

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Optimalizace konstrukce a technologie plastového dílu

Optimization of a construction and a technology of a plastic part

Petr Dubský

KSP – TP – 762

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. – TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Weinlich

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	123
Počet tabulek	12
Počet obrázků	118
Počet grafů	7

Datum: 26. 5. 2006



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Petr D U B S K Ý
Studijní program	M2301 Strojní inženýrství
Obor	2303T002 Strojírenská technologie
Zaměření	Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Optimalizace konstrukce a technologie plastového dílu

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznámení se s výrobou ve firmě HPQ Plast, s. r. o., Český Dub.
2. Výběr vhodného dílu pro optimalizaci.
3. Simulační optimalizace konstrukčního dílu a uspořádání vstřikovací formy pro dosažení vhodného plnění a minimalizaci deformací.
4. Výběr nejvhodnější varianty.
5. Vyhodnocení výsledků a závěr.

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program:	M2301 – Strojní inženýrství
Diplomant:	Petr Dubský
Téma práce:	Optimalizace konstrukce a technologie plastového dílu Optimization of a construction and a technology of a plastic part
Číslo DP:	KSP – TP – 762
Vedoucí DP:	Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. – TU v Liberci
Konzultant:	Ing. Petr Weinlich

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací technologických podmínek výroby a konstrukčních parametrů plastového dílu, který je součástí modulu palivového čerpadla. K tomuto účelu je použit simulační software Cadmould, který umožňuje napodobit reálné podmínky výroby dílu technologií vstřikováním plastů. Optimalizace je řešena pomocí změn technologických podmínek vstřikování a konstrukčních parametrů výstřiku a vstřikovacího nástroje.

Abstract:

This thesis deals with an optimization of a technological conditions and a constructive parameters of a plastic part. The plastic part is a gasoline pump component. A software Cadmould enables a simulation process which imitates real condition of an injection technology of a plastic processing. The optimization is realize by change of the injection technological conditions and the constructive parameters of the plastic part and an injection tool.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 26. května 2006

.....
Petr Dubský
Bratříkov 126

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Aleši Auspergerovi Ph.D. a svému konzultantovi Ing. Petru Weinlichovi za věcné připomínky a cenné rady při vypracování. Dále děkuji firmě HPQ Plast s. r. o. z Českého Dubu za zprostředkování tématu práce a zejména Josefu Najmanovi za poskytování mnoha nezbytných informací, bez kterých by práce nevznikla. Nakonec děkuji celé své rodině za trpělivost a velkou podporu během mého studia.

Petr Dubský

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 Počítačová simulace v praxi	10
2.1.1 Software Cadmould	10
2.1.2 Výpočtové moduly procesní simulace	11
2.1.3 Princip výpočtu	12
2.1.4 Nezbytné požadavky pro výpočet	12
2.2 Plasty	13
2.2.1 Plasty jako konstrukční materiál	13
2.2.2 Rozdělení plastů	13
2.2.3 Přejímové teploty a vliv na vlastnosti plastů	14
2.3 Vstřikování	15
2.3.1 Princip metody	16
2.3.2 Vstřikovací stroj	16
2.3.3 Vstřikovací nástroj	17
2.3.4 Vtoková soustava	18
2.3.5 Zásady při návrhu vtokové soustavy	21
2.3.6 Vtokové soustavy s horkým rozváděcím kanálem	22
2.3.7 Temperační systém vstřikovacího nástroje	22
2.3.8 Vyhazovací systém	23
2.3.9 Vstřikovací cyklus	23
2.3.9.1 Možnosti snížení doby vstřikovacího cyklu	25
2.4 Technologické parametry	26
2.5 Vliv materiálu na vlastnosti výstřiku	27
2.6 Vliv stroje na vlastnosti výstřiku	27
2.7 Vliv nástroje na vlastnosti výstřiku	27
2.8 Zásady navrhování výrobků z plastů	28
2.9 Vady plastových výstřiků	32
2.9.1 Smrštění plastových výstřiků	32
2.9.2 Vnitřní pnutí	32
2.9.3 Deformace	33
2.9.4 Neúplné výrobky	34
2.9.5 Propadliny	35
2.9.6 Studené spoje	35
3. PRAKTICKÁ ČÁST	36
3.1 Sledovaný výrobek	36
3.1.1 Materiál POM – Hostaform C 13021	36
3.1.2 Doporučené technologické podmínky pro vstřikování materiálu POM	37
3.1.3 Firma HPQ Plast s.r.o.	37
3.1.4 Vstřikovací nástroj	37
3.1.5 Vstřikovací stroj	38
3.1.6 Popis problémů výstřiku spojených s výrobou	39
3.2 Simulace vstřikování – postup při výpočtu	40
3.2.1 Vytvoření modelu výstřiku	40
3.2.2 Vytvoření chladičské soustavy	41

3.2.3	Základní funkce pro práci se software Cadmould	41
3.2.4	Načtení modelu a vytvoření vtokové soustavy	42
3.2.5	Výběr materiálu a definice vstřikovacích parametrů	43
3.2.6	Identifikace nastavení a spuštění simulace	44
3.2.7	Temperační soustava	45
3.2.8	Nastavení dodatečných parametrů výpočtu	46
3.2.9	Spuštění kompletní simulace vstřikování	47
3.2.10	Výsledky výpočtu	47
3.3	Simulace současného stavu výroby výstřiku	48
3.3.1	Nastavení výpočtu	48
3.3.2	Výsledky simulace a jejich rozbor	49
3.3.3	Zhodnocení výsledků simulace současného stavu výroby	71
3.4	Porovnání simulace se skutečností	71
3.4.1	Zhodnocení míry přesnosti počítačové simulace	72
3.5	Návrhy opatření pro optimalizaci sledovaných problémů	72
3.6	Realizace úprav technologických a konstrukčních parametrů výstřiku	74
3.6.1	Návrhy technologických parametrů	75
3.6.2	Návrhy konstrukčních úprav výstřiku	86
3.7	Souhrn optimalizovaných parametrů vedoucích ke zlepšení výroby	109
3.8	Výpočet experimentu	110
4.	HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE	117
5.	ZÁVĚR	121
	Seznam použité literatury	123

Seznam použitých zkratk a symbolů:

CAD	computer aided design (počítačem podporovaný návrh)
CAM	computer aided manufacturing (organizace výrobního procesu pomocí výpočetní techniky)
CAE	computed aided engineering (počítačová podpora ve strojírenství)
RIM	reaction injection moulding (reakční vstřikování)
IGES	typ formátu souboru (IGS)
STL	typ formátu souboru
FE	final elements (konečné prvky)
MKP	metoda konečných prvků (FEM – final elements metod)
MOP	metoda okrajových prvků
MS	metoda sítí
POM	polyoxymetylen
ISO	mezinárodní norma (DIN EN ISO)
E [MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu
v [m ³ .kg ⁻¹]	měrný objem
ε _r [1]	tažnost
T _g [°C]	teplota zesklnění
T _f [°C]	teplota viskózního toku
T _m [°C]	teplota tání
Q _v [cm ³]	vstřikovací kapacita
O _p [kg.h ⁻¹]	plastikační kapacita

1 ÚVOD

S rostoucím rozvojem strojírenského průmyslu v oboru zpracování plastů jsou kladeny stále větší nároky na finální výrobek, ale i na nejefektivnější řešení samotné vstřikovací formy a produktivitu výroby. S plastovými výrobky se setkáváme ve všech odvětvích průmyslu a prakticky všude okolo nás. V současné době už plast neplní zdaleka pouze roli obalu nebo krytu jako tomu bylo dříve, ale je nedílnou součástí dnešního života a v mnoha ohledech a aplikacích je nenahraditelným a nepostradatelným materiálem. Z tohoto důvodu jsou na plastové díly, které jsou z velké části vyráběny vstřikováním, kladeny stále větší požadavky na kvalitu, spolehlivost a samozřejmě i samotné konstrukční provedení a estetický vzhled. Zároveň je i všeobecnou snahou dosažení nízké nákladovosti a tudíž i konečné ceny výrobku, zkoušení nových materiálů a výrobních možností v tomto oboru strojírenství. Důsledkem toho je stále větší tlak na vývojové pracovníky konstruovat plastové díly a vstřikovací nástroje správně jak z pohledu funkčnosti a spolehlivosti, tak i vyrobitelnosti a efektivnosti.

Aby bylo možné předejít již v začátku celé procedury spojené se zadáním celého projektu až po dodání konečného dílu zákazníkovi různým problémům, které mohou nastat právě až při výrobě plastového dílu, používají se různé počítačové simulace, které mohou pomoci vyřešit některé nepředvídatelné otázky v dané problematice. Jsou to jakési kontrolní a optimalizační nástroje pro odhalení míst možného výskytu výrobních nebo funkčních problémů a jsou součástí CAD/CAE a CAM systémů.

S těmito softwarovými prostředky je tedy možné vyvinout plastové díly technologicky správně jak z hlediska funkčnosti, konstrukce a očekávaných požadavků. Odhalení a odstranění možných problémů již ve fázi koncepčního návrhu nebo konstrukce daného výrobku může znamenat pro výrobní společnost výrazné úspory vývojových a výrobních nákladů a tím i času spojeného s uvedením plastového dílu na trh.

Podobně lze tyto prostředky využívat i pro optimalizaci zavedené výroby. Namísto časově a finančně náročných zkoušek a nových úprav prováděných přímo v provozu, lze tyto možnosti aplikovat na počítačový software a velice rychle, jednoduše a efektivně hledat nová řešení a optimalizovat tak výrobu.

Optimalizací technologických parametrů a konstrukčních úprav na výstřiku se právě zabývá tato práce. Sledovaný výrobek, který je procesu optimalizace a hledání menších deformací podroben, je již určitou dobu vyráběn. Během výroby vstřikováním se ale na výrobku vyskytují určité nežádoucí průvodní a následné jevy, které proces vstřikování doprovází a snahou výrobce je jejich eliminace a dodávání kvalitních výstřiků zákazníkovi. Podstatou této diplomové práce je hledání takových technologických podmínek a konstrukčních úprav na výstřiku, které povedou ke snížení či odstranění uvedených vyskytujících se problémů na konkrétním plastovém dílu.

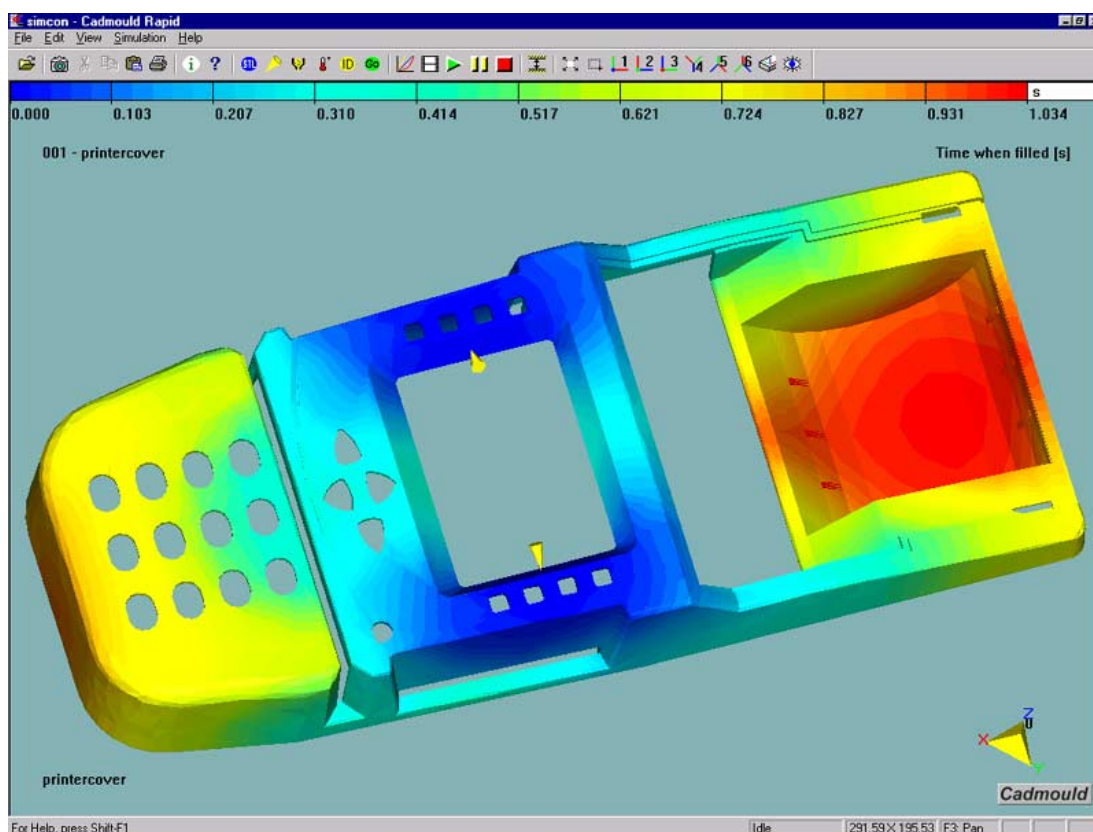
2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Počítačová simulace v praxi

Simulace umožňují řešit i velmi složité technologické operace, které by se jinak velmi obtížně zkoumali např. analytickými metodami. V procesu vstřikování tak lze optimalizovat vhodné umístění vtoků, odstranění studených spojů a dalších vad spojených s touto problematikou výroby plastových dílů vstřikováním včetně speciálních metod vstřikování. Kromě toho můžeme sledovat různé děje během samotného procesu, jako chování taveniny plastu při plnění dutiny formy, rozložení teplotního pole ve výstřiku, stav vnitřního napětí a deformací ve výlisku po vyhození z nástroje, vznik problematických míst a s tím souvisejících vad a mnoho dalších [1].

Simulace tak nabízí komplexní pohled na daný problém a vede k návrhům na zlepšení nejen geometrie plastového dílu a optimálního řešení konstrukce vstřikovacího nástroje. Další výhodou simulace je možnost prověření různých variant řešení, kdy změnou technologického nebo konstrukčního parametru lze sledovat jeho vliv na chování celého procesu a vyloučit tak rizika špatných návrhů a tím i případných ekonomicky nákladných oprav.

2.1.1 Software Cadmould [2]



Obr. 2.1: Pracovní prostředí softwareového produktu Cadmould

Procesní simulace Cadmould je softwarový produkt vyvinutý německou firmou Simcon GmbH. Cadmould je jedním z nejdokonalejších CAE softwarových produktů pro simulaci zpracování termoplastů, elastomerů, reaktoplastů a RIM materiálů. Soubor programů poskytuje uživateli prostředek pro optimalizaci technologického

procesu vstřikování, možnost zkrácení doby vývoje nových výrobků, zvýšení kvality forem a plastových dílců. Uživatelský interface na obr. 2.1 je orientován dialogově s využitím techniky oken. Pomocí interface lze předat všechny potřebné údaje do preprocesoru a do výpočtových modulů [3].

Preprocessor slouží k přípravě výpočtové geometrie výstřiku, umožňuje načíst nejrůznější přenosové formáty (IGES, VDAFS, STL, atd.) a vytváří výpočtovou strukturu FE, která je složena z trojúhelníkových a válcových elementů. U souborů STL dokáže automaticky generovat povrchové FE sítě a provést simulaci plnicí a dotlakové fáze. Dále umožňuje zvolit polohu vtokového ústí a matematicky upravovat tloušťky stěn.

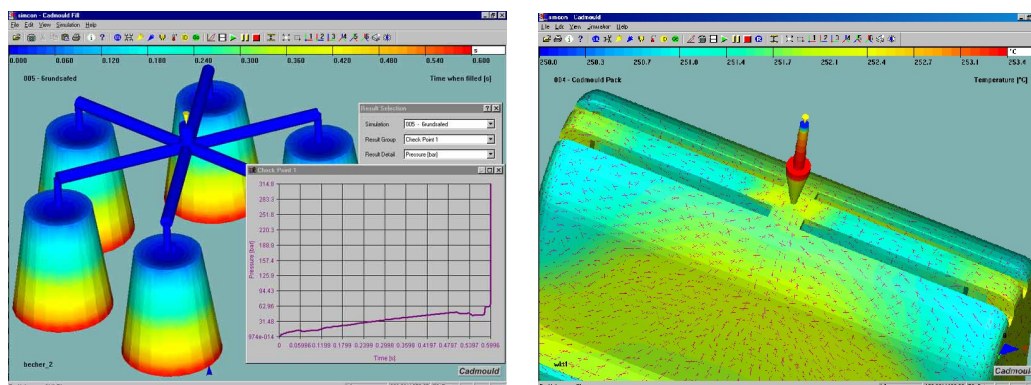
Mezičlánkem preprocesoru a postprocesoru je samotný procesor, který plní funkci rychlého výpočtu vlastních simulačních výsledků.

Postprocesor představí vypočtené simulační výsledky pro celý výrobek nebo pro zvolené sledované problematické oblasti a to převážně v grafické podobě včetně barevných vyjádření průběhu a stavu proměnlivých hodnot. Mohou být také zadány hodnoty, které jsou relevantní strojním parametrům: např. časové nebo dráhové řízení, tlakový profil nebo profil určený objemovým prouděním. Software Cadmould rovněž umí zohlednit horké vtokové systémy a několik různých variant druhů temperace vstřikovacího nástroje. V neposlední řadě obsahuje materiálovou databanku plastů, kterou lze libovolně rozšiřovat např. pomocí databanky CAMPUS, obsahující více než 7000 typů materiálů.

2.1.2 Výpočtové moduly procesní simulace [1]

Jak již bylo řečeno, celý systém je řešen modulově a mezi hlavní moduly patří Cadmould Fill, Cadmould Pack, Cadmould Fibber, Cadmould Cool a Cadmould Warp [2]. Každý modul má většinou společné pracovní prostředí a specifické dialogové okno a slouží buď k zadávání procesních parametrů nebo ke grafickému zobrazování výsledků výpočtu simulace.

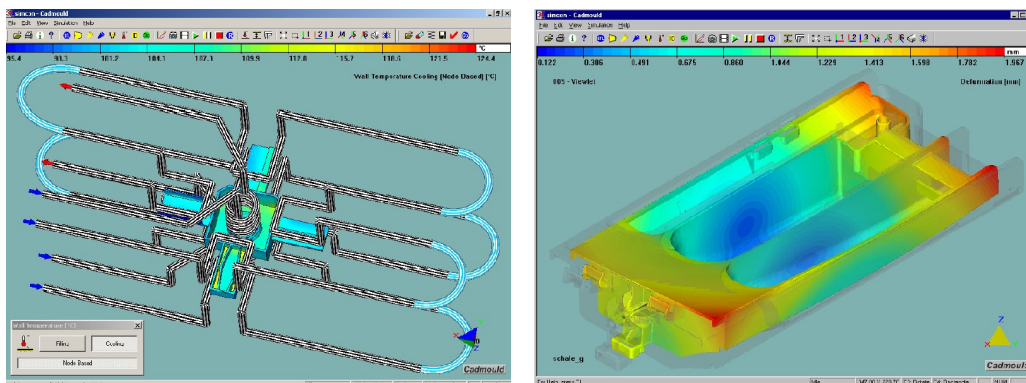
Modul Cadmould Fill je základním prvkem pro načtení modelu výstřiku ve formátu STL a analyzuje plnění tvarové dutiny vstřikovací formy včetně analýzy kompletního vtokového systému. Obsahuje vlastní prostředky pro konstrukci vtokového systému (studeného/horkého), prostředky pro měření a změnu tloušťky stěny, kopírování modelů výstřiků pro vytvoření násobnosti formy a v neposlední řadě interní materiálovou databanku plastů včetně možnosti připojení na rozhraní databáze Campus.



Obr. 2.2: Prostředí modulu Cadmould Fill (vlevo) a Cadmould Fibber (vpravo)

Cadmould Pack je doplňkem pro Cadmould Fill a je rozšířen o podrobnější analýzu při dotlakové fázi vstřikovacího cyklu. Umožňuje profilování fáze dotlaku a nastavení optimálního vstřikovacího cyklu.

Cadmould Fibber počítá spolu s Cadmould Fill a Pack a je doplňkovým modulem pro simultální výpočet orientace plniva s krátkými i dlouhými vlákny a výpočet orientace makromolekul u anizotropních materiálů, viz obr. 2.2.



Obr. 2.3: Prostředí modulu Cadmould Cool (vlevo) a Cadmould Warp (vpravo)

Modul Cadmould Cool slouží k analýze teplot na povrchu tvarových dutin a teplot temperačního systému. Obsahuje prostředky pro konstrukci temperačních kanálů včetně několika druhů temperačních systémů. Analyzuje rozložení teplot při fázi plnění tvarové dutiny a při fázi chlazení výstřiku a vypočtené teplotní pole přeneso do výpočtu smrštění a deformace. Dále sleduje průběh teplot při více cyklech a lze tak určit počet cyklů pro dosažení ustáleného stavu.

Cadmould Warp vyhodnocuje v různých formách vyjádření smrštění a deformace plastového výstřiku při ochlazení až na okolní teplotu prostředí. Pro výpočet přebírá výsledky tlakových průběhů simulace dotlakové fáze, rozložení teplotního pole v nástroji a v neposlední řadě i orientaci vláken ze simulačního procesu plnění. Pracovní prostředí modulu Cadmould Cool a Cadmould Warp je na obr. 2.3.

2.1.3 Princip výpočtu [4]

Kromě tohoto produktu existuje mnoho jiných softwarových prostředků, pomocí kterých můžeme provádět potřebné analýzy. Podstata jejich principu je ale pro všechny stejná a jsou založeny na metodách MKP/FEM – metoda konečných prvků, MOP – metoda okrajových nebo hraničních prvků a MS – metoda sítí [5]. V převážné většině pracují tyto analýzy s metodou konečných prvků, která je široce aplikovatelná a srozumitelná pro mnoho oblastí v inženýrské praxi. Metoda okrajových prvků a metoda sítí je používána spíše pro řešení některých úloh, při kterých se v případě metody konečných prvků vyskytovaly velké obtíže. Podle typu daného problému se tedy použije nejvhodnější metoda, která svými přednostmi usnadňuje řešení a vede k přesnějším výsledkům. Metoda konečných prvků je univerzální, protože umožňuje numericky řešit lineární i nelineární okrajové a počáteční úlohy, a to v rovině i prostoru. Ve své variační formulaci je velice pružná a má uplatnění v mnoha disciplínách. V této práci je použit software Cadmould, který pracuje na principu metody konečných prvků.

2.1.4 Nezbytné požadavky pro výpočet

Aby bylo dosaženo požadovaných výsledků, je nutné mít k dispozici kvalitní vstupní data. Vedle samotného modelu vstřikovaného dílu to jsou informace z databáze o materiálech, údaje o parametrech vstřikovacího stroje a cyklu vstřikování a v neposlední řadě i myšlenka návrhu vtokové soustavy a v některých případech i temperačního systému. Důležitou částí celé analýzy je tvorba a příprava modelu, která spočívá ve vytvoření a následné úpravě sítě konečných prvků, protože přesnost analýzy je dána vhodnou volbou použitých typů prvků a jejich hustotě. Klíčová oblast celé problematiky je volba vtokového a temperačního systému, ať už jeho typu nebo umístění vzhledem k výstřiku. Obě soustavy ovlivňují celý proces vstřikování včetně následného vzniku vad, kterých se chceme vyvarovat.

S celým procesem souvisí otázka, zda má význam investovat do drahého softwaru, aby náklady nepřesáhly výnosy. U mnohých konstrukčně složitých plastových dílů se ale touto simulací dá předejít nežádoucím problémům již v počátku celé fáze výroby a tím i časové a ekonomické úspoře spojené s dodatečnými výrobními a technologickými problémy. Simulace může prověřit výrobu a neočekávaným problémům tak můžeme předcházet ještě před samotnou realizací celého projektu.

2.2 Plasty

2.2.1 Plasty jako konstrukční materiál

Plasty patří mezi moderní konstrukční materiály, jejichž výroba a aplikace se neustále rozšiřuje a zdokonaluje. První plasty byly vyráběny chemickou úpravou z přírodních surovin a dnešní jsou produktem syntetické chemie a ve srovnání s přírodními materiály nemají obdoby [6]. Původní využití plastů bylo směřováno na méně náročné aplikace a s rozvojem jejich výzkumu a použití se dnes používají speciální druhy s vyvinutými požadovanými vlastnostmi na konkrétní aplikace. Stejně jako u kovových materiálů byly vytvořeny v tomto oboru plasty na bázi kompozitů a nanomateriálů.

Naprostá většina plastů se spotřebuje na technické účely a příčiny rostoucí spotřeby je nutné hledat v jejich vlastnostech, které často předčí klasické doposud používané materiály. Jedna z největších výhod je výborná zpracovatelnost. Plasty se zpracovávají mnoha způsoby a finální výrobek jde velmi často vytvořit na jeden pracovní zdvih, čímž se ve srovnání s kovy vynaloží méně energie a práce [6]. Plasty jdou samozřejmě dále tvarovat, lepit, obrábět, svařovat a tak podobně. Vynikající tvářitelností lze docílit sdružení několika funkčních součástí do jednoho dílu.

Velké uplatnění nacházejí v automobilovém průmyslu a mnoha podobných odvětvích. Dnes se s plasty setkáme téměř všude a mnohdy je jejich použití odvozeno z různých, pro plasty charakteristických vlastností. Je to např. z hlediska špatné tepelné a elektrické vodivosti, kluzných vlastností, nízkého měrného objemu, dobré zpracovatelnosti, optických vlastností a tak podobně. V neposlední řadě jsou čisté plasty pro své fyziologické vlastnosti a nerozpustnosti ve vodě a tucích používány v lékařství a obalové technice potravin.

2.2.2 Rozdělení plastů [6]

Plasty se dělí do několika skupin podle různých hledisek. Podle chování při zvyšování teploty se rozdělují na termoplasty a reaktoplasty a podle schopnosti

makromolekul dosáhnout určitého stupně uspořádanosti se rozdělují na amorfni a krystalické, respektive semikrystalické plasty.

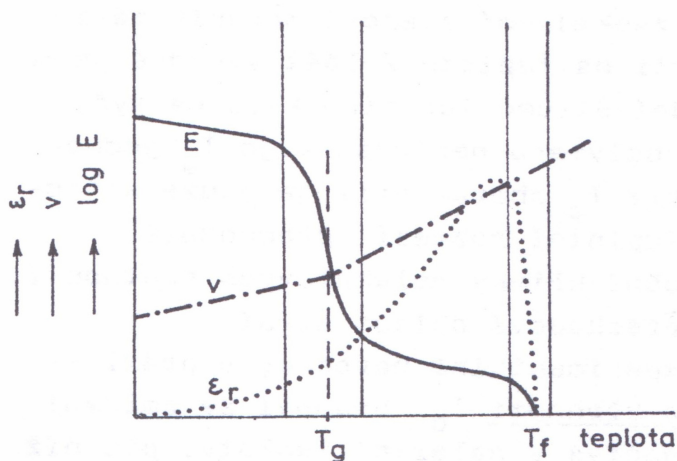
Termoplasty jsou polymery, které se při zahřívání dostávají do plastického stavu a tím umožňují jejich tváření. Po ochlazení pod pro každý plast charakteristickou teplotu přejdou zpět do pevného stavu. Teoreticky lze říci, že plast jde do nekonečna zahřívát a ochlazovat, protože při zahřívání se mění pouze fyzikální vlastnosti plastu a chemické zůstávají stejné, ale ve skutečnosti dojde vždy do určité míry k částečné degradaci polymeru. Degradace se projevuje zhoršením vlastností a je závislá na výši a době výdrže zvýšené teploty.

Reaktoplasty nejsou na rozdíl od termoplastů recyklovatelné a po jejich zpracování vytvrzením a dalším zahříváním pouze rychle degradují. Ke zpracování přicházejí jako nízkomolekulární sloučeniny, které při zahřívání měknou a mohou se tvářet, avšak pouze po omezenou dobu. Zahříváním se rozběhne reakce, většinou polykondenzace, jejíž výsledkem je prostorově zesíťovaná struktura, charakteristická právě pro reaktoplasty. Tento děj je zcela nevratný a vytvrzená hmota již nelze dále roztavit ani rozpustit.

Plasty je možné dále dělit např. podle původu na přírodní a syntetické, podle již uvedeného způsobu výroby na polymerizáty, polykondenzáty a polyadukty. Jiným hlediskem může být jejich chemické složení nebo aplikace v praxi, jako jsou standardní polymery pro běžné použití, konstrukční plasty a high-tech polymery určené pro konkrétní speciální aplikace.

2.2.3 Přejíchodové teploty a vliv na vlastnosti plastů [6]

Stejně jako u jiných materiálů jsou vlastnosti plastů závislé na teplotě. V určitých oblastech vykazují hodnoty různých parametrů určitou hodnotu a po překročení intervalu teplot, který se označuje jako přejíchodová teplota, se jejich velikosti mění, někdy dokonce skokem. Přejíchodové teploty mají pro termoplasty i reaktoplasty jiné označení a charakter změny, vždy je to ale určitý interval teplot, ve kterém se mění stav plastu.

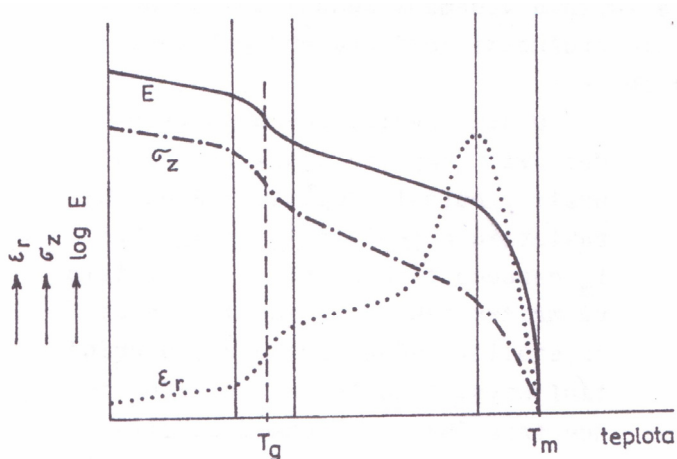


Obr. 2.4: Závislost tažnosti ϵ_r , měrného objemu v a modulu pružnosti E amorfního termoplastu na teplotě

Amorfni plasty jsou charakterizovány teplotou zesílnění T_g a teplotou viskózního toku T_f . Za normální teploty okolo 20°C se většina amorfních plastů nachází v oblasti pod teplotou T_g ve sklovitém stavu a takový plast je tedy tvrdý,

křehký a vykazuje pouze malou tažnost. Teplotu zesklenní můžeme posunout na teplotní stupnici přidáním změkčovadel, kdy se sníží mezimolekulární soudržnost a tím i T_g . Při překročení teploty zesklenní k vyšším hodnotám se amorfni plast dostává do kaučkovitého stavu, kdy výrazně klesá modul pružnosti a naopak roste tažnost. Další přechodovou teplotou je teplota viskózního toku T_f , kdy modul pružnosti klesá na nulu a plast se z kaučkovitého stavu přemění na vysoce viskózní kapalinu. Při dalším zvyšování teploty dosáhneme teploty degradace a hoření, kdy vznikají nevratné procesy spojené se znehodnocováním materiálu [7].

Oblast zpracovatelských teplot amorfni plastů se pohybuje od hranice těsně pod teplotou T_f , až skoro do teploty degradace. Ve všech intervalech teplot má plast už podle názvu amorfni strukturu. Na obr. 2.4 je závislost vybraných vlastností amorfniho plastu na teplotě.



Obr. 2.5: Závislost tažnosti ϵ_r , pevnosti σ_z a modulu pružnosti E semikrystalického plastu na teplotě

Semikrystalické plasty mají obdobně jako amorfni teplotu zesklenní T_g a druhá charakteristická je teplota tání T_m . Na obr. 2.5 je závislost vybraných vlastností semikrystalického plastu na teplotě. Pod teplotou T_g je plast ve stavu sklovitém a po jejím překročení se dostane do stavu kaučkovité elastického, kdy opět klesá pevnost a modul pružnosti a roste tažnost. Plast se projevuje houževnatostí, ale při zachování poměrně vysokého modulu pružnosti. Při překročení teploty tání se mění skupenství a hmota přechází do stavu tekutého s tzv. fixovanou strukturou. Teplota T_m je závislá na velikosti makromolekul, tedy na molekulové hmotnosti a velikosti mezimolekulárních přitažlivých sil. Nad teplotou T_m se obdobně jako u amorfni plastů nachází teploty degradace a hoření. Normální teplota okolo 20°C je nad T_g , podle čehož se dá právě rozpoznat semikrystalický plast od amorfniho, protože je mnohem výrazněji pružně a plasticky deformovatelný.

Semikrystalické plasty se zpracovávají při teplotách v intervalu těsně pod teplotou T_m až do teploty degradace. Do teploty T_m mají semikrystalickou strukturu a nad T_m je jejich struktura zcela amorfni.

2.3 Vstřikování [6]

Vstřikování je jednou z nejdůležitějších technologií zpracování plastů a je typické pro velkosériovou a hromadnou výrobu plastových dílů, kdy se dá vyrobit konstrukčně i tvarově složitý výrobek na jeden zdvih stroje. Výstřiky se vyznačují poměrně vysokou rozměrovou přesností a tuto metodu lze modifikovat také na

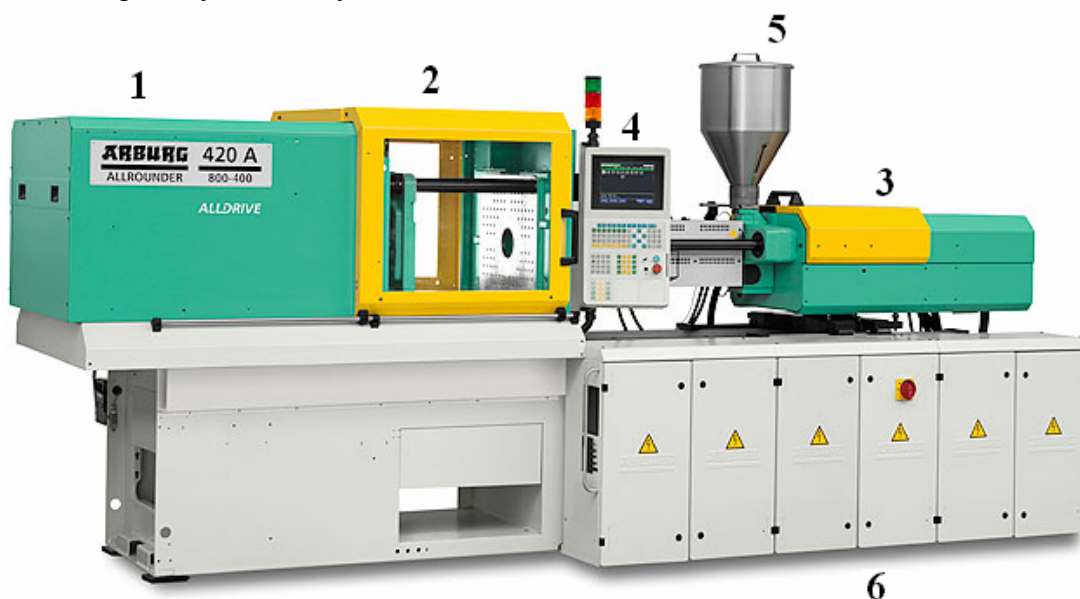
speciální způsoby výroby plastových dílů vstřikováním. Metoda je velice produktivní a vyrábějí se buď výrobky samostatné, nebo určené pro kompletaci, či složitější výstřiky vyráběné vícekomponentním vstřikováním s tvarovým spojením bez nutnosti spojování jinou technologií.

2.3.1 Princip metody [8]

Vstřikování je způsob výroby, při které se předem určená roztavená dávka plastu velkou rychlostí a tlakem vstříkne do dutiny kovové formy. Dutina má tvar konečného výrobku a je zvětšena o smrštění plastu, které je nedílnou součástí zpracování polymerů. Forma je chlazená, respektive temperována na požadovanou teplotu vhodným temperačním médiem, nejčastěji vodou anebo při požadavku vyšších teplot okolo 100 °C olejem. Tímto se tavenina plastu ochlazuje a ta tuhne ve výrobek. Po ztuhnutí celého objemu se nástroj otevře a výrobek se z dutiny buď vyjme ručně, nebo je pomocí vyhazovacího mechanismu z formy vyhozen automaticky. Forma se znovu uzavře a celý děj se opakuje, přičemž během chlazení a tuhnutí výstřiku je připravována nová dávka roztaveného plastu.

2.3.2 Vstřikovací stroj [6]

Vstřikovací stroj, viz obr. 2.6, se skládá ze tří základních částí. Je to uzavírací a vstřikovací jednotka a řídicí soustava. Obě jednotky jsou na sobě závislé a řídicí soustava zajišťuje poloautomatický nebo plně automatický chod celého stroje. Většina strojů je poháněna pomocí hydraulických rozvodů a nové moderní se vyrábí se všemi pohony elektrickými.



Obr. 2.6: Plně elektrický vstřikovací stroj firmy Arburg (1 – uzavírací jednotka, 2 – upínací desky, 3 – plastikační jednotka s pohonem, 4 – ovládací panel, 5 – násypka, 6 – rám stroje s elektronickými rozvody)

Uzavírací jednotka zajišťuje veškeré pohyby formy, jako otevírání a uzavírání nástroje při vyhazování výstřiku, ovládní vyhazování a zároveň drží nástroj v uzavřené poloze při samotné fázi vstřikování a dotlaku. Je charakterizována hlavně velikostí uzavírací síly a silou vyhazování. Konstrukční provedení klasického

uzavíracího mechanismu má několik podob, přičemž nejčastěji se používá buď samotný hydraulický válec nebo hydraulický válec v kombinaci s kloubovým mechanismem.

Vstříkovací jednotka slouží k roztavení plastu ve formě granulátu a dopravení taveniny plastu do dutiny formy. Plast je roztaven v plastikační komoře, která je obalena elektrickými topnými odporovými pásy a dopředným pohybem šneku je vstříknuta do formy. V místě umístění násypky – zásobníku granulátu musí být jednotka chlazena z důvodu možnosti předčasného natavení plastu a ucpání násypky. Šnek je část vstříkovací jednotky, která při otáčení a zpětném posuvu taví plast a dopravuje jej před své čelo. Při plastikaci a zpětném pohybu šnek překonává odpor tlaku hydraulické kapaliny, čímž se dosahuje lepšího roztavení a zhomogenizování taveniny plastu. Při vstříkování pak působí jako píst a po naplnění dutiny nástroje zajišťuje dotlak taveniny.

Vstříkovací jednotka a tím i celý stroj jsou charakterizovány mimo jiné dvěma údaji. Je to vstříkovací a plastikační kapacita. První údaj udává maximální množství taveniny plastu, které je schopen na jeden zdvih stroje šnek vystříknout z tavicí komory. Druhá hodnota udává maximální množství taveniny, které je vstříkovací jednotka schopna zplastikovat za určitou jednotku času, nejčastěji za jednu hodinu a někdy se také označuje jako tavicí výkon [5].

Vstříkovací jednotka se vyrábí ve dvou provedeních. Mnohem častější je se šnekem různých tvarů drážek a průměrů, který jednak pomáhá při otáčení vlivem tření k tavení granulátu a jednak způsobuje lepší promíchání taveniny např. při barvení oproti pístovému provedení plastikační komory, která se díky těmto nevýhodám používá mnohem méně. Velkou předností pístové jednotky je její jednoduché konstrukční provedení a tím i pořizovací cena.

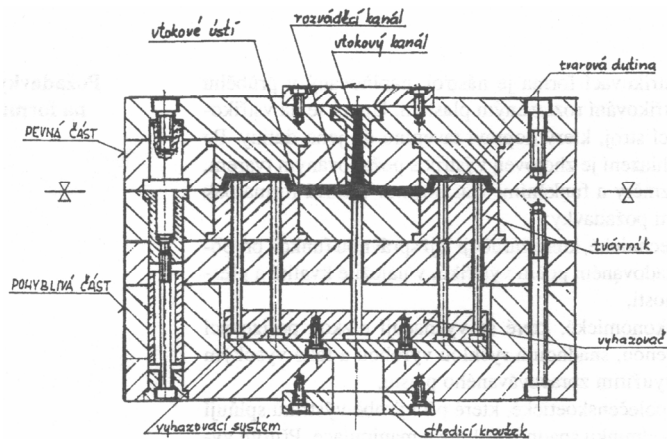
Řídící soustava jak již bylo řečeno zajišťuje chod stroje, umožňuje řízení a nastavení jednotlivých parametrů a časové rozložení cyklu. Během činnosti stroje kontroluje proces a nastavené hodnoty technologických parametrů, např. teplotu taveniny, teplotu formy, rychlost a tlak vstříkování, dobu a výši dotlaku, uzavírací sílu apod. Údaje se zadávají přes ovládací panel a elektronické řízení zaručuje výrobu výstřiků s konstantními vlastnostmi.

Vstříkovací stroje se také dělí podle polohy osy plastikační komory a směru otevírání formy. Nejvíce se používají stroje vodorovné, u kterých je osa komory rovnoběžná se směrem pohybu otevírání nástroje. Pro vstříkování plastových výrobků se zálisky se používají zejména stroje se svislou osou tavicí komory. Podle uspořádání komory a otevírání nástroje se jedná o vstříkování do dělicí roviny nebo na dělicí rovinu formy. Vstříkování do dělicí roviny je charakteristické právě pro stroje se svislou plastikační a vodorovnou uzavírací jednotkou a naopak.

