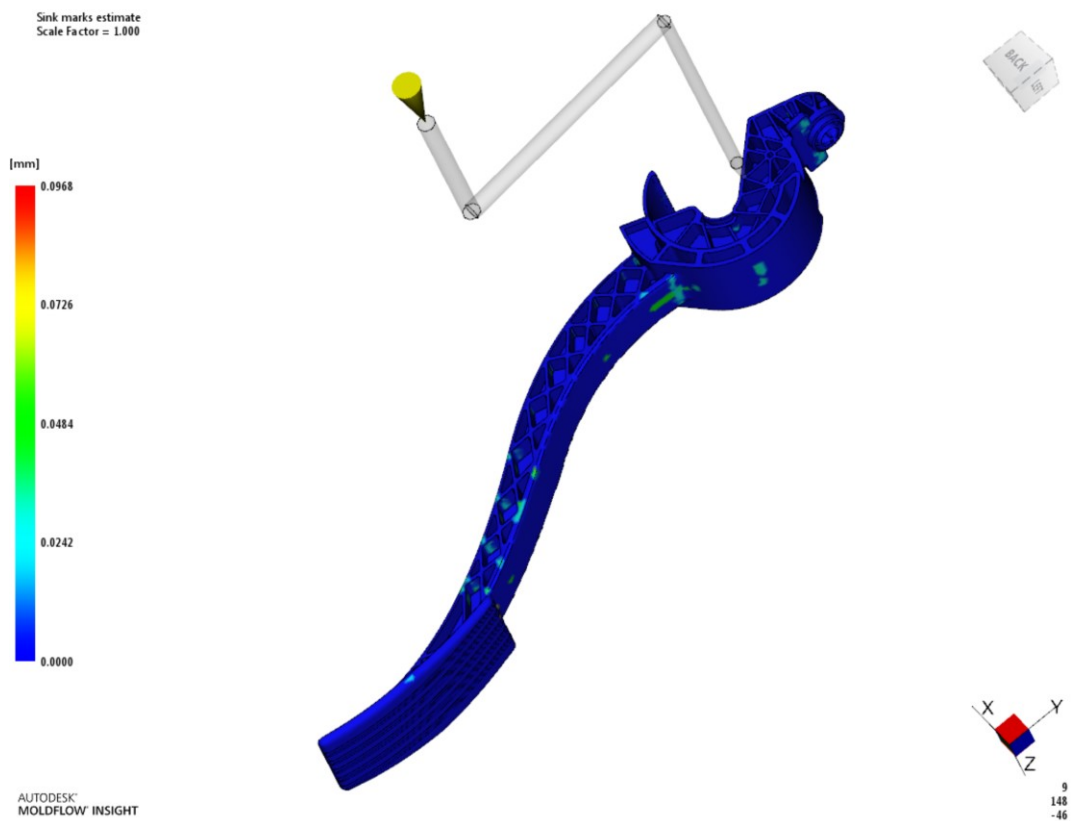
volbě tohoto cyklového času ale významně zkrátíme dobu chlazení, což povede k větším deformacím.

9.7 Propadliny

Propadlina je významná pohledová vada. Pedál automobilu obecně nespadá do kategorie pohledových dílů. Nicméně šlapátko pedálu je část výrobku, kde můžeme očekávat zvýšené požadavky na vzhled. Těmto zvýšeným požadavku odpovídá i design výrobku nacházející se pod šlapátkem, který má zmenšit tvorbu propadlin právě v této oblasti. V obou variantách vtokových systémů se významné propadliny nacházejí mimo šlapátko. U varianty 1 je maximální propadlina rovna 0,13 mm. Varianta 2 se jeví z pohledu propadlin příznivěji a její maximální hodnota odpovídá 0,09 mm. Rozdílné výsledky jsou zapříčiněny rozdílnou hodnotou vstřikovacího tlaku a dotlaku. Vyšší hodnoty vstřikovacího tlaku a dotlaku propadliny „vyhlazují“.



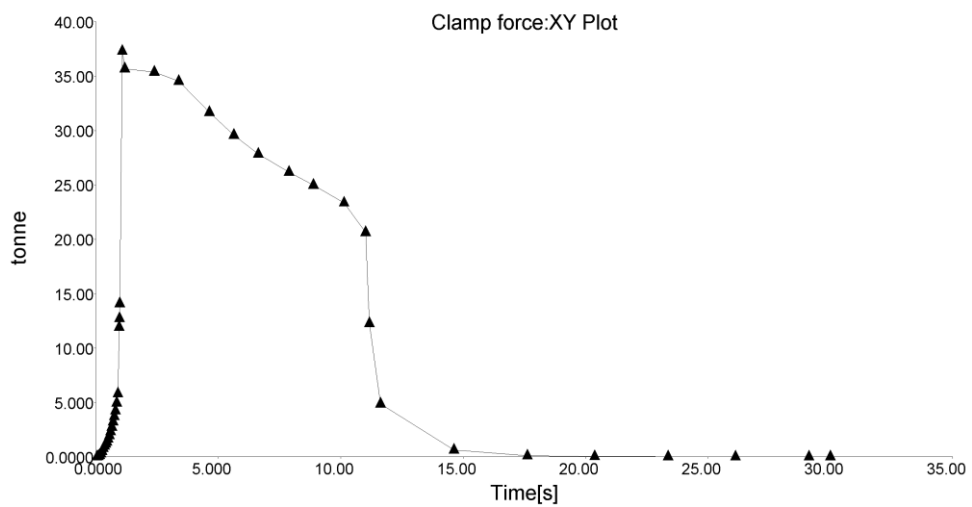
Obr. 55 Propadliny – varianta 1



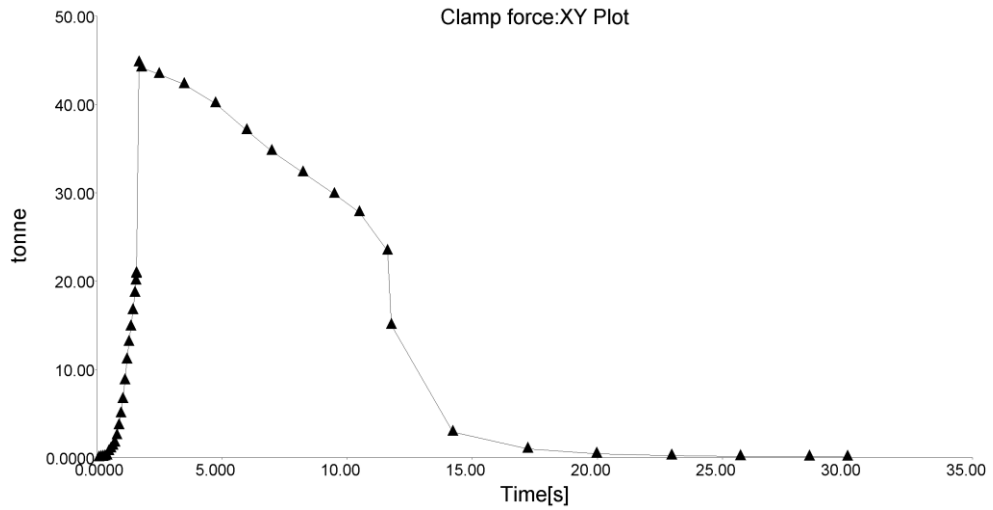
Obr. 56 Propadliny – varianta 2

9.8 Uzavírací síla

Potřebná uzavírací síla pro variantu 1 je rovna 37 tunám, u varianty 2 je potřebná maximální uzavírací síla 45 tun. Vzhledem k volbě vstřikovacího stroje s uzavírací silou 210 tun máme v obou případech vtokových systémů velkou rezervu.