Vstříkovací stroje jsou pro jejich použití charakterizovány hlavně maximální uzavírací silou, vstříkovacím tlakem, plastikační a vstříkovací kapacitou a rozměry upínacích desek včetně roztečí vodicích tyčí. Tento údaj je důležitý pro určení maximální velikosti nástroje, který je možné na stroj upnout.

2.3 3 Vstříkovací nástroj [9]

Vstříkovací forma je kovový nástroj pro výrobu výstřiků. Základní části jsou podle obr. 2.7 základové desky, tvárník a tvárnice, tj. tvarové díly vymezující dutinu formy, opěrná deska, rozpěrky a vyhazovací desky s vyhazovacími kolíky. Dalšími nezbytnými částmi jsou středící kroužky pro vymezení polohy při upnutí na pracovní desky vstříkovacího stroje, vtoková vložka a vtokové kanály a temperační systém.



Obr. 2.7: Řez vstřikovacím nástrojem

Vstřikovací formy se dělí podle několika hledisek: podle konstrukce umístění vtoku na formy s vtokem do dělicí roviny a na dělicí rovinu. Podle počtu vyrobených výstřiků na jeden zdvih na jedno a vícenásobné formy, podle způsobu vyhazování výstřiku na vyhazování kolíky, stírací deskou, trubkovým vyhazovačem apod. Dále se formy dělí podle způsobu zaformování výstřiku a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, čelistové, vytáček a další. Podle vtokového systému se dělí na formy se studeným rozvodem, izolovaným rozváděcím kanálem nebo formy s horkými, odporově vyhřívanými vtoky s vytápěnou rozváděcí deskou.

Před výrobou nástroje je nutné navrhnout násobnost formy. Ta se řídí velikostí a složitostí tvaru výstřiku. Čím větší násobnost, tím větší pořizovací náklady na nástroj, ale nižší náklady při výrobě výstřiků. Násobnost je jednak omezena vstřikovací kapacitou, kdy objem všech výlisků včetně vtokového a rozváděcího kanálu nesmí přesáhnout tuto hodnotu, a také je omezena uzavírací silou vstřikovacího lisu. Uzavírací síla musí udržet uzavřenou formu při působení vstřikovacího tlaku na průmět plochy všech výstřiků včetně vtokového systému na dělicí rovinu. Při nedodržení těchto zásad hrozí výroba nedostříknutých dílů nebo pootevření nástroje během cyklu vstřikování a produkce znehodnocených dílů vlivem přetoku v dělicí rovině nástroje.

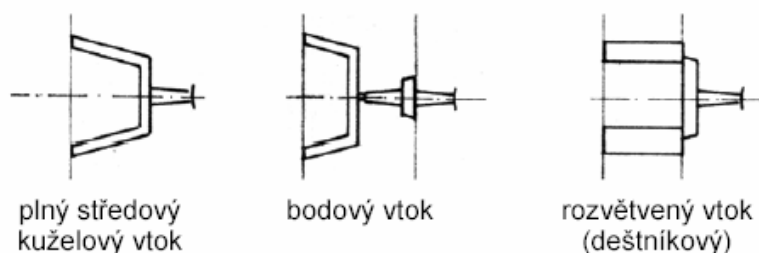
Hlavní důraz při výrobě nástroje je kladen na samotnou konstrukci řešení tvarové dutiny a dále na vtokový a temperační systém. Tyto parametry jsou pak důležité z hlediska produkce kvalitních výstřiků s požadovanými parametry a vlastnostmi.

2.3.4 Vtoková soustava [9]

Vtokový systém je tvořen jedním nebo více kanály, které spojují otvor trysky plastikační jednotky s dutinou nástroje. Skládá se z vlastního vtoku, ústí vtoku a rozváděcích kanálů [6]. Tokové změny při plnění dutiny jsou složité a pro kvalitní výstřik je na ně kladen velký význam. Při návrhu je nutné dbát na několik požadavků, jako je dosažení rovnoměrného plnění jednotlivých dutin u vícenásobných forem, vhodná poloha vtokového ústí pro zamezení vzniku studených spojů, odstranění plnění velké dutiny paprskem taveniny (jetting), snadné oddělení vtoku od výstřiku a zachování funkčnosti výstřiku vlivem umístění vtokového ústí. Dále je snaha o minimalizaci objemu celého vtoku v provedení studeného rozvodu, z důvodu vratnosti odpadu zpět do procesu, pokud to ovšem dovolují jakostní požadavky kladené na výstřik.

Vtoková soustava jednonásobných forem

Pro jednonásobné formy se nejvíce používají vtoky bodové a kuželové podle obr. 2.8. Kuželový vtok je vhodný pro taveniny s nižší tekutostí a pro jednoduché výstřiky s tlustou stěnou. Jeho nevýhodou je pracnější odstraňování a někdy nutnost začištění místa vtoku. Kuželovitost se volí v rozmezí od 1:15 do 1:50 a větší průměr bývá větší než nejtlustší stěna výlisku. Kuželovitost je nutná jak z hlediska vyjmutí z nástroje, tak i z toho důvodu, aby tavenina předčasně nezatuhla. Délka vtokové vložky se volí podle dané konstrukce, v zásadě je snaha o co nejmenší.



Obr. 2.8: Ukázka nejpoužívanějších vtoků jednonásobných vstřikovacích forem

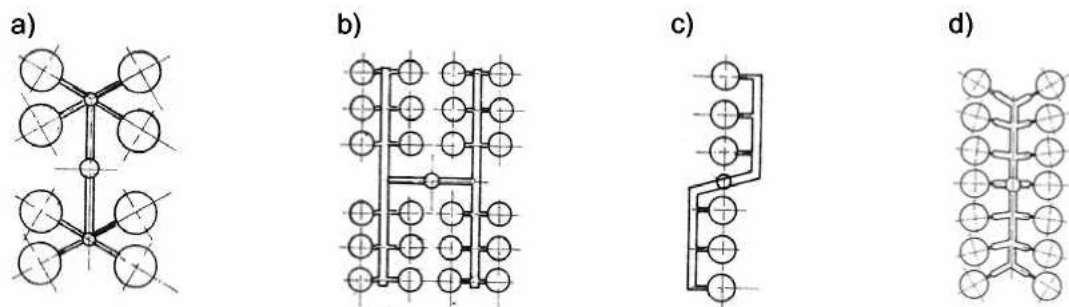
Bodový vtok je vtok se zúženým ústím, v praxi je velmi rozšířen pro svoji snadnou a rychlou oddělitelnost od výstřiku. Jeho průměr je odvozen od použití plastu, s lepší tekutostí můžeme volit menší průřez, čímž zanechává na výstřiku menší stopu po vtoku.

Zejména u rotačních součástí s otvorem se používá tzv. deštníkový nebo talířový vtok, který je zobrazen na obr. 2.8. Tavenina plastu je rozvedena po obvodu tenkého mezikruží a plní tak tvarovou dutinu rovnoměrně, při odstranění studených spojů na výstřiku a omezení vzniku deformace. Z podobného důvodu se pro dlouhé a ploché výstřiky používá filmový vtok, kde vlastní vtok ústí do rozváděcího kanálu odpovídajícímu délce vtokového ústí. Po jeho naplnění začne tavenina plastu rovnoměrně plnit dutinu formy.

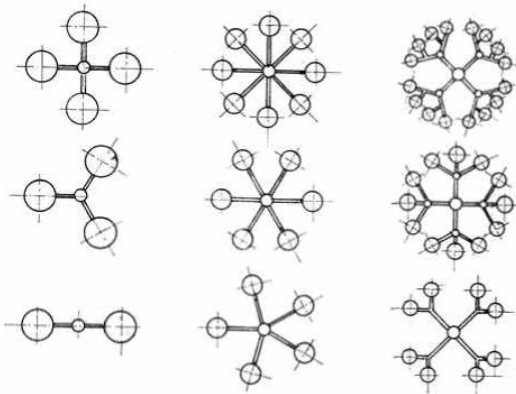
Vtoková soustava pro vícenásobné formy

Vtoková soustava u vícenásobných forem musí splňovat jednu základní podmínku. Tou je zajištění plnění všech tvarových dutin ve stejný okamžik a za stejných podmínek tlaku a teploty taveniny. Vtokové a rozváděcí kanály musí být proto konstruovány tak, aby dráha taveniny od trysky ke každé dutině měla stejnou vzdálenost. Někdy to z různých důvodů není možné, proto se delší kanály rozšiřují v průřezu, nebo naopak u kratších se provede korekce toku taveniny jeho zúžením [7]. Příklady vhodných a nevhodných uspořádání vtokových kanálů jsou na obr. 2.9 a 2.10. Při nedodržení těchto podmínek hrozí nebezpečí různorodosti kvality jednotlivých výstřiků. Nejvýhodnější průřez vtokového kanálu má kruhový tvar, ovšem z výrobních důvodů se používá průřez zejména lichoběžníkový, vyfrézovaný zpravidla pouze v jedné části formy. Velikost průřezu vtokových kanálů se řídí především délkou toku taveniny, viskozitou taveniny, velikostí a tloušťkou stěny výstřiku. Podstatou je, aby tavenina jednak v rozváděcích kanálech nezamrzla ještě před naplněním všech dutin, a aby v nich tavenina ztuhla nakonec až po ztuhnutí

výstřiků při fázi dotlaku. Obvykle se kanály volí o zhruba 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny výstřiku.

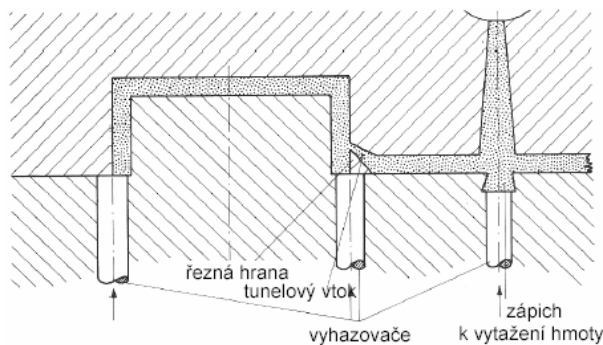


Obr. 2.9: Uspořádání výstřiků u vícenásobných forem (a – vhodné řešení, b,c,d – nevhodné bez korekce průřezu vtokových kanálů)



Obr. 2.10: Symetrické uspořádání výstřiků ve vícenásobném nástroji pro zajištění stejných podmínek plnění všech tvarů

Je-li dělicí rovina tvarových dutin shodná s dělicí rovinou rozváděcích kanálů, pak se jedná o dvoudeskový nástroj s jednou dělicí rovinou. Pokud mají rozváděcí kanály samostatnou dělicí rovinu, je nástroj třídeskový se dvěma dělicími rovinami. Nejvýhodnější je uspořádání dutin tzv. do hvězdy, kdy je podmínka rovnoměrného plnění dutin zaručena. Méně vhodné je uspořádání v řadě, kdy se vlivem ztráty tlaku a poklesu teploty taveniny musí provést korekce ústí vtoku. Čím je dutina od trysky ve vzdálenějších partiích, tím je průřez vtokového ústí větší a naopak. Ústí vtoku má vždy zúžený průřez, který splňuje hned několik funkcí. Usnadňuje oddělování vtoku od výstřiku a zlepšuje jeho vzhled, zvyšuje rychlost průtoku taveniny plastu a tím i její teplotu, zajišťuje rovnoměrné plnění dutin vícenásobné formy a zabraňuje vstupu ochlazeného materiálu do dutiny nástroje.



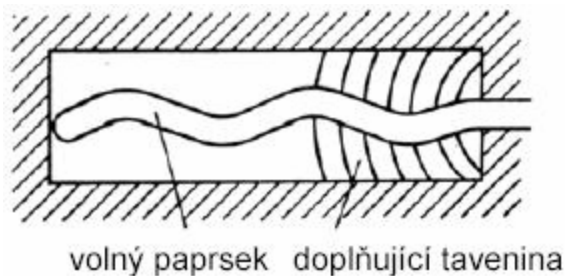
Obr. 2.11: Tunelový vtok

Ústí vtoku může mít různý tvar, nejčastěji se používají průřezy kruhové, čtvercové nebo obdélníkové, jejich nevýhodou je dodatečné odstraňování od výstřiku. U dvoudeskového provedení formy se toto dá odstranit tzv. tunelovým vtokem, viz obr. 2.11. Tunelový vtok do jisté míry nahrazuje třídeskový nástroj, který je oproti dvoudeskovému vhodnější zejména u takových výstřiků, kde by vtokové ústí ústilo do okraje výrobku a způsobovalo nerovnoměrné plnění a vznik studených spojů a uzavřeného vzduchu. Zejména u součástí ve tvaru misky a jim podobných, je vhodné vtok umístit do dna výstřiku, což umožňuje právě třídesková forma, která současně při otevírání odděluje výstřiky od vtokových zbytků.

2.3.5 Zásady při návrhu vtokové soustavy [10]

Obecně platí zásada, že vtokový kanál má být co nejkratší, s co největším průřezem a optimálního tvaru, aby se tavenina při plnění dutiny co nejméně ochladila a eliminovaly se tlakové ztráty. Nevhodným umístěním, kdy tavenina plastu musí obtékat překážku, vznikají studené spoje, na které jsou v tomto ohledu citlivější amorfní plasty než plasty semikrystalické [9]. V jiném případě může docházet k nerovnoměrnému plnění dutiny a uzavírání vzduchu v dutině nástroje. U vícenásobných forem platí zásada rovnoměrného plnění všech tvarů ve stejný okamžik a za stejných technologických podmínek. Vtokový kanál se napojuje na výstřik přes zúžené vtokové ústí, jehož velikost je nutno stanovit podle druhu použitého plastu, jeho tokových vlastností a podle velikosti výstřiku. Někdy se průřez vtokového ústí optimalizuje až po vyrobení nástroje a jeho zkoušení.

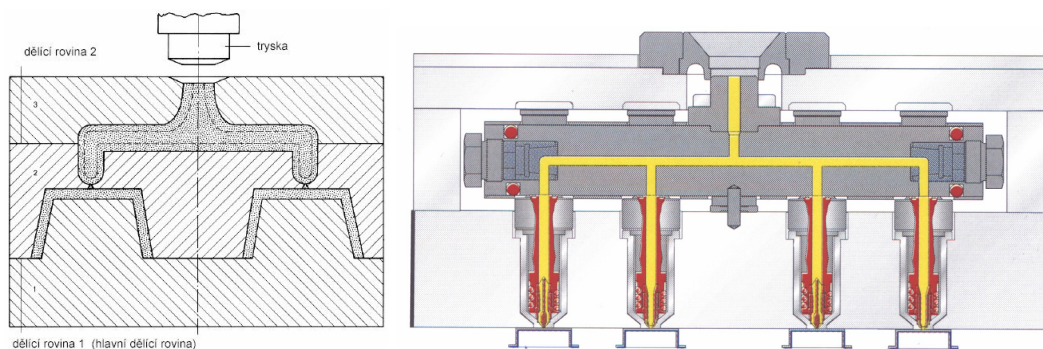
Zúžení ústí vtoku může způsobit vytvoření paprsku taveniny a plnit tak dutinu volným paprskem, tzv. jetting, který je schematicky znázorněn na obr. 2.12. Na výstřiku se potom objeví stopa po toku. Z tohoto důvodu není vhodné umístit ústí do velké dutiny nebo do stěny tak, aby tento jev vznikl. Při různé tloušťce stěn umístíme vtok do tlustší stěny, jednak se přechodem z širší do užší části výstřiku zvýší rychlost tekoucí taveniny a jednak v opačném případě hrozí nebezpečí, že materiál brzo ztuhne a v širší části pak vznikají propadliny a staženiny. Umístění vtoku má samozřejmě vliv i na smrštění výstřiku, ve směru toku taveniny je smrštění neplněných plastů větší než kolmo na něj. U plněných plastů je tomu naopak.



Obr. 2.12: Plnění tvarové dutiny volným paprskem, tzv. jetting

2.3.6 Vtokové soustavy s horkým rozváděcím kanálem

Horký rozváděcí kanál zvyšuje složitost a cenu nástroje, ale snižuje procento odpadu materiálu ve formě ztuhlé vtokové soustavy a její zpětnou recyklaci a vrácení do procesu. Horký kanál může být ve třech provedeních, a to izolovaný, s vytápěnou předkomůrkou a s vyhřívanou rozváděcí deskou a tryskami [6]. Izolovaný kanál, viz obr. 2.13, je klasický kanál s předdimenzovaným průřezem, kdy se na stěně třídeskového nástroje vytvoří ztuhlá vrstva plastu, která funguje jako tepelný izolant a během jednoho vstřikovacího cyklu udrží uvnitř tekuté jádro taveniny. Vstřikovací cyklus musí trvat pouze určitou maximální dobu, jinak ztuhne i tekuté jádro.

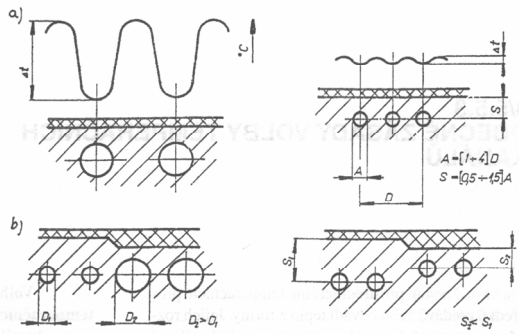


Obr. 2.13: Izolovaný horký vtok (vlevo) a elektricky vyhřívaný horký vtok (vpravo) tvořený rozváděcí deskou a vstřikovacími tryskami pro vícenásobné nástroje od firmy Ewikon

Vytápěná předkomůrka je obdobné řešení, které se liší pouze tím, že nástroj obsahuje vyhřívací torpédo s topnou patronou, jehož špička dosahuje až k ústí vtoku a udržuje tak v tomto místě taveninu na požadované teplotě. V praxi se ovšem nejvíce používají nástroje s ohřívanou vtokovou soustavou, která je např. na obr. 2.13. Ta je tvořena rozváděcí deskou a horkou tryskou. Obě jsou vyhřívány odporově a pomocí tepelných čidel je lze regulovat podle konkrétních požadavků. Výhodou je bezodpadová technologie vstřikování a bez nutnosti oddělování vtokových zbytků od výstřiků, možnost uzavírání vtokových ústí jehlou a nebo začišťování místa vtoku.

2.3.7 Temperační systém vstřikovacího nástroje [7]

Temperační systém je nedílnou součástí vstřikovacího nástroje a podmínky chlazení mají vliv na konečnou kvalitu výstřiků. Temperace slouží k udržování určité hodnoty teploty nástroje, která částečně ovlivňuje zabíhavost a rychlost vstřikování taveniny, hlavně však rychlost tuhnutí a ochlazování výstřiku a konečný stav jeho povrchu.



Obr. 2.14: Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve stěně nástroje (a – konstantní tloušťka výstřiku, b – různá tloušťka výstřiku)

Chladicí kanály by měly být v určité minimální vzdálenosti od dutiny nástroje a výrobitelného průměru, většinou se dělají v rozsahu 25 až 40 mm od dutiny nástroje o průměru 8 až 15 milimetrů. Nemají být umístěny přímo pod povrchem, ale vzdálenost mezi jednotlivými kanály má být co nejmenší. Na obr. 2.14 je příklad řešení temperačních kanálů v nástroji. Většinou se temperují pouze tvarové desky, tj. tvárník a tvárnice, někdy podle řešení nástroje je chlazena i vtoková vložka, na kterou dosedá tryska tavicí komory, aby ve formě tuhnel i vtokový kanál a nezpůsobil vytahování neztuhlé taveniny při otevírání nástroje.

Dále je nutné zajistit správné chlazení pomocí temperačního média. Rychlost proudění musí být taková, aby vznikalo turbulentní proudění pro účinnější přestup tepla a bylo zajištěno homogenní teplotní pole v celém nástroji [9]. Optimální teplotní rozdíl na vstupu a výstupu z nástroje je zhruba 4 °C a pro jeho dodržení se používají tzv. temperační jednotky, udržující jednak objemový průtok vody nebo oleje a zároveň udržují a hlídají požadovaný teplotní rozdíl. Olej se používá v těch případech, kdy požadujeme teplotu nástroje vyšší než 100 °C.

2.3.8 Vyhazovací systém [9]

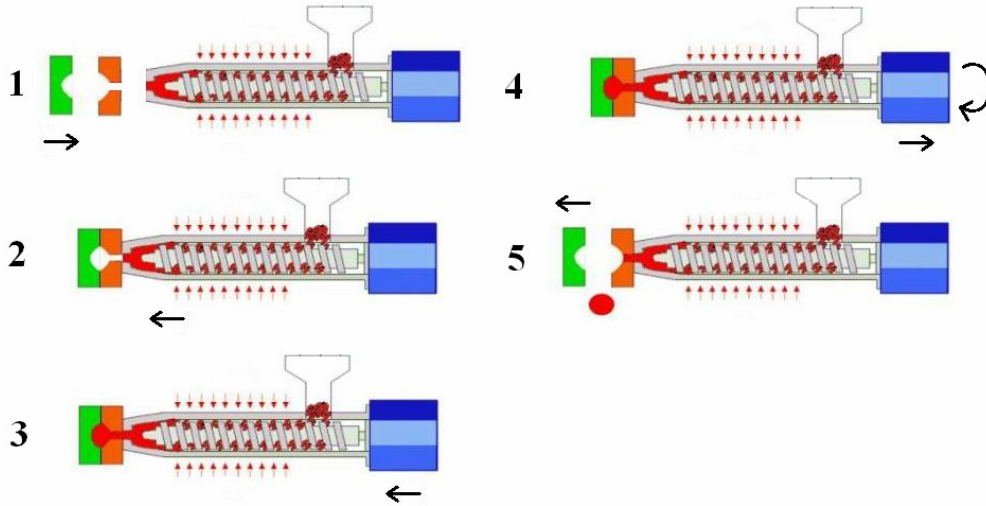
Po otevření nástroje v dělicí rovině vlivem smrštění plastu při tuhnutí zůstane výstřik na tvárníku. Vyhazovací systém slouží k jeho setření a vyhození z prostoru formy. Vyhazovací systém může být různých provedení, jako jsou kolíky, trubkové vyhazovače a stírací desky. V podstatě ale platí zásada, že výstřik musí být stírán rovnoměrně bez vzpříčení a takovým způsobem, aby se nedeformoval či jinak poškodil.

Všechny tyto části jsou ukotveny do vyhazovacích desek, které jsou ovládány buď nárazově nebo samostatným hydraulickým válcem stroje při otevírání nástroje. V uzavřené formě před dalším vstřikováním musí být vyhazovače zasunuty zpět do výchozí polohy, což zajišťují buď pružiny nebo tzv. vraccí kolíky, které jsou ukotvené také ve vyhazovacích deskách a v uzavřené formě končí v dělicí rovině.

2.3.9 Vstřikovací cyklus [6]

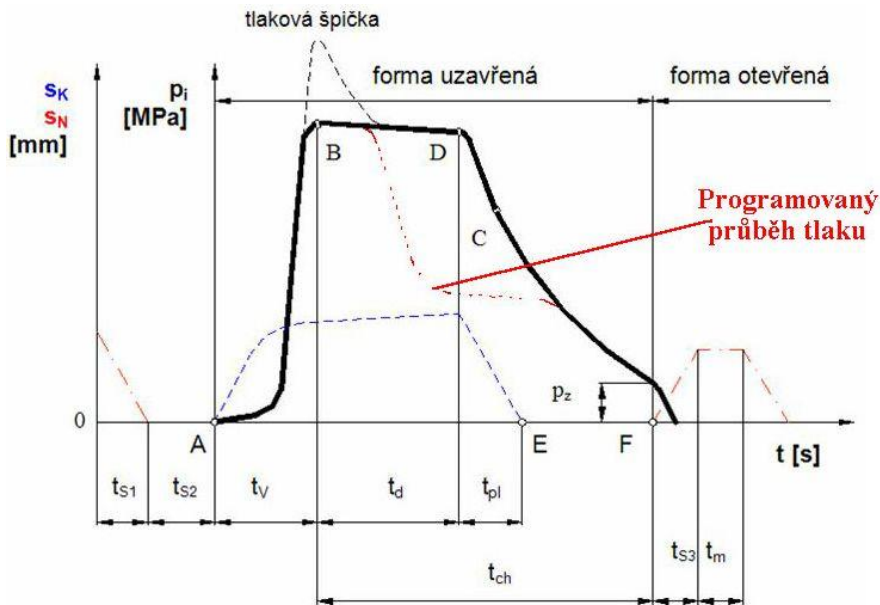
Sled v pevně daném pořadí za sebou jdoucích a na sobě závislých operací se nazývá vstřikovací cyklus, během něhož vznikne výrobek. Schematicky je vstřikovací cyklus znázorněn na obr. 2.15. Odpovídá činnostem vstřikovacího stroje a začíná okamžikem uzavření nástroje. Následuje přisunutím vstřikovací jednotky, plněním dutiny formy taveninou plastu, dotlakem, chlazením, odsunutím vstřikovací

jednotky, otevření formy v dělicí rovině a vyhozením hotového výstřiku. Během fáze chlazení a tuhnutí výstřiku dochází v plastikační komoře k přípravě nové dávky taveniny a při automatickém provozu je vstřikovací jednotka neustále přisunuta k dýze formy, takže odpadá část cyklu přisunutí a odsunutí této jednotky.



Obr. 2.15: Schematické znázornění vstřikovacího cyklu (1 – uzavření nástroje, 2 – přisunutí plastikační jednotky, 3 – vstřikování, 4 – chlazení výstřiku a plastikace nové dávky plastu, 5 – otevření nástroje a vyhození výstřiku z jeho dutiny)

Někdy se vstřikovací cyklus charakterizuje z hlediska průběhu vnitřního tlaku, tj. tlaku v dutině nástroje v závislosti na čase. Tato závislost se pak označuje jako tlakový cyklus a je znázorněna na obr. 2.16.



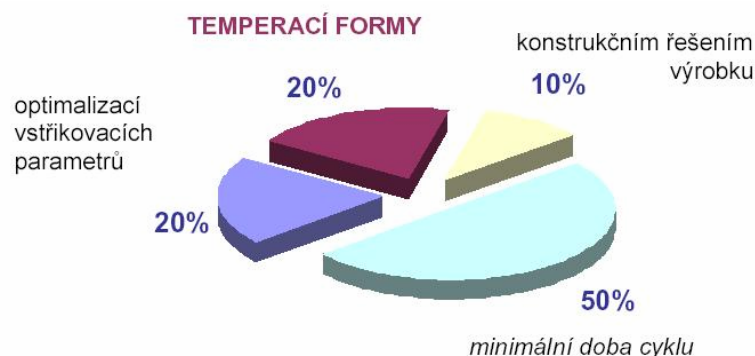
Obr. 2.16: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině nástroje v závislosti na čase (s_K – dráha šneku, s_N – dráha nástroje, t_{s1} – čas uzavření nástroje, t_{s2} – čas přisunutí plastikační jednotky k nástroji, t_v – doba plnění dutiny taveninou plastu, t_d – doba působení dotlaku, t_{pl} – čas plastikace nové dávky taveniny, t_{ch} – doba tuhnutí a chlazení výstřiku v dutině nástroje, t_{s3} – otevření formy, t_m – vyhození výstřiku z dutiny nástroje nebo manipulační čas pro jeho vyndání)

Vstřikovací cyklus začíná okamžikem impulsu k uzavření otevřené formy s prázdnou tvarovou dutinou. Během času t_{s1} se obě části nástroje uzavřou a dojde k uzamknutí uzavíracího mechanismu. Pro uzavření formy stačí vynaložit poměrně malou sílu, pro uzamčení již musí být mnohem větší a musí zajistit uzavření formy po celou dobu působení vstřikovacího tlaku a dotlaku. Tato síla se označuje jako uzavírací. Ihned po uzamčení nástroje dojde během doby t_{s2} k přisunutí vstřikovací jednotky k nástroji.

Po přisunutí trysky k nástroji se začne šnek pohybovat bez otáčení dopředu v tavicí komoře jako píst a začne plnit dutinu roztaveným plastem. Následuje okamžitý nárůst tlaku až do úplného naplnění dutiny formy. Tato doba se označuje t_v a nazývá se doba plnění. V bodě B je plnění tedy ukončeno a nastává fáze dotlaku, kdy se vstřikovací tlak většinou sníží a působí po dobu dotlaku t_d až do okamžiku zamrznutí v toku. Talková špička může nastat v okamžiku opožděného přepnutí na dotlak. Po zatuhnutí vtoku přestane šnek působit jako píst a začne plastikovat novou dávku plastu, a to způsobem, při kterém se šnek otáčí a pomalu posouvá zpět směrem od trysky a nabírá novou dávku granulí z násypky. Kvalita prohnětení nové dávky je závislá na zpětném odporu, kterému je šnek při pohybu vystaven vlivem tlaku hydraulické kapaliny. Plastikace je ukončena v bodě E, šnek se zastaví a plastikační komora se odsune od dýzy nástroje. Dotlakem je nutné působit z toho důvodu, že tavenina při styku s chladnější stěnou nástroje začne tuhnout a chladnout, plast se smršťuje a zmenšuje svůj objem a je tedy nutné chybějící taveninu průběžně doplňovat. V okamžiku zatuhnutí vtoku (bod D) resp. vtokového kanálu (bod C) to však ztrácí smysl a dotlak je ukončen. Od bodu C výstřik dále chladne a tím klesá tlak v dutině nástroje až na hodnotu zbytkového tlaku p_z . Nedostatečný zbytkový tlak je příčinou propadlin a deformací, naopak vysoký způsobuje velké vnitřní pnutí výstřiku. Zbytkový tlak lze snížit buď zkrácením doby dotlaku nebo řízením průběhu tlaku při působení dotlaku (tečkovaná čára p_i). V bodě F je výstřik zchlazen a během doby t_{s3} se nástroj otevře a výrobek je vyhozen vyhazovacím mechanismem z formy. Čas t_m je určený pro manipulaci či jinou obsluhu formy. Tímto okamžikem končí jeden vstřikovací cyklus a při automatickém provozu se celý děj dále opakuje.

Strojní časy t_s jsou závislé na možnostech pohybových mechanismů jednotek stroje a jejich rychlostech. Doba plnění závisí na velikosti vstřikovacího tlaku, teplotě taveniny, objemu výstřiku, jeho geometrickém tvaru, na vtokovém systému apod. Doba dotlaku je závislá na minimálním průřezu vtokového kanálu a pohybuje se od sekund až do několika minut podle velikosti výstřiku. Největší část celého cyklu ovšem představuje doba chlazení t_{ch} , která končí okamžikem otevírání formy.

2.3.9.1 Možnosti snížení doby vstřikovacího cyklu [11]



Obr. 2.17: Možnosti snížení doby cyklu v procesu vstřikování

Graf na obr. 2.17 znázorňuje, jak moc a jakým způsobem lze ovlivnit, respektive zkrátit celkovou dobu cyklu. Největší vliv má teplota nástroje a optimalizace technologických parametrů, menší vliv má konstrukční řešení výrobku. Proto je výhodné provádět počítačovou simulaci za účelem nalezení optimálního stavu ještě před samotným zahájením výroby vstřikovacího nástroje, aby se předešlo následným komplikacím a neekonomickým zásahům do již spuštěného procesu výroby.

2.4 Technologické parametry [6]

Technologickými parametry rozumíme veličiny, které nastavujeme při výrobě na vstřikovací stroji. Největší vliv na kvalitu a vlastnosti výstřiku má vstřikovací tlak, rychlost vstřikování neboli plnění dutiny formy, teplota taveniny, teplota formy a její teplota a velikost a doba trvání dotlaku. Všechny parametry působí spolu dohromady a změna jednoho vyvolá změnu ostatních, proto např. při rozběhu výroby při zkoušení měníme vždy jeden z nich a sledujeme jeho vliv na změnu kvality nebo vlastností výstřiku.

Vliv technologických parametrů na vlastnosti výstřiku

Vstřikovací tlak označovaný jako vnější je na rozdíl od vnitřního tlaku v dutině formy menší a je definován v tavicí komoře před čelem šneku. Ale z hlediska kvality výrobku je nutné brát na zřetel vnitřní tlak v dutině nástroje. Jeho změny mají vliv i na ostatní technologické parametry, např. zvýšením tlaku zvýšíme i rychlost vstřikování, teplotu a tekutost taveniny v ústí vtoku.

Rychlost plnění dutiny má být co největší, aby dutina byla zaplněna ve velmi krátké době. Plnění probíhá za nestacionárních podmínek a tavenina plastu okamžitě po styku se stěnou nástroje tuhne, mění se tlakové poměry a tok taveniny. Při malé rychlosti se tak může stát zejména u tenkostěnných výstřiků a plastů s velkou viskozitou, že dojde k zatuhnutí toku roztaveného plastu ještě dříve, než je zaplněna celá dutina formy. Vyšší rychlost má za následek snížení viskozity taveniny plastu a tím snadnějšího naplnění tvarové dutiny. Rychlost plnění závisí na tlaku vstřikování, který vyvine šnek svým dopředným pohybem.

Teplota taveniny se pro každý plast pohybuje v určitém zpracovatelském intervalu. Zvyšováním teploty taveniny se snižuje její viskozita, zvyšuje se rychlost vstřikování při současném menším vstřikovacím tlaku i dotlaku. V opačném případě se ale zkracuje doba nutná pro chlazení a zmenšuje se smrštění výstřiku. Vedle vstřikovacího tlaku je to jeden z nejdůležitějších parametrů. Jednak se snažíme vytvořit teplotní homogenitu v tavicí komoře pro ideální podmínky vstřikování, na druhou stranu je nutné brát v úvahu teplotní degradaci materiálu vlivem příliš vysoké teploty nebo při udržování teploty po dlouhou dobu.

Teplota a tím stanovená teplota stěny formy má největší vliv na dobu chlazení výstřiku a konečný stav jeho povrchu. Její velikost se mění s druhem použitého plastu a musí být menší než je teplota tuhnutí amorfního nebo semikrystalického plastu. Příliš nízká teplota sice zvyšuje ekonomičnost výroby a zmenšuje smrštění výstřiku, na druhé straně ale snižuje podíl krystalické fáze u semikrystalických termoplastů, zhoršuje stav povrchu, zvyšuje vnitřní pnutí a tím negativně ovlivňuje kvalitu. Z technologického hlediska by teplota formy měla být co nejvyšší, pro dosažení kvalitního dílu za současného snížení teploty taveniny a potlačení nebezpečí degradace v plastikační komoře. Důležité je i dosažení konstantní teploty

v celém objemu nástroje, jinak dojde ke vzniku vnitřních pnutí a změnám vlastností výstřiku v jeho různých částech.

Hlavní vliv doby trvání a výše dotlaku má na smrštění výstřiku, ovšem pouze do té doby, dokud nezatuhne tavenina v místě vtoku. S rostoucím dotlakem roste stejně jako u vstřikovacího tlaku požadavek na vyšší uzavírací sílu, ale současně roste míra vnitřního pnutí a klesá velikost smrštění, protože dotlak zajišťuje během tuhnutí právě vlivem smrštění výstřiku doplňování chybějící taveniny plastu do dutiny nástroje. Při nedostatečném dotlaku vznikají mimo jiné na povrchu výrobku viditelné propadliny a uvnitř výrobku staženiny.

2.5 Vliv materiálu na vlastnosti výstřiku [6]

Výběr materiálu je důležitý z hlediska funkčních vlastností a konkrétní aplikace konečného výrobku. Kromě obecných vlastností plastu splňujících danou funkci je při jejich zpracování důležitá tekutost taveniny a teplotní interval zpracovatelských teplot. Tekutost či zabíhavost lze v průběhu zpracování ovlivnit teplotou formy, vstřikovacím tlakem a teplotou taveniny. Není vhodný úzký interval teploty při přechodu ze stavu tekutého do stavu viskózní kapaliny, a dále, aby se tekutost taveniny měnila s teplotou příliš rychle. To má za následek jednak vyšší požadavky na přesnost regulace teploty a jednak možnost vzniku neúplného dílu vlivem nedotečení taveniny plastu do vzdálených míst od ústí vtoku.

Jako další faktory ovlivňující kvalitu výstřiku z hlediska materiálu lze uvést např. navlhavost plastu, uvolňování škodlivých látek a plynů během zpracování a smrštění plastu. Každý plast při přechodu z taveniny do tuhého stavu vykazuje určitou hodnotu smrštění a jeho velikost lze ovlivnit při zpracování změnou technologických parametrů nebo rozměrů tvarové dutiny nástroje. Navlhavost a uvolněné plyny a vodní páry způsobují zejména vzhledové vady na povrchu výstřiku nebo vznik dutin pod povrchem.

Materiál může být posuzován i podle vyjímatelnosti výrobku z formy, dosažení barevného odstínu, povrchového lesku nebo optických vlastností.

2.6 Vliv stroje na vlastnosti výstřiku [6]

Vstřikovací stroje jsou v provedení se šnekovou nebo pístovou plastikační komorou. Úkolem vstřikovací jednotky je zajistit co nejrychlejší roztavení granulátu plastu a získání teplotní homogenity taveniny bez vlivu degradace polymeru. Šnekový stroj pracuje s minimálním množstvím taveniny navíc, než se spotřebuje na jeden cyklus, zajišťuje lepší homogenitu a snižuje dobu pobytu taveniny v komoře. U pístového stroje je nutné zpracovávat větší množství najednou vlivem menší rychlosti tavení, hrozí teplotní degradace plastu a pro dosažení homogenity nebo třeba při barvení je nutné zajistit řádné promíchání taveniny. Jedinou výhodou pístových strojů je jejich konstrukční jednoduchost a tedy i pořizovací náklady. Oba typy strojů se vyrábí s různými průměry tavicí komory, tím i jinou vstřikovací a plastikační kapacitou. Pístové stroje se v dnešní době používají velice zřídka a hodí se zejména pro výrobu výstřiků o velmi malé hmotnosti.

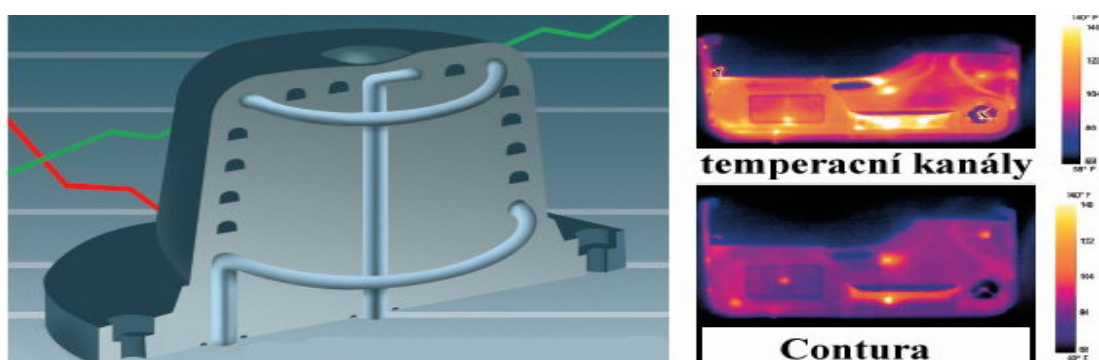
2.7 Vliv nástroje na vlastnosti výstřiku [9]

Faktory z hlediska konstrukce nástroje jsou rozměry tvarové dutiny dimenzované s ohledem na smrštění výstřiku, konstrukce a přesnost lícování, vhodné rozmístění

chladicích kanálů okolo dutiny a jedním z nejdůležitějších je konstrukce vtokové soustavy, která byla zmíněna již v předchozích odstavcích.

Rozměry tvarové dutiny formy se obvykle stanoví podle hodnot smrštění konkrétního materiálu plastu. Konečné rozměry výrobku však závisí na mnoha dalších faktorech vstupujících do celého procesu. Rozměr dutiny nástroje souvisí s přesností výroby a obráběcího stroje a teplotní roztažností materiálu formy při ohřevu na provozní teplotu. Při špatném návrhu a konstrukci nástroje a hlavně tvaru výstřiku může docházet u výrobku k nadměrným smrštěním nebo deformacím vlivem vnitřního pnutí v kritických místech návrhu.

Jedním z důležitých hledisek je samotné chlazení či temperace formy. Z ekonomického hlediska je snaha o co nejintenzivnější chlazení a zkrácení tak vstřikovacího cyklu, z hlediska technologického je snaha dosažení rovnoměrného chlazení vedoucímu k vysoké kvalitě výstřiku pro technické aplikace [6]. Rychlé chlazení a příliš nízká teplota nástroje má za následek okamžitě po vstříknutí taveniny zamrznutí tvaru a dosažení sice žádaných minimálních smrštění, ale současně za vzniku velkých vnitřních pnutí, snížení stupně krystalinity apod. Základní snahou je vytvořit při tuhnutí a chladnutí výstřiku homogenní teplotní pole v celém objemu formy a hlavně výstřiku pro zajištění plynulého poklesu teploty a získání stejných vlastností v kterémkoliv místě výstřiku. K tomu se používají různé temperační systémy, např. Contura [10], jejíž konstrukční provedení a vliv na teplotní pole nástroje je na obr. 2.18.



Obr. 2.18: Vytvoření rovnoměrnějšího teplotního pole v tvárníku pomocí systému Contura

2.8 Zásady navrhování výrobků z plastů [11]

Na výrobky jsou kladeny stále častěji vyšší a vyšší požadavky na kvalitu, funkčnost a samozřejmě i vzhled. Na to vše má vliv celý proces výroby vstříkovaním, včetně návrhu konstrukce výstřiku. Proto je nutné se touto problematikou také zabývat a věnovat návrhu a řešení plastových výrobků velkou pozornost a dodržovat hlavní zásady pro zajištění požadovaných vlastností a funkčnosti výstřiku.

Každý výrobek by měl pro požadavek produktivní výroby splňovat tři základní parametry, a to technologičnost tvaru, estetické řešení a ekonomičnost výroby. Technologičnost je myšleno dodržení co nejrychlejšího a nejplynulejšího plnění tvarové dutiny formy taveninou plastu a zároveň se vyvarovat např. ostrých hran, přechodů, velkých změn průřezů atp. pro zabránění vzniku vnitřních pnutí, různých smrštění, orientace makromolekul a deformací. Estetické řešení musí být v souladu s funkcí výrobku a prostředím, kde bude používán, materiálem a zpracovatelskou technologií. Uplatňují se oblá a nepravidelné tvary, dojem lehkosti, barevný odstín

apod., to vše za použití výhod různých tvářecích technologií. Ekonomičnost souvisí se sériovostí výroby, složitostí tvaru a cenou nástroje a stroje.

Dělicí rovina

Dělicí rovina je rovina, kde dosedá jedna část formy na druhou, tzn. tvárník na tvárnici. Ve většině případů je kolmá na směr vstřikování a musí být co nejjednodušší a musí umožňovat vyjímání výstřiku z dutiny nástroje. Musí jasně definovat polohu výrobku v dutině, umístění vyhazovačů a volbu vtokového systému. Dále existují vedlejší dělicí roviny, zpravidla kolmé na hlavní dělicí rovinu a bývají v místech zálisků, podkosů a různých otvorů. Zaformování výrobku má být co nejjednodušší s co nejmenším počtem vedlejších rovin, a tvarově jednoduché hlavní dělicí roviny.

Tloušťka stěny

Tloušťka stěny se odvozuje podle mnoha hledisek. Z důvodu ušetření materiálu, zamezení vzniku propadlin a vnitřních staženin a zmenšení časového rozdílu mezi tuhnutím povrchu a jádra stěny má být tloušťka co nejmenší. Nesmí se ale překročit minimální hodnota, která je dána použitým druhem plastu a tedy jeho tekutostí, požadovanou tuhostí, pevností a velikostí výstřiku a v neposlední řadě také technologickými parametry vstřikování. Minimální a maximální přípustné tloušťky stěn se liší podle materiálu a doporučují se pro každý plast optimální hodnoty tohoto intervalu. Obecně platí, že rozměrnější výstřiky mají silnější stěny. Výrobek by měl mít rovnoměrnou tloušťku stěny v celém objemu pro zajištění stejného a rovnoměrného proudu taveniny, rychlosti ochlazování, smrštění a vzniku minimálního pnutí. U výstřiků s různou tloušťkou stěny vzniká víření taveniny, nerovnoměrná orientace makromolekul a větší vnitřní pnutí, které vzniká v důsledku jiného smrštění u tlustších stěn s pomalejší rychlostí ochlazování. To může způsobovat deformace výstřiku až trhliny na povrchu. Stejný efekt vzniká v partiích, kde dochází k hromadění materiálu plastu. Obvykle se tloušťky stěn dimenzují v rozmezí 0,5 až 6 mm a při nutnosti použití přechodu mezi různými tloušťkami, je nutné zajistit, aby byl přechod plynulý, pozvolný a nejlépe opatřený radiusy. Maximální poměr přechodu se doporučuje do 50-ti procent.

Umístění vtoku

Umístění vtoku má svá specifika a doporučení a tato problematika byla již rozebrána v odstavci o zásadách navrhování vtokové soustavy u vstřikovacích nástrojů.

Zaoblení a ostré hrany

Ostré hrany jsou povoleny pouze na vnějších okrajích stěn, které končí v dělicí rovině. Obvykle bývá úhel hrany 90° a z důvodu bezpečnosti se zaoblují radiusem alespoň 0,3 mm. Vnitřní hrany se zaoblují vždy a poloměr odpovídá minimálně čtvrtině tloušťky stěny. Zaoblení rohů stěn se provádí hned z několika důvodů, protože ostrý roh působí jako vrub a snadno se vyštípuje. Radius usnadňuje proudění taveniny, zamezuje víření a snižuje hydraulické odpory. Zaoblují se vnitřní a vnější hrany o poloměru 1 až 3 čtvrtin tloušťky stěny výstřiku, zachovává se konstantní

tloušťka stěny i v zaobleném rohu, aby se zamezilo hromadění materiálu a vzniku deformace stěn vlivem různého smrštění. Radius snižuje tření proudící taveniny, snižuje koncentraci napětí, zvyšuje jakost, pevnost a odolnost proti nárazům. Čím je radius větší, tím lépe. U napojování stěn ale s rostoucím poloměrem roste objem materiálu v místě napojení a hrozí nebezpečí vzniku staženin a lunekrů. Zaoblené rohy usnadňují i výrobu vstřikovacích forem.

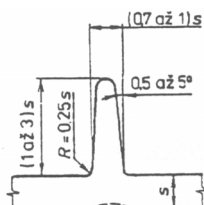
Úkosy a podkosy

Velikost úkosu závisí na délce, průměru výstřiku, povrchového dezénu a je nutný z hlediska vyjímatelnosti výstřiku z dutiny nástroje. Proto mají být rovnoběžné se směrem otevírání formy. Vnější stěny výstřiku se opatřují úkosy o velikosti od $0,5^\circ$ do 1° a pro vnitřní strany platí dvojnásobné hodnoty. Úkosy se kromě hlavních ploch dělají i u otvorů, žebíř a ostatních částí výstřiku. Výrobek, který nemá úkosy, může být při vyjímání z nástroje poškozen.

Podkosy jsou opakem úkosů, mají opačný směr a znesnadňují vyjímání výrobků stejně jako stěny bez úkosů. Mohou být také vnitřní a vnější, špatně se zaformovávají a tím komplikují konstrukci nástroje. V těchto případech se výstřiky z tvárníku strhávají anebo nástroj musí být např. čelistový.

Konstrukce žebíř

Plastové výstřiky se opatřují žebíř zejména z důvodu vyztužení a zabránění nežádoucích deformací. Kromě toho mohou plnit vzhledovou a vyztužující funkci výstřiku. Profil a rozměry žebíř se řídí tloušťkou stěny, ke které je žebíř připojeno. Doporučené rozměry a tvar žebíř je na obr. 2.19. Při nedodržení určitých zásad může dojít k tvorbě lunekrů, propadlin a rozměrovým změnám v důsledku nahromadění materiálu. Žebíř musí být menší než obvodové stěny, musí mít úkosy a všechny jejich hrany jsou zaoblené. U křížených žebíř je nutné zajistit stejný profil kvůli vnitřnímu pnutí a stejnou výšku, jinak mohou vznikat studené spoje. I zde je nutné dodržovat minimální radiusy, ale musí se dát pozor na hromadění materiálu. Obecně platí zásada, že větší počet malých žebíř je lepší než menší počet velkých žebíř. Rovnoběžná žebíř zvyšují tuhost v ohybu v jednom směru, diagonální nebo křížové žebíř zvyšuje tuhost v ohybu a krutu. Někdy se používají tzv. technologická žebíř, např. pro lepší rozvod taveniny plastu v dutině nástroje. Žebíř by měla být orientovaná ve směru toku, jejich vzájemná rozteč se doporučuje v rozmezí pět až 10-ti násobek tloušťky stěny. Úhel zkosení může být až 10° , ale za předpokladu, že na vrcholu žebíř nevznikne ostrá hrana.



Obr. 2.19: Zásady navrhování konstrukce žebíř

Rovinné stěny a prolamování stěn

Velké rovinné stěny jsou nevýhodné z důvodu vzniku nerovnoměrného chlazení a smrštění. To má za následek vznik deformací. U rotační součásti se problém řeší opatřením žebry či úmyslným vyklenutím, u rovinných ploch se provádí prolamování stěn, které zvyšuje tuhost v ohybu, ale pouze v jednom směru. Prolamování se oproti žebrování vyznačuje úsporou materiálu.

Upevňovací výstupky

Upevňovací výstupky se dělají z důvodu vyztužení pro šrouby, přidělení protikusů, pro nýty, zaskakovací pružné kolíky či otočné osy. Pravidla pro jejich konstrukci jsou podobná žebřím, nesmí dojít k hromadění materiálu, tloušťka vztažena na tloušťku stěny, ve všech rozích radiusy o minimálním poloměru čtvrtiny tloušťky stěny a nezbytné zkosení stěn. V případě vyztužení žebry se žebra dělají o síle do 80-ti procent tloušťky stěny výstupku, jejich počet je úměrný požadované tuhosti výstupku. Protože u těchto konstrukcí vlivem obtékání překážky taveninou vznikají studené spoje, mohou se k výstupkům dělat pomocná žebra, která studený spoj přesunou do jiných partií, protože studený spoj může způsobovat při dotahování šroubu praskání výstupku.

Konstrukce otvorů

Otvory mohou být průchozí i neprůchozí, kruhového nebo hranatého průřezu. U neprůchozích otvorů na dně a hranatých otvorů na všech hranách se dělají radiusy, protože ostrá hrana působí jako vrub. Neprůchozí otvory se dělají maximálně do hloubky čtyřnásobku průměru, průchozí do osminásobku průměru. Délka otvoru tedy závisí na jejich průměru, otvory se mohou navrhovat i s odstupňovaným průměrem. Otvory se ve výstřiku dělají pomocí jader, která musí mít úkos pro snadné vyjímání a vzhledem ke konstrukci nástroje by se měla konstruovat ve směru otevírání nástroje. Pro různé průřezy otvorů a jejich délek jsou doporučeny i hodnoty roztečí, které definují vzdálenosti dvou sousedních děr. Obecně platí, že jádra, která otvory tvoří, jsou více tepelně namáhána, zhoršují odvod tepla a mají nepříznivý vliv na rovnoměrnou rychlost ochlazování. Z tohoto důvodu se nedoporučuje dělat tenké a dlouhé díry na výstřiku. Slabá jádra mohou být namáhána na smyk nebo ohyb i vlivem proudu taveniny.

Kovové zálisky

Kovové zálisky jsou součásti, které slouží k vytvoření nerozebíratelného spojení s plastem. Jsou určeny hlavně pro zpevnění závitového spoje či elektrické kontakty. Zvyšují nárok na manipulaci, prodlužují výrobní cyklus a mají nepříznivý vliv na rovnoměrné chlazení, vzniku studených spojů a vnitřního pnutí a prasklin. V poměru k okolní hmotě výstřiku má být hmotnost kovové vložky malá, protože při styku ochlazuje taveninu a mění její tekutost. Při rychlém odvodu tepla hrozí smrštění plastu a jeho zkrěhnutí. Rozdíl ve smrštění při chladnutí vyvolá síly, které drží zálisek ve výstřiku.

Zálisky se nemají umisťovat blízko okrajů, aby nedošlo k zastavení tečení taveniny plastu a ne blízko pod povrch výstřiku, protože hrozí vznik vyboulení či odloupení. Musí se uchytit a ustředit tak, aby odolaly proudu taveniny a návrh konstrukce výstřiku musí dbát na zamezení vytažení nebo otáčení zálisku při zatížení.

2.9 Vady plastových výstřiků [11]

Jsou to různé defekty, kterými se liší skutečný výstřik ve vzhledu, rozměrech, tvaru a vlastnostech od zvoleného standardu. Zdroje vad mohou být různého charakteru a dělí se do dvou základních skupin. První jsou vady zjevné, zjistitelné pouhou vizuální kontrolou, které se dále dělí na vady tvaru a vady povrchu. Druhou skupinou jsou vady skryté, neboli vnitřní, které se vznikají uvnitř výstřiku a nejsou jednoduše rozpoznatelné.

Dále budou uvedeny některé typy vad plastových výstřiků, které souvisí s řešením problematiky vyráběného dílce uvedeného v této práci.

2.9.1 Smrštění plastových výstřiků

Rozlišujeme dva typy smršťování plastu, a to výrobní a dodatečné smrštění. Obě se vyhodnocují jako podíl změny rozměru vztažený na původní rozměr a vyjadřují se procentuálně. Výrobní smrštění se měří do 24 hodin od okamžiku výroby a dodatečné se stanovuje až po době delší než 24 hodin. Obecně lze říci, že hodnota smrštění s časem klesá a amorfní plasty vykazují menší hodnoty smrštění oproti semikrystalickým [6].

Na smrštění má vliv zejména rychlost ochlazování, umístění vtoku, orientace makromolekul nebo přítomnost plniv. Ve směru tečení vykazuje plast větší smrštění než ve směru kolmém, ale u plněných plastů je tomu naopak.

Výrobní smrštění lze částečně potlačit vyšším tlakem a dotlakem při vstřikování, stejně tak i vyšší teplotou formy, v tomto případě ale pak roste hodnota smrštění dodatečného. Další variantou je přidání vhodných nevyztužujících plniv, jako je křída nebo různé nanočástice rozemleté na jemný prášek [7]. V případech, kdy to lze použít, to přináší jednak úsporu materiálu plastu a také nižší velikosti smrštění oproti čistým plastům.

Smrštění plastů úzce souvisí se vznikem vnitřního pnutí a deformací plastových dílů, která je vyvolána právě nestejným smrštěním v různých partiích výstřiku. Na tuto skutečnost má vliv mnoho okolností a jejich působení je podrobněji rozebráno v následujících odstavcích.

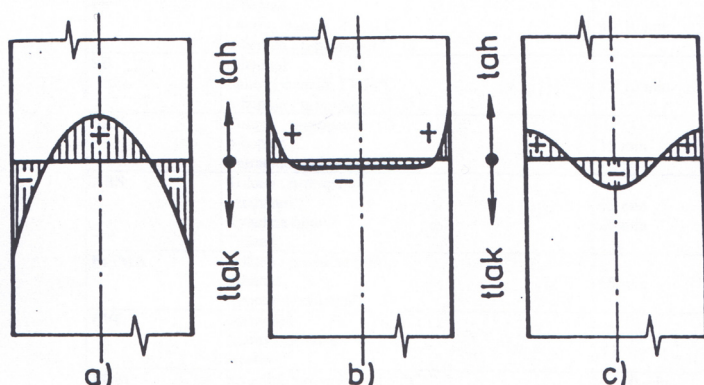
2.9.2 Vnitřní pnutí

Vnitřní pnutí je stav napjatosti ve výstřiku, který je vyvolán deformacemi vlivem nerovnoměrných objemových změn při vstřikování. Je jedním z měřítek, udávajícího teplotní a tlakové poměry při plnění dutiny nástroje, dotlaku a ochlazování taveniny. Je odrazem tepelné historie tváření výstřiku za současného působení tlaku [12].

Podle mechanismu vzniku můžeme vnitřní pnutí rozdělit do několika kategorií, jako je krystalizační pnutí, orientační, ochlazovací, deformační, expanzní a pnutí vlivem efektu proudění. Všechna pnutí působí ve výstřiku současně a jejich sečtením vzniká různá napjatost v různých partiích výrobku, není tedy konstantní v celém objemu. Obvykle bývá uvnitř stěny napětí tahové a v podpovrchové vrstvě napětí tlakové. Povrchová vrstvička může obsahovat jak tahové, tak i tlakové napětí. Příklady některých druhů vnitřních pnutí a jejich průběh je na obr. 2.20. Kritická místa vznikají v okolí vrubů, otvorů, hran, zářezů a pod., protože v těchto místech dochází ke koncentraci napětí. Zejména u semikrystalických termoplastů s nižším stupněm krystalinity vlivem relaxačních dějů se napěťové špičky časem snižují a

pnutí se částečně vyrovnává. U plastů s vysokým stupněm krystalinity a amorfních plastů se pod teplotou zesklenní vnitřní pnutí vyrovnává jen málo a proto tyto plasty mají větší sklon k tvorbě prasklin.

Krystalizační pnutí vzniká pouze u semikrystalických plastů a závisí na rychlosti ochlazování. Vzniká následkem odlišného smršťování v různých krystalických oblastech a má na něj vliv i dodatečná krystalizace. Podíl krystalické fáze roste směrem od povrchu výstřiku do jeho jádra, na povrchu vzniká amorfni vrstva a její tloušťka závisí na teplotě formy. Studená forma potlačuje krystalizaci u povrchu součásti, naopak teplé stěna nástroje způsobuje vznik jemnozrnné semikrystalické struktury. Z tohoto důsledku má každá oblast jinou hodnotu smrštění a tím vzniká krystalizační pnutí.



Obr. 2.20: Průběh vnitřního pnutí: a – ochlazovací pnutí, b – pnutí vlivem efektu proudění, c – expanzní pnutí

Orientační pnutí je způsobeno rozdílnou orientací makromolekul a jejich smrštěním v daných směrech. S nižší orientací, tzn. nižším vstřikovacím tlakem a vyšší teplotou taveniny a stěny nástroje bude toto pnutí klesat. Tato pnutí mohou být poměrně velká a způsobují deformace až trhliny na výstřiku.

Ochlazovací pnutí vzniká vlivem rozdílného smrštění, které je důsledkem nerovnoměrného teplotního pole stěn nástroje a nehomogenitou teplotního pole uvnitř výstřiku při tuhnutí a chladnutí. U stěny tavenina rychle ztuhne, zafixuje se tvar povrchu výstřiku a vznikne zde pouze malé smrštění, uvnitř výstřiku je ale tekuté jádro, které tuhne pomaleji, později a s vyšší hodnotou smrštění. Po ztuhnutí celého objemu je v povrchové vrstvě výstřiku tlakové a uvnitř tahové napětí.

Deformační pnutí je způsobeno předčasným vyhozením výstřiku z dutiny nástroje, kdy výstřik je ještě málo ztuhlý a vyhazovače jej mohou deformovat. Po úplném ochlazení v poškozených partiích vznikne pnutí. S tím souvisí i expanzní pnutí, které vzniká také při předčasném vyhození výstřiku z nástroje a vlivem neztuhlých částí expanduje pod tlakem neztuhlé taveniny. V povrchové vrstvě vznikne tahové napětí, v jádře tlakové a u některých materiálů vede až ke vzniku trhlinek. Toto pnutí lze omezit snížením vstřikovacího tlaku.

Při plnění tvarové dutiny taveninou vznikne vlivem efektu proudění na čele taveniny méně tekutá vrstva plastu, která je vlivem proudu natahována a vzniká v ní plošná orientace oproti ostatním vrstvám taveniny. Po dotyku se stěnou nástroje okamžitě tuhne a způsobí nakonec tahové pnutí na povrch výstřiku.

2.9.3 Deformace

Deformace plastů je jedním z následných a nežádoucích vlivů spojených s výrobou plastových dílů. Závisí na mnoha okolnostech od samotného konstrukčního návrhu výstřiku, vlastní výroby a způsobu aplikace, používání a zatížení v provozu. Nadměrná deformace je příčinou ztráty funkce a je považována za jednu z vad, charakteristických pro tyto materiály.

Deformace vlivem geometrie výstřiku

Důležité je správné navržení tloušťek stěn a zaoblení v místech spojení dvou stěn, žeber nebo v rozích výstřiku. Rovnoměrnost tloušťky stěny je podmínkou pro rovnoměrnou rychlost chlazení ve všech místech, stejné smrštění a minimální vnitřní pnutí a tedy vznik deformací. Tlustší stěna způsobuje pomalejší tuhnutí taveniny oproti okolním slabším partiím výstřiku a tudíž i rozdílné smrštění a vznik vnitřních pnutí [6].

Podle konkrétní konstrukce výstřiku lze pak změnou tloušťky stěn nebo i vyztužujících žeber ovlivnit smrštění v požadovaných oblastech a změnit tak konečnou deformaci výstřiku do přípustných mezí. V případě hotového nástroje je to ve většině případů neproveditelné nebo ekonomicky velice nákladné.

Obecně jakékoliv hromadění materiálu v některých částech výstřiku má obdobný negativní vliv na deformace a zásady konstrukce plastových dílů pro zabránění tohoto nežádoucího vlivu byly již zmíněny v předchozích odstavcích.

Vliv chlazení na deformace

Jak již bylo dříve uvedeno, příčinou nesprávné temperace vstřikovacího nástroje je nerovnoměrné tuhnutí a chladnutí výstřiku. Nerovnoměrnost rychlosti chlazení se projeví pozdějším tuhnutím taveniny v některých partiích výstřiku, v jejichž blízkosti se vyskytuje již ztuhlá vrstva, bránící smrštění. To má za následek vznik vnitřního pnutí, které se může projevit i nepříznivou deformací a změnou rozměrů a tvaru výstřiku.

Obecně je požadováno, aby bylo dosaženo v celém nástroji homogenní teplotní pole pro dosažení rovnoměrného tuhnutí a chladnutí celého objemu výstřiku. U tvarově složitých dílů je poměrně obtížné tento požadavek splnit, zejména vlivem použití různých tvarových jader apod. Jednak je do těchto míst vneseno více tepla od taveniny plastu a jednak se zde obtížně konstruuje chladičí kanály, které právě toto teplo musí odvést pryč z nástroje. Rozdílnost teplot způsobuje odlišnou rychlost ochlazování a vznik nehomogenních smrštění a vnitřních pnutí.

2.9.4 Neúplné výrobky

Jsou výstřiky, kdy není při plnění dutiny v nástroji zcela vyplněn její objem. Vznikají vlivem tenkých stěn nástroje, dlouhé dráhy toku taveniny a její nízké teploty či velkých tlakových ztrát. Další příčinou může být i malá dávka taveniny plastu nebo intenzivní chlazení a zamrznutí proudu taveniny ještě před samotným dokončením vyplnění tvarové dutiny.

Odstranění se dá provést zvýšením teploty taveniny a stěny nástroje, zvýšením vstřikovacího tlaku, dotlaku a doby jeho působení, zvýšit dávku plastu nebo provést lepší odvodušnění vstřikovacího nástroje.

2.9.5 Propadliny

Vznikají v místech hromadění materiálu, jako jsou tlusté stěny, napojení stěn a žeber, či v ostrých rozích. Příčinou je nerovnoměrné chlazení v jednotlivých oblastech, kdy je ztuhlá nestabilní vrstva u povrchu vlivem smrštění vtažena dovnitř materiálu.

Odstranění propadlin je závislé na jejich umístění a vzdálenosti od vtokového ústí. U propadlin blízko vtoků a v tlustých stěnách je potřeba snížit teplotu taveniny, nástroje, vstřikovací rychlost a zvýšit dotlak. Naopak ve vzdálenějších partiích a tenčích stěnách je nutné kromě dotlaku zvýšit teplotu taveniny i stěny nástroje a zvýšit rychlost vstřikování.

2.9.6 Studené spoje

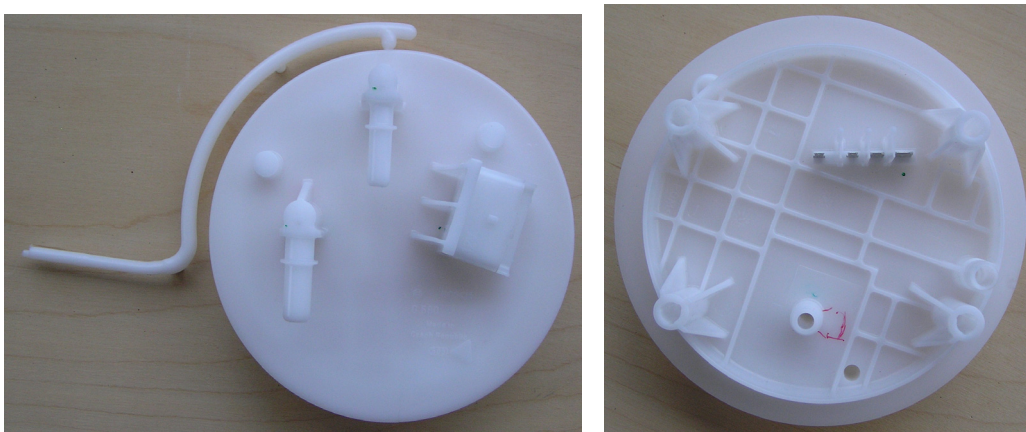
Studené spoje jsou místa spojení dvou čel proudu taveniny při obtékání nějaké překážky nebo při použití více vtokových ústí na jednom výstřiku. V tomto místě je jiná kvalita výstřiku než v ostatních částech, což je způsobeno nižší teplotou taveniny v místě spoje v okamžiku spojení.

Řešením může být v oblasti technologických parametrů zvýšení teploty taveniny, teploty nástroje, zvýšení rychlosti vstřikování, vstřikovacího tlaku a dotlaku. Z hlediska konstrukce lze studenému spoji zabránit jiným umístěním vtoků na výstřiku nebo jeho přesunutí pomocí konstrukčních úprav do jiných a méně nebezpečných partií výstřiku.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Sledovaný výrobek

Výstřik, který je v této práci podroben simulaci plnění, chlazení, drobných konstrukčních úprav a hledání optimálního řešení pro minimalizaci deformací, odstranění či zamezení vzniku studeného spoje a zachování požadovaného geometrického tvaru či rozměrů, je součástí kompletu Tankflansch a je zobrazen na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Sledovaný výrobek (vlevo s vtokovým kanálem)

Součást je z materiálu POM (polyformaldehyd) přírodní barvy pod materiálovým značením Hostaform C 13021 od výrobce Ticona GmbH. Pro společnost Robert Bosch jej vyrábí na svislém vstřikovacím stroji s horizontální plastikační jednotkou firma HPQ Plast s. r. o. v Českém Dubu. Výrobek je součástí čerpadlového modulu a proto obsahuje kovové elektrické kontakty a také dva kanály pro dopravu motorového paliva. Objem výstřiku činí 87,3 cm³.

3.1.1 Materiál POM – Hostaform C 13021 [7]

Polyoximethylen je semikrystalický termoplast s vysokým stupněm krystalinity (až 70%) a je to velmi tuhý a pevný konstrukční materiál. V surovém stavu je neprůhledný a bíle zbarvený a dá se poměrně dobře barvit. Zpracovává se vstřikováním a vytlačováním na technické výrobky, jako jsou kloubové čepy řízení, vačky, ozubená kola, trubky a spousty dalších aplikací. Má vysokou rázovou houževnatost a dobrou oteřuvzdornost s nízkým součinitelem tření. Odolnost proti UV záření a povětrnostním vlivům je poměrně nižší, ale má nízké dielektrické ztráty a slouží jako dobrý elektroizolační materiál. Je téměř nenavlhavý, ale v horké vodě trvale odolává pouze do 65°C. Hoří snadno a zvolna. Dobře odolává slabým kyselinám, zásadám, alkoholům, olejům a benzínu. Není naopak odolný silným kyselinám, oxidačním činidlům a horké vodě.

Materiál Hostaform C 13021 a jeho vybrané parametry [13]:

- hustota 1410 kg.m⁻³ (ISO 1183)
- smrštění (1,8 – 2)% (ISO 2577, 294-4)
- index toku 12 cm³/10 min (při teplotě 190°C a zatížení 2,16 kg, ISO 1133)
- modul pružnosti 2900 Mpa (ISO 527-1/-2)
- mez pevnosti v tahu 65 MPA (ISO 527-1/-2)
- teplota pro zpracování vstřikováním (190 – 230)°C

3.1.2 Doporučené technologické podmínky pro vstřikování materiálu POM

Zpracovatelnost tohoto materiálu je středně dobrá, má horší tekutost a při vyšších teplotách hrozí degradace. Doporučená teplota na trysce vstřikovacího stroje je 190 až 210 °C a vstřikovací tlak musí být relativně vysoký, od 120 do 170 MPa. Doba dotlaku se doporučuje zkoušet zvyšovat dokud roste hmotnost výstřiku, u rozměrově přesných může činit až 40 % celkové doby cyklu. Při nízké teplotě taveniny a pomalé vstřikovací rychlosti vzniká pórovitý povrch na výstřiku.

Doporučená teplota nástroje je mezi 50 a 120 °C, obvykle to bývá 60 až 90 °C. Při maximální teplotě vykazují výstřiky vysokou houževnatost a rozměrovou stabilitu. Za normálních okolností není potřeba tento materiál sušit, navlhly se suší po dobu maximálně tří hodin při teplotě okolo 110 °C. Vtokový systém se doporučuje s bodovým a kuželovým vtokem i větších průřezů. Naopak vlivem teplotní degradace není vhodné používat vtok vyhřívanou tryskou [7].

3.1.3 Firma HPQ Plast s.r.o.

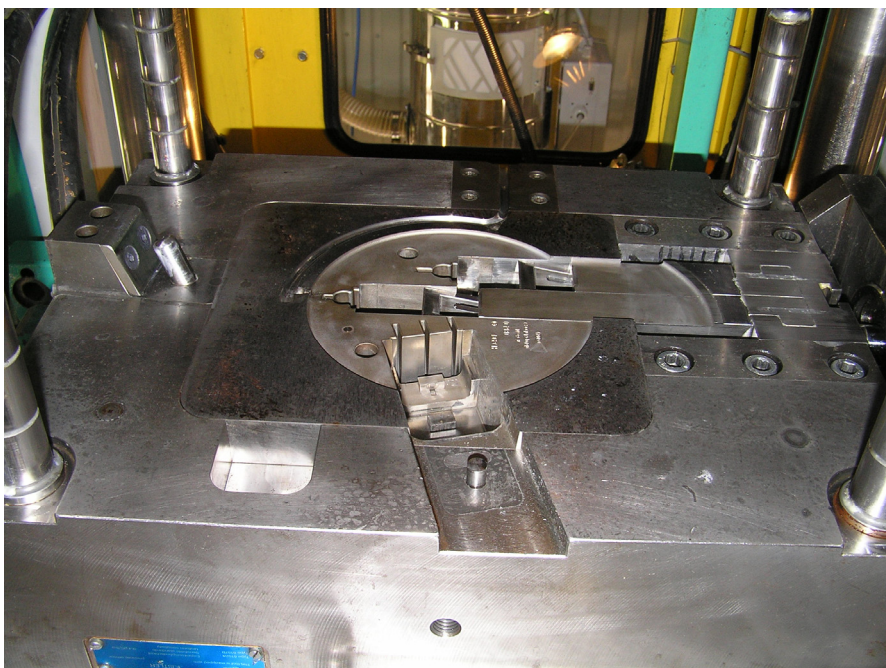
Firma HPQ Plast s.r.o. byla založena v roce 1998 jako dceřiná společnost německé plastikářské firmy Andreas Quermalz GmbH pro výrobu a dodávku přesných plastových vstřikovaných dílů do automobilového průmyslu. Dále vyrábí plastové díly s kovovými záložkami, vzhledové díly včetně jejich potisku a kompletuje kabelové svazky.

V roce 2000 a 2003 byla certifikována dle norem DIN EN ISO 9001, 9002 a 14001. Strojový park firmy je tvořen hlavně 16-ti vstřikovacími lisami Arburg s uzavírací silou od 350 do 2000 kN a dále třemi karuselovými vstřikovacími stroji Nissei s uzavírací silou od 300 do 600 kN.

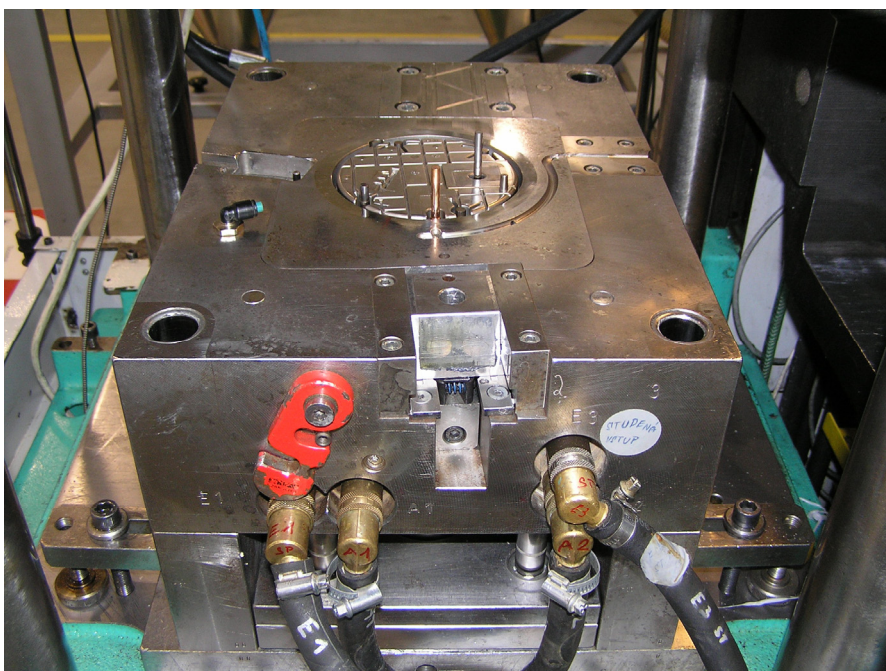
3.1.4 Vstřikovací nástroj

Výstřik má studený vtokový kanál, který se dodatečně odděluje po vyjmutí z nástroje. Forma je jednonásobná a vstřikování probíhá do dělicí roviny. Výstřik obsahuje kovové záložky (elektrické kontakty), které se do nástroje zakládají ručně pomocí speciálního zakládacího přípravku. Nástroj je čelistový a má dvě samostatně ovládaná tvarová jádra v horním dílu vstřikovacího nástroje. Pohled na spodní – vyhazovací část nástroje je na obr. 3.3 a na horní díl nástroje je na obr. 3.2.

Horní část nástroje má jeden temperační okruh, na spodní, vyhazovací straně jsou dva vzájemně oddělené okruhy. Do každého chladicího okruhu je vháněna přes temperační jednotku voda o určité teplotě a nastaveném objemovém průtoku.



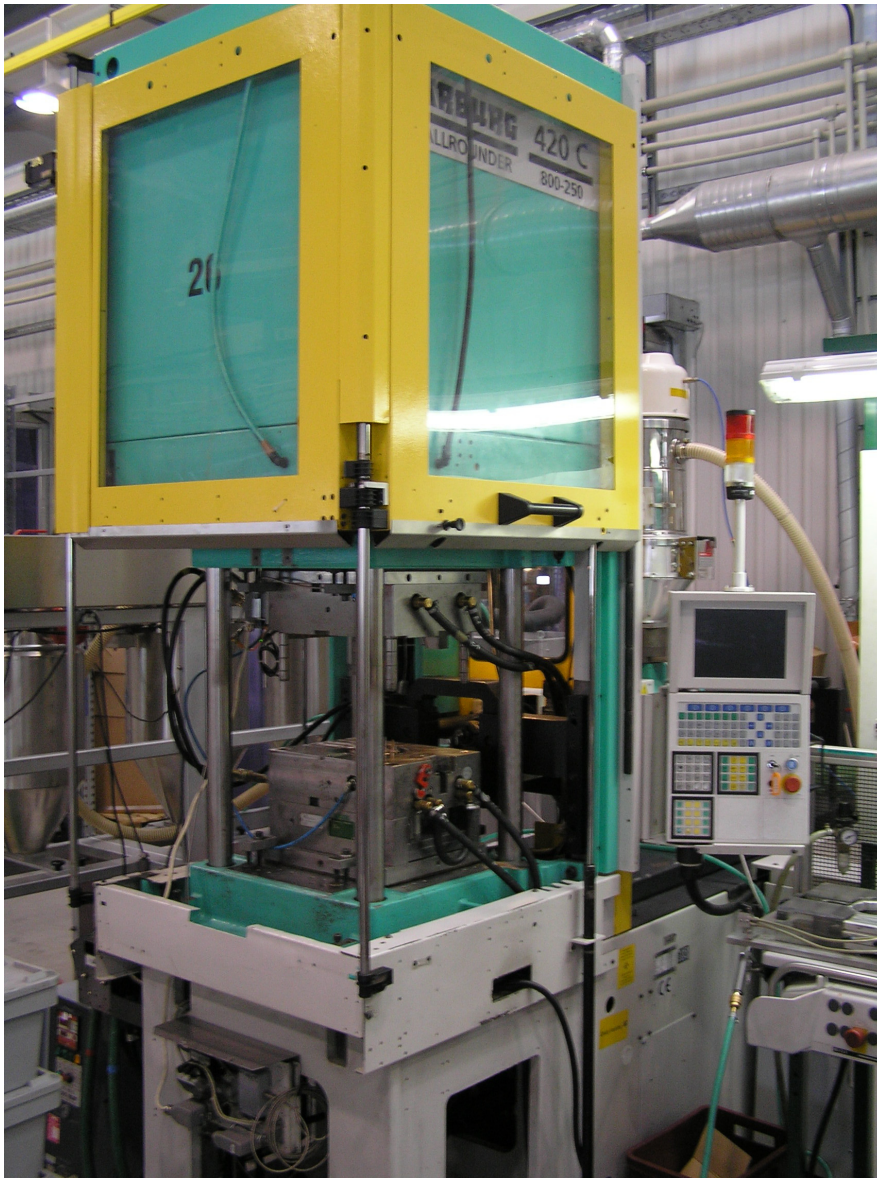
Obr. 3.2: Pohled na horní část vstřikovací formy



Obr. 3.3: Pohled na spodní – vyhazovací část vstřikovací formy

3.1.5 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj, na kterém se vstřikuje sledovaný díl je vstřikolis Arburg s označením 420C Allrounder 800-250, viz obr. 3.4. Je to vertikální stroj s horizontální plastikační jednotkou určený pro vstřikování do dělicí roviny nástroje. Maximální uzavírací síla je 80 tun a plastikační kapacita 250 cm³.



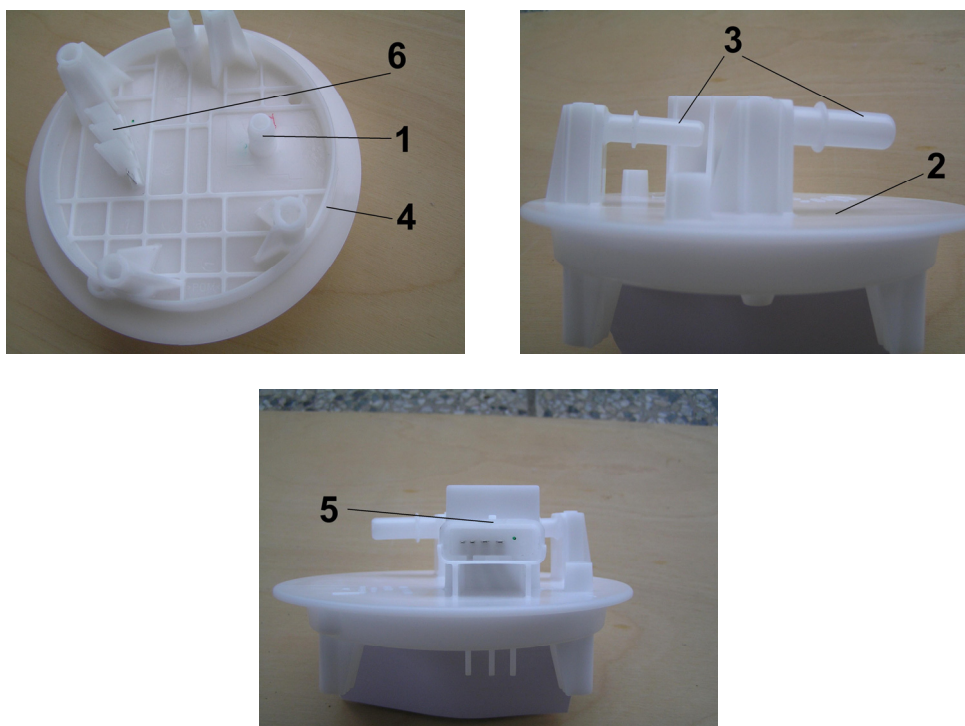
Obr. 3.4: Vertikální vstřikovací lis Arburg s upevněnou vstřikovací formou

3.1.6 Popis problémů výstřiku spojených s výrobou

Dále je uveden sled sledovaných problémů a na obr. 3.5 jsou tato konkrétní místa zobrazena pod uvedenými čísly.

1. studený spoj – v místě stromečku na spodní straně výstřiku vzniká studený spoj, který se vlivem konstrukce dílu a umístění vtoku sice nedá odstranit, je možné ale nalézt lepší podmínky vstřikování a ovlivnit tak jeho vznik a konečné vlastnosti. Studený spoj snižuje pevnostní únosnost této části výstřiku a zvyšuje riziko poruchy či poškození, které je velice nežádoucí už z toho hlediska, že tímto místem protéká palivo a jeho únik by mohl způsobit velké škody.
2. rovinnost a prohýbání dílu – vlivem konstrukce a způsobu chlazení dochází k prohýbání rotační rovinné nosné části výstřiku, které je povoleno pouze do určité přípustné meze

3. deformace a kolmost vývodů paliva – oba vývody na palivo na horní straně výstříku se po ochlazení deformují a není zachována jejich kolmost k vyztuženému vývodu resp. rovnoběžnost s rovinnou rotační částí výstříku
4. kruhovitosť a průměr obvodové části – vyztužující obvodové žebro na spodní části způsobuje jednak kroucení dílu, a jednak je po ochlazení deformované, není dodržena jeho kruhovitosť (ovalita) a požadovaný průměr, který je důležitý i z hlediska těsnosti funkční části výstříku
5. deformace tvaru zásuvky – vlivem špatného odvodu tepla se na horní straně výstříku deformuje elektrická zásuvka
6. deformace praporků – někdy dochází k deformaci oddělovacích přepážek kontaktů na spodní straně výstříku



Obr. 3.5: Označení problematických míst na výstříku

3.2 Simulace vstřikování – postup při výpočtu

Postup celého procesu simulace má své specifické kroky, které musí jít v dané posloupnosti, ve které jsou dále podrobněji rozepsány. Nezbytným pomocníkem v některých případech byl i uživatelský manuál [14].