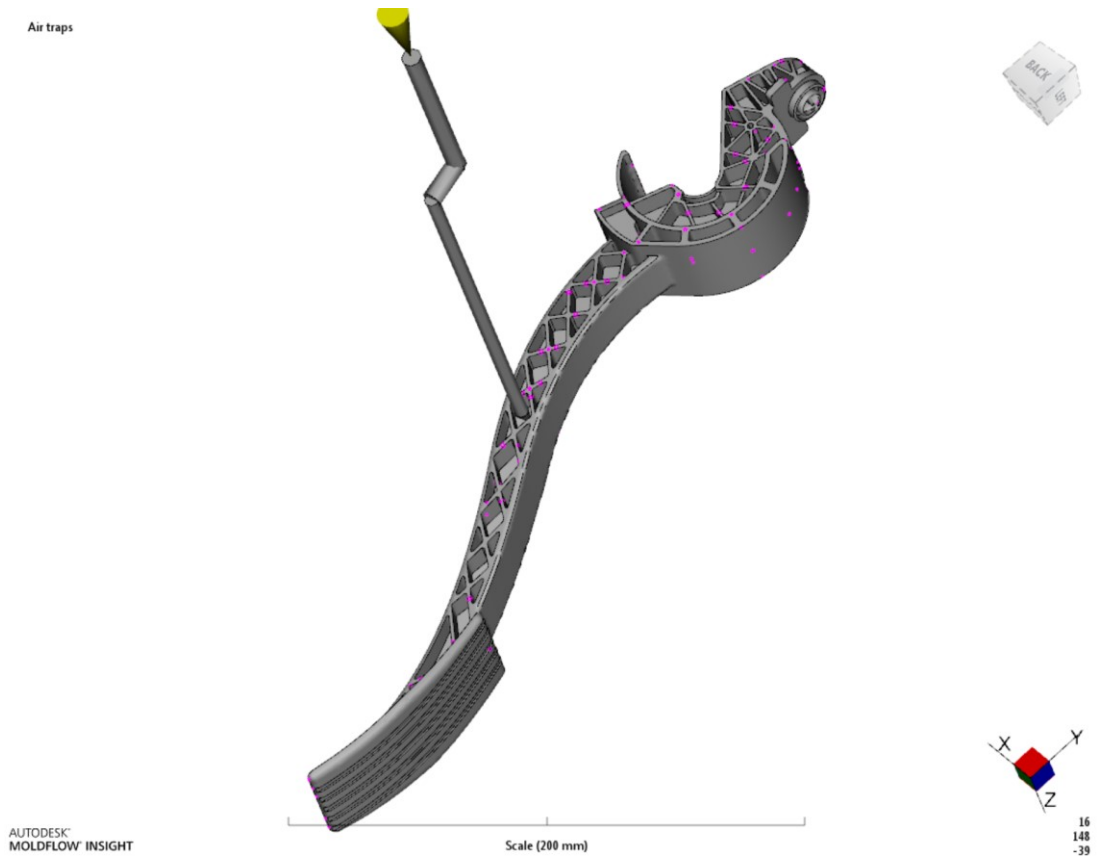
Obr. 57 Uzavírací síla – varianta 1



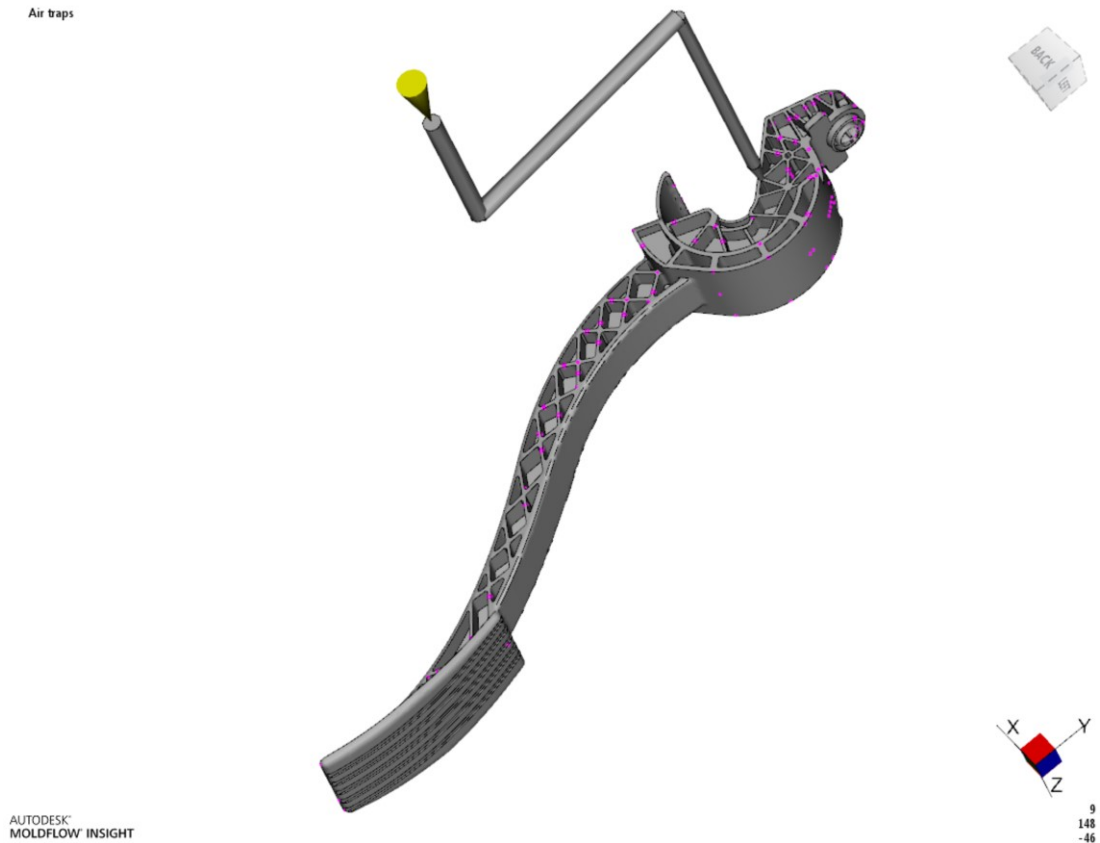
Obr. 58 Uzavírací síla – varianta 2

9.9 Uzavřený vzduch

Obrázky níže ukazují místa uzavírání vzduchu (analýza *Air traps*) pro jednotlivé varianty vtokových systémů.

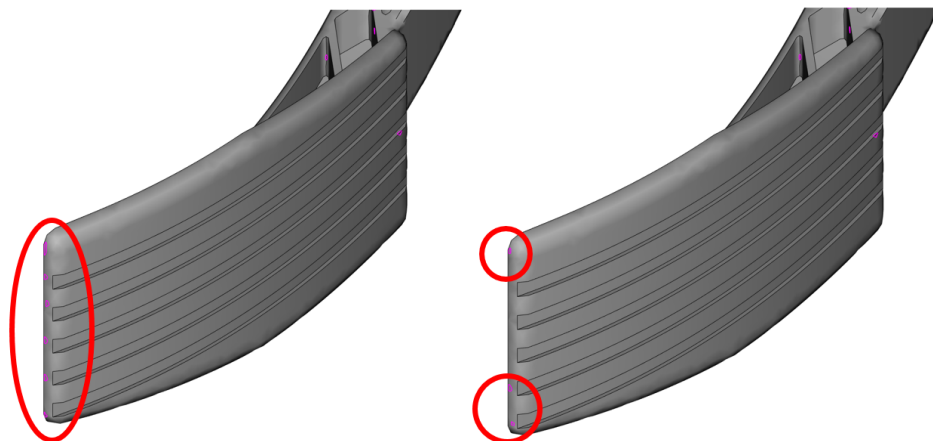


Obr. 59 Uzavřený vzduch – varianta 1

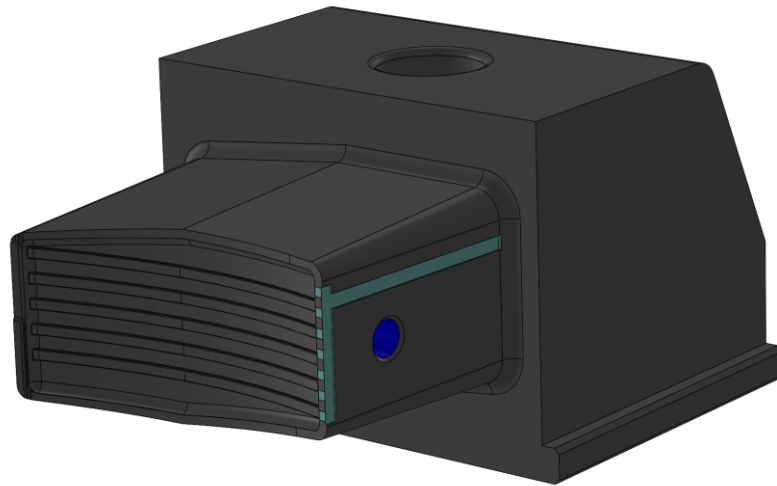


Obr. 60 Uzavřený vzduch – varianta 2

Mnoho vzduchu je uzavřeno v žebrování pedálu. Část tohoto vzduchu je možné odvést z formy pomocí vyhazovačů, které se nacházejí v oblasti těchto žeber. Uzavřený vzduch na konci šlapátka pedálu je odveden prostřednictvím odvzdušňovacích kanálů umístěných na těle čelisti. Na obr. 62 je tento systém odvzdušnění znázorněn. Kanál ústí do rádiusu čelisti, kde dále vzduch uniká prostorem mezi čelistí a tvarovou vložkou. Tento prostor je vytvořen rozdílným rádiusem tvarové vložky a čelisti (na čelisti je R5, na vložce R6).



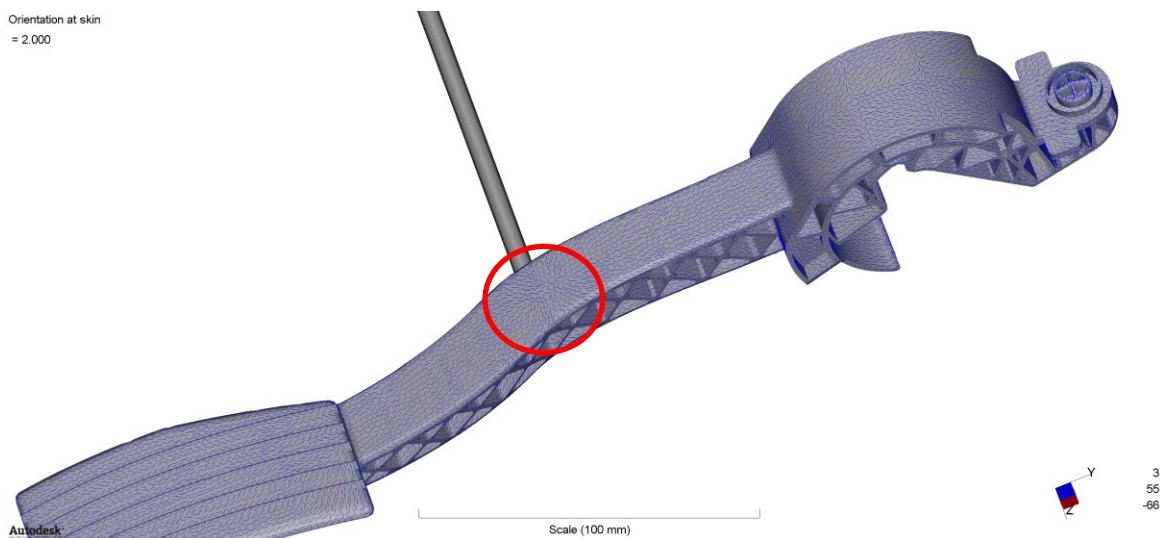
Obr. 61 Uzavřený vzduch v pedálu (vlevo varianta 1, vpravo varianta 2)