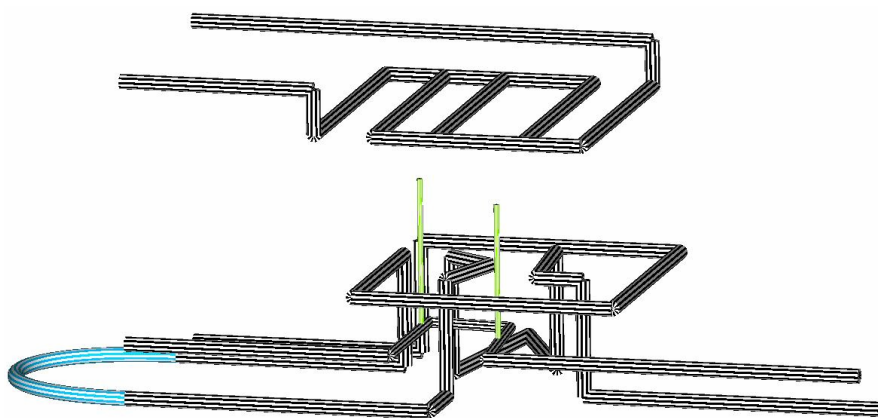
3.2.1 Vytvoření modelu výstříku

Digitální model výstříku ve 3D byl vytvořen pomocí software CATIA verze V5R13 v modulu Mechanical design – Part design. Výrobek byl namodelován podle rozměrů dutiny nástroje, které jsem získal z výkresové dokumentace vstřikovací formy. Kompletní výrobní výkresy včetně sestavy poskytla firma HPQ Plast s.r.o. Český Dub. Podle těchto rozměrů byl výstřík již zvětšen o hodnotu smrštění a nebylo potřeba proto měnit jeho měřítko velikosti pro převod do simulačního programu.

Hotový model byl uložen ve formátu stl, který umí simulační software Cadmould načíst do svého pracovního prostředí.

3.2.2 Vytvoření chladicí soustavy

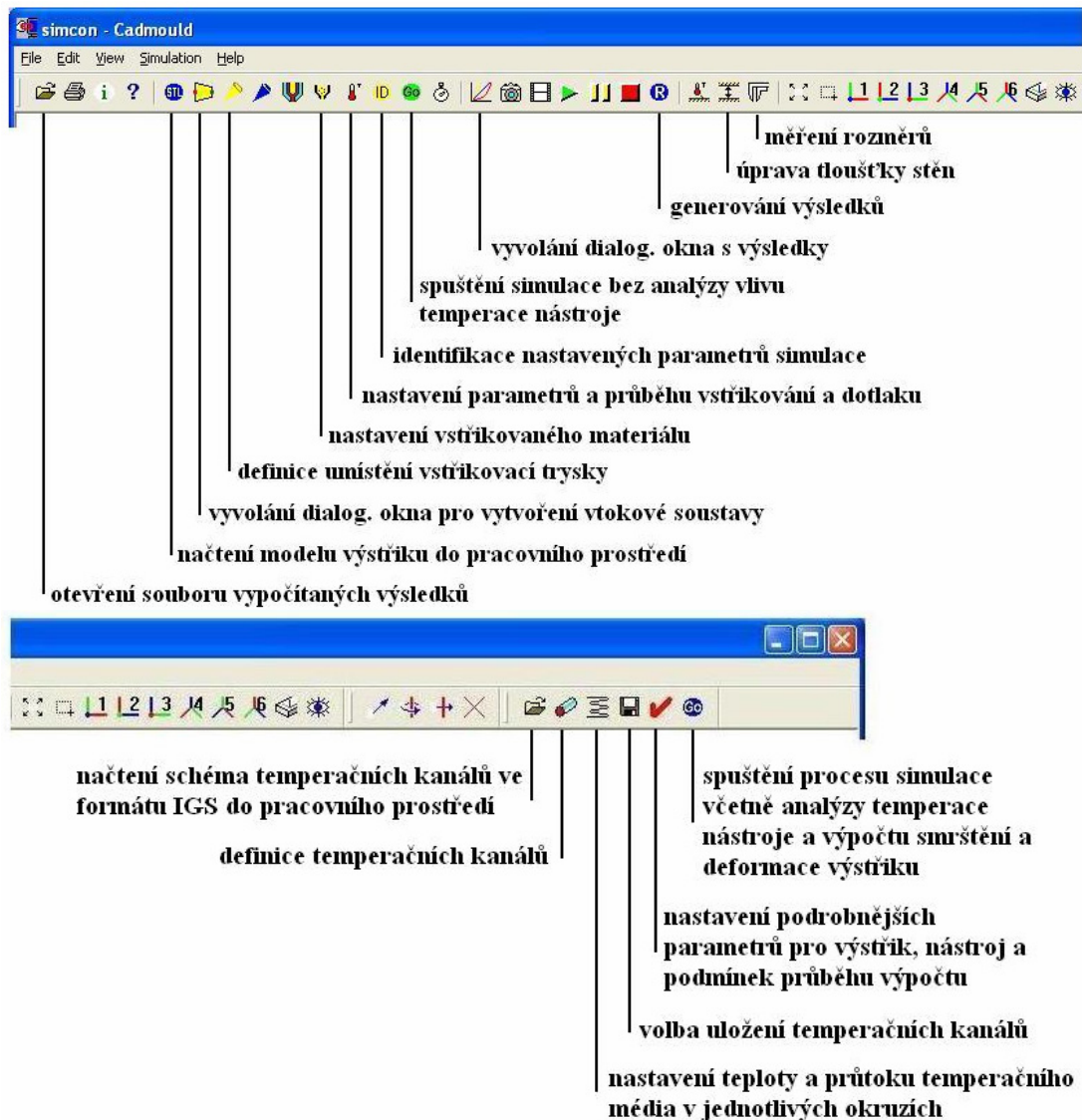
Schéma temperačních kanálů podle obr. 3.6 bylo podobně jako samotný model výstřiku vytvořeno mimo simulační software. Pět byl použit program CATIA V5R13, ale tentokrát modul Shape – Generative shape design. Podle výkresové dokumentace vstřikovacího nástroje byly vytvořeny schematicky v prostoru pomocí úseček chladicí kanály, přičemž úsečky odpovídaly osám temperačních kanálů. Průměry a další prvky, jako jsou propojovací hadice nebo chladicí systémy (trubička) se dodatečně přiřazují až v simulačním programu při definování podmínek simulace chlazení. Schéma chladicích kanálů se uloží a následně načte do simulačního programu ve formátu křivek, tzn. igs.



Obr. 3.6: Schéma prostorového uspořádání temperačních kanálů v uzavřené formě

3.2.3 Základní funkce pro práci se software Cadmould

Na obr.3.7 jsou uvedeny a stručně popsány základní a důležité funkce pro práci s programem, nezbytné při výpočtech všech simulací v této práci. V dalších odstavcích jim bude věnována větší pozornost a popis jednotlivých nastavení bude uveden při konkrétních výpočtech. Ostatní, neuvedené funkce slouží např. k zobrazování modelu v definovaných pohledech nebo pro práci s vícenásobným nástrojem – otáčení modelu výstřiku okolo osy do výhodnější polohy, kopírování, zrcadlení a pod.

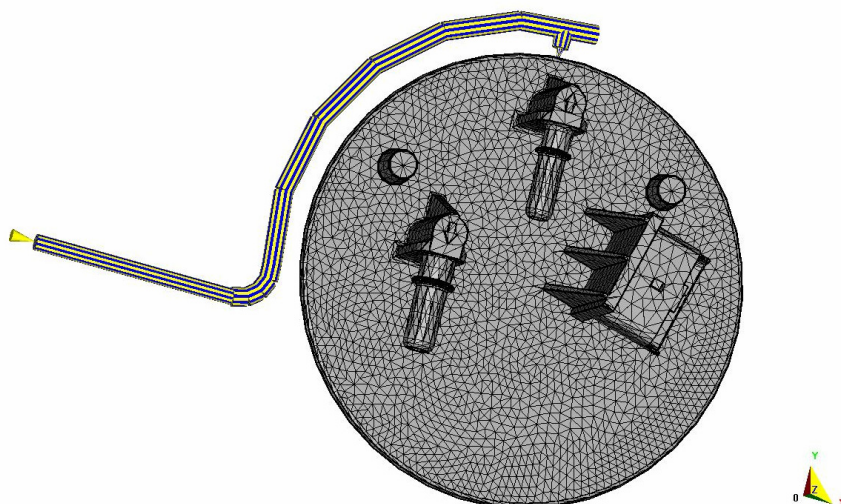


Obr. 3.7: Základní funkce softwaru Cadmould

3.2.4 Načtení modelu a vytvoření vtokové soustavy

Model výstřiku je do pracovního prostředí programu načten ve formátu STL. Druhým krokem je vytvoření vtokové soustavy, která je v půdoryse dělicí roviny nástroje tvořena přímými úseky a oblouky. Software umožňuje definovat různý průřez vtokového kanálu po jednotlivých úsecích, ale je schopen tvořit pouze přímé úseky. Z tohoto důvodu musely být části oblouků rozděleny na několik dílů a nahrazeny přímými úseky vtokového kanálu.

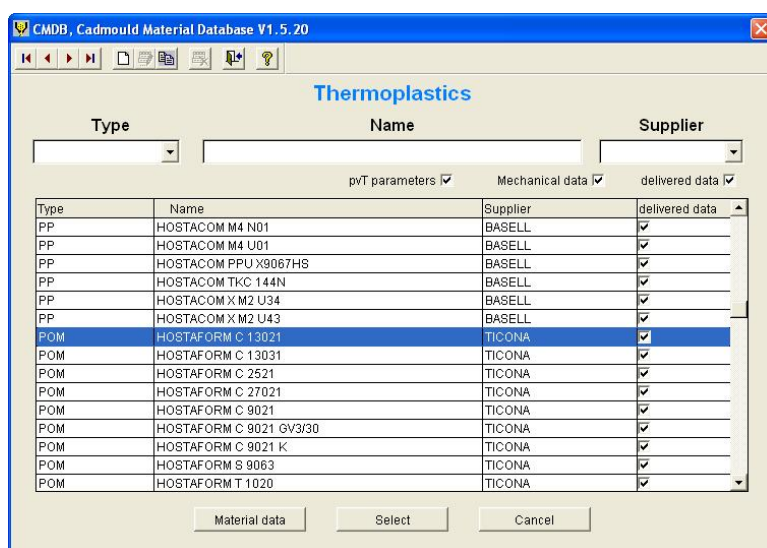
Pomocí dialogového okna se zadají vždy počáteční a koncové body jednotlivých úseků a přiřadí se jim průřez kanálu a jeho rozměry. Tímto způsobem se namodeluje vtoková soustava tak, aby se co nejvíce podobala skutečnému vtoku výstřiku, viz obr. 3.8. Posledním bodem je definice umístění vstřikovací trysky, která se přiřadí na kruhový průřez ústí vtoku do vstřikovacího nástroje, jak je to zobrazeno na obr. 3.8.



Obr. 3.8: Model výstřiku se vtokovou soustavou a určením umístění vstříkovací trysky

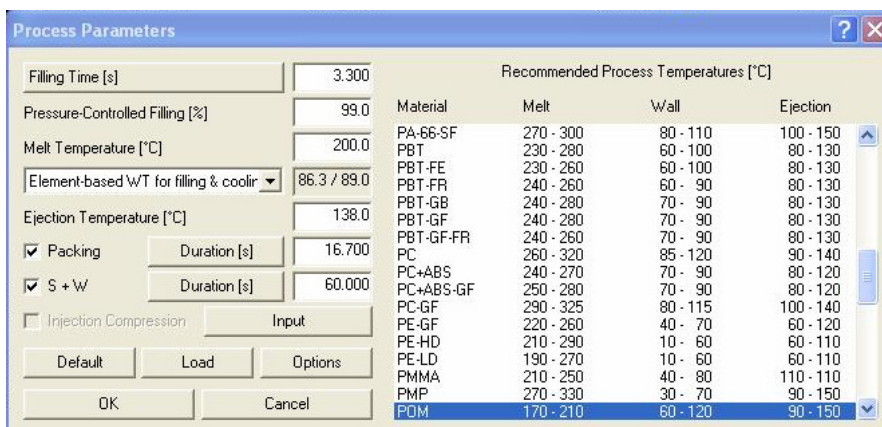
3.2.5 Výběr materiálu a definice vstříkovacích parametrů

Pomocí dalšího dialogového okna na obr. 3.9 nalezneme druh a výrobce materiálu, ze kterého je výstřik vyráběn a provedeme potvrzení výběru.



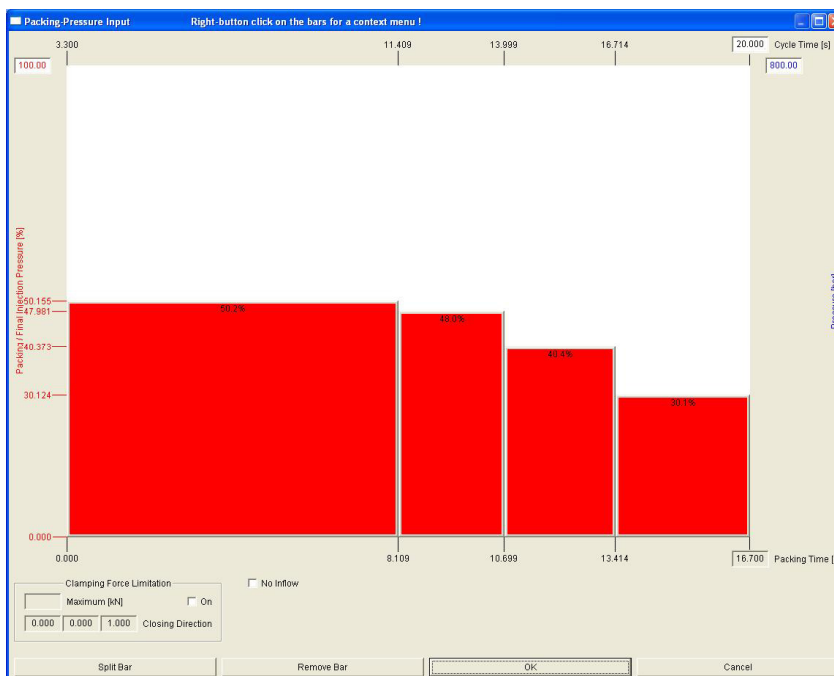
Obr. 3.9: Dialogové okno pro výběr vstříkovaného materiálu

Následuje nastavení vlastních parametrů průběhu vstříkovaní a dotlaku. Tyto hodnoty jsou nastaveny podle posledních a pravidelně zaznamenaných údajů na průvodce daného dílu, tak, za jakých podmínek probíhá vstříkovaní při výrobě.



Obr. 3.10: Dialogové okno pro zadání technologických parametrů vstřikování

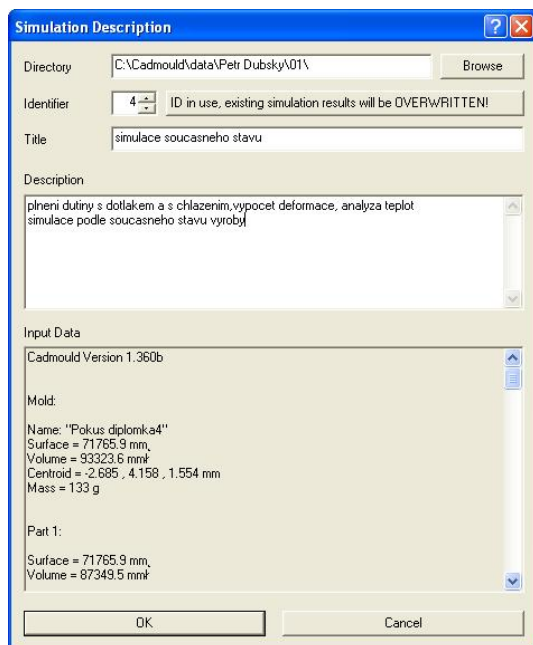
Mezi důležité údaje podle obr. 3.10 patří *Filling time*, což je čas vstřikování, *Melt temperature* = teplota taveniny a hodnoty *Packing* a *S+W*. První z nich definuje dobu dotlaku a druhá čas chlazení. Součet uvedených tří časových hodnot udává dobu vstřikovacího cyklu. Nastavením času plnění dutiny si program sám zjistí vstřikovací tlak nebo objemový tok taveniny plastu, aby byla dutina v požadovaném čase zaplněna taveninou. Proto lze čas vstřikování nastavovat nepřímo i pomocí těchto hodnot. V pravé části okna jsou pro daný materiál uvedeny doporučené intervaly vybraných parametrů. Stisknutím tlačítka *Duration* u doby dotlaku lze nadefinovat průběh dotlaku při vstřikování. Průběh je zřejmý z obr. 3.11 a pro simulaci současného stavu výroby je nastaven opět podle průvodky výstřiku a podle poměru zaznamenaných hodnot tlaku a okamžiků přepnutí v rozvedech stroje.



Obr. 3.11: Průběh dotlaku

3.2.6 Identifikace nastavení a spuštění simulace

Potvrzení nastavení a možnosti zapsání vlastních poznámek k danému výpočtu se skrývá pod ikonku *ID* základního rozhraní programu, které je nutné zadat vždy před spuštěním vlastní simulace. Pozdějším vyvoláním identifikátoru je určeno, které nastavení např. technologických parametrů nebo konstrukčních úprav výstřiku a jím odpovídajícím výsledkům si chceme prohlížet a porovnávat mezi sebou navzájem. Okno identifikace simulace je na následujícím obr. 3.12.



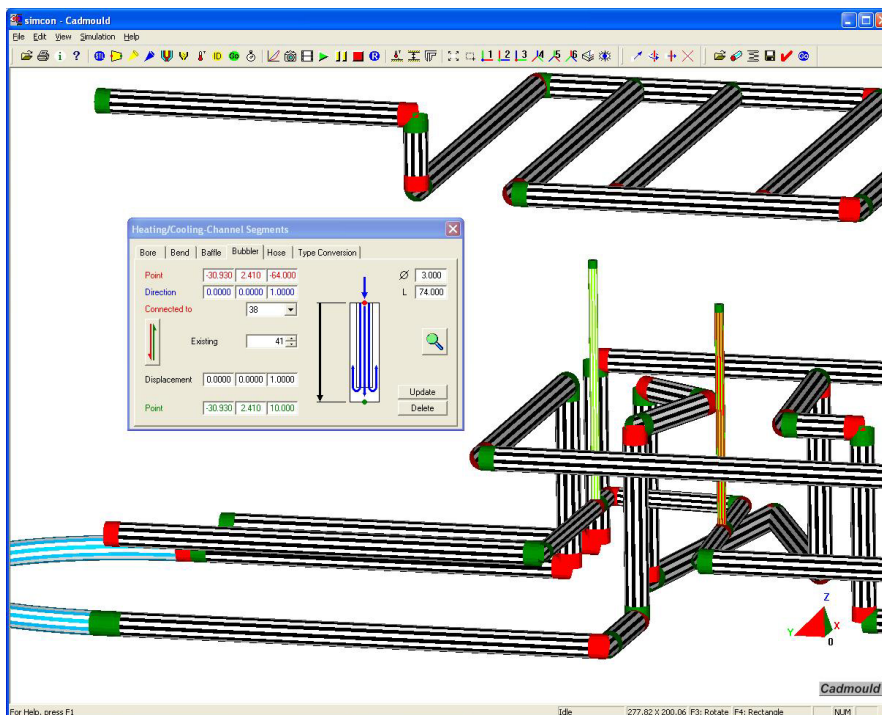
Obr. 3.12: Okno identifikátoru pro uložení zadaných podmínek simulace

Po nastavení všech doposud uvedených parametrů lze spustit vlastní simulační výpočet. Protože zde ale není nadefinována teplota nástroje, počítá software se zadanou hodnotou teploty stěny dutiny, která se buď nastaví přímo, nebo se nechá určit samotným programem v dialogovém okně technologických parametrů vstřikování pod ikonkou *Default* (software přepíše všechny údaje vstřikování podle vlastního nastavení).

V tomto případě je vypočítána analýza plnění dutiny nástroje a průběh vstřikovacích parametrů v závislosti na čase, jako je teplota taveniny, tlakové ztráty apod. Bez zadání teploty nástroje software nevypočítá deformaci a smrštění plastového výstřiku. Tento způsob výpočtu je vhodný např. k nalezení optimálního umístění vtoku a zjišťování problematických míst spojených s plněním dutiny nástroje taveninou plastu.

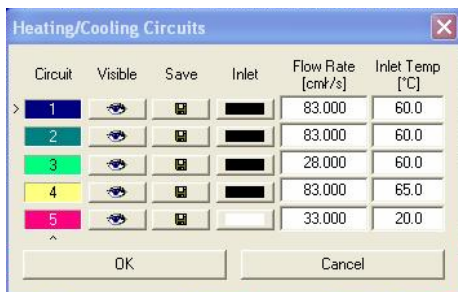
3.2.7 Temperační soustava

Osy temperačních kanálů ve formátu křivek (iges) se do pracovního prostředí načtou pomocí ikonky v pravé části okna programu. Ihned po otevření souboru je uživatel vyzván k definování průměru všech kanálů najednou. Většina kanálů má průměr 8 mm, část kanálu s trubičkami je o průměru 6 mm a samotné trubičky mají vnější průměr 3 mm. Tyto dva poslední údaje včetně definování chladicích trubiček a propojovací hadice mezi dvěma okruhy ve vyhazovací části nástroje, se zadají pomocí příslušného dialogového okna, které je zobrazeno na obr. 3.13.



Obr. 3.13: Defínování chladicí soustavy nástroje

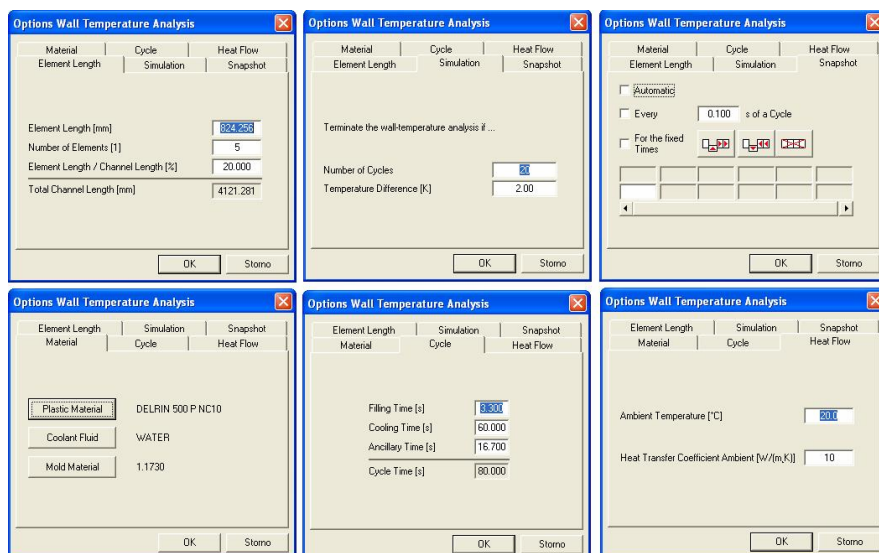
Takto vytvořená soustava temperačních kanálů se dá samostatně uložit. Následuje nastavení průtoku a teplot proudícího média pomocí dalšího podokna programu, jehož pracovní prostředí je na obr. 3.14.



Obr. 3.14: Nastavení parametrů teploty nástroje

Software sám rozezná jednotlivé okruhy, barevně je navzájem odliší a přiřadí jim šipky, udávající vstup a výstup kapaliny do jednotlivých kanálů. Směr proudu média se dá změnit. Nevýhodou je, že tento proces nelze ovlivnit, a proto je okruh v horní části nástroje rozdělen na tři části. Ve skutečnosti to je ale pouze jeden okruh, kde se voda přitékající do nástroje rozdělí do tří kanálů uprostřed a nakonec se opět slije do jediného vývodu. Tato skutečnost způsobuje, že v tomto okruhu nelze až tak přesně simulovat podmínky teploty nástroje.

3.2.8 Nastavení dodatečných parametrů výpočtu



Obr. 3.15: Doplňující informace pro výpočet

Toto nastavení je důležité z hlediska zadání podmínek pro vypočítání teplotní analýzy během procesu vstřikování. Mezi tyto údaje patří informace o vytvoření počtu elementů chladících kanálů, zadání maximálního počtu počítaných cyklů při definici dosažení určitého teplotního rozdílu, nastavení typu plastu, chladícího média a materiálu nástroje, doba cyklu včetně dílčích složek a zadání hodnoty okolní teploty prostředí a součinitele tepelné vodivosti. Poslední volbou je nastavení velikosti jednotlivých elementů, kterými je tvořen model výstřiku. Pro všechny výpočty je tento interval nastaven na rozmezí od 0,2 do 5-ti milimetrů. Jednotlivá podokna nastavení jsou zobrazena na obr. 3.15.

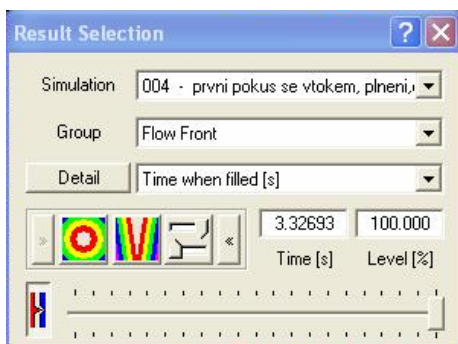
3.2.9 Spuštění kompletní simulace vstřikování

Kompletní simulace, která bere v úvahu vliv teploty nástroje a počítá deformace a smrštění výstřiku, se spustí modrou ikonkou *Go* v pravé části okna softwaru Cadmould. Celkový výpočet trvá zhruba 90 minut a končí simulací vyrovnání teploty výstřiku na okolní hodnotu prostředí a vypočítání již uvedených hodnot deformací a smrštění plastového dílu.

Podmínkou pro spuštění je nastavení všech uvedených parametrů a hodnot. Nakonec software vyzve uživatele k potvrzení či uložení nového identifikátoru výpočtu.

3.2.10 Výsledky výpočtu

V dialogovém okně na obr. 3.16 volíme v prvním řádku zobrazení výsledků konkrétní simulace s nastavenými parametry podmínek, jak jsou uloženy pod daným číslem identifikátoru ID. Druhá roleta určuje skupinu výsledků, např. průběh plnění, kvalitu výstřiku či deformace po zchlazení a třetí obsahuje související detailní informace pro zvolenou skupinu. Spodní lišta umožňuje zobrazování časově závislých hodnot v námi zvolených časových okamžicích.



Obr. 3.16: Dialogové okno pro prohlížení výsledků

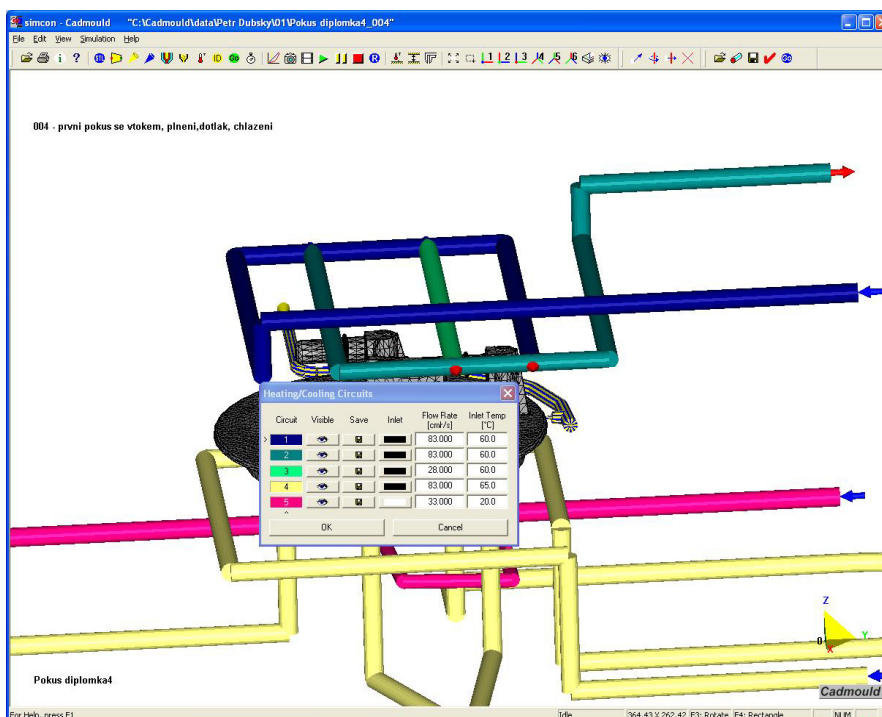
3.3 Simulace současného stavu výroby výstřiku

Pro posouzení přesnosti simulace procesu vstřikování byl nejprve model výstřiku podroben výpočtu s takovými parametry vstřikování, které jsou v současné době aplikovány přímo při výrobě tohoto plastového dílu.

3.3.1 Nastavení výpočtu

Podle průvodky výstřiku byly podmínky vstřikování nastaveny takto:

- čas plnění dutiny 3,3 s
- teplota taveniny 200 °C
- teplota vyhození výstřiku 138 °C
- doba dotlaku 16,7 s
- doba chlazení 60 s



Obr. 3.17: Nastavení okruhů teploty nástroje podle současné výroby

Průběh dotlaku je vzhledem k vstřikovacímu tlaku na úrovni 50-ti % po dobu 8,1 s od okamžiku přepnutí na dotlak, 48 % do 10,7 s, 40 % do 13,4 s a 30 % do ukončení působení dotlaku, tj. 16,7 sekundy.

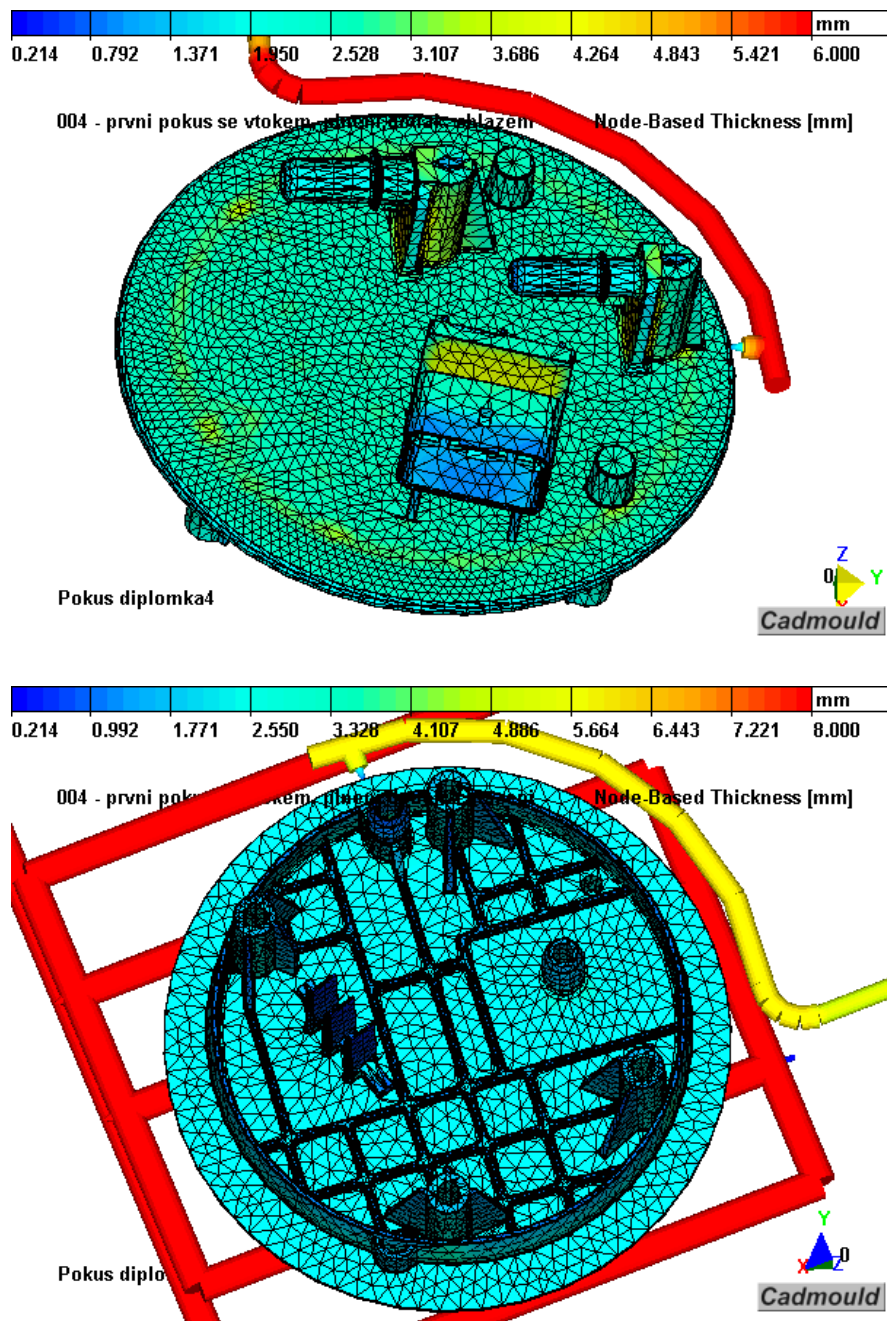
Teperace nástroje je nastavena na hodnoty podle uvedeného obr.3.17. V horní části nástroje odpovídá objemový průtok vody v kanálech 1 a 2 5 l/min o teplotě 60 °C, přičemž v prostředním spojovacím kanálu 3 je průtok odpovídající jedné třetině, tj. 1,66 l/min. Ve spodní části formy jsou dva okruhy 4 navzájem propojeny spojovací hadicí a jejich průtok je také 5 l/min vody o teplotě 65 °C. Třetí okruh 5 s chladicími trubičkami je temperován na 20 °C s průtokem 3 l/min. Pro zadání je nutné objemové průtoky vody přepočítat na hodnoty v cm³/s.

3.3.2 Výsledky simulace a jejich rozbor

Následující obrázky zobrazují průběhy různých veličin, které lze tímto způsobem sledovat během procesu vstřikování, tuhnutí a chladnutí výstřiku, a jednotlivé obrázky zde budou postupně podrobněji popsány a bude vysvětlen jejich význam.

Tloušťka elementů síť prvků

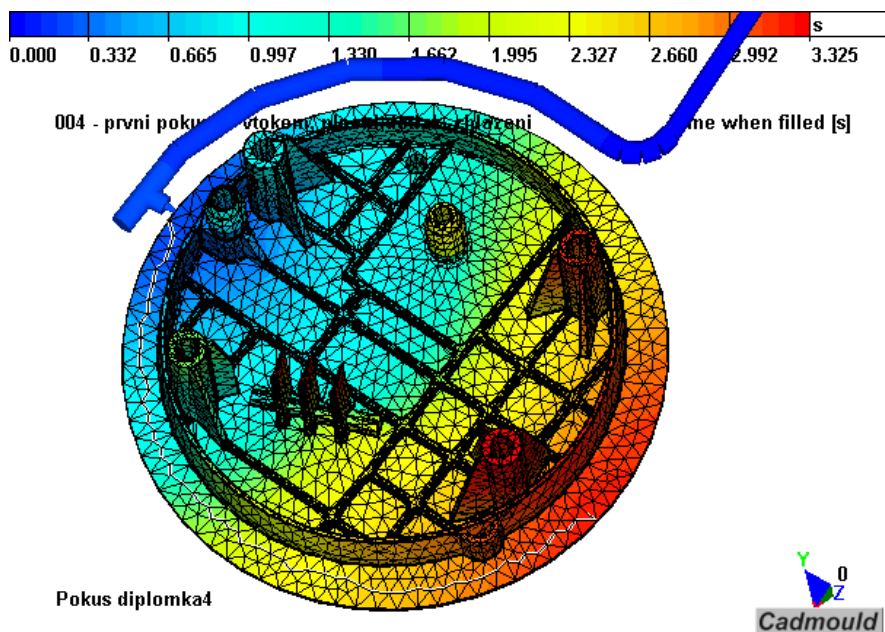
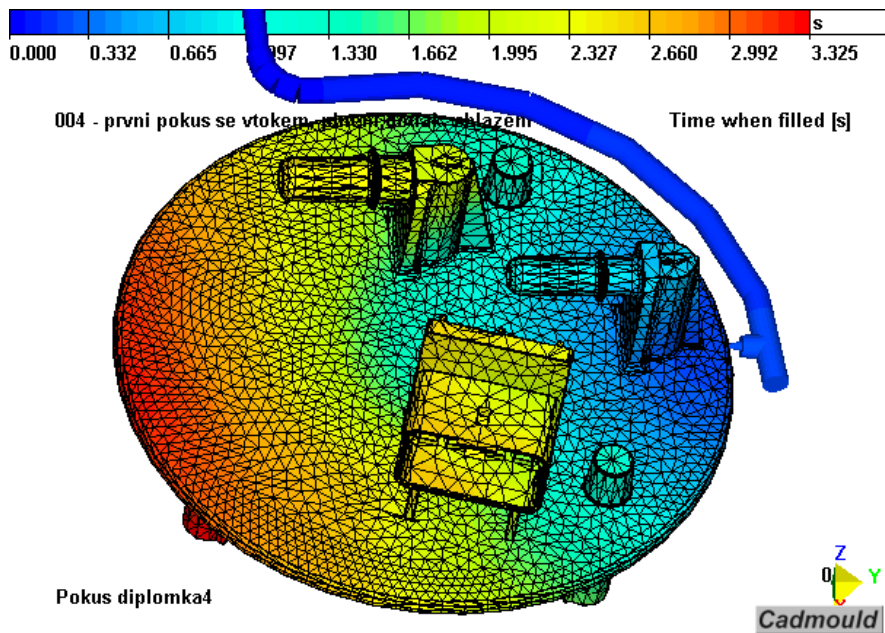
Tloušťka jednotlivých elementů, ze kterých je model výstřiku sestaven, včetně temperačních kanálů je zobrazena na následujícím obr. 3.18. Každé tloušťce materiálu – rozměru prvku je přiřazena určitá barva a na obou obrázcích je vidět jejich rozložení na výstřiku. Světlá místa se zbarvením do žluté barvy jsou partie s větší tloušťkou materiálu a lze tedy v těchto místech očekávat vznik staženin a deformací. Optimální konstrukce výstřiku by měla mít v tomto zobrazení jednotnou barvu všech elementů pro zajištění rovnoměrného smrštění v celém objemu výstřiku.



Obr. 3.18: Zobrazení velikostí jednotlivých elementů síť prvků

Průběh doby plnění dutiny nástroje

Ukazuje časové okamžiky během plnění dutiny taveninou, ve kterých čelo taveniny dosáhlo příslušných míst. Z obr. 3.19 jsou podle červené barvy patrná místa, do kterých tavenina dotekla až naposledy. V těchto místech budou velké tlakové ztráty a tavenina plastu bude mít nižší teplotu než u ústí vtoku. Dá se tedy v některých těchto místech očekávat menší vliv působení dotlaku a tudíž vznik propadlin a větších deformací těchto partií výstřiku.

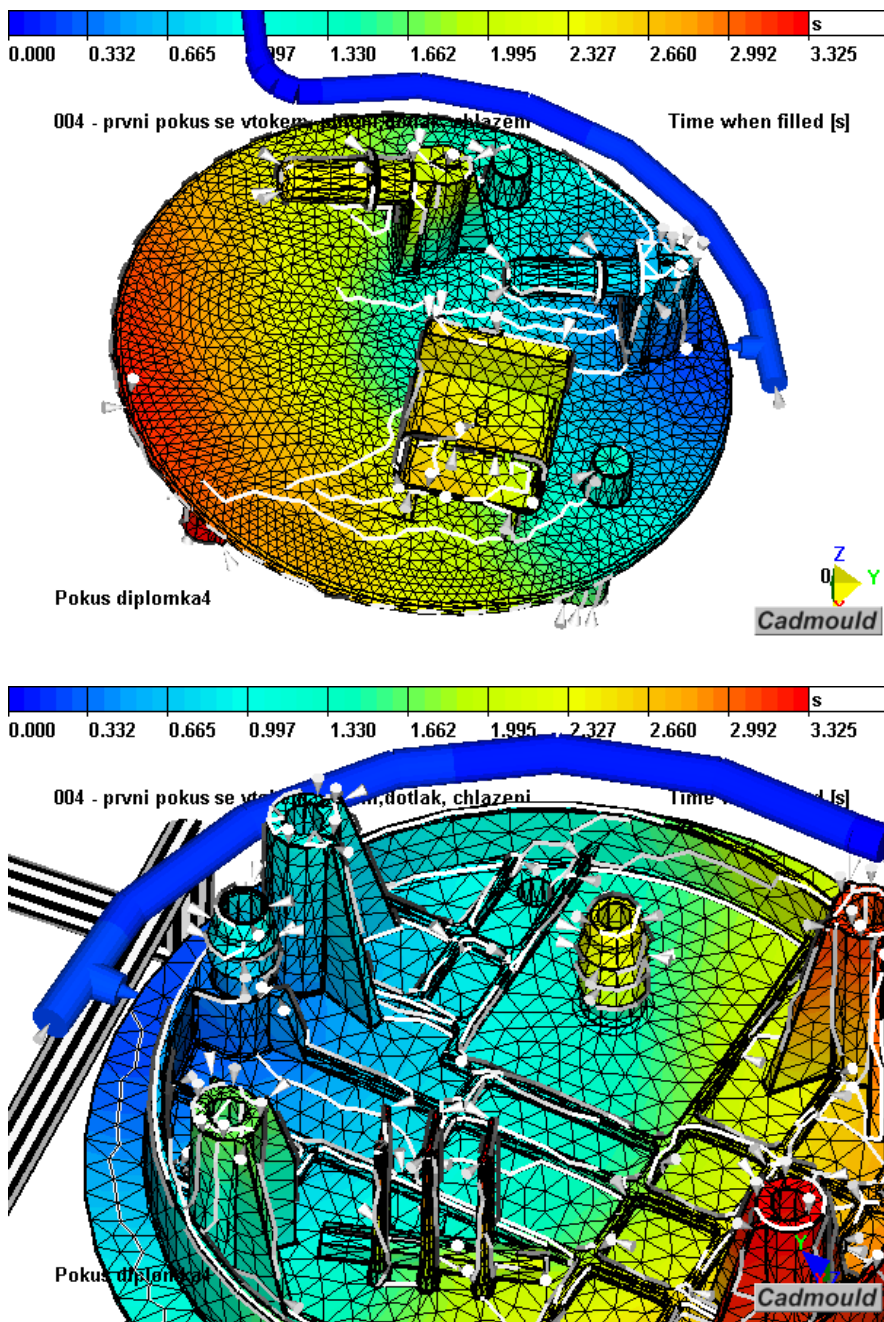


Obr. 3.19: Zobrazení časového průběhu plnění dutiny nástroje

Studené spoje a vzduchové bubliny

Bílé čáry na obr. 3.20 znázorňují možná místa spojení dvou čel taveniny a tudíž studených spojů. Je nutné podotknout, že zdaleka ne všechny čáry znamenají přímo vznik studených spojů. Šipky určují místa na výstřiku, kde se vlivem plnění hromadí vzduch, který by se mohl vlivem špatného odvzdušnění nástroje dostat do výstřiku ve formě bublin. Tento obrázek může být návodem, kde provést optimální odvzdušnění dutiny nástroje.

Na spodním detailu obr.3.20 je vidět vznik studeného spoje na stromečku vývodu paliva, který je popsán jako jeden z hlavních problémů. Tento spoj a v tomto konkrétním případě konstrukce nelze zcela odstranit, je možné ale vhodnou volbou technologických parametrů ovlivnit jeho vznik a výslednou kvalitu.

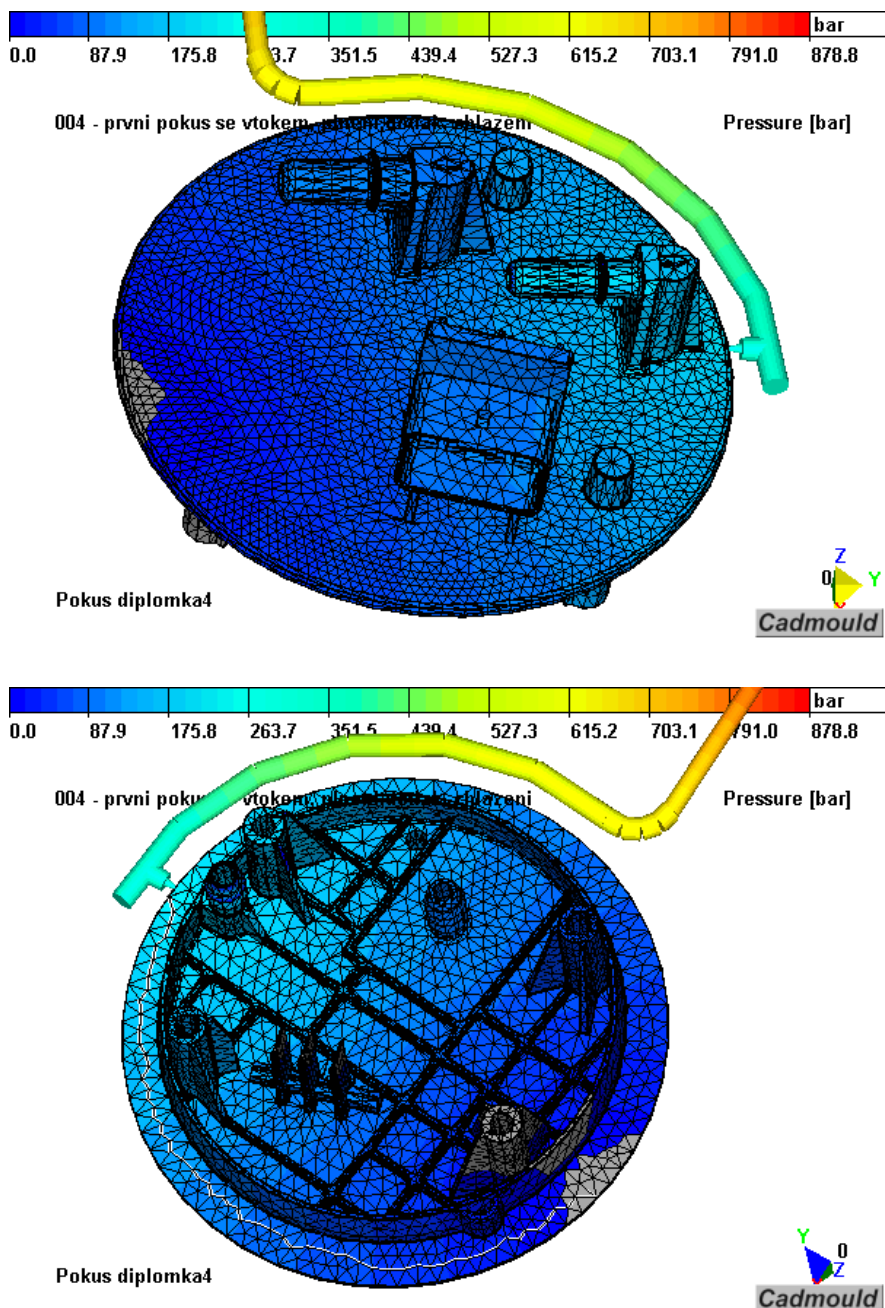


Obr. 3.20: Místa vzniku studených spojů a vzduchových bublin

Ostatní studené spoje vznikají taktéž vlivem obtékání překážky, jako jsou zastříknuté elektrické kontakty, tvarová jádra palivových vývodů a upevňovacích výstupků.

Průběh tlaku v dutině nástroje

Na obr.3.21 je průběh tlaku v dutině nástroje těsně před dokončením vstřikování. Tlak směrem od ústí vtoku k čele taveniny klesá vlivem hydraulických ztrát a viskozitě taveniny a na čele taveniny má nulovou hodnotu. Zúžené vtokové ústí způsobuje velké tlakové ztráty a v dutině nástroje je tedy vstřikovací tlak výrazně nižší než ve vtokovém kanálu.

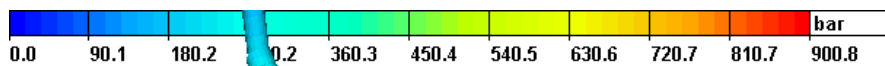


Obr. 3.21: Průběh tlaku v dutině nástroje během plnění

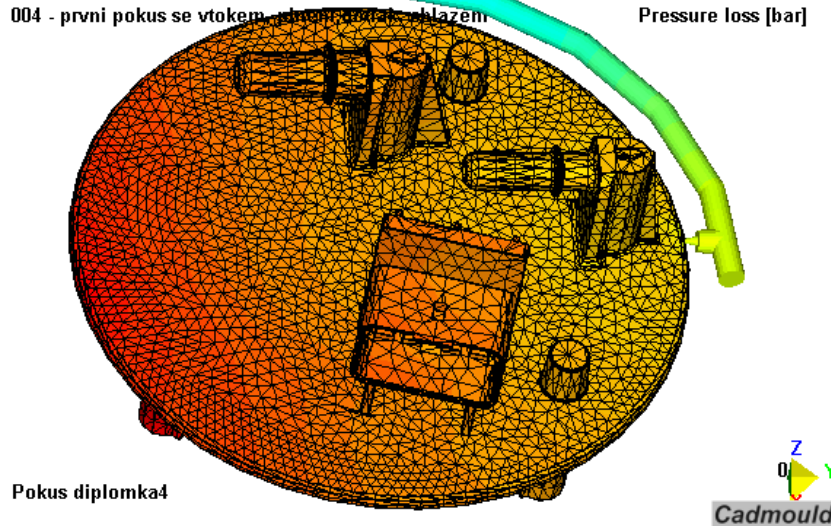
Tlakové ztráty

Podobně jako průběh tlaku, je na následujícím obr.3.22 naopak znázorněna tlaková ztráta v tavenině, která je největší v místech, kde se dutina zaplňuje až nakonec, kde je nižší teplota taveniny a slabší stěny výstřiku. Tento průběh je podobný časovému průběhu plnění a v podstatě je negativem předchozího obrázku č. 3.21, protože tavenina do míst s delší dráhou toku a většími hydraulickými ztrátami teče déle než do částí bližších k ústí vtoku a ztrácí zde svůj tlak.

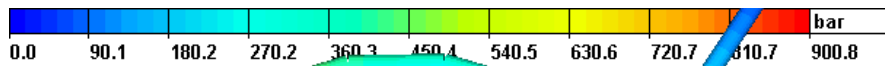
Tlakové ztráty se projeví později i během působení dotlaku a v některých místech se jeho působení proti vzniku velkých smrštění v místech hromadění materiálu neuplatní. Snahou konstrukce je docílit rovnoměrného průběhu tlaku v celém objemu výstřiku a hlavně malých tlakových ztrát v oblastech tlustších stěn.



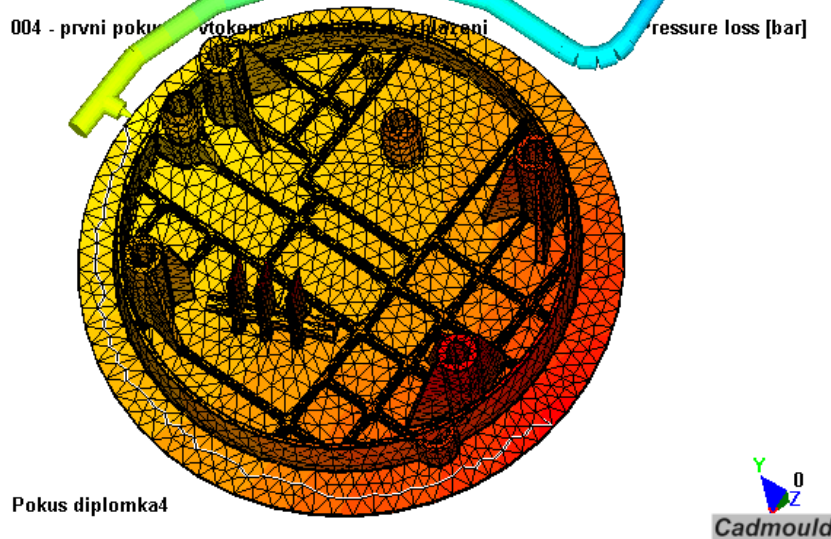
004 - první pokus se vtokem, vlnění taveniny a chlazení Pressure loss [bar]



Pokus diplomka4



004 - první pokus se vtokem, vlnění taveniny a chlazení Pressure loss [bar]



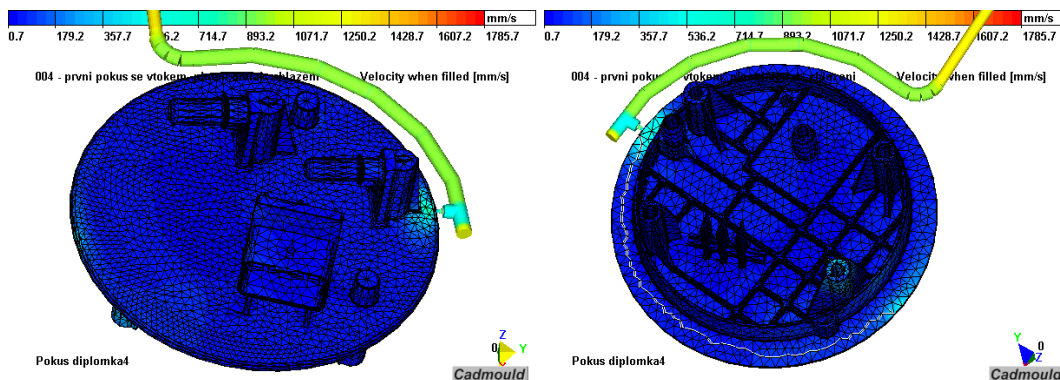
Pokus diplomka4

Obr. 3.22: Průběh tlakových ztrát

Bílá čára na spodní části předchozího obrázku znázorňuje nejdelší dráhu proudu taveniny při plnění výstřiku od místa ústí v toku.

Rychlost vstřikování

Reprezentuje rychlost proudu čela taveniny v každém místě při plnění dutiny nástroje. Rychlost je téměř v celém výstřiku konstantní, je větší pouze u ústí vtoku vlivem proudění přes menší průřez a v nejbližším místě naproti vtoku, kde se dutina vyplňuje taveninou nakonec. V ostatních částech výstřiku je rychlost plnění rovnoměrná. Průběh je patrný z obr. 3.23.



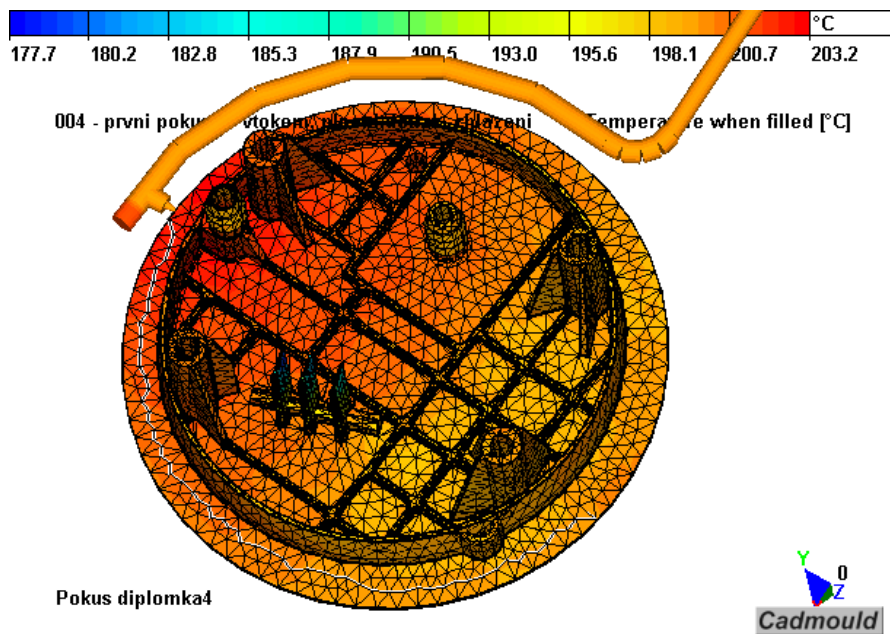
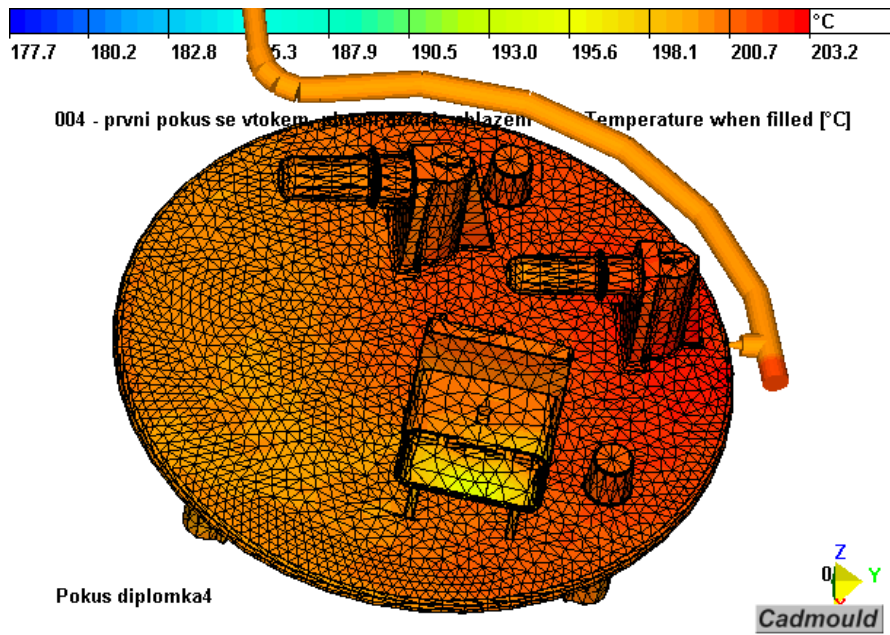
Obr. 3.23: Průběh rychlosti vstřikování

Teplota během plnění

Obr. 3.24 znázorňuje teplotu taveniny v jednotlivých elementech v okamžiku, kdy do nich dospělo čelo taveniny během procesu plnění. Hodnota teploty je průměrnou hodnotou napříč tloušťkou výstřiku v daném místě. S rostoucí dráhou taveniny a časem teplota klesá, roste viskozita a tlakové ztráty.

Na spodní části obrázku je vidět nižší teplota taveniny v oblasti stromečku palivového vývodu, která je způsobena nejen delší dráhou toku, ale i intenzivnějším chlazením. Zde vzniká již uvedený problematický studený spoj, jehož kvalita závisí mimo jiné i na teplotě taveniny v okamžiku spojení. Nevýhodou je intenzivnější chlazení tohoto místa, které ale z důvodu konstrukce nástroje snižuje dobu chlazení výstřiku a tudíž celého cyklu.

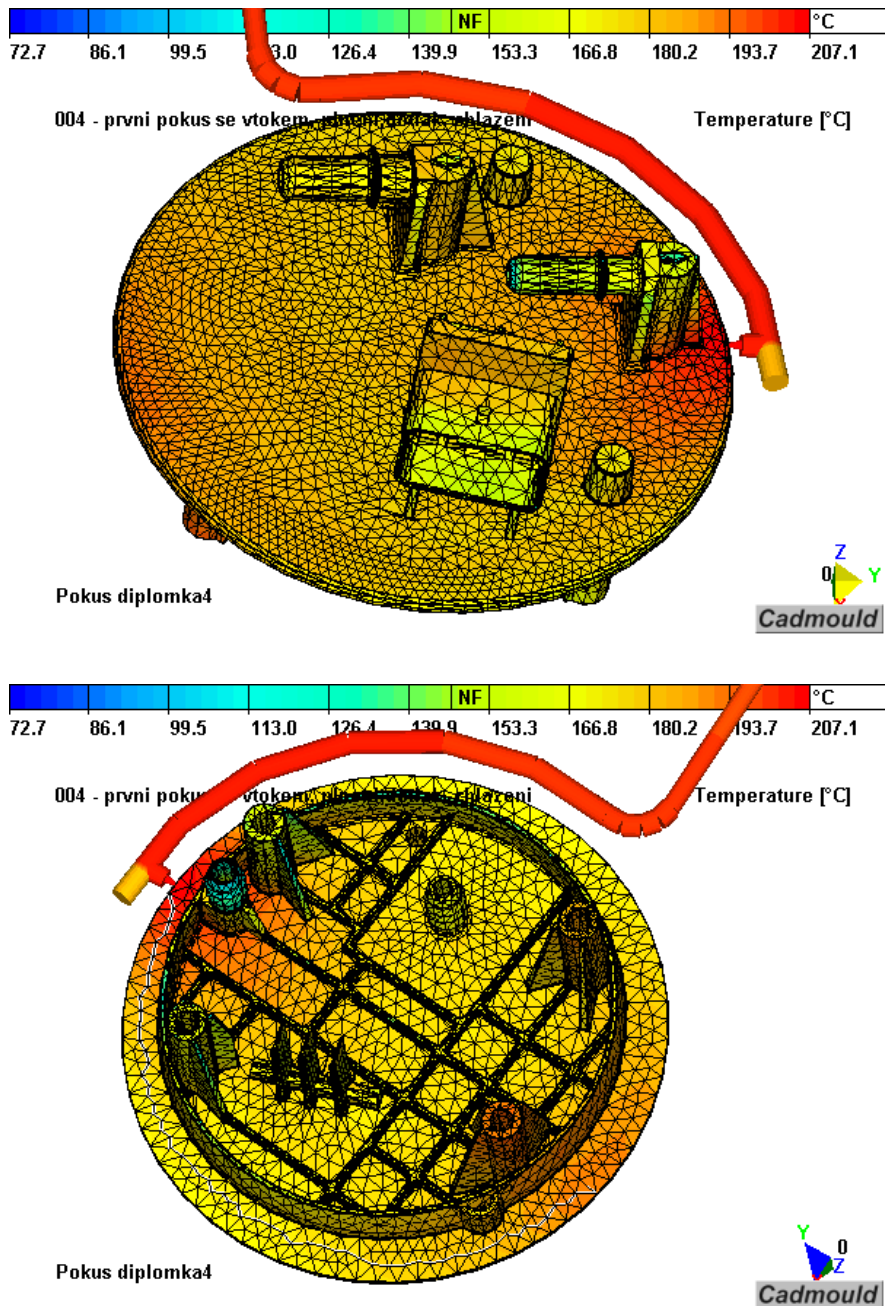
Velmi nízká teplota, která se blíží hranici teploty vstřikování materiálu POM je v místě tenké stěny elektrické zásuvky. To je způsobeno také dlouhou dráhou taveniny, tlakovými ztrátami a tím i časem plnění a v neposlední řadě zde může být i intenzivnější odvod tepla, způsobený základním přípravkem. Ten je ve dvou provedeních a střídavě se zakládá do formy, tudíž je více chlazen a není temperován na stejnou teplotu jako nástroj.



Obr. 3.24: Teplota čela taveniny v daných okamžicích během vstřikování

Teplota v okamžiku naplnění

Je průměrná teplota taveniny plastu napříč tloušťkou výstřiku v daném místě, tj. mezi dvěma stěnami. Z rozložení uvedeného teplotního pole na obr. 3.25 je patrné, ve kterých místech je plast po ukončení plnění dutiny ještě tekutý, a kde je již ztuhlý. V tomto okamžiku se již ve ztuhlých částech výstřiku neuplatní fáze dotlaku a budou zde vznikat propadliny a deformace vlivem vnitřního pnutí. Jsou to místa v oblasti palivových vývodů z obou stran výstřiku, slabé stěny elektrické zásuvky a dva upevňovací výstupky, které jsou blíže vtoku.



Obr. 3.25: Teplota taveniny plastu v okamžiku naplnění dutiny nástroje

Rychlé tuhnutí taveniny plastu v místě stromečku je dáno již několikrát zmíněných intenzivním odvodem tepla, kdy se do temperačních trubiček vhání voda

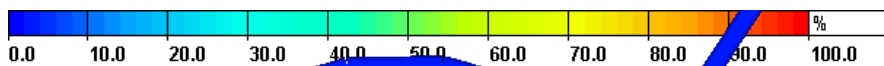
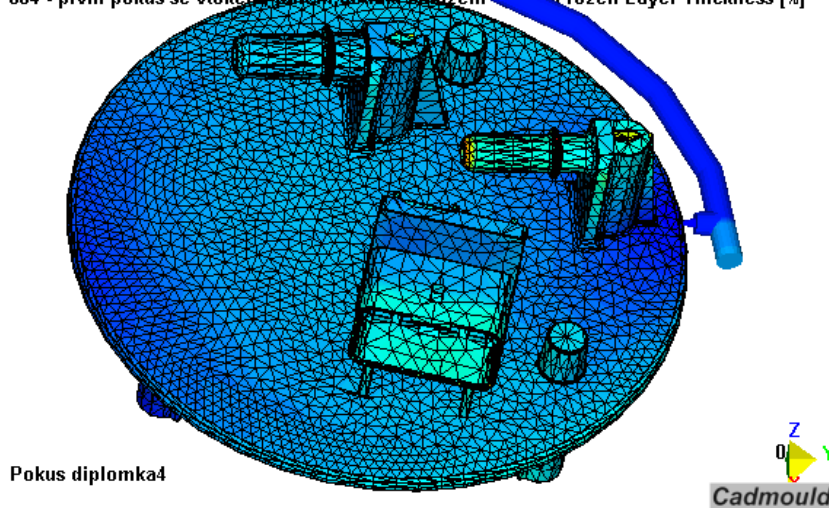
o teplotě pouze 20 °C. To ale na druhou stranu pomáhá při chlazení dlouhých a tenkých tvarových jader a tím zkrácení celého cyklu výroby.

Tloušťka ztuhlé vrstvy v okamžiku naplnění

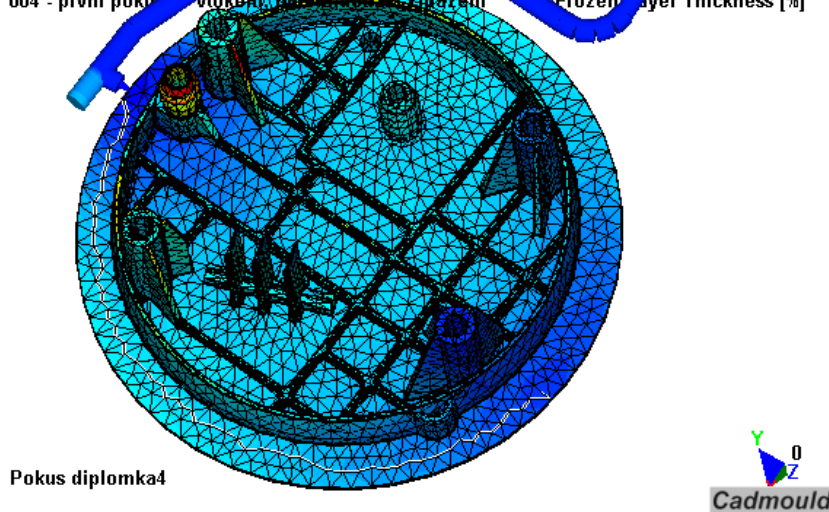
Je to procentuální vyjádření tloušťky ztuhlé vrstvy taveniny plastu vůči tloušťce stěny výstřiku v daném místě v okamžiku naplnění dutiny. Je odrazem i teploty taveniny v okamžiku naplnění a lze z toho na obr. 3.26 poznat místa, ve kterých se už v počátku přepnutí stroje na dotlak neuplatní jeho význam. Rychlé tuhnutí taveniny plastu je zřejmé okolo jednoho ze stromečků vývodu paliva, a dále v místech tenkých stěn, které jsou blízko vtokového ústí (viz. spodní část obr.3.26), jsou brzo zaplněna plastem a ten rychle ještě během vstřikování tuhne.



004 - první pokus se vtokem, chlazení, chlazení Frozen Layer Thickness [%]



004 - první pokus se vtokem, chlazení, chlazení Frozen Layer Thickness [%]



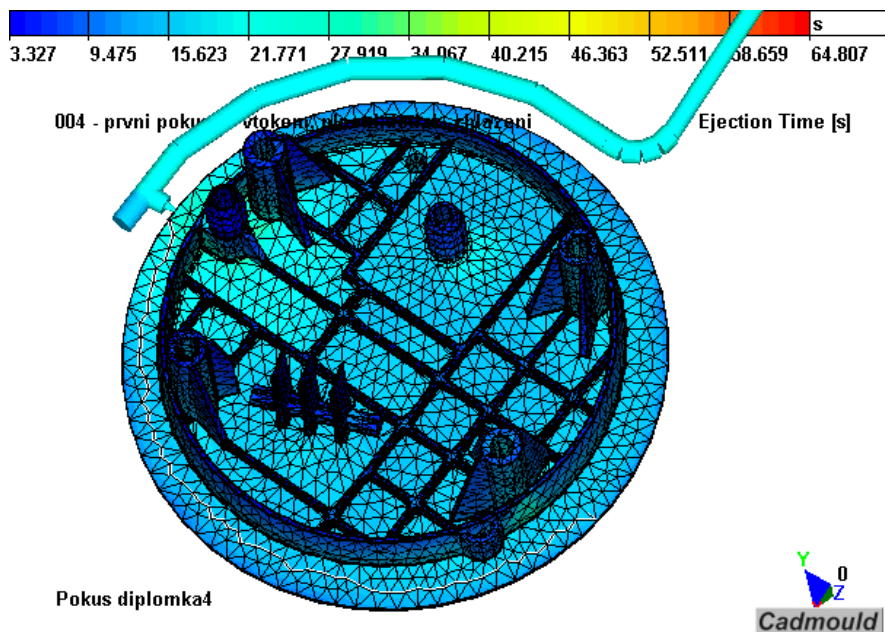
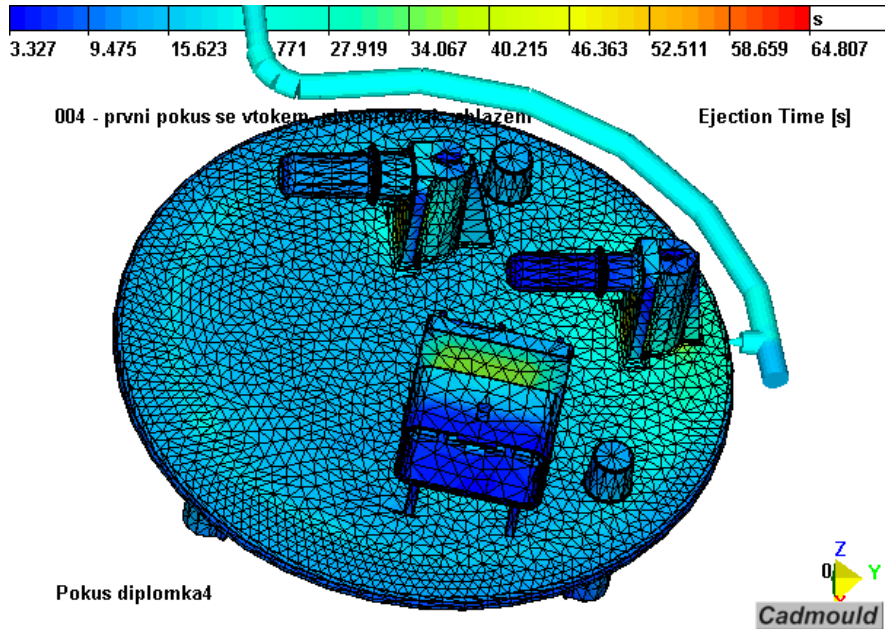
Obr. 3.26: Tloušťka ztuhlé vrstvy plastu po ukončení plnění

Na horní straně výstřiku je to v místě slabé tloušťky stěny tvořící zásuvku, kde nástroj rychleji odvede teplo z tohoto místa a tavenina zde také poměrně rychle zatuhne. Posledním rychle tuhoucím místem je menší palivový vývod, který je plněn taveninou velice brzy a je také zevnitř chladicí trubičkou rychleji temperován na nižší teplotu.

V tomto okamžiku je důležité, aby tloušťka ztuhlé vrstvy vtokového kanálu byla co nejmenší, což je splněno a mohl být uplatněn dotlak v těch částech výstřiku, kde tavenina ještě zcela nezatuhla. Ideálním stavem by proto v tento okamžik měla být situace, kdy v žádném místě není ztuhlá celá tloušťka stěny výstřiku. Nosná část výstřiku má poměrně malou ztuhlou vrstvu a při dostatečné teplotě může při dotlaku přivádět chybějící taveninu do míst velkého smrštění.

Teplota vyhození výstřiku

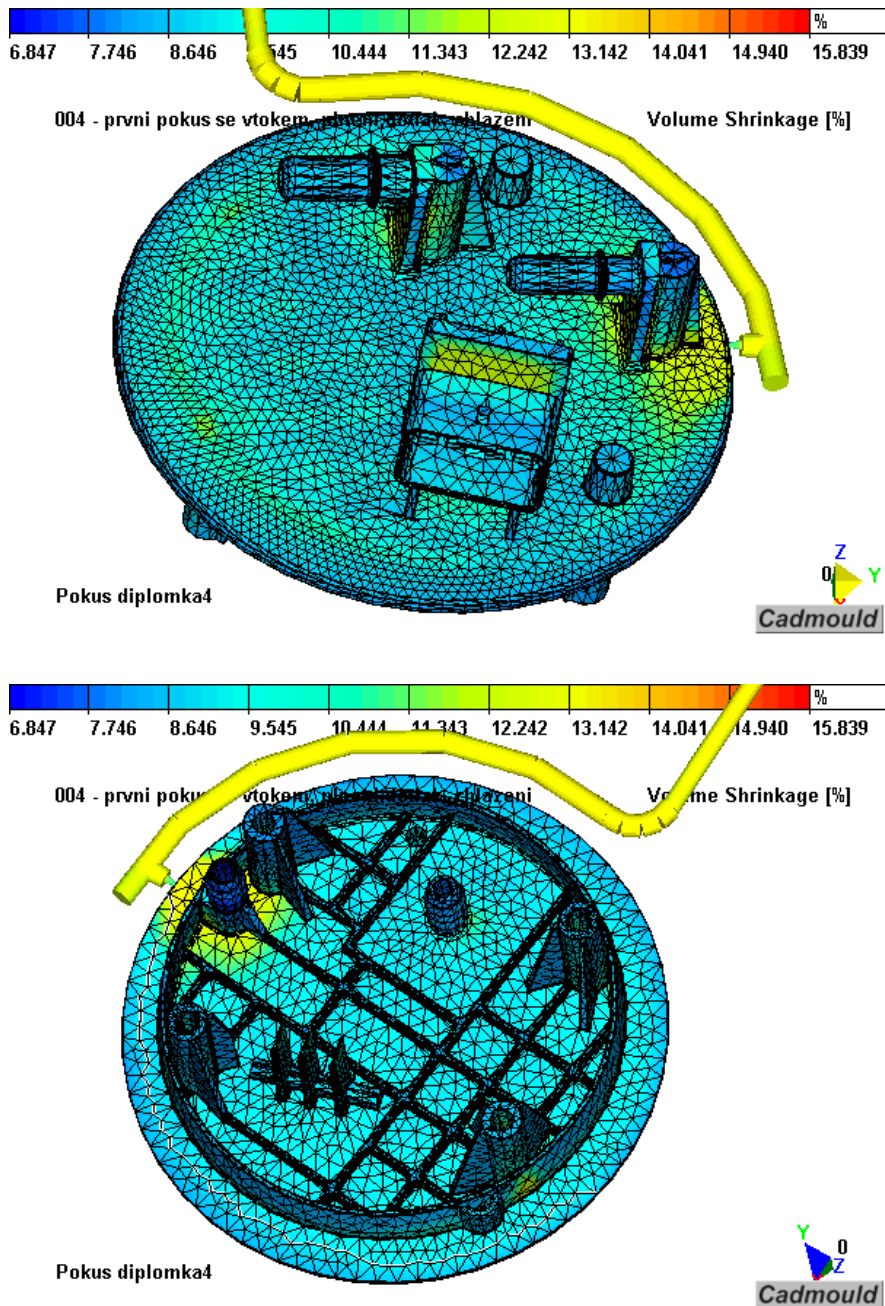
Na obr.3.27 je znázorněno časové pole, které definuje okamžik dosažení teploty vyhození při chladnutí výstřiku, která se nastavuje do technologických parametrů. Výstřik včetně vtokové soustavy této teploty dosáhne zhruba po 40 vteřinách, ale samotný vtokový kanál a vtokové ústí dosáhnou této teploty dříve. Nejdéle výstřik chladne v místech tlustých stěn a hromadění materiálu.



Obr. 3.27: Dosažení optimálního času pro vyhození výstřiku z nástroje

Objemové smrštění

Obr.3.28 zobrazuje objemové smrštění v jednotlivých bodech výstřiku. Největší se vyskytuje v okolí ústí vtoku a v partiích s větší tloušťkou stěny, jako je např. napojení žebér. V těchto místech zatuhne okolní tavenina ve slabších stěnách a dotlak ji sem nestačí během tuhnutí dodávat. Proto se v těchto místech také nachází staženiny a propadliny a plast tak vykazuje větší smrštění. U vtoku je větší smrštění způsobeno tím, že teplota taveniny je zde větší a plast zde tuhne později než ve vtokovém kanálu, takže ani zde se potom již neuplatní fáze dotlaku.



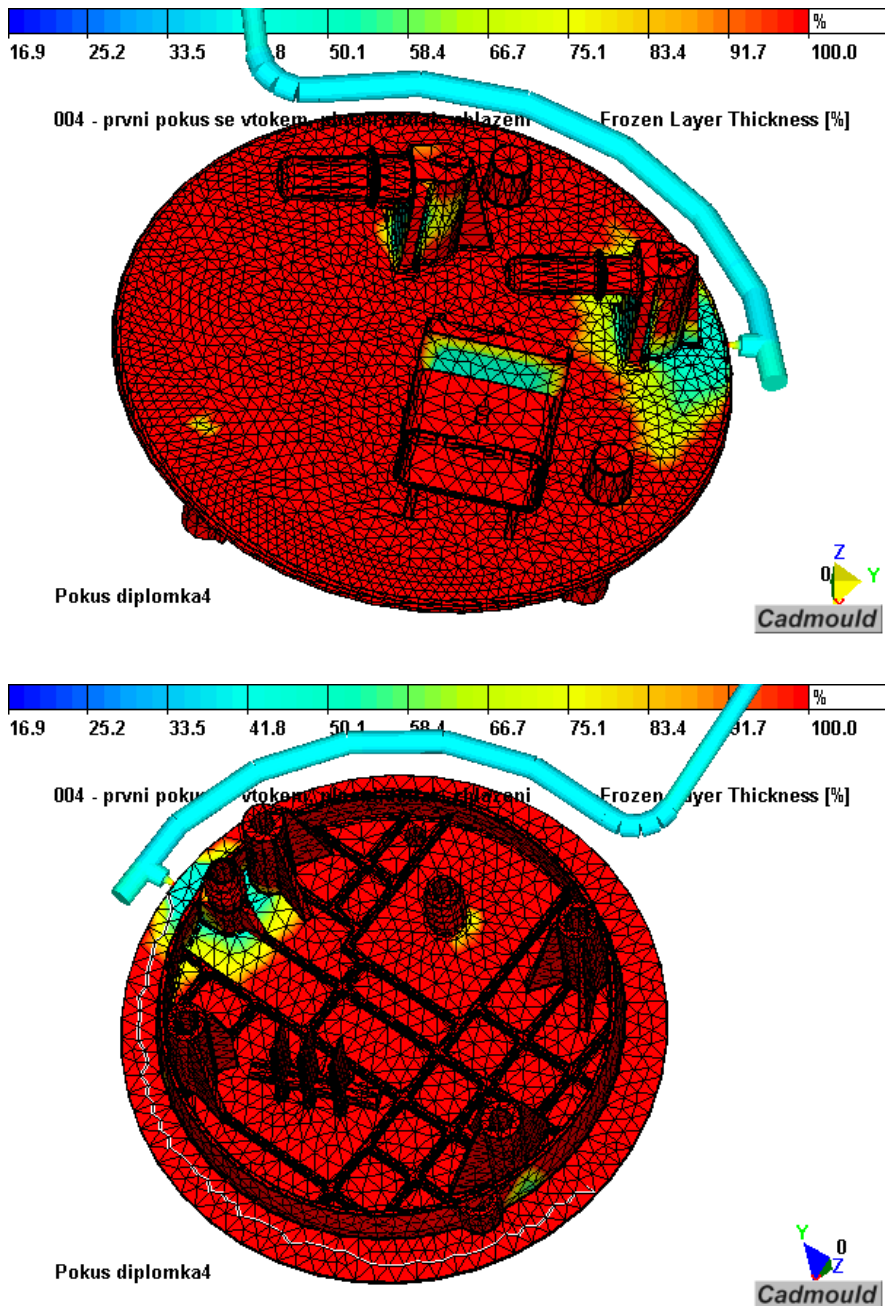
Obr. 3.28: Objemové smrštění výstřiku

Rozdílné smrštění ve výstřiku má za následek vznik vnitřního pnutí a tím i deformaci plastového dílu. V některých místech podle obr. 3.28 dosahují hodnoty

smrštění i dvojnásobných velikostí v elementech, které jsou blízko sebe, jako je tomu např. v palivových vývodech na horní části výstřiku.

Tloušťka ztuhlé vrstvy po ukončení dotlaku

Procentuální vyjádření tloušťky ztuhlé vrstvy po ukončení působení dotlaku vztaheno na tloušťku dílu v daném místě. V tento okamžik je na obr. 3.29 vidět skoro zatuhlé vtokové ústí a část výstřiku u vtoku, která ještě není zcela zatuhlá. Zde by se mohl ještě trochu uplatnit dotlak, ale v jiných nezatuhlých místech již ne.