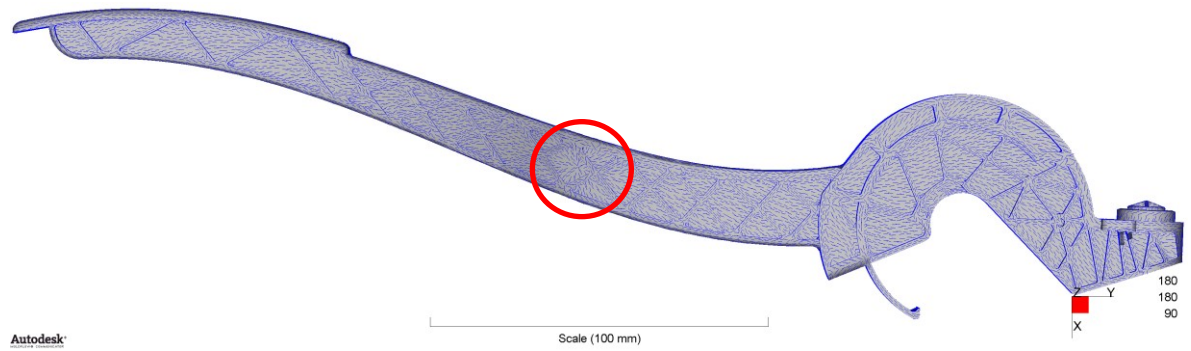
Obr. 62 Odvzdušnění pedálu pomocí odvzdušňovacích kanálků v čelisti

9.10 Orientace vláken

Orientace skleněných vláken velmi významně ovlivňuje deformaci a mechanické vlastnosti výrobku. Důvodem je smrštění, které má ve směru převládající orientace vláken menší hodnotu než ve směru kolmém na vlákno. Vzhledem k typu namáhání pedálu je snaha o co největší naorientování vláken ve směru podél pedálu. Při vstřikování do středu pedálu (varianta 1) jsou v okolí vtokového ústí vlákna orientována radiálně (obr. 63 a 64). S rostoucí vzdáleností od vtokového ústí začínají být vlákna jednostranně orientována v podélném směru pedálu. V podkapitolách 9.11 a 9.12 je pak znázorněn vliv na mechanické vlastnosti a deformaci této lokální změny orientace vláken.

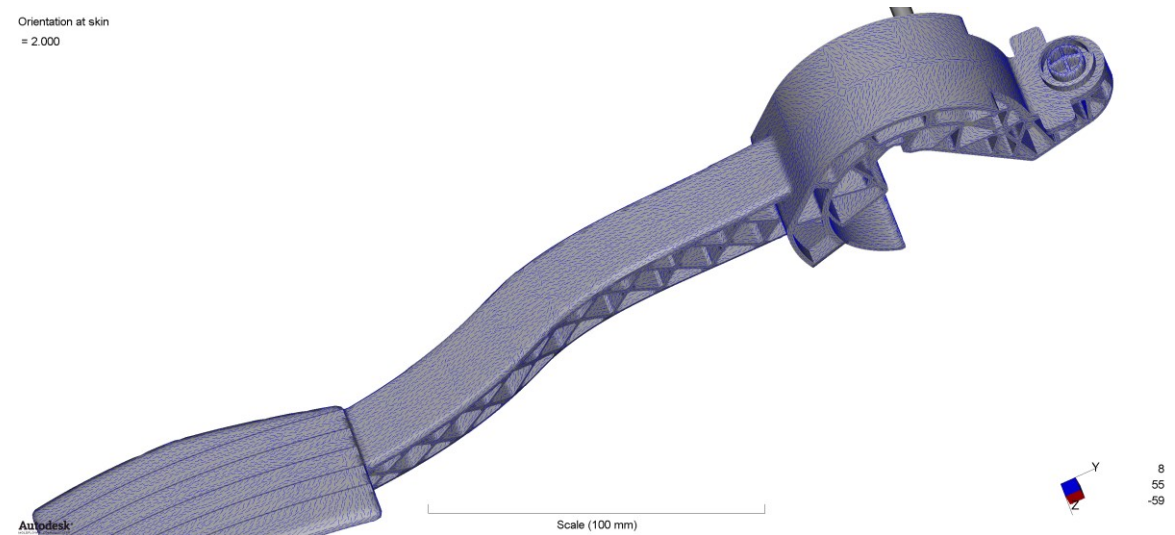


Obr. 63 Orientace vláken I – varianta 1

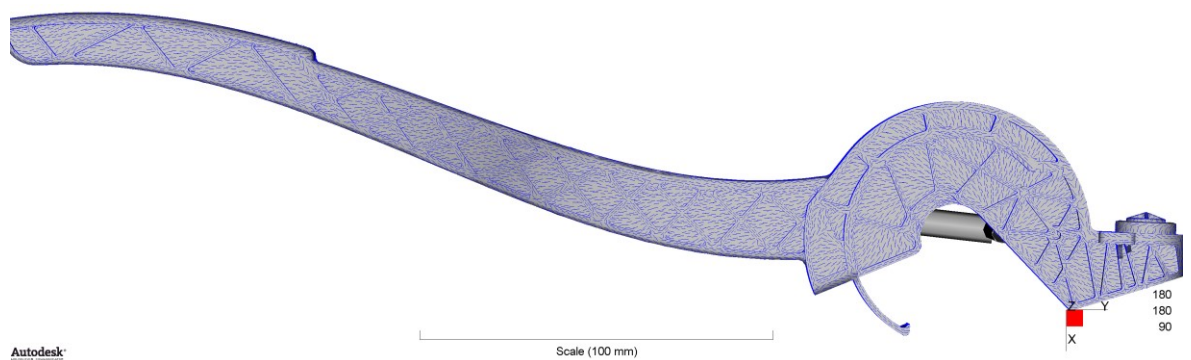


Obr. 64 Orientace vláken II – varianta 1

Při vstřikování z vrchu pedálu (varianta 2) jsou vlákna jednostranně naorientována podél celého pedálu (obr. 65 a 66).



Obr. 65 Orientace vláken I – varianta 2



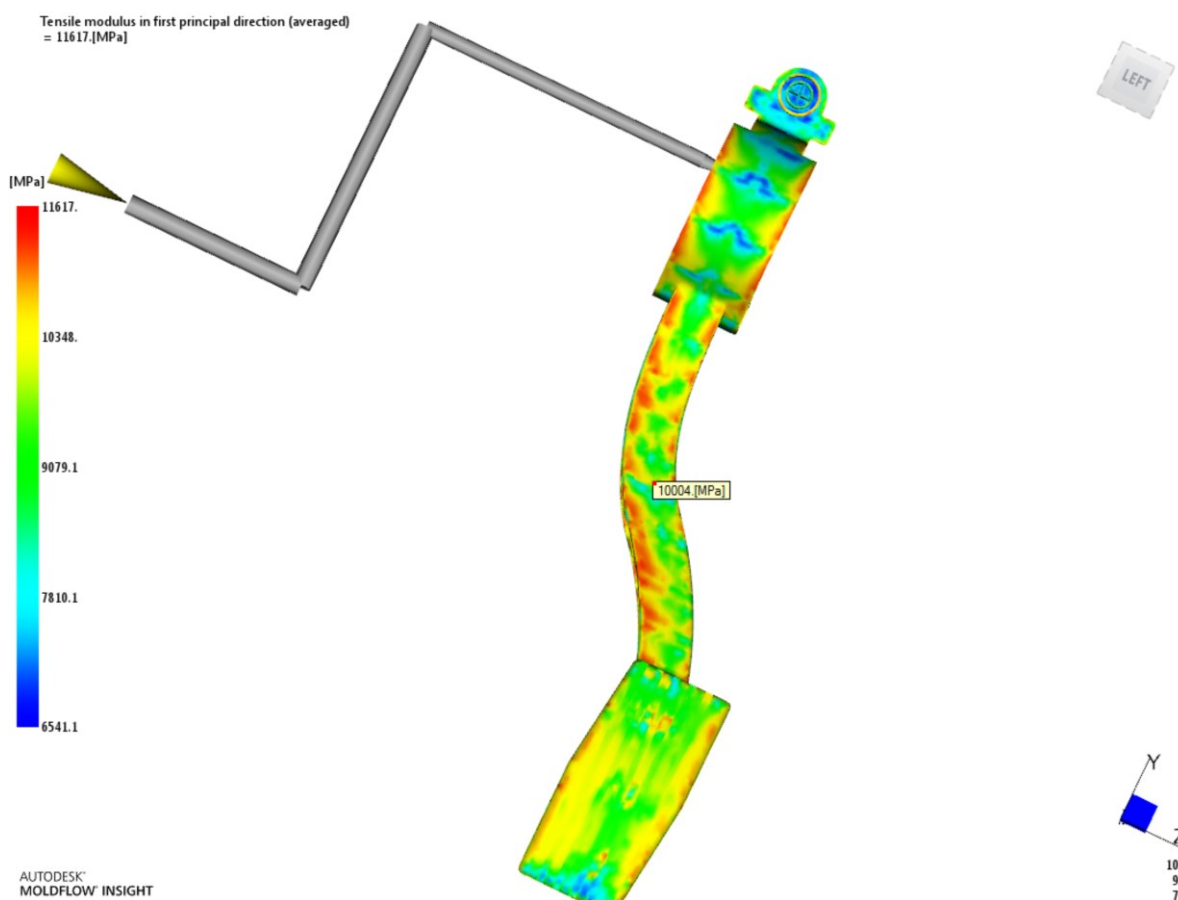
Obr. 66 Orientace vláken II – varianta 2

9.11 Youngův modul pružnosti v hlavním směru

Jak již bylo zmíněno v předešlé podkapitole, orientace plniva významně ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobku. Na obr. 67 a 68 je znázorněn modul pružnosti v tahu v hlavním směru toku taveniny. U varianty 1 lze vidět „zeslabení“ v oblasti vstřikovacího bodu, kde je plnivo orientováno radiálně od ústí a narušuje tak jinak poměrně dobrou orientaci skleněných vláken. Rozdíl v modulu pružnosti mezi variantou 1 a variantou 2 je v tomto místě více jak 3000 MPa. Maximální modul pružnosti v tahu se u obou variant pohybuje okolo 11600 MPa, minimální pak v rozmezí 6300-6600 MPa. Udávaný modul pružnosti z materiálového listu je 9500 MPa, což odpovídá zhruba průměrné hodnotě modulu (převládající zelená barva má hodnotu 8500–9500 MPa).



Obr. 67 Youngův modul pružnosti v hlavním směru toku taveniny – varianta 1

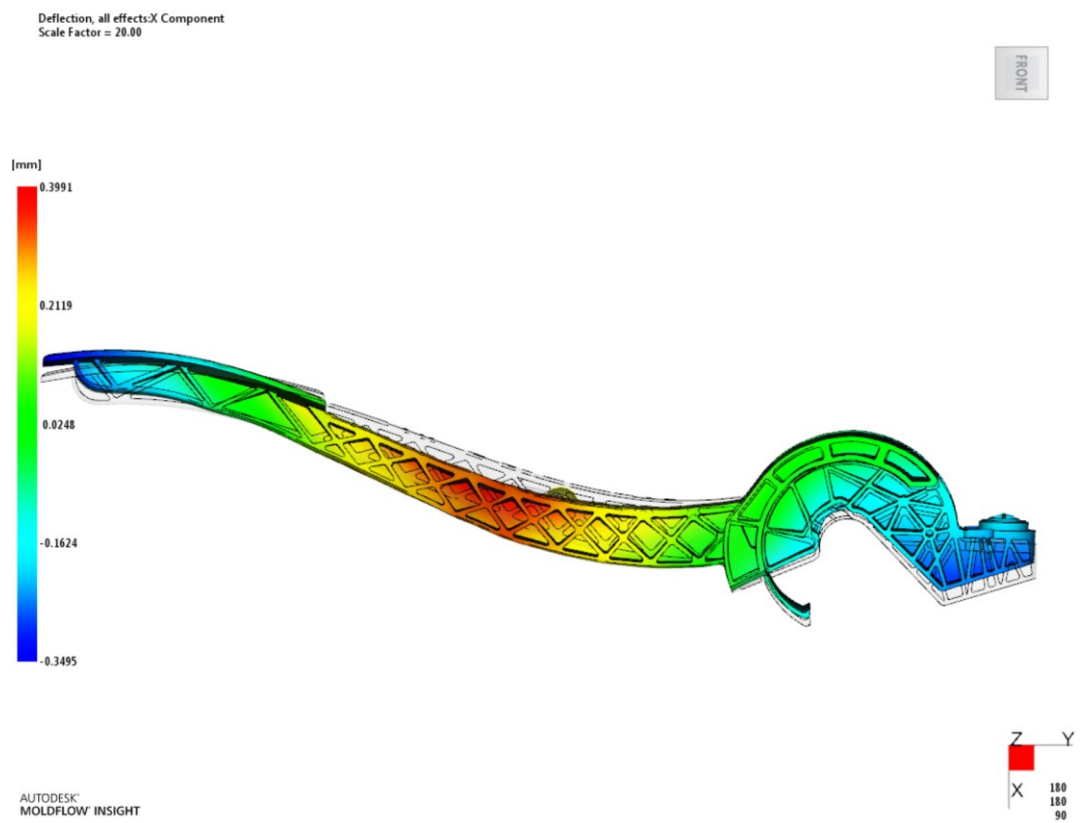


Obr. 68 Youngův modul pružnosti v hlavním směru toku taveniny – varianta 2

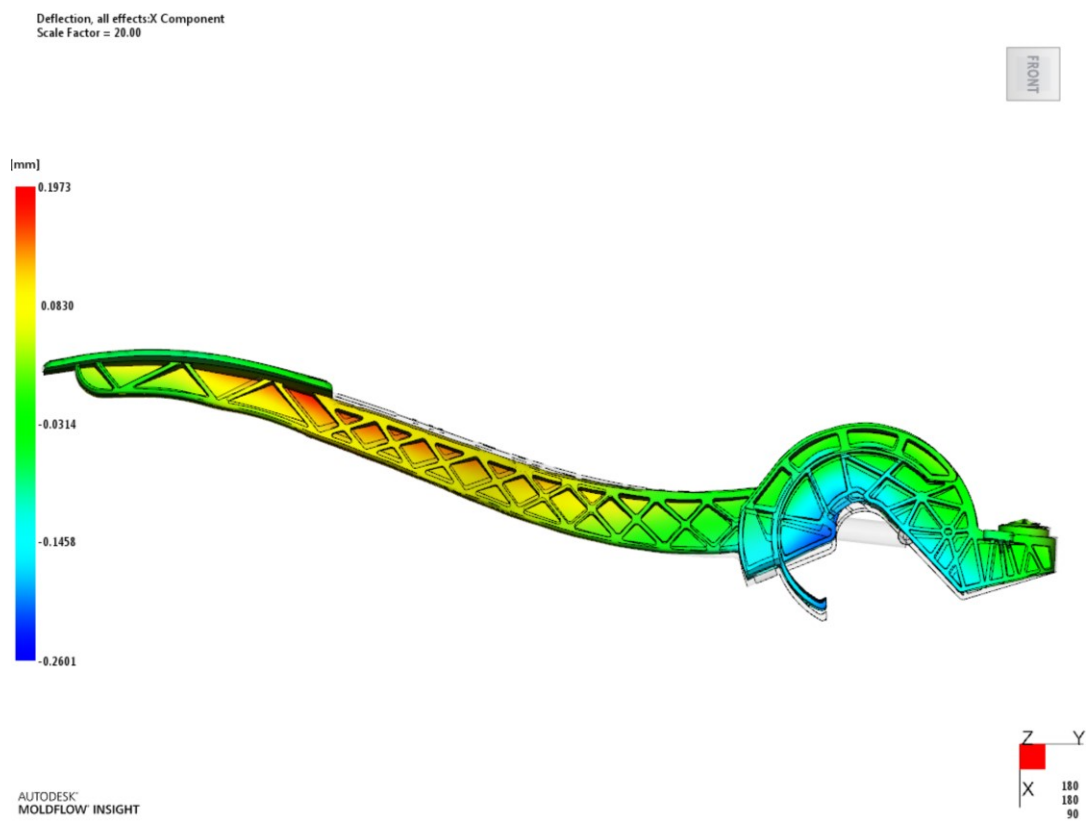
9.12 Deformace

Deformace se počítají od pevně zvolenému bodu, který se nachází v ose otáčení pedálu (v kloubové části). Na obr. 69 a 70 lze vidět deformace v ose x. Tato deformace byla 20krát zvětšena, aby dobře ukazovala, jakým způsobem se se pedál deformuje. Z obrázku je patrné, že u varianty 1 je deformace v ose x větší než u varianty 2. Maximální deformace (odchylka od nominální hodnoty) v ose x je pak 0,4 mm u varianty 1 a -0,26 mm u varianty 2. Významný průhyb pedálu u varianty 1 je důsledkem orientace vláken, která byla rozebírána v podkapitole 9.10.

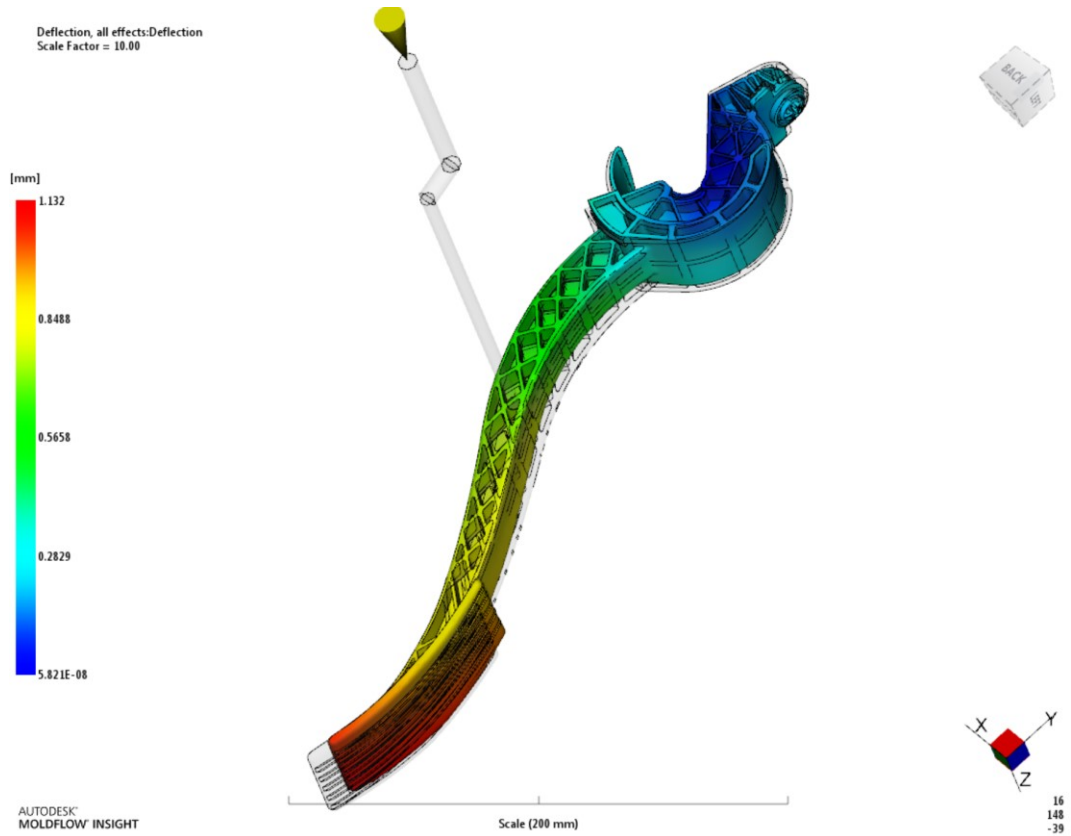
Celková maximální deformace pak vychází 1,13 mm pro variantu 1 a 0,96 mm pro variantu 2. U obou variant dochází k celkovému zkrácení délky výrobku a u varianty 1 navíc k významnému ohybu pedálu. Deformaci ovlivňují technologické parametry. Byly testovány různé teploty formy (90 °C, 85 °C a 80 °C), doby dotlaku (10 s, 12 s) a doby chlazení (od 19–30 s). Zde prezentované výsledky deformací jsou za technologických parametrů uvedených v tabulkách 6 a 7.