Obr. 3.29: Tloušťka ztuhlé vrstvy plastu po ukončení dotlaku

Taková situace nastává v nosné stěně zásuvky a v místech průchodů palivových vývodů skrz těleso výstřiku, kde jsou rozšířené stěny, odkud se pomaleji odvádí

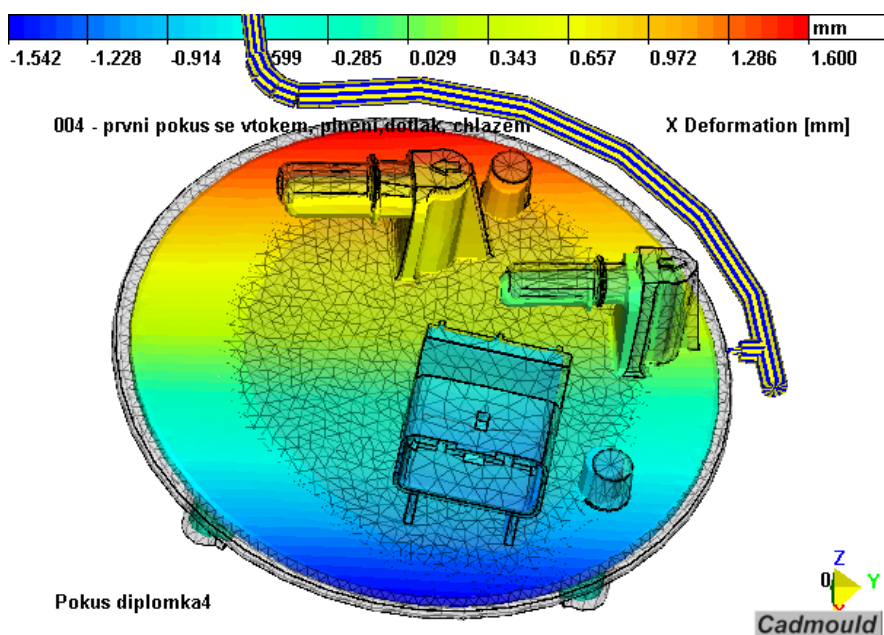
teplo, tavenina není po ukončení dotlaku ještě zcela zatuhlá a o to více se v těchto místech plast smršťuje.

Deformace výstřiku ve směru souřadných os

V pravém dolním rohu každého obrázku je schématická značka souřadného systému a jeho současná orientace natočení. Počátek souřadného systému se nachází ve středu výstřiku na spodní ploše rotační nosné části a prochází jím osa kruhového obvodového žebra.

Na následujících obrázcích je znázorněná deformace výstřiku ve směru jednotlivých os souřadného systému. Jsou zde uvedeny pouze některé pohledy na výstřik, protože pro některé partie jsou rozhodující deformace převážně v hodnoceném směru daných souřadnicových os.

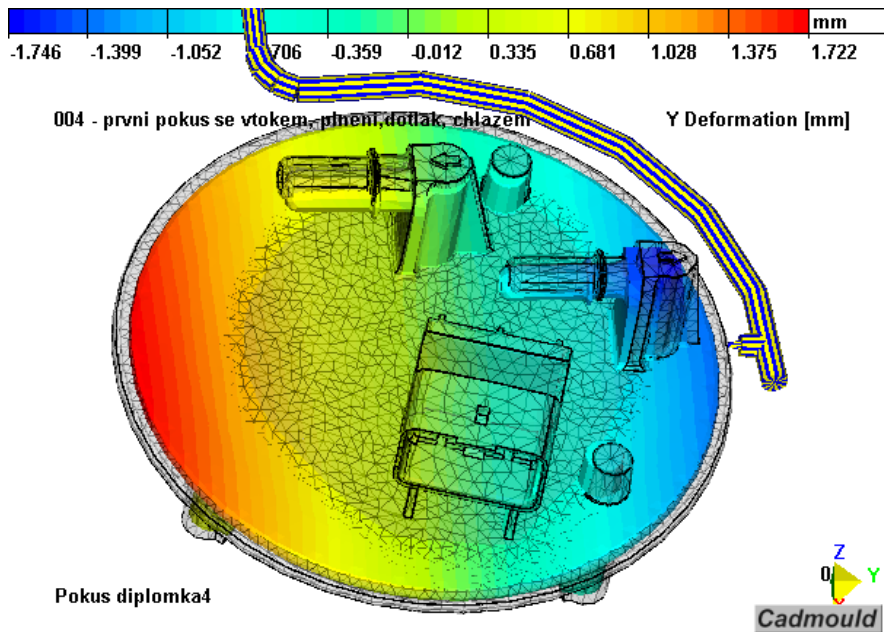
Z deformací ve směru osy X a Y na obr. 3.30 a 3.31 můžeme posoudit vznik ovality výstřiku, která je důležitá z hlediska dodržení funkčnosti válcové plochy kruhového žebra na obvodu výstřiku. Naopak deformace ve směru osy Z znázorňuje prohýbání nosné rotační části výstřiku do tvaru misky a je obrazem míry rovinnosti této části výstřiku. Dále se takto dá posoudit míra zborcení tvaru zásuvky a palivových vývodů na horní části, kdy se nedodrží jejich rovnoběžnost s rovinou XY .



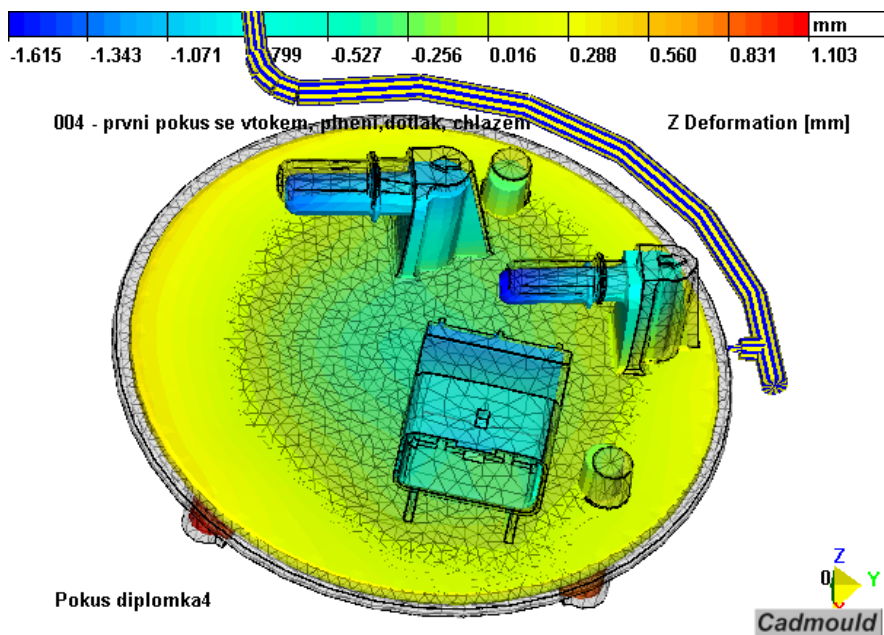
Obr. 3.30: Deformace výstřiku ve směru osy X

Na obrázcích je v šedivé barvě zobrazen model výstřiku a v několikanásobném zvětšení i stav po zchladnutí výstřiku na okolní teplotu v barevném provedení podle velikosti deformace v uzlových bodech prvků.

Ve směru toku taveniny, tj. ve směru osy Y je deformace větší, než ve směru osy X , a to celkově zhruba až o 0,2 mm. Nosná rotační část a kruhové obvodové žebro sice nejsou souosé, ale z toho vyplývá, že výstřik se nerovnoměrně deformuje v rovině XY vůči počátku souřadného systému a vzniká tak ovalita kruhového žebra, které musí mít požadovaný průměr a tvar, aby plnil svou těsnicí funkci při aplikaci v provozu.



Obr. 3.31: Deformace výstřiku ve směru osy Y



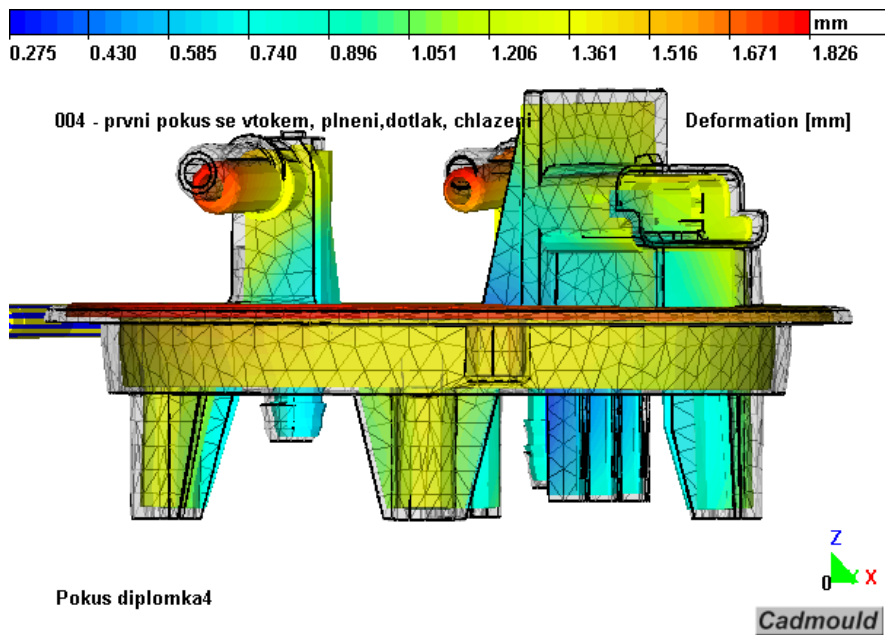
Obr. 3.32: Deformace výstřiku ve směru osy Z

Část modelu na obr. 3.32, která není pokryta sítí prvků, se deformuje ve směru osy Z do kladných hodnot, tj. směrem nahoru na uvedeném obrázku, ostatní včetně palivových vývodů se deformuje do záporných hodnot, tj. jakoby směrem do výstřiku. Menší palivový vývod umístěný blíže ke zdeformovanému okraji se oproti většímu prohýbá více, jeho konec klesne až o 1,6 mm vzhledem ke tvaru modelu.

Prohnutí obou palivových vývodů je také v důsledku naklonění na nosné části, která se prohýbá do tvaru misky a způsobuje tak ještě větší celkovou deformaci obou těchto částí. To je patrné hlavně na dalším obrázku celkové deformace, kdy je menší palivový vývod prohnut pouze směrem dolů, kdežto ten druhý, který je jinak situován k okraji nosné části výstřiku, je prohnutý směrem dolů a doprava.

Celková deformace

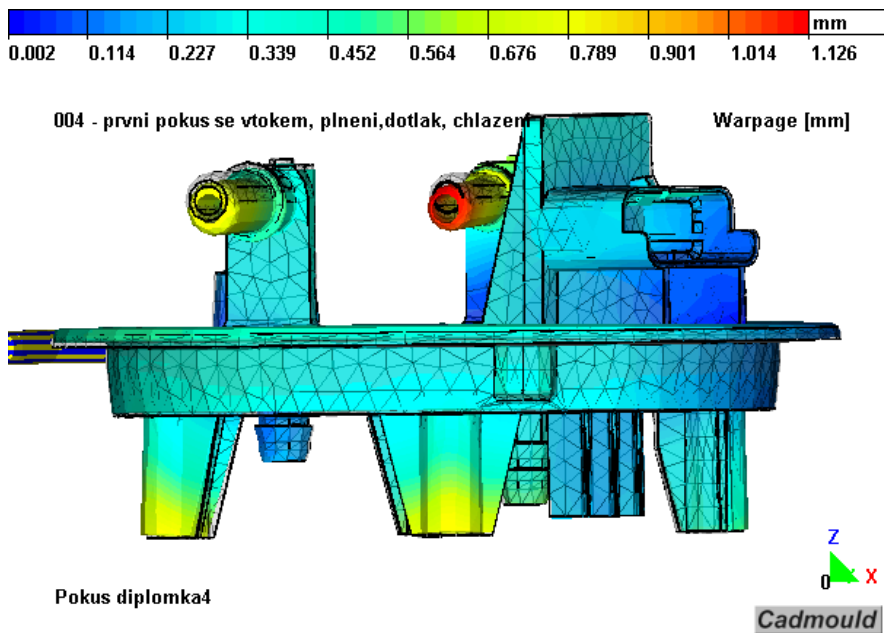
Obr. 3.33 znázorňuje celkovou deformaci jednotlivých elementů vzhledem k nedeformovanému modelu výstřiku ve všech partiích výstřiku. V tomto pohledu je důležitý pohled na výstřik hlavně s ohledem na problematiku řešení v této práci, tj. prohnutí a rovinnost rotační nosné části, deformace zásuvky a palivových vývodů. Největší deformace připadá právě na koncové body obou z vývodů a na část nosné rotační části nejvíce vzdálené od ústí vtoku. Největší velikost deformace tedy činí něco málo přes 1,8 mm a nachází se na okraji výstřiku, který je na opačné straně vtokového ústí.



Obr. 3.33: Celková deformace výstřiku

Zkroucení výstřiku

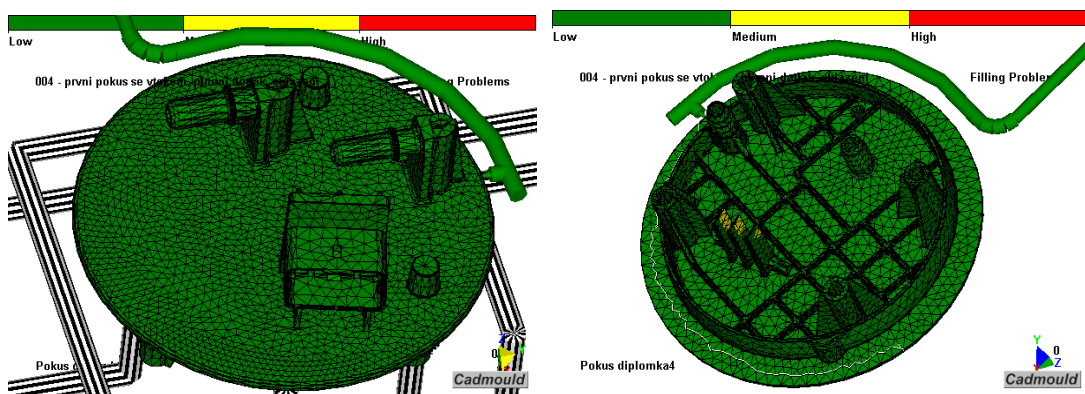
Obr. 3.34 ukazuje obdobný stav, jako je deformace výstřiku. V tomto případě jde ale o zkroucení či zborcení výstřiku v jednotlivých elementech. Oproti celkové deformaci je maximální hodnota zkroucení některého z elementů sítě modelu 1,126 mm a nachází se na konci menšího palivového náustku. Kromě druhého vývodu se nejvíce po zchladnutí výstřiku krotí po deformaci ještě konce upevňovacích výstupků na spodní části výstřiku.



Obr. 3.34: Zkroucení výstřiku

Problémy při plnění dutiny

Analýza plnění dutiny a vyhodnocení případných problematických míst je na následujícím obr. 3.35. Zelená barva značí místa bez jakýchkoliv problémů s plněním dutiny taveninou, žlutá označuje pravděpodobnost výskytu problémů a červená barva znamená určitě vznik těchto problémů. Z obrázku je patrné, že jediné možné místo vzniku je na oddělovacích praporečích elektrických kontaktů.

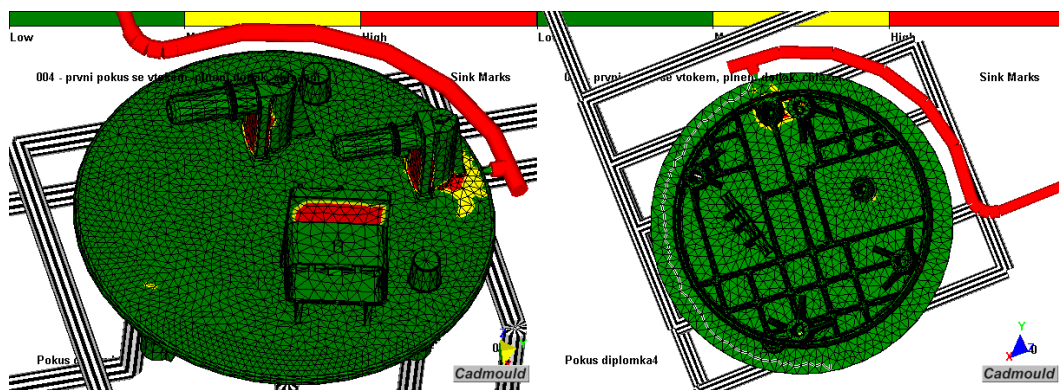


Obr. 3.35: Vznik možných problémů při plnění dutiny

To je způsobeno malou tloušťkou stěny, nižší teplotou taveniny, tlaku a plněním dutiny v pozdějším čase, což vyplývá z obrázku průběhu času plnění, teploty čela taveniny a průběhu tlaku v dutině nástroje.

Propadliny

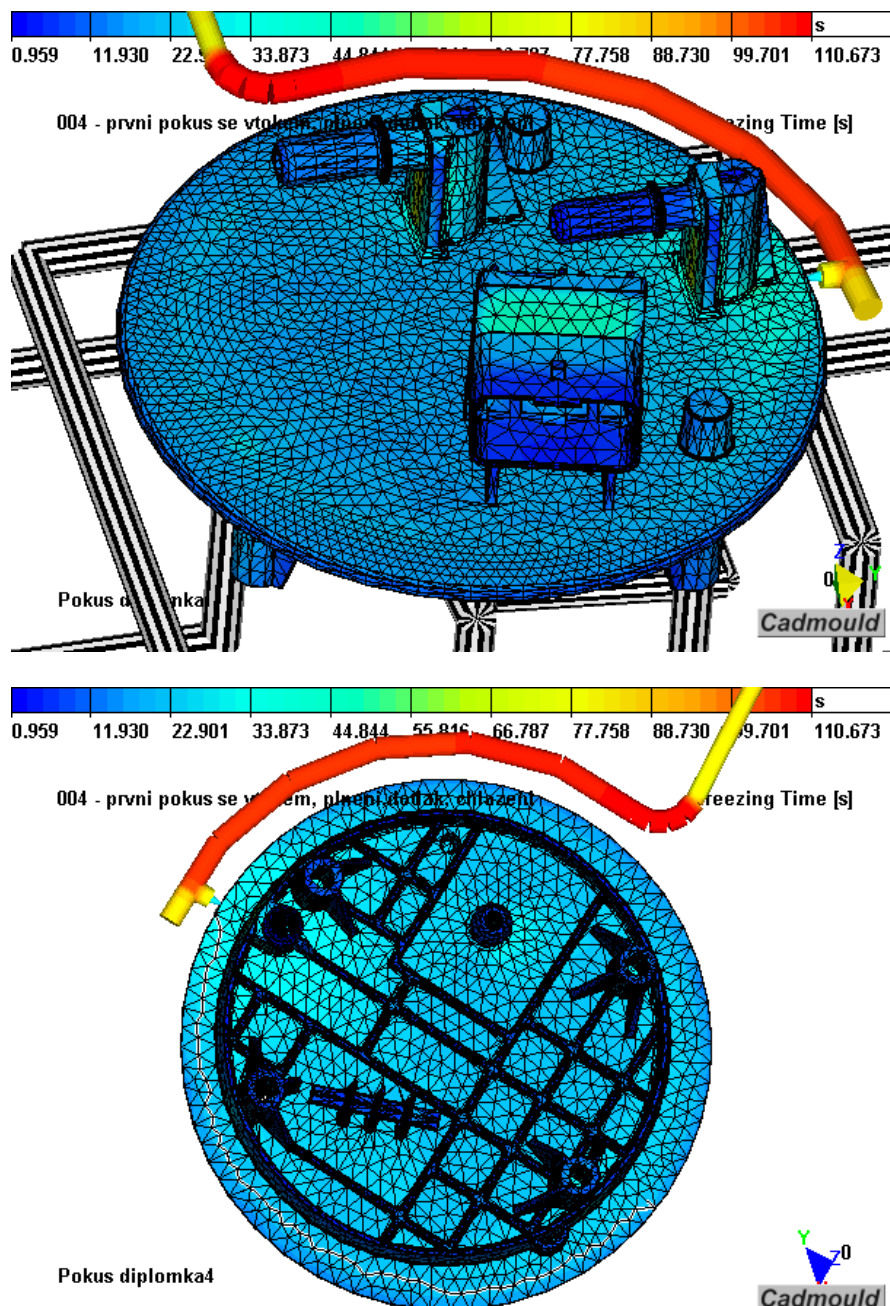
Podobně jako problémy při plnění jsou na výstřiku vyhodnoceny a barevně označeny místa vzniku propadlin. Analýza propadlin je na obr. 3.36 a vychází z porovnání času ztuhnutí s časem, kdy dojde k přerušení spojení daného místa tekutou taveninou s ústím vtoku. Z předchozích obrázků se dalo očekávat, že to budou místa s hromaděním materiálu a větší tloušťkou stěny vůči okolí, tudíž partie výstřiku, kde tavenina tuhne pomaleji než v místě vtoku a není tedy zde uplatněn význam dotlaku, který by mohl doplňovat chybějící taveninu vlivem smrštění při tuhnutí. Místa s pomaleji tuhnoucí taveninou a tedy vzniku propadlin jsou patrná i z následujícího obr. 3.37, znázorňujícího čas chlazení, který je v těchto místech výrazněji delší než v ostatních částech výstřiku.



Obr. 3.36: Místa vzniku propadlin

Čas chlazení

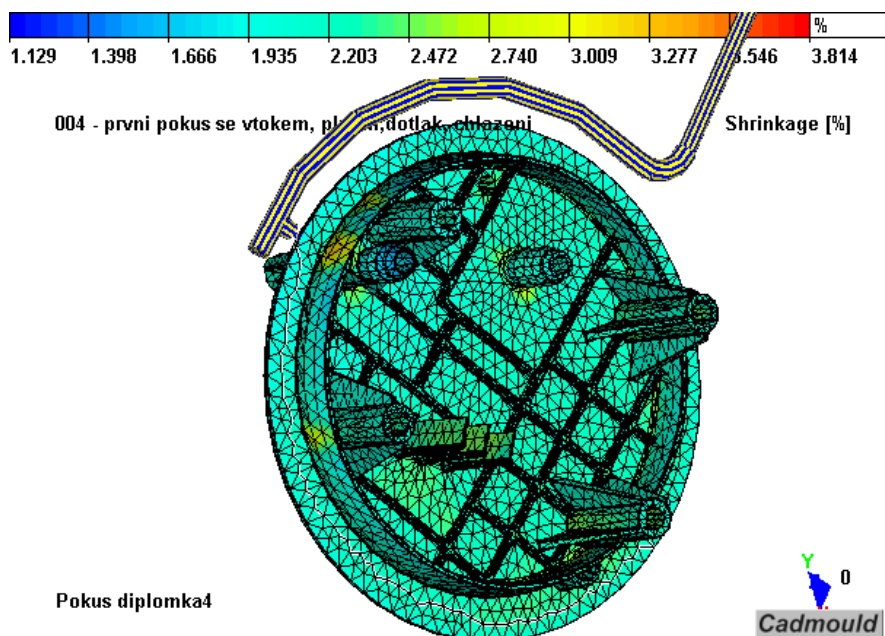
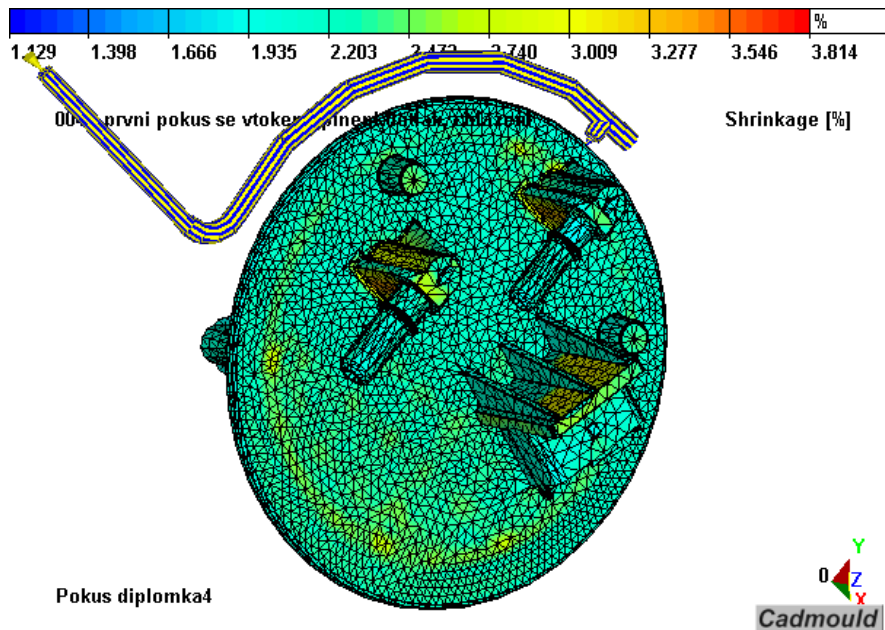
Průběh na obr. 3.37 značí dobu tuhnutí výstřiku v jednotlivých elementech, kdy je dosaženo v daném místě v celé tloušťce takové teploty, kdy už tavenina plástu není schopna téci. Rozhodujícím faktorem pro vznik propadlin a deformací vlivem pomalého tuhnutí taveniny v partiích s tlustší stěnou výstřiku, je doba zatuhnutí vtokového ústí. V tomto případě to odpovídá času okolo 30-ti sekund, po uplynutí této doby působení dotlaku ztrácí smysl. Při výrobě je dotlak aplikován pouze do doby 20-ti sekund od zahájení vstřikovacího cyklu. Celkový čas cyklu je 80 vteřin, který stačí na ztuhnutí taveniny v celém objemu výstřiku kromě vtokového kanálu, který sice tuhne pomaleji, ale není to již důležité.



Obr. 3.37: Čas chlazení, resp. zatuhnutí taveniny v jednotlivých partiích výstřiku

Smrštění výstřiku

Nerovnoměrné smrštění výstřiku v celém objemu má za následek vznik vnitřního pnutí a následných deformací, které toto pnutí vyvolá. Snahou je docílit temperací a konstrukcí dutiny nástroje rovnoměrné smrštění v celém objemu, které ovšem podle obr. 3.38 není zajištěno. Větší smrštění charakterizováno žlutým zabarvením je ve všech místech tlustších stěn výstřiku a v místech hromadění materiálu.



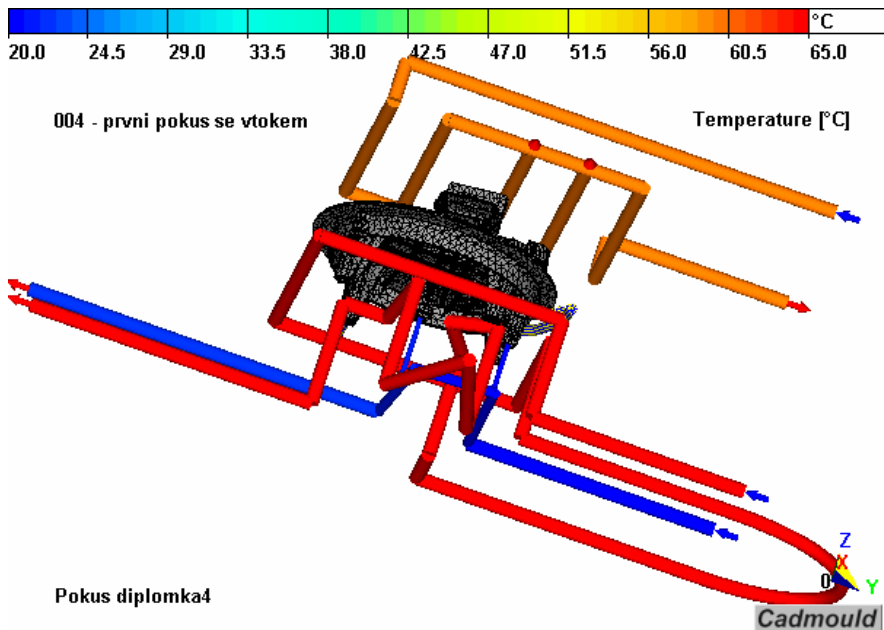
Obr. 3.38: Hodnota smrštění plastu po zchladnutí výstřiku

Větší smrštění je způsobeno právě nerovnoměrností tloušťky materiálu. V horní části obrázku je mimo jiné patrné větší smrštění v místě napojení kruhového žebra ze spodní strany a na straně vzdálenější od vtoku jsou tímto způsobem částečně vidět i vyztužující žebra. Partie s tlustou stěnou, kde není uplatněn dotlak rovněž vykazují

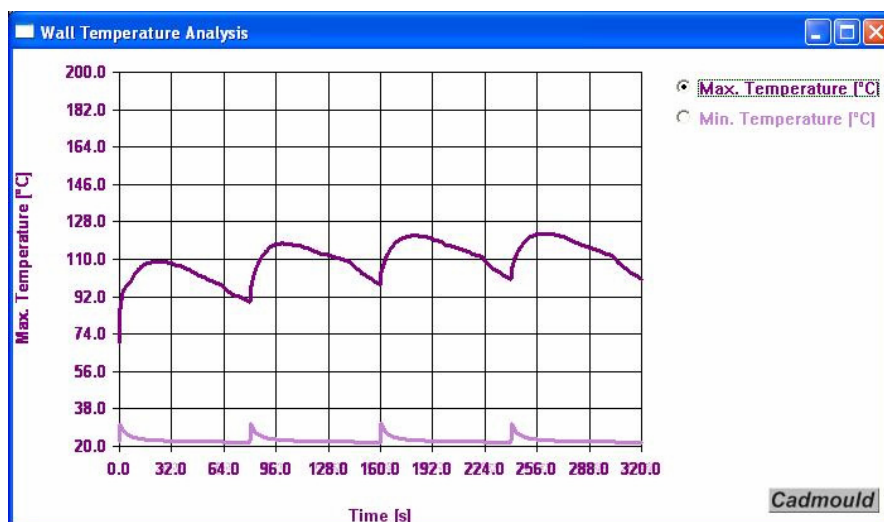
větší hodnoty smrštění. Naopak místo s velmi malým smrštěním je u jednoho ze stromečků vývodu paliva ze spodní strany, které je způsobeno rychlým ochlazením taveniny protékající studenou vodou v chladicí trubičce.

Temperační systém nástroje

Obr. 3.39 znázorňuje teploty v kanálech chladicího systému nástroje. Jde v podstatě o kontrolu, aby někde teplota vody nepřesáhla bod varu, což je v tomto případě spolehlivě zajištěno anebo zjištění místa, odkud je nutné odvádět více tepla. Vlivem poměrně velkého průtoku chladicí kapaliny se její teplota po opuštění nástroje téměř nemění a tím také udržuje požadované teplotní pole v nástroji zvoleným způsobem temperace.



Obr. 3.39: Rozložení teplot v temperačních kanálech



Obr. 3.40: Průběh nejvyšší a nejnižší teploty na stěně dutiny nástroje

Předchozí obr. 3.40 ukazuje průběh nejnižší a nejvyšší teploty stěny dutiny nástroje během několika cyklů. Podstatou této analýzy je zjištění, za jak dlouho se proces ustálí a teplota nástroje bude kolísat pouze v určité celkové teplotní diferenci, která je nastavena na 4 °C.

3.3.3 Zhodnocení výsledků simulace současného stavu výroby

Průběh vstřikování a dotlaku včetně procesních parametrů, chladnutí výstřiku a jeho deformace podle současného stavu výroby byly rozepsány v předchozích odstavcích. Dále budou tyto výsledky porovnávány se skutečnými hodnotami, naměřenými při kontrolních měření výstřiků. Software umožňuje sledovat deformace a zkroucení jednotlivých partií výstřiku, ale je obtížné pomocí něho měřit přesně požadované rozměry. Funkce pro měření rozměrů je spíše orientační záležitostí a proto potřebné rozměry pro srovnání mezi výsledky simulace a skutečným stavem výroby budou odvozeny z rozměru modelu výstřiku a naměřených deformací v určitých bodech.

3.4 Porovnání simulace se skutečností

K porovnání se skutečností jsou k dispozici samotný výstřik a data od firmy HPQ Plast s.r.o., která obsahují kontrolní měření výstřiků a vyhodnocení naměřených rozměrů. Dále je k dispozici výkres výstřiku a jednotlivé kóty včetně dovolených tolerancí příslušných rozměrů. Jedním z kritérií je i požadovaná hmotnost výstřiku 120±1 g, což podle software (119,664 g) a skutečné váhy výstřiku vyhovuje.

Některé rozměry, které lze na modelu výstřiku jednoduše zjistit, které jsou požadované od odběratele, naměřené na skutečném výstřiku a zjištěné ze simulačního procesu, jsou uspořádány pro porovnání v tab. 3.1. Některé rozměry jsou odměřeny na více místech pro větší objektivitu.

Tab. 3.1: Porovnání rozměrů skutečného výrobku a počítačové simulace s požadavky odběratele

Sledovaný rozměr	Skutečný výrobek	Výsledek simulace	Požadavek odběratele
		[mm]	
rovinnost nosné části	0,4465	0,776	max. 0,8
		0,784	
		0,779	
výška osy vývodu 1	neměřeno	23,94	25 ± 0,2
výška osy vývodu 2		24,15	
průměr těsnící plochy	115,2981	115,198 (x)	115,5 ± 0,3
		115,256 (y)	
		115,205 (x)	
		115,251 (y)	
výška zásuvky	8,7538	8,557	8,8 ± 0,1

V porovnání simulace a skutečných hodnot na výstřiku je nutné poznamenat, že se některé hodnoty v porovnání dovolených tolerancí poměrně výrazně liší. Jiné zase odpovídají skutečným rozměrům a nacházejí se i v dovolené toleranci stanovené odběratelem plastového dílu. Existuje ale mnoho dalších vlivů ve skutečném provozu, které nelze do procesu simulace zahrnout a které mají na výsledné rozměry výstřiku také vliv. Podstatou je hlavně schopnost programu vypočítat a napodobit průběhy deformace modelu výstřiku a umět těmto nežádoucím efektům výroby v praxi předcházet.

Po vizuální stránce deformace a zkroucení výstřiku je jasné, že podle uvedených grafických výsledků a zadaných problémů k řešení je výsledek srovnatelný se

skutečným výstřikem a jeho deformacemi. V tomto ohledu je software spolehlivým a vhodným pomocníkem pro simulace vstřikování.

3.4.1 Zhodnocení míry přesnosti počítačové simulace

V porovnání se skutečností, za jaké se výstřik vyrábí a jak se po výrobě deformuje, je nutné konstatovat, že simulační software Cadmould umožňuje zcela napodobit tyto stavy a je proto v této oblasti velice výhodný. Způsob deformace a zkroucení výstřiku podle výsledků simulace odpovídá reálnému stavu deformace skutečného výstřiku. Naměřené rozměry na hotovém výstřiku a rozměry získané ze simulačního výpočtu se sice vzájemně trochu liší, ale to je dáno a ovlivněno mnoha parametry. Závisí to na přesnosti jejich zjištění z výsledků výpočtu, nastavení přesných podmínek simulace vzhledem ke skutečnosti a v neposlední řadě je to i přesnost samotného výpočtu, např. vhodně zvolená síť a velikost jejích elementů, nebo definování okrajových podmínek.

Výsledky následujících simulací a odpovídajících úprav výstřiku budou z tohoto důvodu porovnávány s hodnotami simulace současného způsobu výroby.

3.5 Návrhy opatření pro optimalizaci sledovaných problémů

Vzhledem ke skutečnosti, že uvedený výrobek se již určitou dobu vyrábí a je tedy na něj vyroben drahý nástroj, jsou navrhované úpravy technologických parametrů a konstrukce nástroje brány s ohledem na tento nástroj. To znamená, že úpravy v konstrukci dílu a tedy i nástroje jsou navrhovány tak, aby je bylo možné provést na stávající vstřikovací formě, bez nutnosti vyrábět nový nástroj. To je podstatné a omezující hlavně z hlediska optimálního umístění vtoku do dutiny formy. Dále budou úpravy výstřiku voleny pouze jako drobné změny geometrie určitých částí, aby nebyla ovlivněna nebo narušena funkčnost výrobku.

Nastavení změn technologických parametrů je prováděno vždy takovým způsobem, že je se sleduje vliv změny jedné veličiny a ostatní jsou nastaveny tak, jak je tomu při současném stavu výroby. A to i v případě, že v předchozím experimentu přinesly změny efekt zlepšení. V opačném případě by vznikalo velké množství dalších výpočtových variant a zhoršovalo by se tím vyhodnocování jednotlivých dílčích změn nastavení.

Studený spoj

Vznik studeného spoje na výstřiku v oblasti obou vývodů paliva ve spodní části, v tzv. stromečku, nelze konstrukcí nástroje ovlivnit, protože překážka pro taveninu plastu tam bude vždy. Částečně lze ovlivnit jiným umístěním vtokového ústí nebo změnou temperačních parametrů, tj. zajistit dostatečnou teplotu obou čel taveniny při jejich spojení, aby byl spoj kvalitní a neomezoval funkčnost výrobku např. nižší únosností této části. Při současném stavu je v místě stromečku vlivem teploty nástroje tavenina plastu velice intenzivně ochlazována. Při styku obou čel má sice vysokou teplotu, ale je velice rychle ochlazována, z toho důvodu je v této oblasti potlačen vznik krystalické fáze a materiál vykazuje jiné hodnoty smrštění než v okolních partiích. Rozdílné smrštění pak vyvolává vznik vnitřních pnutí. Pro úpravu se nabízí vyšší teplota taveniny nebo vyšší teplota teploty v daném místě. Obě možnosti jsou do určité meze přípustné, ale budou mít za následek prodloužení doby chlazení a tím i celého vstřikovacího cyklu.

Rovinnost a prohýbání dílu

Tato deformace je způsobena hlavně konstrukcí výstřiku. Deformaci způsobují čtyři upevňovací výstupky na spodní straně dílu, které při tuhnutí výstřiku brání jeho smrštění směrem do středu a v důsledku toho se rotační nosná část po vyhození z nástroje prohne v okrajích směrem nahoru a střed směrem dolů, do záporných hodnot ve smyslu souřadného systému. Tento nedostatek lze částečně ovlivnit vhodnou volbou temperace nebo změnou tloušťky nosné části, vyztužujících žeber, popřípadě tloušťkou kruhového žebra po obvodu výstřiku.

Deformace a kolmost vývodů paliva

Deformace je způsobena jednak prohnutím rotační nosné části výstřiku, a jednak na ni má vliv i tloušťka stěny, ze které vychází osazená trubička vývodu. Dochází zde k hromadění materiálu v silnější tloušťce stěny, který je špatně doplňován dotlakem při přechodu taveniny z tenčí do silnější stěny. Důsledkem je podle již uvedených výsledků i vyšší teplota taveniny, resp. delší doba tuhnutí v této části a vznik propadlin a vnitřních prnutí, které vývody deformují. Zkroucení částečně eliminuje vyztužující žebro na opačné straně. Návrh opatření spočívá v zeslabení stěny, rozšíření tloušťky vyztužujícího žebra anebo zvýšením dotlaku a doby jeho působení .

Kruhovitost a průměr obvodové části

Kruhovitost obvodového žebra je ovlivněna zase celkovou konstrukcí výstřiku a umístěním vtoku, protože ve směru toku taveniny plast vykazuje větší smrštění než ve směru kolmém. Konstrukcí je míněno připojení upevňovacích výstupků k žebro a tím vytvoření místního rozšíření tloušťky stěny. Zde vznikají propadliny a deformuje se tím původní tvar. Opatřením kromě změny konstrukce je jiné umístění vtoku nebo zajištění rovnoměrného tuhnutí taveniny po celém obvodu. To lze zajistit vhodnou volbou způsobu temperace či zvýšením dotlaku.

Deformace a rozměr zásuvky

Deformace hlavně spodní části zásuvky je způsobena přechodem z tlustší do tenčí stěny, kde tato tlustší stěna tu slabší jakoby s sebou při tuhnutí stahuje nahoru. Deformace je ve svislém směru a výrazně by šla ovlivnit přidáním dalšího vyztužujícího žebra mezi stávající dvě. Za daných okolností není ovšem jisté, zda by to nijak neomezovalo její funkci či možnost připojení konektoru.

Z tab.3.1 porovnání výsledků simulace a skutečnosti je zřejmé, že výrobek není deformován až tak moc, jak ukazuje simulace a rozměr zásuvky je v povolené toleranci. To je způsobeno tím, že z jedné strany plast obtéká základací přípravek, jehož teplota je o něco nižší než teplota nástroje. Toto lokální ovlivnění temperace zabraňuje výraznému zborcení tvaru zásuvky.

Deformace oddělovacích praporků

Možný výskyt deformace oddělovacích praporků elektrických kontaktů na spodní straně výstřiku může být způsobena faktem, že v tomto místě dochází k obtížnému

plnění dutiny nástroje. Na tuto skutečnost upozornil výsledek předchozí simulace, viz obr. 3.35. Řešením může být zvětšení tloušťky stěny, zvýšení teploty temperace, teploty taveniny nebo zvýšení vstřikovacího tlaku. Jde v podstatě o zlepšení podmínek vstřikování, aby tavenina do těchto míst lépe zatekla.