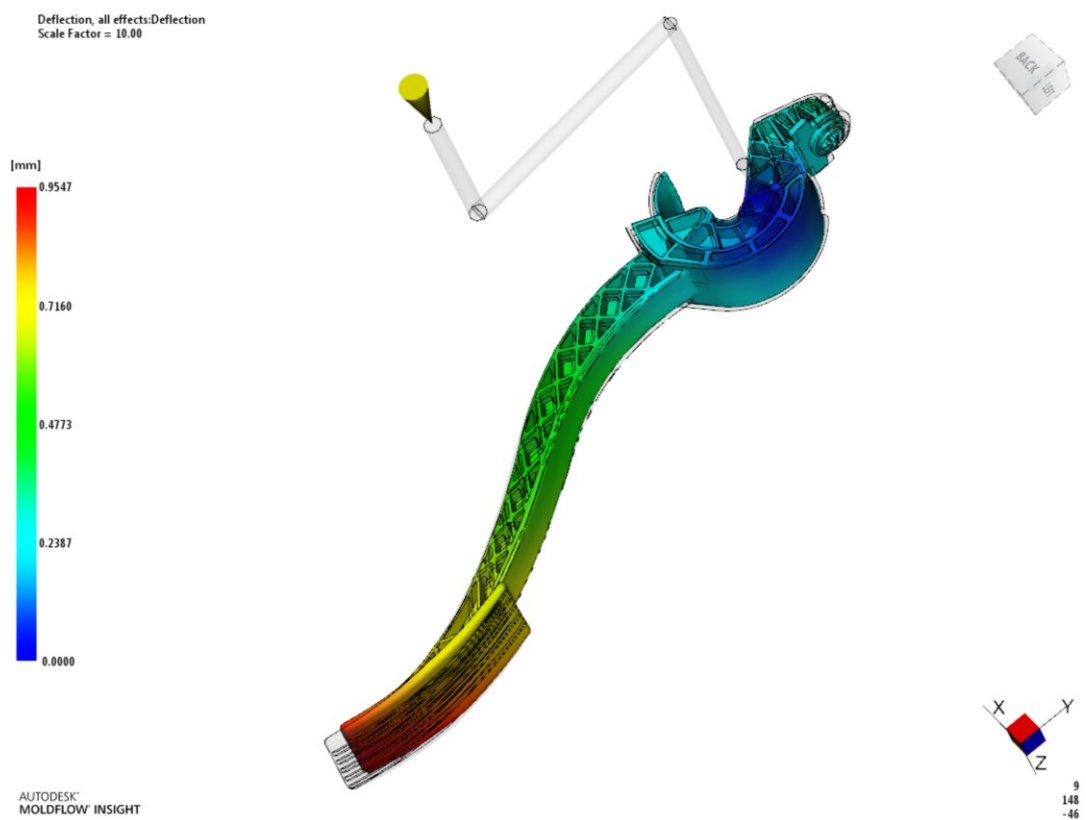
Obr. 69 Deformace v ose x – varianta 1



Obr. 70 Deformace v ose x – varianta 2



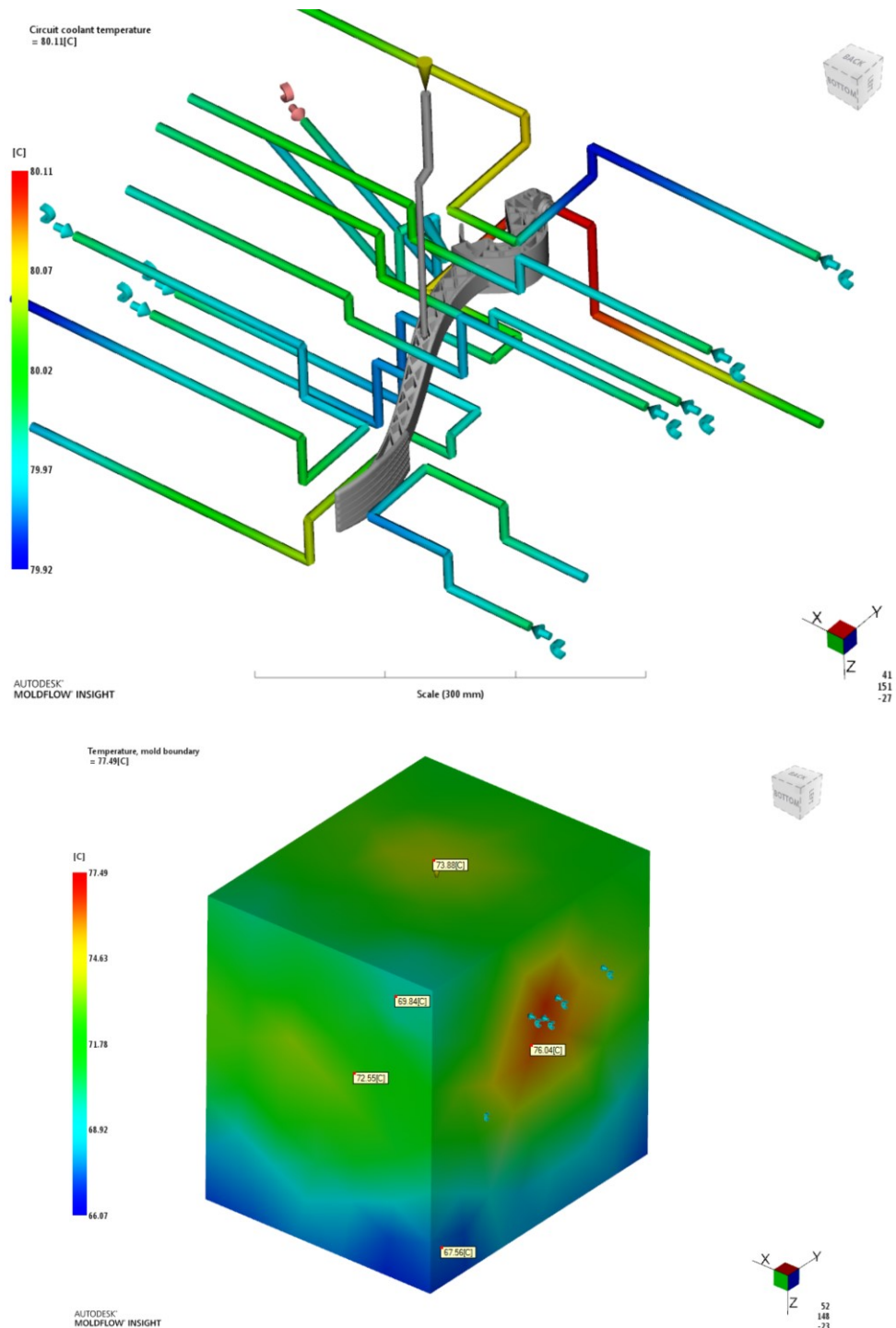
Obr. 71 Celková deformace – varianta 1



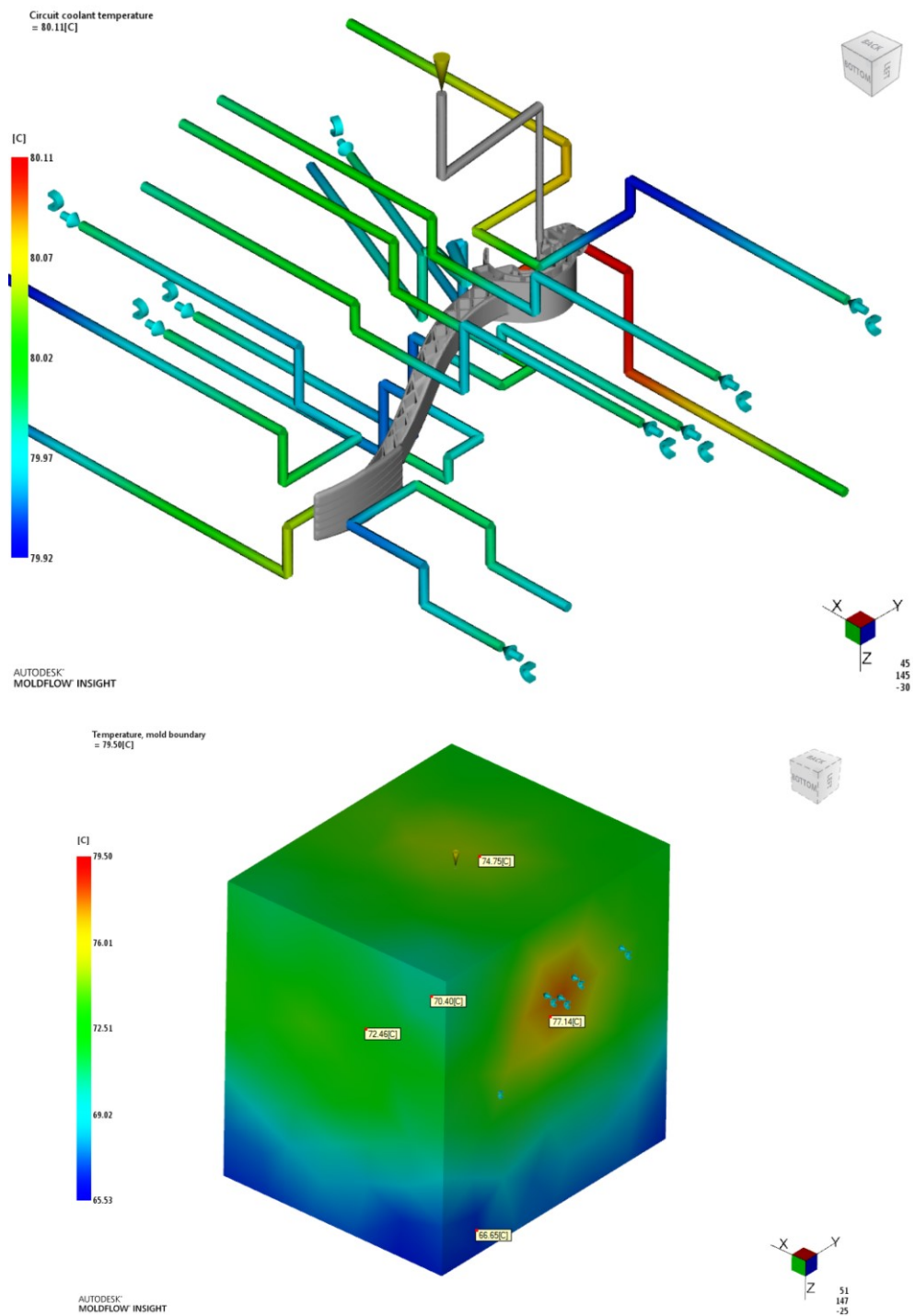
Obr. 72 Celková deformace – varianta 2

9.13 Teplota chladicího media a formy

Rozdíly teplot chladicího media při vstupu a výstupu z chladicího okruhu by neměl být větší než 2-3 °C. Z analýzy lze vyčíst, že je tato podmínka splněna. Teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem z okruhu není vyšší jak 0,11 °C. [27]



Obr. 73 Teplota chladicího media a formy – varianta 1

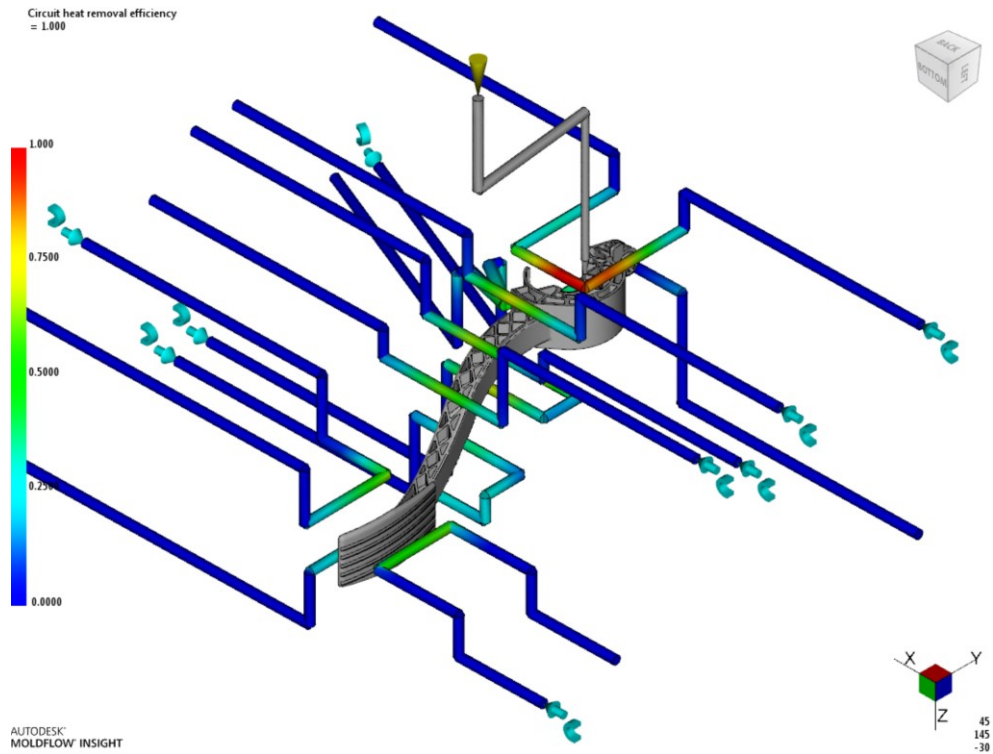


Obr. 74 Teplota chladícího média a formy – varianta 2

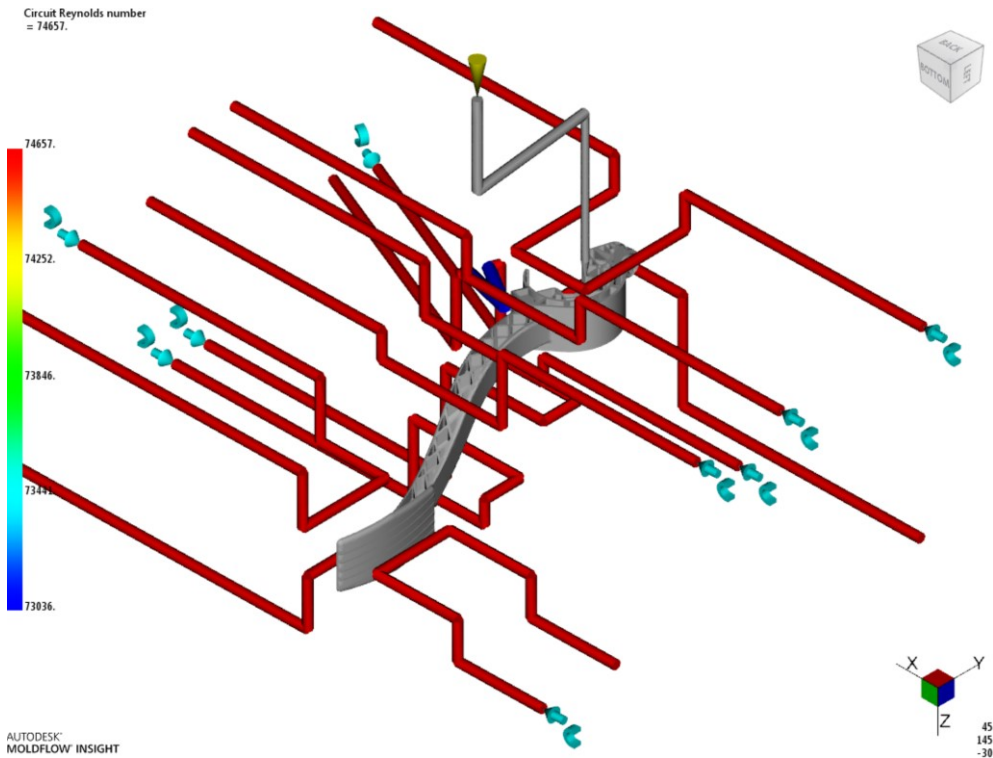
9.14 Efektivita odvodu tepla a Reynoldsovo číslo

Na obr. 75 je znázorněna efektivita chlazení, kde 1 označuje nejúčinnější odvod tepla z formy. Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina pomocí níž se dá určit, jestli je proudění

tekutiny laminární nebo turbulentní. Pro nejefektivnější odvod tepla se doporučuje turbulentní proudění chladícího media. Je-li Reynoldsovo číslo větší jak 4000, pak je proudění turbulentní. Z obr. 76 je patrné, že je proudění chladícího media zaručeně turbulentní.



Obr. 75 Efektivita odvodu tepla



Obr. 76 Reynoldsovo číslo

9.15 Diskuze nad výsledky analýzy

Byla provedena analýza vstřikování pro dvě varianty umístění vtokového ústí. U varianty 1 je vtokové ústí umístěno ve středu pedálu. Tato varianta vtokového systému je výhodnější z pohledu menšího odporu proti toku taveniny, menšího vstřikovacího tlaku a kratší doby vstřikování. Nižší vstřikovací tlak příznivě ovlivňuje životnost formy. Nevýhodou této volby polohy vstřikovacího bodu je velký ohyb pedálu, který je způsoben radiální orientací skleněných vláken v okolí vstřikovacího bodu. Tato orientace v okolí vtokového ústí také zapříčinila snížení Youngova modulu pružnosti v této oblasti v podélném směru.