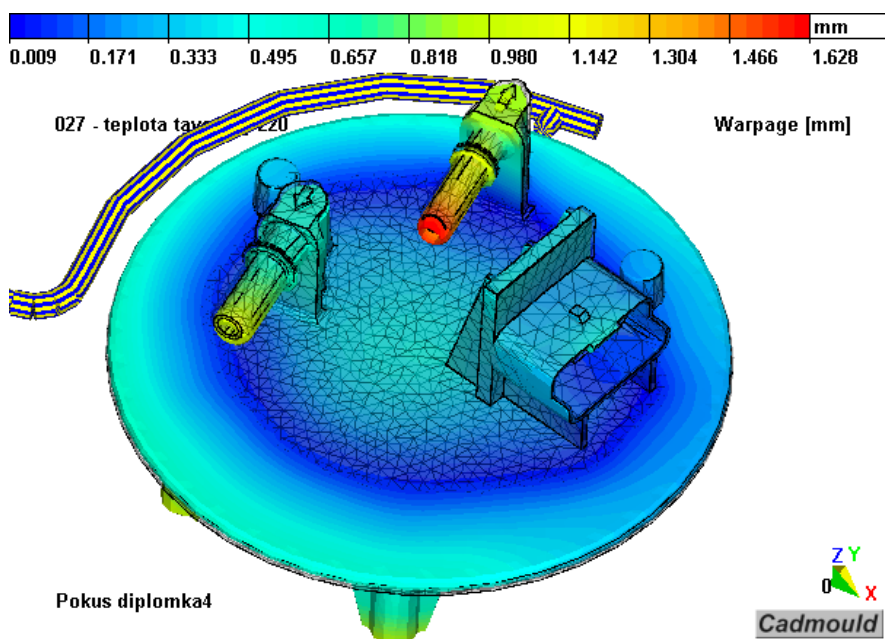
3.6 Realizace úprav technologických a konstrukčních parametrů výstřiku

V následujících odstavcích jsou vždy uvedeny pouze některé obrázky průběhů deformací, zkroucení nebo jiných veličin, které v daný okamžik souvisí s určitou problematikou. Dále jsou návrhy vyhodnocovány a porovnávány s původním stavem ve velikosti maximální deformace, zkroucení a rovinnosti nosné části výstřiku, která je odečítána z hodnot deformací výstřiku ve směru souřadné osy Z.

3.6.1 Návrhy technologických parametrů

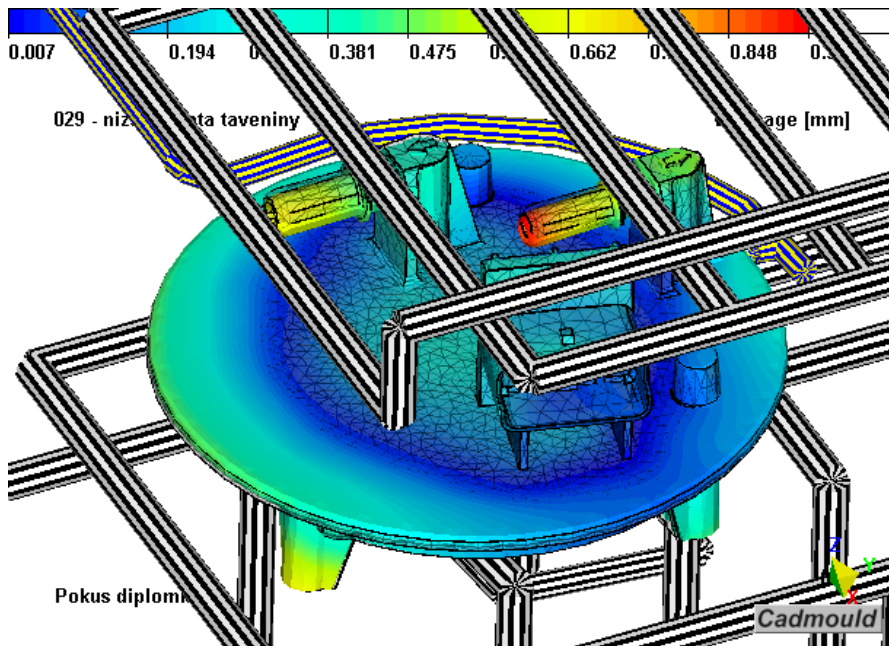
Teplota taveniny

Doporučená teplota taveniny podle software Cadmould pro materiál POM je v rozmezí od 170 do 210 °C, podle jiných zdrojů 190 – 230 °C. Vstřikování probíhá při teplotě 200 °C, a protože jsou v místech oddělovacích praporek problémy s plněním dutiny, byla odzkoušena simulace s vyšším nastavením teploty taveniny, na 220 °C. Pro porovnání celkového chování výstřiku při chladnutí byla odsimulována ještě teplota taveniny 190 °C.



Obr. 3.41: Zkroucení dílu při teplotě taveniny 220 °C

Vyšší teplota taveniny znamená podle obr. 3.41 větší celkovou deformaci, zkroucení dílu a v neposlední řadě i zvětšenou oblast většího smrštění v okolí vtokového ústí.



Obr. 3.42: Zkroucení dílu při teplotě taveniny 190 °C

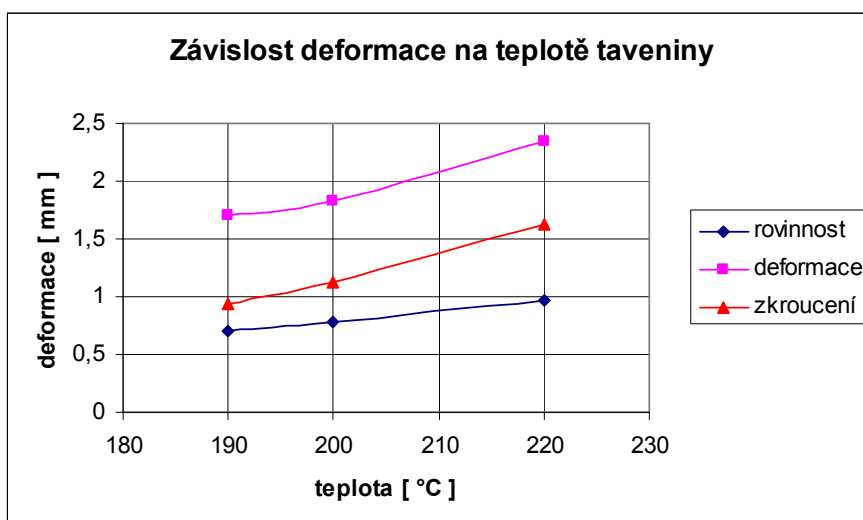
Nižší teplota taveniny znamená podle obr. 3.42 pro konečný výstřik menší celkovou deformaci, zkroucení a kratší čas celého vstřikovacího cyklu. Z oblasti okolo vtokového ústí zmizí i místa propadlin.

V okamžiku plnění je teplota taveniny při současném stavu výroby v oddělovacích praporečkách na hodnotě 179,1 °C. Vyšší teplota by zajistila lepší zabíhavost, ale podle tabulky v tomto případě výrazně roste deformace, zkroucení dílu a zvyšuje se doba cyklu a výsledné smrštění. Nižší teplota taveniny zajišťuje opačný efekt, ale za cenu špatného plnění dutiny v místě oddělovacích praporečků a elektrické zásuvky, kde dochází k větším tlakovým ztrátám. S tím souvisí i ovlivnění vzniku studeného spoje na stromečku vývodu. S nižší teplotou taveniny klesá jeho kvalita. Při teplotě taveniny 200 °C je teplota čela taveniny v okamžiku vzniku studeného spoje na stromečku okolo hodnoty 198 °C. Tzn., že tavenina není nijak výrazně ovlivněna temperací nástroje a kvalita studeného spoje závisí hlavně na teplotě taveniny.

Výsledky jsou pro porovnání uspořádány v tab. 3.2 a v grafickém provedení jsou v uvedeném grafu č. 3.1.

Tab. 3.2: Změna teploty taveniny

Teplota taveniny [°C]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu	Čas chlazení [s]
190	0,708	1,709	okraj výstřiku	0,942	menší náustek	87,6
200	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek	110,6
220	0,962	2,347	palivový vývod	1,628	menší náustek	148,4



Graf 3.1: Závislost rovinnosti, deformace a zkroucení výstřiku na teplotě taveniny

Čas vstřikování

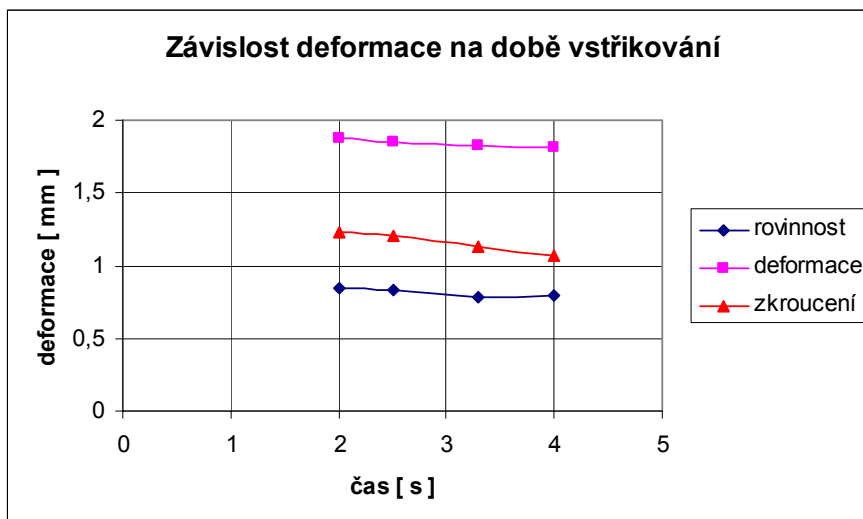
Jak již bylo dříve řečeno, čas plnění dutiny je odrazem objemového průtoku taveniny a vstřikovacího tlaku. Tyto tři veličiny jsou na sobě závislé a software je sám podle jedné nastavené hodnoty přepočítá. S kratším časem vstřikování roste vstřikovací tlak a objemový průtok taveniny plastu plní dutinu nástroje. Při navrhovaných změnách jsou tedy nastavovány různé časy vstřikování, tudíž i vstřikovací tlak a průběh dotlaku odpovídá procentuálnímu nastavení na 50, 48, 40 a 30 % podle současného stavu výroby. Bylo vypočítáno několik variant v rozmezí od 2 do 4 sekund doby vstřikování, a oproti normálnímu nastavení na 3,3 sekundy ani jedna změna neznamenala výrazné zlepšení kvality výstřiku v žádném ze sledovaných parametrů.

Při hodnocení celkové deformace a deformace ve směru osy Y , tj. ve směru toku taveniny, nastala u kratších časů vstřiku deformace větší, naopak u delších časů (4 vteřiny) byla deformace menší, řádově ovšem pouze o setiny milimetru. Vznik studeného spoje nastává i při pomalejším plnění za teploty okolo 198 °C, což je teplota, kdy je materiál dostatečně tekutý, protože zpracovatelské teploty pro vstřikování jsou již od 170 °C.

Stručný přehled nejdůležitějších hodnot je zaznamenán v tab. 3.3 a grafická závislost jednotlivých parametrů v závislosti na době vstřikování je v grafu č. 3.2.

Tab. 3.3: Změna doby vstřikování

Čas vstřiku [s]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu
2	0,85	1,873	palivový vývod	1,229	menší náustek
2,5	0,83	1,853	palivový vývod	1,203	menší náustek
3,3	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek
4	0,8	1,809	palivový vývod	1,074	menší náustek



Graf 3.2: Závislost rovinnosti, deformace a zkroucení vstříku na času vstříku

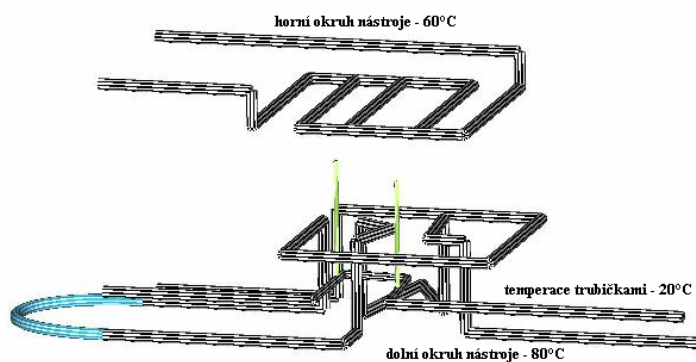
Změna teploty nástroje

Cílem tohoto opatření bylo snížit prohýbání nosné části, deformace palivových vývodů a zásuvky a sledování podmínek vzniku studeného spoje u stromečku vývodu na spodní části vstříku. Úpravy spočívají ve změnách teploty chladicí vody a objemovém průtoku. Doporučená teplota stěny nástroje pro materiál POM je 60 – 120 °C, v horní části nástroje je okruh temperován na teplotu 60 °C, ve spodní 65 °C a v trubičkách na 20 °C.

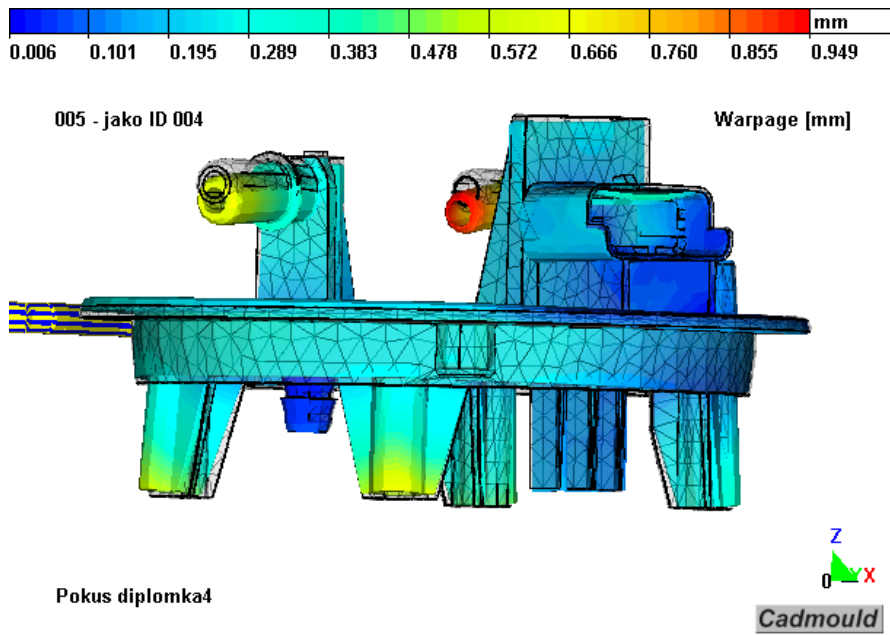
Bylo vyzkoušeno několik variant, postupně byly teploty nastavovány v několika kombinacích a to při těchto hodnotách:

- horní okruh – 60 a 50 °C
- spodní okruh – 65, 80 a 90 °C
- chladicí trubičky – 20, 40 a 50 °C

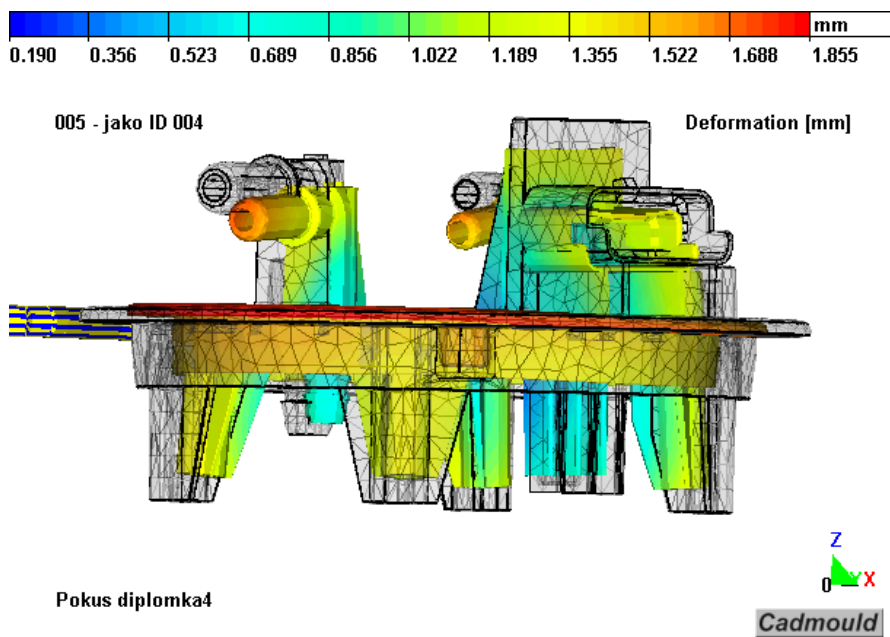
Opačná změna teplot v jednotlivých okruzích přinášela pouze horší výsledky. Zvyšování teplot ve vyhazovací straně nástroje má ale za následek prodloužení doby tuhnutí a tím i celého vstřikovacího cyklu. Jako jedna z nejvýhodnějších kombinací teplot vzhledem k délce vstřikovacího cyklu je varianta s nastavením teplot podle obr. 3.43 v horním okruhu na 60 °C, ve spodním na 80 °C a v trubičce na stávajících 20 °C.



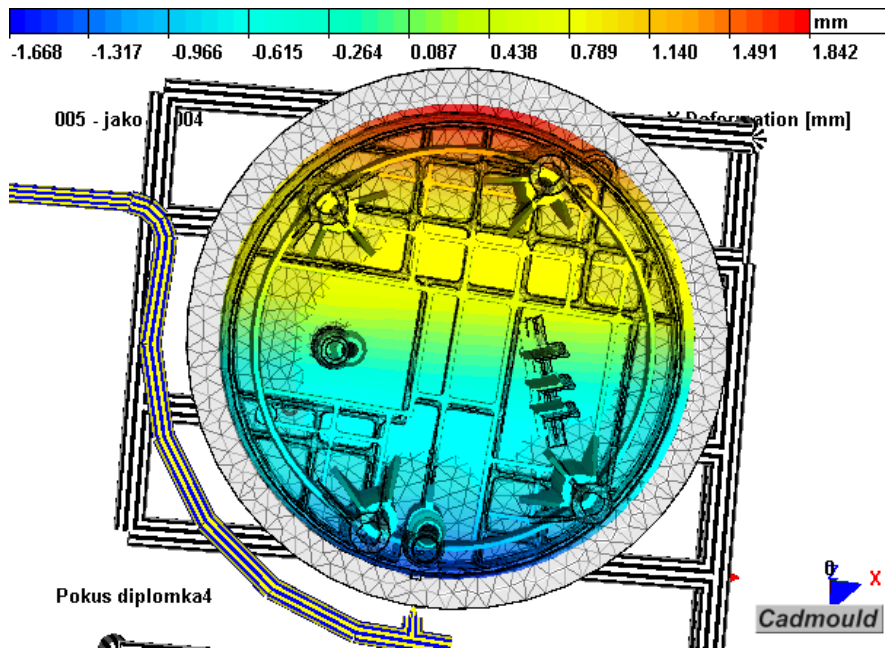
Obr. 3.43: Nastavení neoptimálnějšího způsobu teploty



Obr. 3.44: Zkroucení výstřiku po změně teploty na 60/80/20 °C

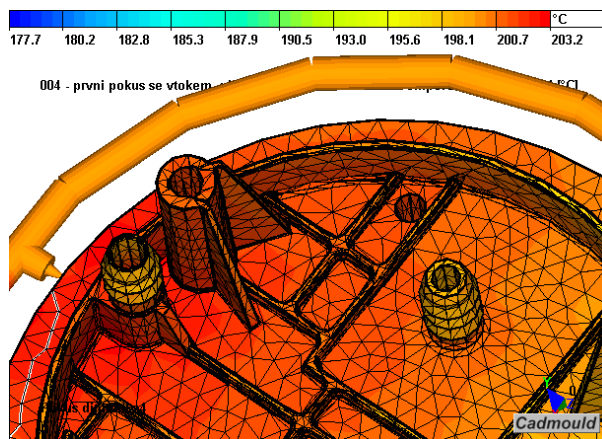


Obr. 3.45: Celková deformace výstřiku po změně teploty na 60/80/20 °C

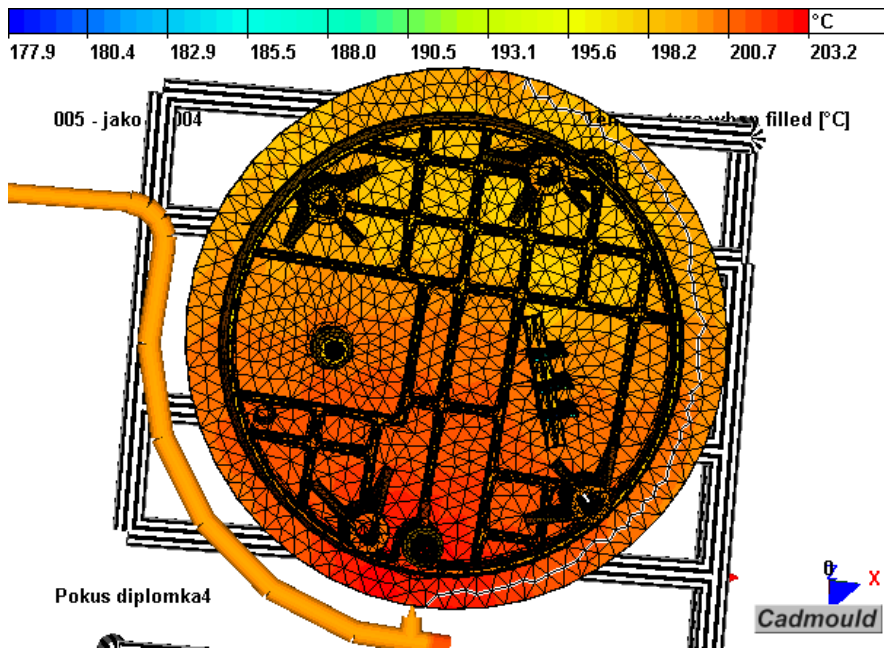


Obr. 3.46: Deformace ve směru osy Y po změně teploty na 60/80/20 °C

Oproti současnému stavu výroby se deformace palivových vývodů zmenšila z 1,6 mm na 1,5 mm a rovinnost rotační části klesla z 0,78 na 0,5 mm. Stav deformace a zborcení je možné porovnat z uvedených obr. 3.44 až 3.46. Největší hodnota deformace se z konců palivových vývodů přesunula na okraj nosné rotační části, a to ve směru toku materiálu a současně se nepatrně zvýšila. Maximální hodnota zkroucení výstřiku se ovšem snížila zhruba o 0,2 mm.



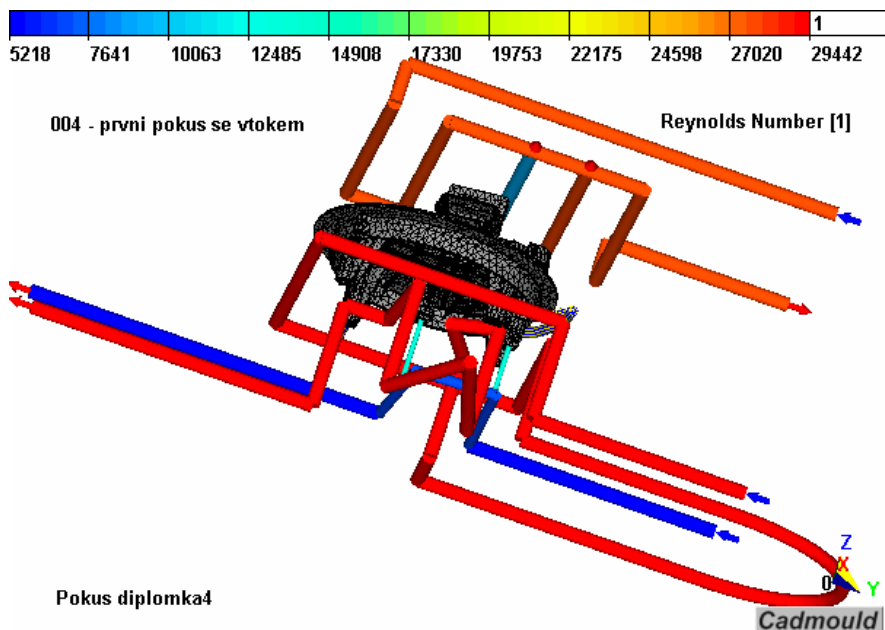
Obr. 3.47: Teplota v okamžiku plnění v místě obou stromečků při teplotě podle současného stavu výroby



Obr. 3.48: Teplota v okamžiku plnění při změně teploty nástroje na teploty 60/80/20 °C

Zvyšování teploty teploty v trubičkách nepřinese žádné pozitivní efekty. Teplota taveniny je v okamžiku plnění v místě stromečků na hodnotě minimálně 198 °C (teploty na 20 °C) a až poté velice rychle ochlazená, a tento stav nastává jak při současném stavu výroby (viz obr. 3.47), tak i při teplotě na 50 °C. Studený spoj zde vzniká pokaždé, ale tavenina v okamžiku spojení obou čel má dostatečnou teplotu pro zaručení její tekutosti. Nevýhodou je rychlé místní ochlazení, které ovšem zajišťuje rychlejší cyklus při ochlazování taveniny okolo dlouhých a tenkých tvarových jader, a z tohoto důvodu tam je také tento způsob teploty při výrobě nastaven. Změna teploty nemá vliv ani na teplotu taveniny v okamžiku plnění praporků, která se udržuje na hodnotě okolo 179 °C, jak je patrné z obr. 3.48.

Dalším nastavením při teplotě je průtok chladicího média. Normálně je průtok v kanálech nastaven na 5 l/min a v trubičkách jsou to 2 l/min. Tyto hodnoty se pro dané průměry blíží k horní hranici možného průtoku a při zkoušení byly nastaveny na 4 a 1,5 l/min a na 6 a 2,5 l/min objemového průtoku.



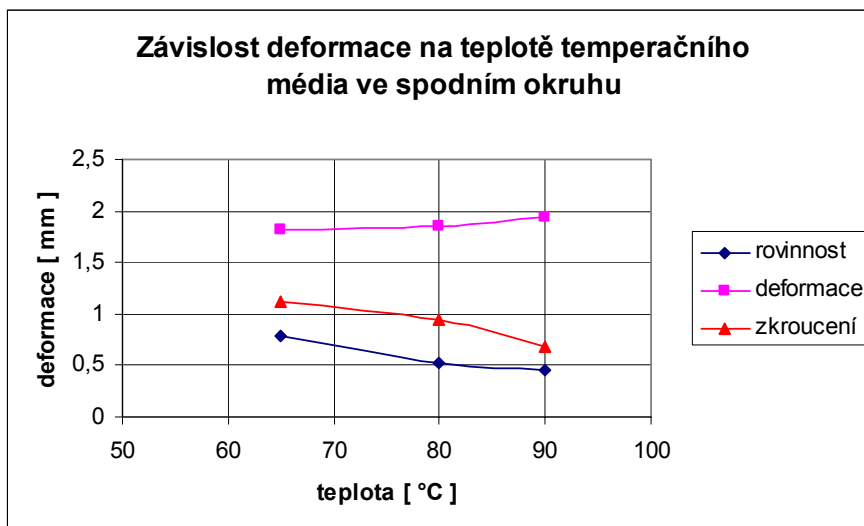
Obr. 3.49: Velikost Reynoldsova čísla v jednotlivých kanálech při současném stavu výroby

Snižování i zvyšování průtoku v kanálech ale nepřineslo téměř žádné změny ve výsledné deformaci či zkroucení výstřiku po zchlazení a vyhození z nástroje, proto zde nejsou ani uvedeny odpovídající obrázky. Všechny nastavené průtoky zajišťovaly požadovanou a dostatečnou teplotu nástroje, a naplnění dutiny taveninou nezpůsobovalo při nižším objemovém průtoku změnu teplotního pole v nástroji a tím i vliv na kvalitu výstřiku. Podle obr. 3.49 je ve všech kanálech a při současném stavu průtoku hodnota Reynoldsova čísla mnohem větší, než 2300, což zaručuje turbulentní proudění i pro nižší průtok a lepší přenos tepla mezi chladicí vodou a stěnou nástroje. Současný průtok se navíc blíží k horní možné hranici objemového průtoku. Proto odzkoušený průtok chladicího média nemá na konečný stav výstřiku téměř žádný vliv.

V následujících tabulkách 3.4 a 3.5 jsou opět uvedeny nejdůležitější sledované parametry a v grafech 3.3 a 3.4 jejich vzájemné grafické závislosti.

Tab. 3.4: Změna teploty temperace (teploty jsou v pořadí horní okruh/spodní okruh/trubičky)

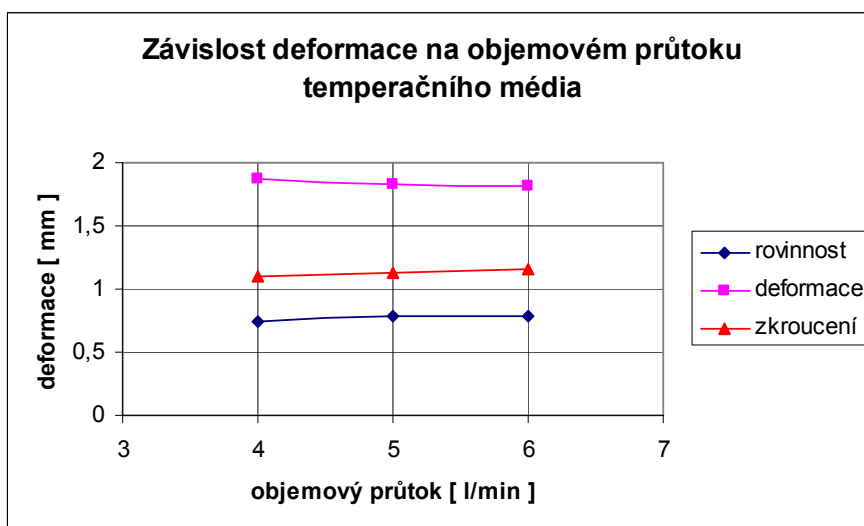
Nastavení teplot [°C]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu	Čas chlazení [s]
60/65/20	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek	110,6
60/80/20	0,53	1,855	okraj výstřiku	0,949	menší náustek	117
60/90/20	0,45	1,935	okraj výstřiku	0,68	větší náustek	121,8
50/65/20	0,793	1,781	okraj výstřiku	1,058	menší náustek	106,2
60/65/40	0,78	1,866	palivový vývod	1,18	menší náustek	103,7
60/65/50	0,768	1,846	palivový vývod	1,143	menší náustek	102,9



Graf 3.3: Závislost rovinnosti, deformace a zkroucení výstřiku na teplotě temperačního média ve spodní části nástroje

Tab. 3.5: Změna průtoku temperačního média (horní a spodní okruh/trubičky)

Nastavení průtoku [l/min]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu	Čas chlazení [s]
4/1,5	0,75	1,867	palivový vývod	1,105	menší náustek	112,3
5/2	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek	110,6
6/2,5	0,78	1,809	palivový vývod	1,154	menší náustek	105,7



Graf 3.4: Závislost rovinnosti, deformace a zkroucení výstřiku na objemovém průtoku chladícího média

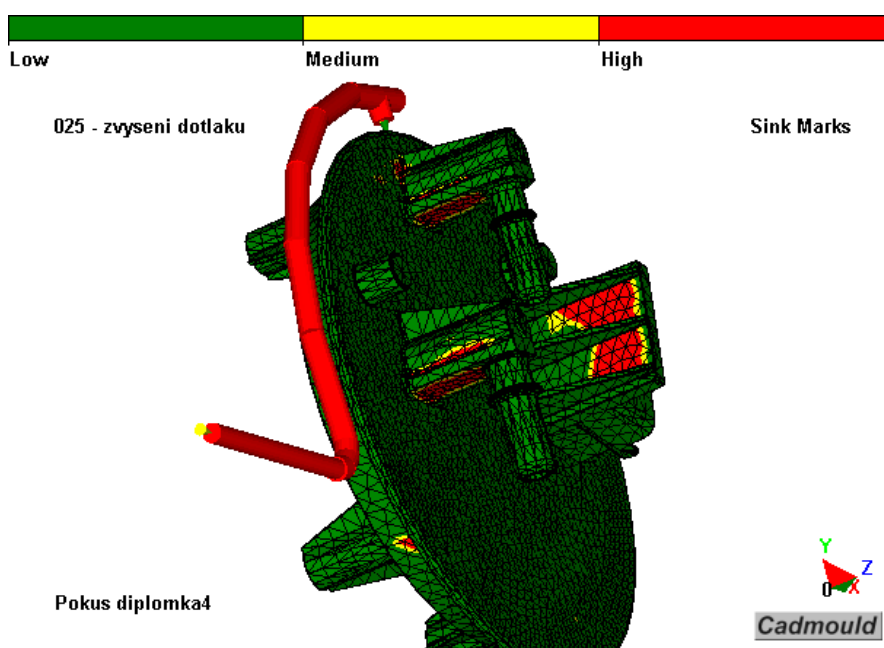
Změna průběhu dotlaku

Z obrázku času chlazení (obr. 3.37) je zřejmé, že tavenina plastu ve vtokovém ústí ztuhne v čase cyklu okolo 30-ti vteřin, přičemž dotlak je ukončen v čase 20-ti

vteřin. Dotlak tedy má na výslednou deformaci a vznik propadlin velký vliv hlavně v délce jeho působení, ale s přibývajícím časem může nastat prodloužení celého cyklu a tím i nákladovosti výroby.

Při simulaci byla nejprve nastavována výše dotlaku oproti vstřikovacímu tlaku, při zachování časového průběhu dotlaku vůči současnému stavu výroby. V současnosti je dotlak nastaven na hodnoty 50, 48, 40, a 30 % vstřikovacího tlaku. Byly provedeny dvě simulace s nastavením na 40, 32, 28, 20 a na 75, 65, 50 a 40 % hodnoty vstřikovacího tlaku při časech přepnutí 8.1, 10.7 a 13.4 vteřiny od okamžiku přepnutí vstřikování na fázi dotlaku. Hodnoty změn velikosti celkové deformace apod. jsou zaznamenány v tab. 3.6.

Nižší nastavení dotlaku přineslo pouze horší změny, vyšší nastavení bylo příčinou snížení vzniku propadlin (viz obr. 3.50), ale pouze u jednoho z palivových vývodů, který je blíž vtokovému ústí. Na deformaci či velikost zkroucení měla obě nastavení skoro stejný vliv a vůči současnému stavu výroby žádné změny.

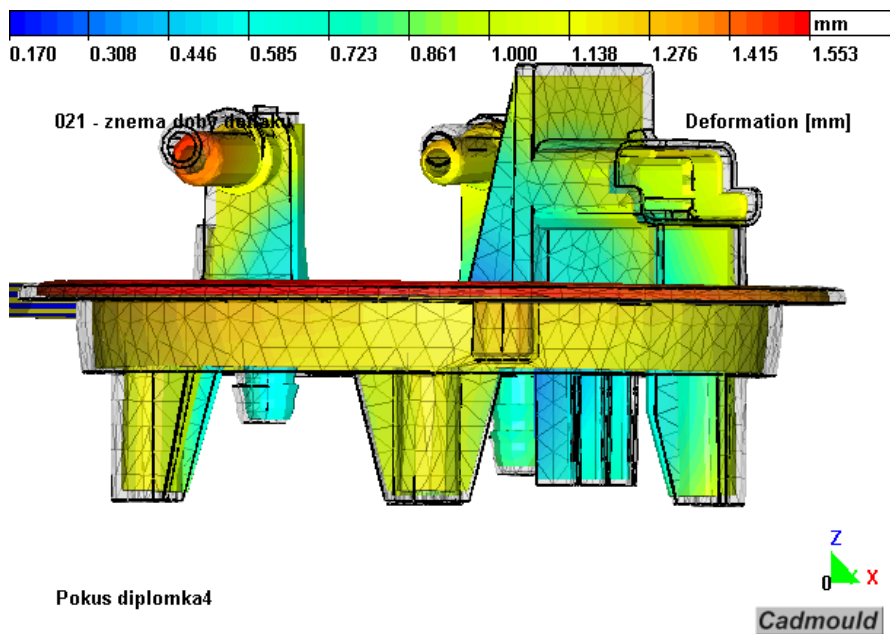


Obr. 3.50: Propadliny po zvýšení tlaku při dotlaku s časem působení 16.7 vteřiny

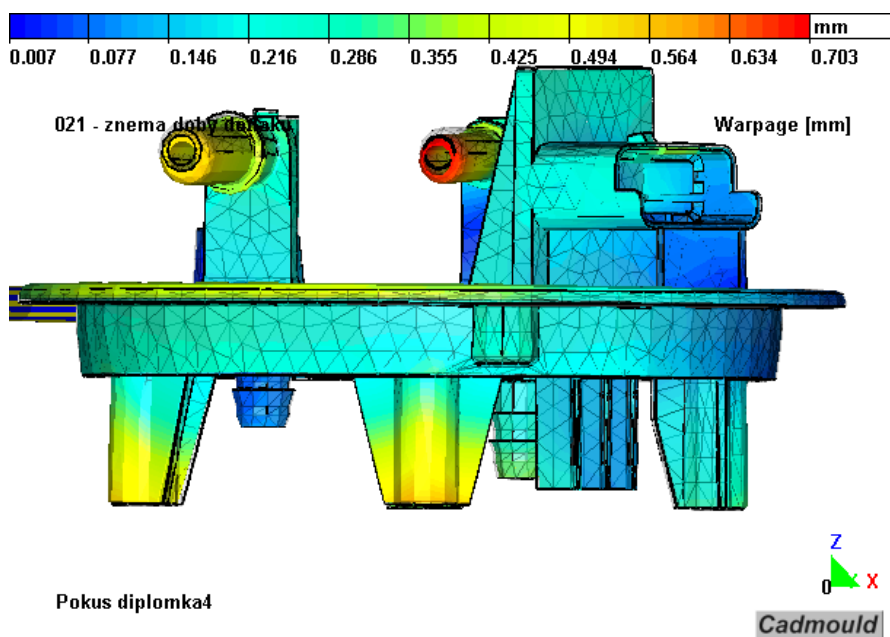
Výrazný vliv zejména na vznik propadlin podle očekávání přineslo nastavení delší doby působení dotlaku. Při simulaci byl dotlak prodloužen o 5 a 10 vteřin s průběhem výše dotlaku podle současného nastavení při časech přepnutí 11/15/18,5 a 13, 18 a 22 vteřin na celkovou dobu dotlaku 21,6 a 26.7 vteřiny. Vzhledem k předchozím výsledkům, kdy vyšší dotlak nepřinesl celkový kladný efekt na kvalitu výstřiku, je výše dotlaku ponechána na původních hodnotách.

Tyto nastavení mají za následek snížení celkové deformace a přesunutí její maximální hodnoty opět do rotační nosné části a to ve směru toku materiálu, jak je tomu vidět na obr. 3.51. Kladnými efekty je podle obr. 3.52 a 3.53 výrazné potlačení zkroucení výstřiku, hlavně u palivových vývodů, a potlačení vzniku propadlin, které na spodní straně výstřiku téměř zmizí.

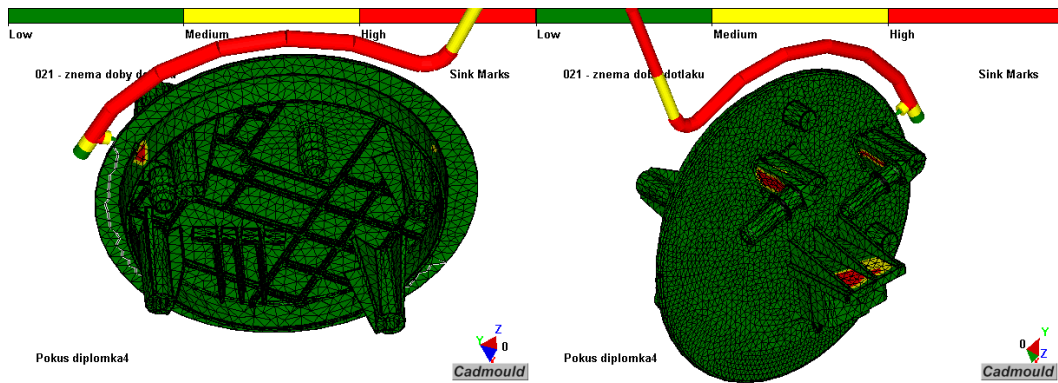
S rostoucí dobou dotlaku, jak je patrné i podle grafu 3.5, klesá jednak deformace a zkroucení výstřiku, ale zároveň i nosná část výstřiku vykazuje lepší rovinnost.