Ve variantě 2 se vstřikovací bod nachází v kloubové části pedálu. Délka tokové dráhy u této varianty je větší než u varianty 1, což má za následek větší odpor proti toku taveniny a s tím související nutnost vyššího vstřikovacího tlaku. Výhodou této varianty vtokového systému je dobrá orientace skleněných vláken a menší deformace (ohyb) pedálu a kratší čas cyklu. Celkový cyklový čas je 53 s u varianty 1 a 43,5 s u varianty 2. Jak bylo v podkapitole 9.6 ukázáno, je možné u obou variant snížit čas cyklu na 36 s, a přitom pedál bezpečně vyhodit z formy. Nicméně tento minimální cyklus by v důsledku kratší doby chlazení vedl k větším deformacím.

Z důvodu menší deformace, lepších mechanických vlastností a nižších nákladů na výrobu dílu je zvolen vtokový systém dle varianty 2.

10 CENOVÁ KALKULACE PEDÁLU

V této kapitole bude vypočítána jednotková cenu plastového pedálu.

10.1 Vstupní parametry kalkulace

Pro zjištění ceny plastového dílce je nezbytné znát základní vstupní parametry, kterými jsou:

- Cena polymeru
- Hmotnost dílce a vtokového zbytku
- Cyklový čas
- Hodinová sazba zvoleného stroje
- Ostatní (OEE, režie, mzdy)

Cena polymeru je závislá na typu polymeru a odběrovém množství. Průměrná cena PA6 plněného skleněnými vlákny se pohybuje okolo 3 €/kg materiálu (průměrná cena neplněného a nebarveného PA6 je 2,45 €/kg [28]). Hmotnost plastového pedálu je 106 g. Dutina formy se plní horkou tryskou přímo do dílu, a proto není potřeba počítat s vtokovým zbytkem. Celkový cyklový čas je dle simulace plnění pro variantu 2 roven 43,5 s. Hodinová sazba vstřikovacích strojů se liší podle uzavírací síly. A platí, že větší uzavírací síla znamená vyšší hodinovou sazbu.

Tab. 8 Vstupní parametry kalkulace

Vstupní parametr	Hodnota	Jednotka
Cena polymeru	3	€/kg
Hmotnost pedálu	106	g
Násobnost formy	1	-
Cyklový čas	43,5	s
Hodinová sazba stroje	12,5	€/kg
Výrobní a administrativní režie	20	%
Materiálová režie	5	%
Mzda dělníka	6,9	€/hod
Vytížení dělníka	33	%
OEE	70	%

Pro 210 tunový vstřikovací stroj budu počítáno se sazbou 12,5 €/hod. Hodinové sazby strojů se v každé vstřikově plastů liší, některé firmy do této sazby započítávají i odpisy strojů a

periferií (odsávače polymeru, regulátory horkých systémů, sušičky atd.). Celkovou efektivnost zařízení tzv. OEE (*Overall equipment effectiveness*) je zvolena 70 %. Tento ukazatel efektivnosti v sobě zahrnuje prostoje i zmetkovou výrobu a zjednodušeně řečeno tak ukazuje po jakou dobu stroj vyrábí shodné díly.

10.2 Výpočet ceny pedálu

Počet vyrobených kusů za hodinu:

$$n = \frac{3600 \cdot OEE}{t_{cykl}} = \frac{3600 \cdot 0,7}{43,5} = 57,93 \frac{\text{kusů}}{\text{hod}} \quad (13)$$

Cena materiálu na výrobu jednoho kusu:

$$C_m = \frac{m}{1000} \cdot (c_p \cdot r_m) = \frac{106}{1000} \cdot (3,1,05) = 0,334 \frac{\text{€}}{\text{kus}} \quad (14)$$

kde

m hmotnost výrobku [g]

c_p cena polymeru [€/kg]

r_m materiálová režie [%]

Cena práce stroje na kus:

$$C_s = \frac{m_c}{n} = \frac{12,5}{57,93} = 0,216 \frac{\text{€}}{\text{kus}} \quad (15)$$

kde

m_c sazba stroje [€/hod]

Cena lidské práce na kus:

$$C_l = \frac{h_c \cdot h_o}{n} = \frac{6,9 \cdot 0,33}{57,93} = 0,039 \frac{\text{€}}{\text{kus}} \quad (16)$$

kde

h_c mzda dělníka [€/hod]

h_o vytížení dělníka [%]

Cena pedálu bez výrobní a administrativní režie a marže:

$$C_{základ} = C_m + C_s + C_l = 0,589 \frac{\text{€}}{\text{kus}} \quad (17)$$

Cena pedálu včetně režii a 5 % marže:

$$C_{celkem} = C_{základ} \cdot 1,25 = 0,736 \frac{\text{€}}{\text{kus}} \cong 19,7 \frac{\text{Kč}}{\text{kus}} \quad (18)$$

Kusová cena pedálu při čase cyklu 43,5 s je tedy 19,7 Kč/kus (při kurzu 1 € = 26,8 Kč). Při cyklu 53 s (varianta 1) dostaneme stejným výpočtem cenu 21,6 Kč/kus (0,806 €/kus). Rozdíl mezi variantou 1 a 2 je tedy 9,6 %. Přepočítáno na peníze je tento rozdíl 1,4 mil. za životnost projektu (700 tis. kusů).

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala konstrukčním návrhem formy pro výrobu plastového pedálu osobního automobilu. Na začátku teoretické části byly obecně rozebírány polymery. V jednotlivých podkapitolách pak byla shrnuta historie, základní rozdělení, výroba a reologie polymerních materiálů. V závěru kapitoly byl shrnut současný stav a místo polymerů v automobilovém průmyslu. Následující kapitola pojednávala o technologii vstřikování termoplastů. První podkapitolou byl vstřikovací cyklus, kde byly dopodrobna rozebírány jednotlivé části vstřikovacího cyklu. Součástí podkapitoly byl i postup, jak nalézt základní procesní parametry, jakými jsou vstřikovací rychlost a čas dotlaku. V další části kapitoly byl popsán vstřikovací stroj. Závěr kapitoly byl věnován jevu zvaném smrštění a z něj vyplývající deformace. Byly zde stručně popsány deformace plněných a neplněných polymerů se zaměřením na deformace plastů plněných skleněným vláknem. Kapitola byla ukončena nejběžnějšími vadami plastových výrobků. Třetí a závěrečnou kapitolou teoretické části byla kapitola o vstřikovacích formách. V této kapitole byly uvedeny základní součásti forem, vtokové soustavy, chladicí a odvzdušňovací systémy, vyhazování výrobků a odformování podkosů. V podkapitole chlazení forem byl věnován prostor alternativnímu chlazení pomocí slitin beryliové mědi a bronzu. Za zájmovou podkapitolu považuji odvzdušnění forem, kde krom standardního odvzdušnění byl popsán i systém odvzdušnění prostřednictvím přetokové kapsy. I přesto, že je tento systém odvzdušnění jednoduchý a v praxi hojně používán, mu odborná literatura nevěnuje velkou pozornost.

Praktická část diplomové práce se dá rozdělit na dvě hlavní části. První polovina se věnovala navržené formě pro výrobek pedálu. Na začátku byl v krátkých kapitolách představen vstřikovaný výrobek, definován materiál a navržen vstřikovací stroj. Zbytek kapitoly se věnoval jednotlivým částem formy. Kapitola uzavřela podkapitola, kde byla ověřována vhodnost zvoleného lisu. Druhá polovina praktické části byla simulace vstřikování výrobku. Pro analýzu byl zvolen program Autodesk Moldflow Insight 2012. V rámci analýzy bylo variováno umístění vstřikovacího bodu. Vstřikovací bod byl v jedné variantě umístěn do středu a v druhé do horní kloubové části výrobku. Tyto varianty byly následně porovnávány v jednotlivých zvolených simulacích. V podkapitole 9.14 pak byla na základě výsledků těchto analýz vybrána poloha vtokového ústí, která byla implementována do finálního návrhu formy. V závěrečné kapitole 10, pak byla vypočítána kusová cena pro obě varianty vtokových systémů, která potvrdila správnost naší volby umístění vtokového ústí i z ekonomického pohledu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [2] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-65-6.
- [3] EVERTON, Clive. *The history of snooker and billiards*. Haywards Heath: Partridge Press, 1986. ISBN 9781852250133.
- [4] PORTÁL AUTOMOTOREVUE: *Udržitelný vývoj – strategický kaučukovník*. [online] 2011 [cit. 2017-1-29]. Dostupné z: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/praxe/udrzitelny-vyvoj-strategicky-kaucukovnik_45184.html#
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [6] SEDLÁČEK, Tomáš. *Pokročilé polymerní materiály a technologie*. (přednáška) Zlín: UTB Fakulta technologická, 17.9.2016
- [7] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [8] BENÍČEK, Lubomír. *Plastikářská technologie*. (přednáška) Zlín: UTB Fakulta technologická, 10.11.2015
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie II* [elektronická skripta] [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [10] PORTÁL POLYMER PROCESSING: *Mold viscosity test-Validation procedure for injection molds*. [online] 2010 [cit. 2017-2-7]. Dostupné z: <http://polymerprocessing.blogspot.cz/2010/06/5-mold-viscosity-test-validation.html>
- [11] PORTÁL INJECTION MOLDING ONLINE: *Procedure to determine Holding pressure and Process Window*. [online] 2007 [cit. 2017-2-9]. Dostupné z: <http://www.injectionmoldingonline.com/HowTo/ProcessWindow.aspx>
- [12] PORTÁL PLASTICS TODAY: *Robust processing, Part 2: Scientific Molding and Design of Experiments*. [online] 2009 [cit. 2017-2-9]. Dostupné z: <https://www.plasticstoday.com/content/robust-processing-part-2-scientific-molding-and-design-experiments/23821050612482>

- [13] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [14] PORTÁL KISTLER: *Plastic Process Monitoring*. [online] 2017 [cit. 2017-3-1]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/cz/en/applications/industrial-process-control/plastic-process-monitoring/>
- [15] PORTÁL MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: *Vady výstřiků – 1.díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje*. [online] 2010 [cit. 2017-2-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priviny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>
- [16] LENFELD, Petr. *Vstřikovací formy*. [elektronická skripta] [cit. 2017-02-29]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf
- [17] HENDRYCH, Josef, WEBER, Antonín, DOLEŽEL Jaroslav. *Standardizace rámu a součástí forem pro vstřikování termoplastů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1986.
- [18] PORTÁL AMPCO: *Obrábění plastů & výroba forem*. [online] 2017 [cit. 2017-3-01]. Dostupné z: <https://www.ampcometal.com/cs/aplikace/obrabeni-plastu-vyroba-forem/>
- [19] KATALOG CUMSA. [online] 2017 [cit. 2017-3-10]. Dostupné z: https://www.cumsa.com/imgoriginales/cumsa_catalogue.pdf
- [20] PORTÁL GOTSTOGO: *Snap Fit Design*. [online] 2017 [cit. 2017-3-01]. Dostupné z: http://www.gotstogo.com/misc/engineering_info/snap_design.htm
- [21] HYNEK, Martin. *Kinematické elementy*. [elektronická skripta] [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Kinematicke_elementy.pdf
- [22] PORTÁL MATWEB: *BASF Technical Data Sheets*. [online] [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/GetMatlsByManufacturer.aspx?manID=18>
- [23] PORTÁL DASISOLUTIONS: *The future of SolidWorks has always been in YOUR hands*. [online] 2011 [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://blog.dasisolutions.com/2011/09/27/the-future-of-solidworks-has-always-been-in-your-hands/>
- [24] NAVRÁTIL, Jan. *Využití DMLS při návrhu vstřikovací formy*. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB Zlín.

- [25] PORTÁL SUMITOMO SHI DEMAG [online] 2017 [cit. 2017-4-10]. Dostupné z: https://www.sumitomo-shi-demag.eu/fileadmin/user_upload/download_fakuma_2015/packaging_td_syspec_sp_en.pdf
- [26] HYNEK, Martin. *Rámy vstřikovacích forem*. [elektronická skripta] [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Ramy_vstrikovacich_forem.pdf
- [27] PORTÁL AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK: *User's Guide*. [online] 2017 [cit. 2017-4-10]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight>
- [28] PORTÁL PLASTICPORTAL: *Ceny polymerů*. [online] 2017 [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/ceny-polymeru/lm/7>
- [29] PORTÁL SVOBODA: *Ecovent odzdušnění řízeným přetokem*. [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.jansvoboda.cz/Ecovent-c43001>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
CAD	Computer aided design
CAE	Computer aided engineering
CAM	Computer aided manufacturing
EPDM	Etylén-propylen-dien
PA6	Polyamid 6.
PA66	Polyamid 66
PA6 GF30	Polyamid 6 plněný 30% skleněných vláken
PAMAM	Polyamidoamin
PC	Polykarbonát
PC + ABS	Směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu
PE-HD	Vysoko hustotní polyethylen
PE-LD	Nízko hustotní polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PF	fenol-formaldehydová pryskyřice
PMMA	polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PPO	Polyfenylenoxid
PS	Polystyren
PSU	Polysulfon
PTFE	Polytetrafluoretylen
PVC	Polyvinylchlorid
TPE	Termoplastické elastomery
UF	Močovinoformaldehydové hmoty

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Hevea brasiliensis [4]	13
Obr. 2 Fontánový tok polymerní taveniny s rychlostním profilem [7].....	19
Obr. 3 Design klipu tankovacího víčka se zúženým napojením na plochu víčka	20
Obr. 4 Řez klikou dveří osobního automobilu vyrobenou technologií GIT	21
Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje se šnekovo plastikací [9]	22
Obr. 6 Viskózní křivka.....	24
Obr. 7 Příklad procesního okna [12].....	25
Obr. 8 Tlaky u vstřikování [7]	28
Obr. 9 Hydraulická uzavírací jednotka [13]	30
Obr. 10 Vliv procesních parametrů na smršnění [2].....	32
Obr. 11 Deformace výstřiku „krabice se dnem“ [5]	33
Obr. 12 Odlišné chování plněných a neplněných materiálů při deformaci [5].....	33
Obr. 13 Deselekt vlivem nedostatečného odvodu vzdušné formy [29].....	35
Obr. 14 Řez dvou deskovou formou se studeným kuželovým vtokem	37
Obr. 15 Vtokový zbytek.....	40
Obr. 16 Systém horkých trysek s vyhříváním trácem.....	42
Obr. 17 Konstrukce odvodu vzdušného kanálu v dělicí rovině.	45
Obr. 18 Přetoková kapsa.....	46
Obr. 19 Vyhazovací systém vstřikovací formy	47
Obr. 20 Mechanická čelist	49
Obr. 21 Princip šikmého vyhazovače (lifter) [20]	50
Obr. 22: Model výrobku	53
Obr. 23 Vstřikovací stroj Sumitomo Demag [25].....	56
Obr. 24 Rám vstřikovací formy pro výstřik pedálu	57
Obr. 25 Vedení pohyblivé poloviny	58
Obr. 26 Samomazné vodící pouzdro od firmy Hasco.....	58
Obr. 27 Tvarová vložka vyhazovací strany	59
Obr. 28 Tvarová vložka vstřikovací strany.....	60
Obr. 29 Mechanická čelist šlapátka pedálu	61
Obr. 30 Mechanická čelist s AMPCO vložkou a s přepážkou chlazení	61
Obr. 31 Mechanická čelist s AMPCO vložkou bez chlazení.....	62
Obr. 32 Vtokový systém formy	63

Obr. 33 Vyhazovací systém formy	64
Obr. 34 Chlazení tvarové desky a vložky pohyblivé poloviny formy	65
Obr. 35 Chlazení tvarové desky a vložky pevné poloviny formy	66
Obr. 36 Chlazení čelisti šlapátka	67
Obr. 37 Chlazení čelisti s přepážkou a AMPCO vložkou	67
Obr. 38 Vstřikovací forma na výrobu pedálu	68
Obr. 39 Simulované nasazení formy na vstřikovací stroj Demag SP 210/580.....	70
Obr. 40 Vysíťovaný model – varianta 1	72
Obr. 41 Vysíťovaný model – varianta 2	72
Obr. 42 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí.....	73
Obr. 43 Čas zaplnění dutiny – varianta 1	74
Obr. 44 Čas zaplnění dutiny – varianta 2.....	74
Obr. 45 Rozložení tlaku v bodě přepnutí na dotlak – varianta 1	75
Obr. 46 Rozložení tlaku v bodě přepnutí na dotlak – varianta 2	76
Obr. 47 Teplota na čele taveniny – varianta 1	77
Obr. 48 Maximální teploty na čele taveniny – varianta 1	77
Obr. 49 Teplota na čele taveniny – varianta 2	78
Obr. 50 Místo největšího teplotního poklesu na čele taveniny – varianta 2.....	78
Obr. 51 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – varianta 1	79
Obr. 52 Poslední místa ochlazování – varianta 1	79
Obr. 53 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty – varianta 2.....	80
Obr. 54 Časy vyhození v oblastech vyhazovačů	80
Obr. 55 Propadliny – varianta 1	81
Obr. 56 Propadliny – varianta 2.....	82
Obr. 57 Uzavírací síla – varianta 1	82
Obr. 58 Uzavírací síla – varianta 2	83
Obr. 59 Uzavřený vzduch – varianta 1	83
Obr. 60 Uzavřený vzduch – varianta 2	84
Obr. 61 Uzavřený vzduch v pedálu (vlevo varianta 1, vpravo varianta 2).....	84
Obr. 62 Odvzdušnění pedálu pomocí odvzdušňovacích kanálků v čelisti	85
Obr. 63 Orientace vláken I – varianta 1	85
Obr. 64 Orientace vláken II – varianta 1	86
Obr. 65 Orientace vláken I – varianta 2.....	86

Obr. 66 Orientace vláken II – varianta 2	86
Obr. 67 Youngův modul pružnosti v hlavním směru toku taveniny – varianta 1	87
Obr. 68 Youngův modul pružnosti v hlavním směru toku taveniny – varianta 2	88
Obr. 69 Deformace v ose x – varianta 1	89
Obr. 70 Deformace v ose x – varianta 2	89
Obr. 71 Celková deformace – varianta 1	90
Obr. 72 Celková deformace – varianta 2	90
Obr. 73 Teplota chladícího média a formy – varianta 1	91
Obr. 74 Teplota chladícího média a formy – varianta 2	92
Obr. 75 Efektivita odvodu tepla	93
Obr. 76 Reynoldsovo číslo	93

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Milníky v historii polymerů [1] [6]	14
Tab. 2 Rozdělení polymerů dle tvaru a uspořádání makromolekuly [1]	15
Tab. 3 Rozdělení polymerních materiálů [5]	16
Tab. 4 Šířka odvzdušňovacích kanálů dle materiálu [2].....	44
Tab. 5 Základní parametry formy	68
Tab. 6 Procesní parametry pro „variantu 1“	71
Tab. 7 Procesní parametry pro „variantu 2“	71
Tab. 8 Vstupní parametry kalkulace	95

SEZNAM PŘÍLOH

PRÍLOHA PI: Výkres sestavy formy, kusovník

PRÍLOHA PII: DVD obsahující diplomovou práci, 3D model formy a výrobku, výkres sestavy formy, kusovník, tokové simulace.