Obr. 3.51: Celková deformace po zvýšení doby dotlaku na 26,7 sekundy

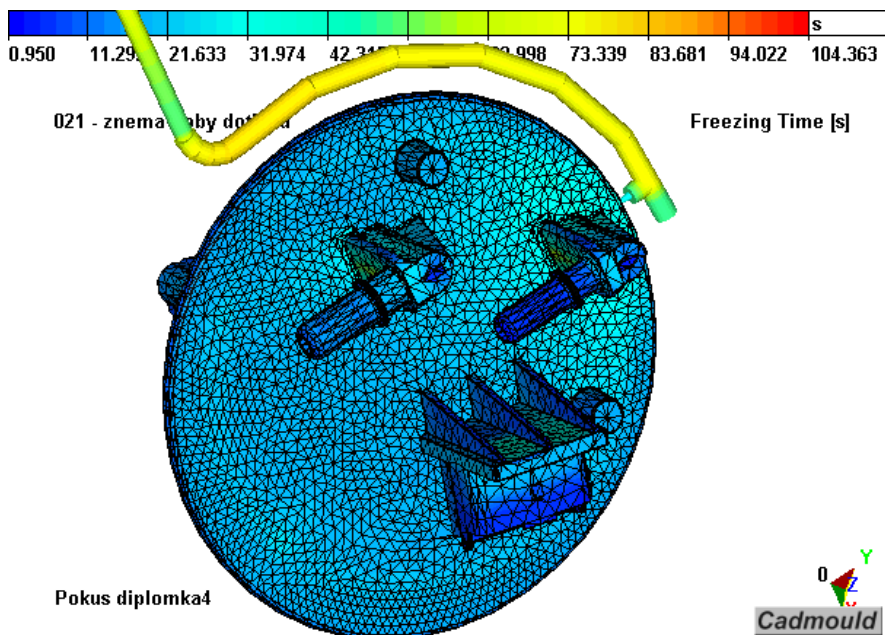


Obr. 3.52: Zkroucení výstřiku po zvýšení doby dotlaku na 26,7 sekundy



Obr. 3.53: Vznik propadlin materiálu po zvýšení doby dotlaku na 26,7 sekundy

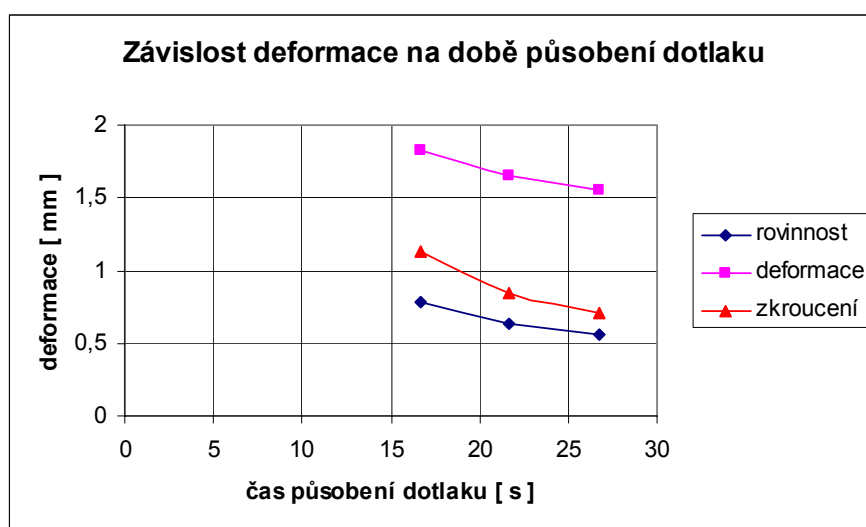
Oproti současnému způsobu výroby se nijak zvlášť nemění doba tuhnutí výstřiku (viz obr. 3.54), naopak je zkrácena doba zatuhnutí vtokového kanálu, který se při otevření nástroje musí vyhodit s výstřikem současně. Jedinou nevýhodou tohoto opatření je zvýšení energetické náročnosti stroje, proto by bylo vhodné hledat kompromis mezi spotřebou energie vynaloženou na delší dotlak a výslednou kvalitou výstřiku.



Obr. 3.54: Čas zatuhnutí taveniny v jednotlivých partiích při změně působení dotlaku na čas 26,7 s

Tab. 3.6: Změna nastavení dotlaku (horní řádek značí procentuální výši dotlaku vůči vstřikovacímu tlaku a spodní řádek udává čas přepnutí mezi jednotlivými hodnotami tlaku)

Nastavení dotlaku [%, s]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu	Celk. čas dotlaku [s]
40/32/28/20 8,1/10,7/13,4	0,78	1,87	okraj výstřiku	1,137	menší náustek	16,7
50/48/40/30 8,1/10,7/13,4	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek	16,7
75/65/50/40 8,1/10,7/13,4	0,85	1,812	okraj výstřiku	1,173	menší náustek	16,7
50/48/40/30 11/15/18,5	0,63	1,652	okraj výstřiku	0,849	menší náustek	21,7
50/48/40/30 13/18/22	0,56	1,553	okraj výstřiku	0,703	menší náustek	26,7

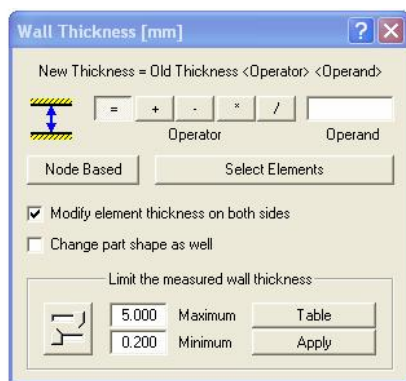


Graf 3.5: Závislost rovinnosti, deformace a zkroucení výstřiku na době působení dotlaku

3.6.2 Návrhy konstrukčních úprav výstřiku

Nejprve bude provedena změna umístění vtokového ústí a jeho průřezu a poté budou následovat úpravy některých rozměrů výstřiku. Většina úprav těchto rozměrů je provedena formou procentuálního vyjádření ke stávajícímu rozměru. Toto opatření se provádí z toho důvodu, že např. žebra mají zkosené hrany kvůli odformování z nástroje. Cílem je, aby se tyto úkopy zachovaly a nezpůsobovaly problémy při vyhazování výstřiku z dutiny nástroje.

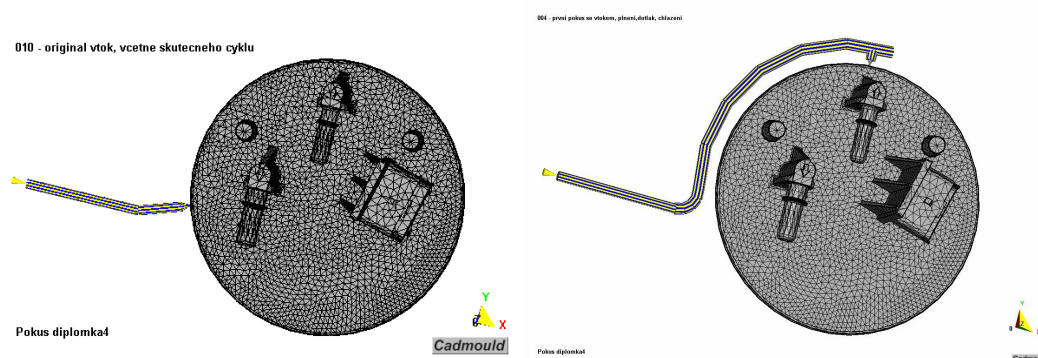
Změna rozměrů se provádí přes samostatné dialogové okno, viz obr. 3.55, kde se vybere jeden z operátorů sčítání, odečítání, součinu, podílu nebo přímého přiřazení rozměru, zadání příslušného čísla charakterizující úpravu rozměru a nakonec vybráním požadované plochy, na kterou se námi zvolená změna vztahuje. Pomocnou funkcí je nastavení tolerance minimálního a maximálního rozměru jednoho elementu sítě vzniklých prvků.



Obr. 3.55: Dialogové okno pro úpravy rozměrů tloušťky stěny

Umístění vtokového ústí

Umístění vtoku je jednou z nejdůležitějších oblastí, která má vliv na průběh vstřikování a tedy i konečnou kvalitu výstřiku. V této práci je tato problematika řešena s ohledem na již vyrobený vstřikovací nástroj a bere pouze v úvahu možnosti, které by na něm bylo možné aplikovat formou úpravy. V současné době je vtokový kanál předělán a je na výstřik umístěn v jiném bodě, než jak je tomu podle výkresové dokumentace. Na následujícím obr. 3.56 je pro porovnání zobrazen model výstřiku se vtokovým ústím podle současné výroby a podle původní výkresové dokumentace.

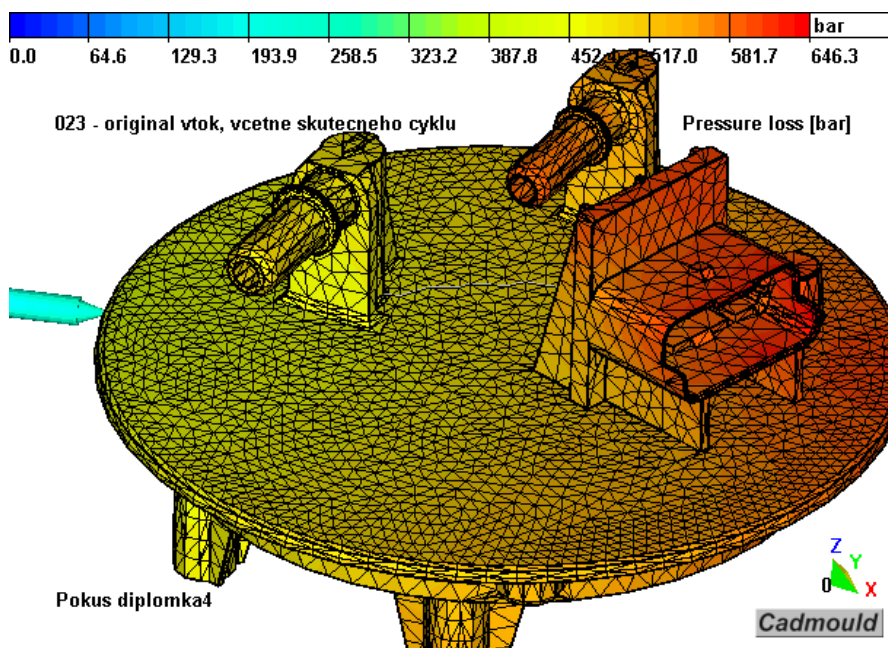


Obr. 3.56: Vtokový kanál podle výkresové dokumentace (vlevo) a podle současnosti (vpravo)

Velkým nedostatkem, a ten nastává v obou případech umístění vtokového ústí, je skutečnost, že tavenina plastu při plnění dutiny teče částí rotační nosné části a pak teprve natéká do partií palivových vývodů a zadní stěny zásuvky. Tyto partie mají místa s větší tloušťkou stěny, než je právě tloušťka základní nosné části výstřiku. Z tohoto hlediska není fáze dotlaku uplatněna v celém objemu výstřiku a vznikají v těchto místech propadliny a deformace výstřiku. Vzhledem ke složitosti nástroje by byla vhodná spíše než jiné umístění vtoku hlavně konstrukční úprava výstřiku, která by zajistila plnění dutiny takovým způsobem, aby tavenina všude tekla postupně ze stěn s větší tloušťkou materiálu do stěn slabších.

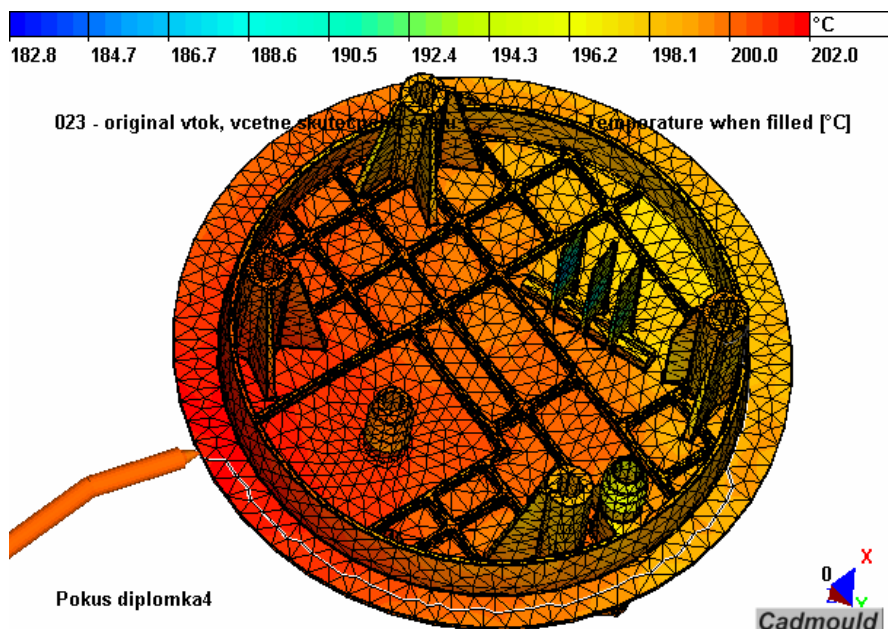
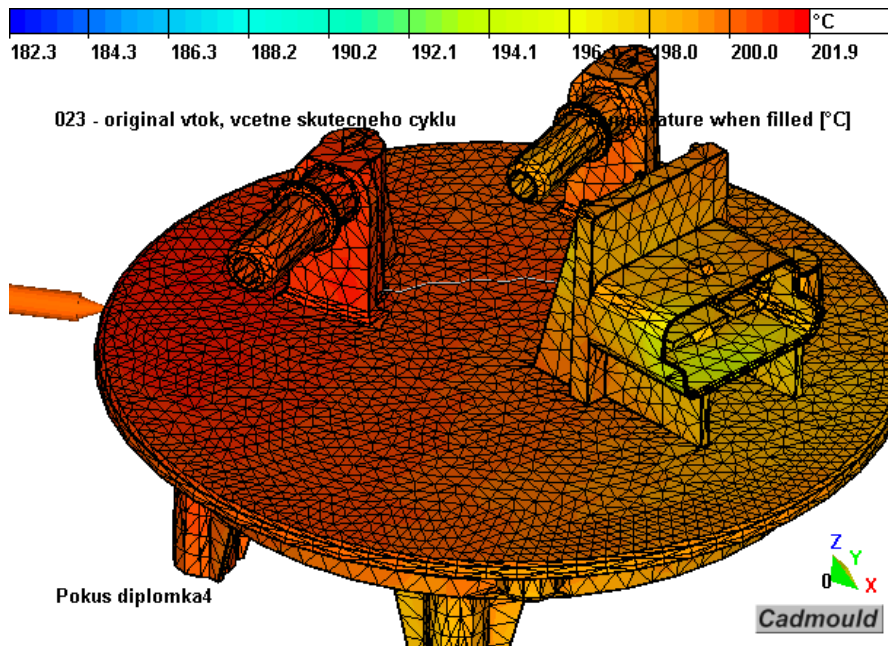
Při výpočtech byly provedeny simulace i s umístěním vtoku podle výkresové dokumentace, aby je bylo možné porovnat se současným stavem a zhodnotit míru volby upraveného umístění vtokového ústí. Nové umístění vtoku je o něco vhodnější z toho důvodu, že je blízko u jednoho z palivových vývodů a blížeji ostatním částem s větší tloušťkou stěny. Simulace původního návrhu vtoku proběhla za stejných

parametrů vstřikování, jako je u současného stavu výroby. Následuje výběr některých parametrů během procesu vstřikování pro srovnání s výsledky první simulace, resp. s výsledky podle současného způsobu výroby tohoto dílu.



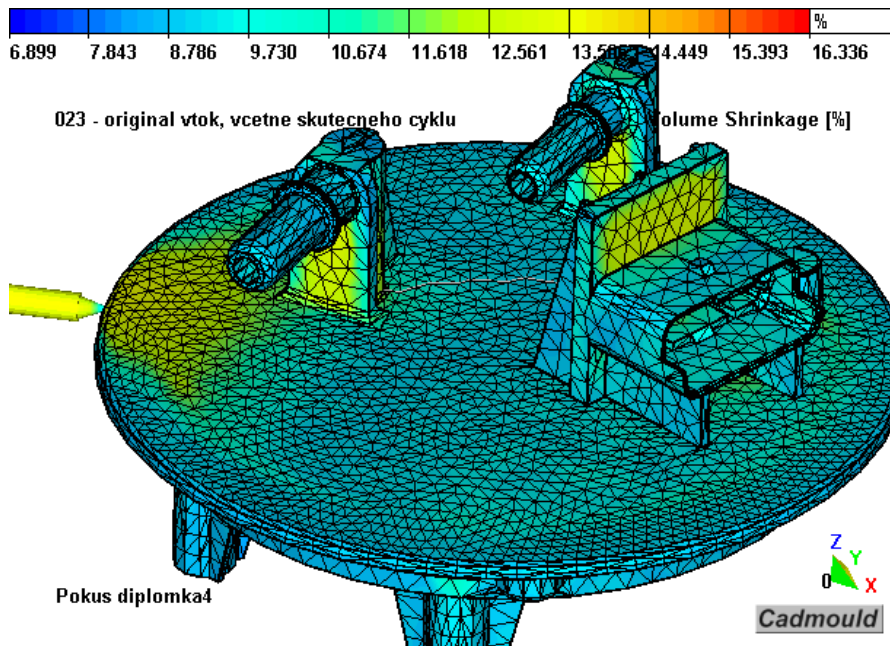
Obr. 3.57: Průběh tlakových ztrát v dutině nástroje

Tento vtok, jak je patrné z obr. 3.57, nepotřebuje vynaložit tak velký vstřikovací tlak jako u současného způsobu vstřikování, a zároveň zde nejsou tak velké tlakové ztráty při plnění dutiny. Tlakové ztráty a potřebný vstřikovací tlak jsou zhruba na dvou třetinách původních hodnot, což snižuje energetickou náročnost vstřikování a je to způsobeno kratším vtokovým kanálem.



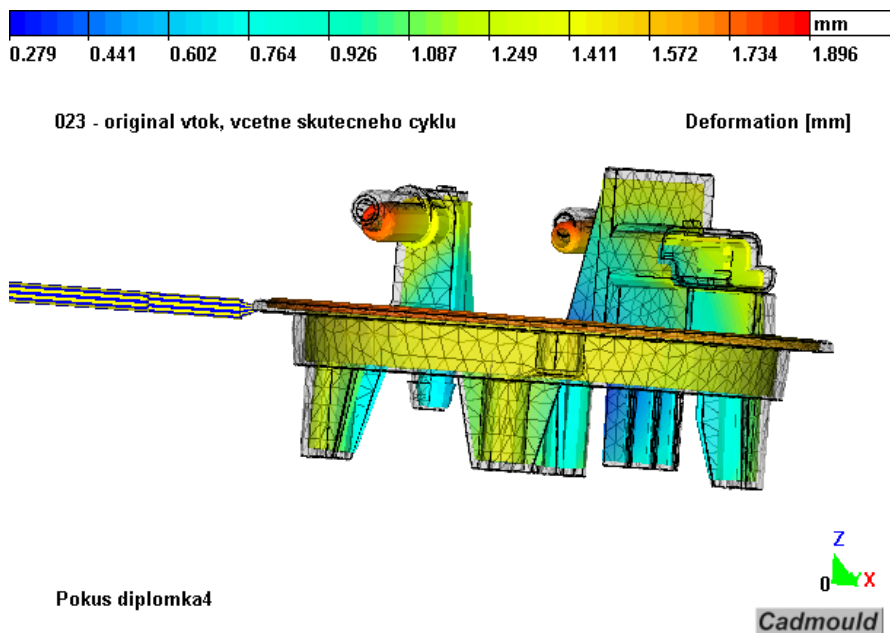
Obr. 3.58: Teplota v okamžiku plnění

Z průběhu teplot na obr. 3.58 v okamžiku plnění je zřejmé, že jedno z míst, kam nateče nejchladnější tavenina, je oblast tělesa elektrické zásuvky. Ale jak bude následně ukázáno, není to příčinou velkých deformací a tvar zásuvky bude stejný, jako u současného vtoku. Rozdíl je ve vzniku studeného spoje v jednom ze stromečků palivového vývodu na spodní straně. V tomto případě bude vznikat horší spoj u druhého vývodu než tomu bylo doposud a zároveň při nižších teplotách taveniny, takže jeho kvalita bude horší a bude mít negativní dopad na kvalitu výstřiku.

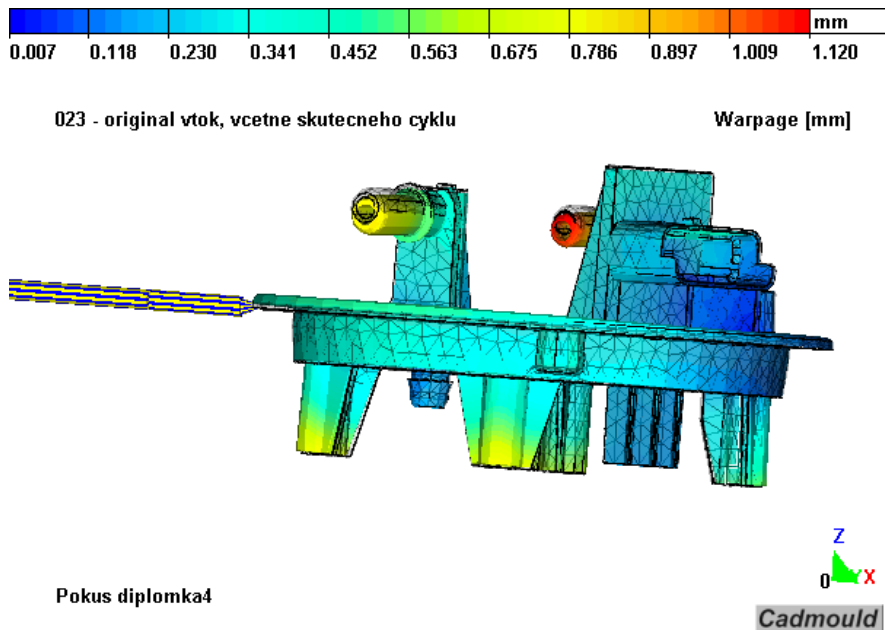


Obr. 3.59: Objemové smrštění

Objemové smrštění je v podstatě stejné jako u současné varianty vtoku a není mezi oběma variantami podstatný rozdíl. Větší hodnoty průběhu smrštění na obr. 3.59 se opět vyskytují v místech silných stěn výstřiku a v oblasti vtokového ústí.

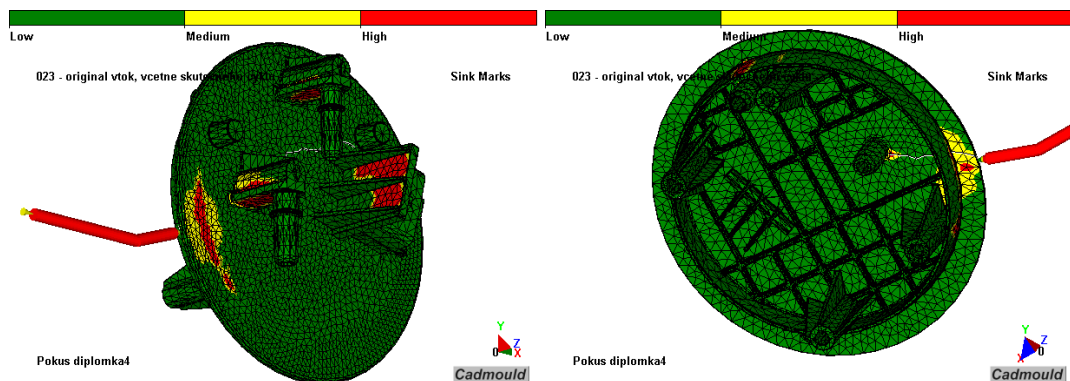


Obr. 3.60: Celková deformace výstřiku



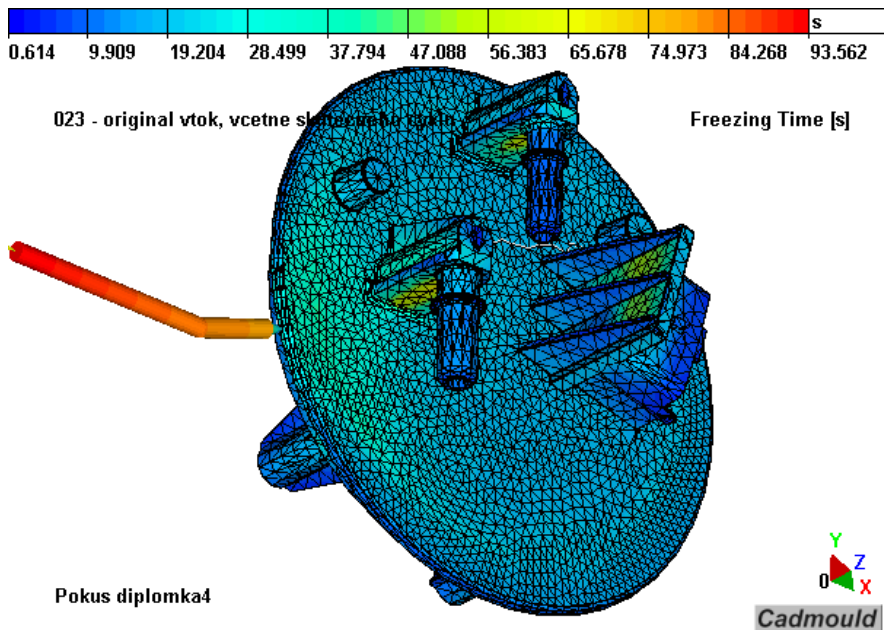
Obr. 3.61: Zkroucení výstřiku v jednotlivých partiích

U celkové deformace a zkroucení jsou vidět na obr. 3.60 a 3.61 v podstatě stejné výsledky, jako je tomu na obr. 3.33 a 3.34. I otázka rovinnosti zůstala v podstatě na stejné úrovni a toto umístění vtoku v tomto ohledu nepřineslo žádné lepší výsledky.



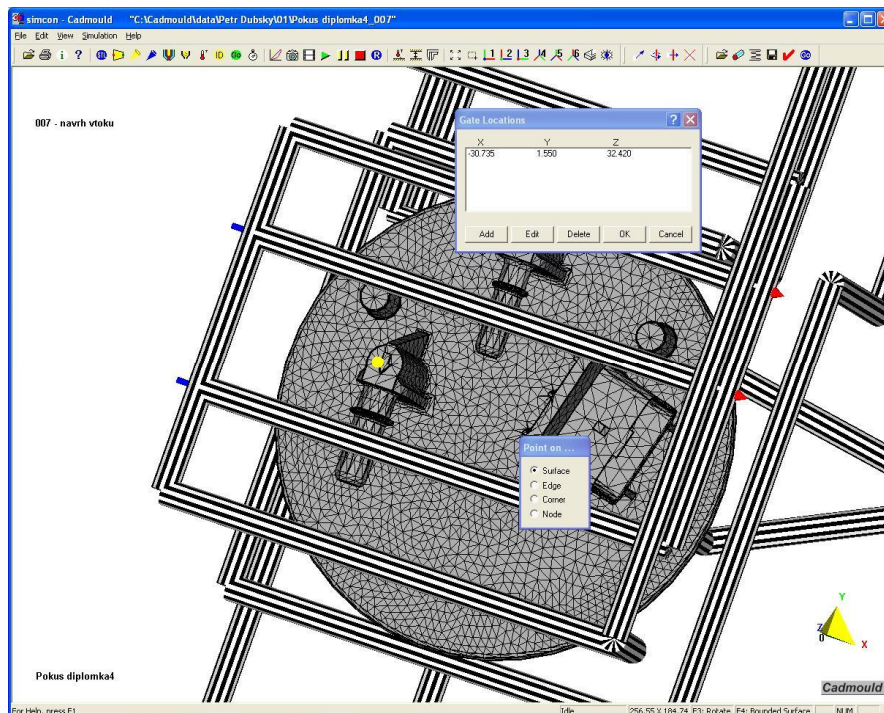
Obr. 3.62: Místa vzniku propadlin

Výskyt propadlin se v podstatě podle obr. 3.62 od současného umístění téměř neliší. Jedinou změnou je přemístění propadliny v nosné části u ústí vtoku. Tento jev se ale bude u jakéhokoliv umístění vtoku nacházet vždy a nelze jej nikdy úplně odstranit. Tato propadlina nebude v tomto případě ovlivňovat svou deformací vlivem vnitřního pnutí ani jeden z palivových vývodů.



Obr. 3.63: Doba zatuhnutí celé tloušťky jednotlivých elementů

Oproti současnému vtoku je ale výrazně kratší doba tuhnutí, respektive nejdelší čas, kdy v posledním elementu dojde k zatuhnutí taveniny plastu v celé tloušťce. Nejpozději chladne vtok a protože je v tomto případě kratší, celkový čas se změní o 17 vteřin. Tzn., že i při použití tohoto ústí vtoku by bylo možné vstříkovat díl s kratším cyklem a dosáhlo by se tím ekonomických úspor (viz obr. 3.63).



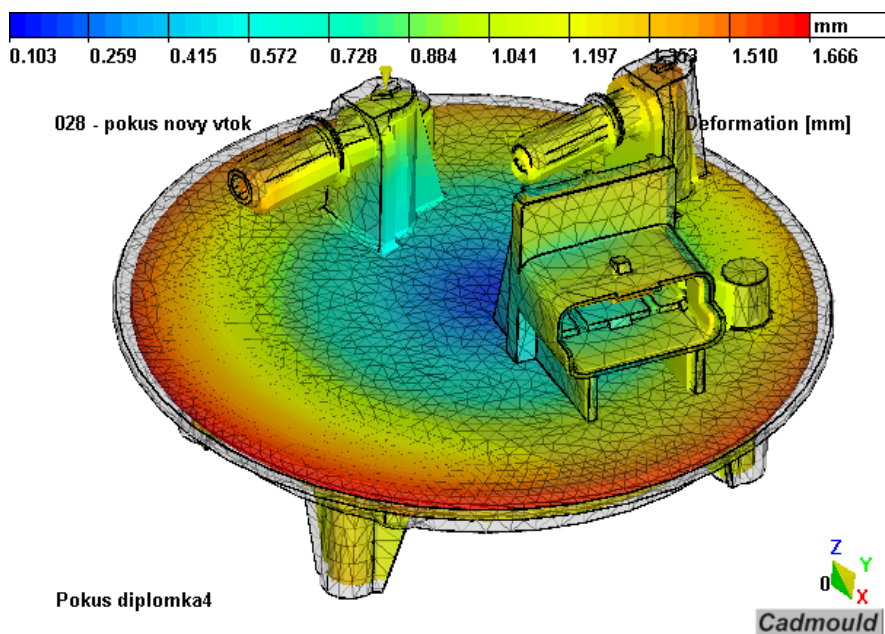
Obr. 3.64: Návrh možné varianty jiného umístění vtokového ústí na výstřík

Při prostudování kompletní výkresové dokumentace za účelem zjištění dalšího možného umístění vtoku na výstřík, přišla s ohledem na úpravu stávajícího

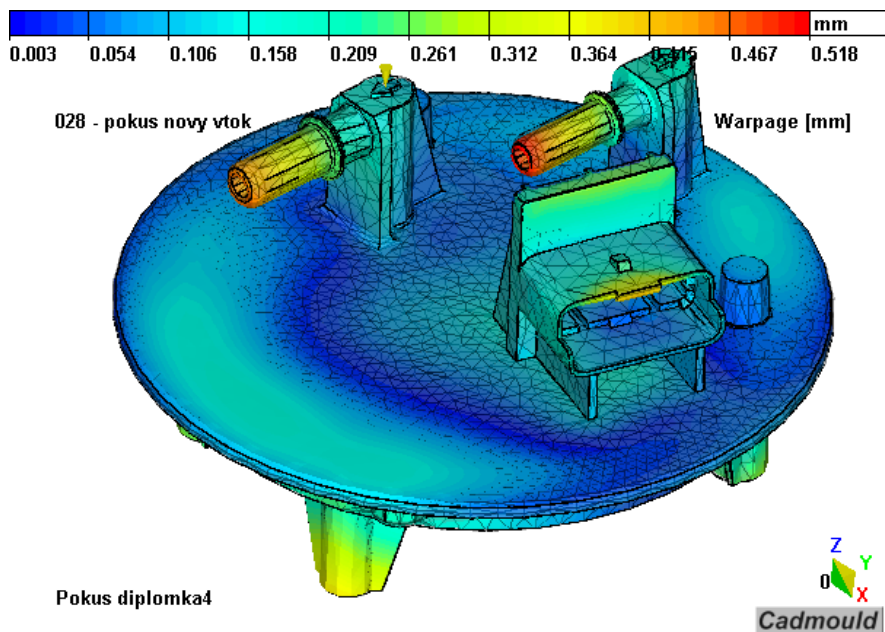
vstřikovacího nástroje pouze jediná možná varianta. Tou je umístit vtokové ústí do jednoho z palivových vývodů podle obr. 3.64 a použít při tom horký rozvod taveniny v nástroji s vyhřívanou vstřikovací tryskou. Vyžadovalo by to sice další investice do celé výroby, ale nástroj by mohl být na tuto variantu vtoku upraven.

Podstatnou nevýhodou tohoto návrhu je ovšem způsob temperace nástroje. Přímo pod vtokem proudí chladící voda o teplotě 20 °C a okamžitě taveninu ochlazuje. To způsobuje zatuhnutí vtoku dříve, než se stačí dutina nástroje vyplnit. Možným řešením by mohl být takový způsob temperace, kdy by chladící voda proudila trubičkami až po ukončení vstřikování a dotlaku a současně při vyšší teplotě.

Minimální teplota chladicího média, která při proudění v trubičkách nezpůsobí zatuhnutí toku taveniny, je 70 °C. Ostatní procesní parametry jsou nastaveny podle současného stavu výroby tohoto dílu. V tomto případě už je výrobek zcela vystříknut a můžeme zde tedy uvést některé výsledky pro porovnání s uvedenými způsoby umístění vtokového ústí na výstřík.

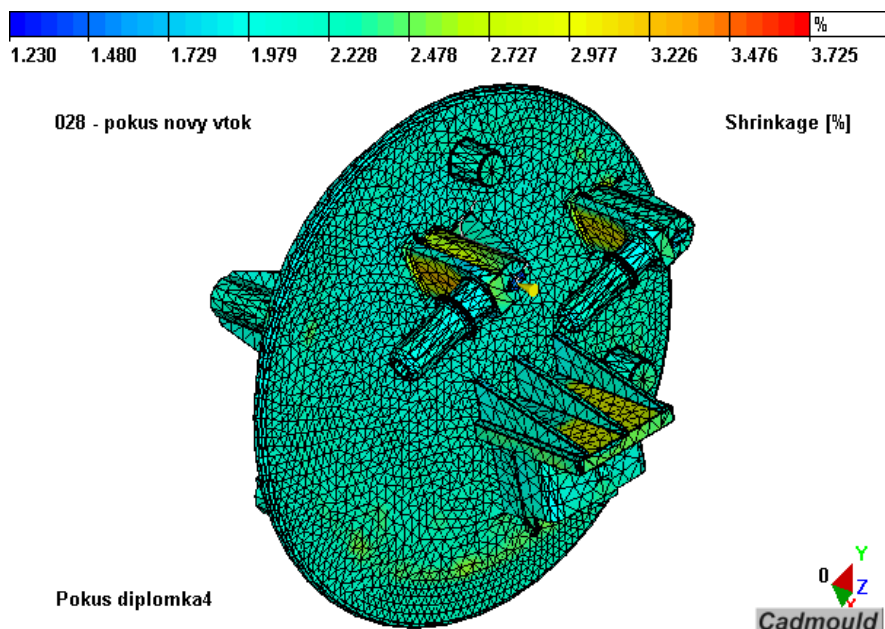


Obr. 3.65: Celková deformace výstříku s navrženým vtokem



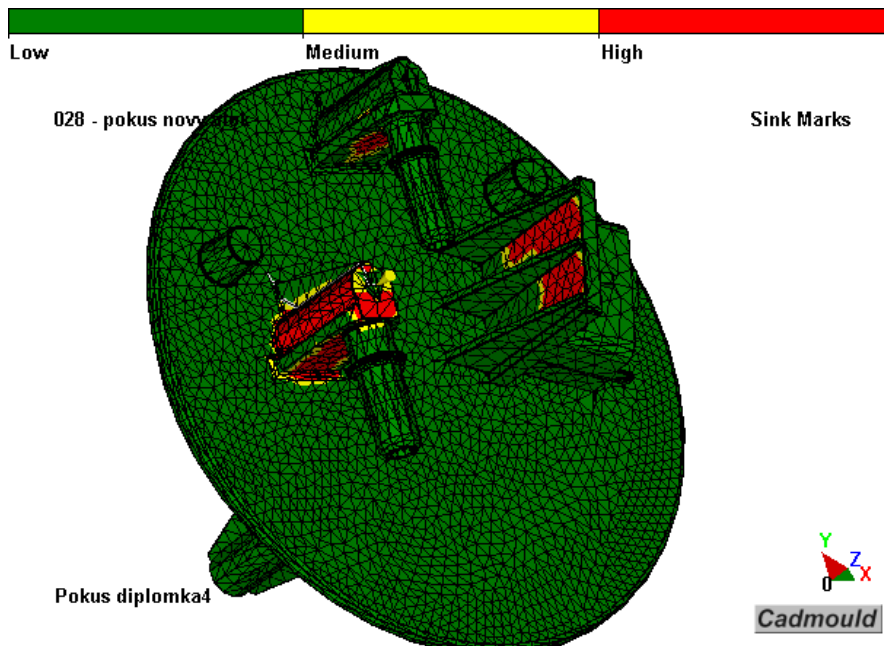
Obr. 3.66: Zkroucení výstřiku s novou variantou umístění vtoku

Celková deformace na obr. 3.65 a zkroucení výstřiku na obr. 3.66 má oproti předchozím variantám menší hodnoty a v některých částech i jiný průběh. Maximální deformace sice klesla pouze mírně, ale její maximum se přesunulo z palivového vývodu na okraj výstřiku. Podstatně se ale snížila největší velikost zkroucení, ale pořád se nachází na koncích palivových vývodů.

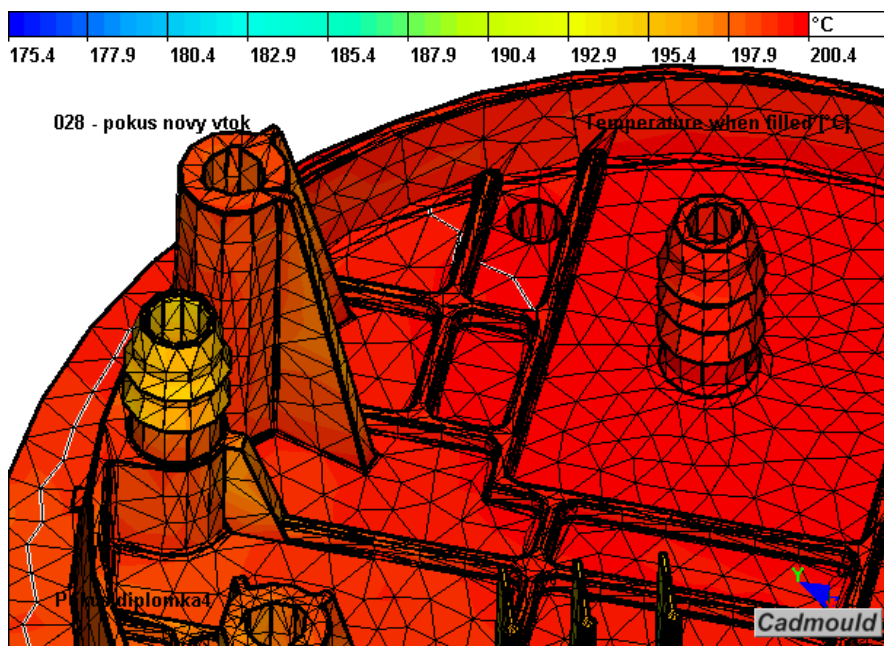


Obr. 3.67: Velikost smrštění v jednotlivých partiích výstřiku

Největší hodnoty smrštění jsou podle obr. 3.67 pouze v partiích tlustých stěn, neboť i vtok do jedné z nich ústí a díky tomu je v celé nosné části tato hodnota téměř konstantní. Ve spodní části výstřiku je průběh stejný jako u předchozích variant.



Obr. 3.68: Místa vzniku propadlin



Obr. 3.69: Teplota v okamžiku plnění

Obdobně jako smrštění se v netlustších stěnách a hlavně v okolí ústí vtoku nachází největší místa vzniku propadlin. U menšího z obou palivových vývodů je ale znát pokles tohoto jevu. Velké propadliny v okolí ústí vtoku jsou patrné z obr. 3.68. Ve stěně zásuvky jsou velikosti propadlin zhruba na stejné úrovni, jako se vyskytují u současného modelu vtoku.

Vznik studeného spoje se podle obr. 3.69 průběhu velikosti teploty taveniny přesune na druhý stromeček, ale teplota taveniny při jeho vzniku je stále poměrně vysoká, okolo 194 °C.

Tab. 3.7: Přehled umístění vtokového ústí a vliv na deformace výstříku

Umístění vtokového ústí	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu	Čas chlazení [s]
současnost	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek	110,6
podle výkresu	0,8	1,896	palivový vývod	1,12	menší náustek	93,5
návrh vtoku	0,333	1,666	okraj výstříku	0,518	menší náustek	102,7

Jiná varianta umístění vtoku na výstřík ve stávajícím nástroji není možná, respektive pouze v okolí obou variant, podle výkresové dokumentace nebo současného způsobu umístění. Tyto možnosti by ovšem podle hodnot tab. 3.7 zcela neřešily stávající problémy a výsledky by se téměř podobaly. V takovém případě by bylo vhodné provádět podobné simulace ještě před začátkem samotné výroby nástroje a najít optimální umístění vtoku, konstrukční řešení výstříku a technologické podmínky. Na základě těchto výpočtů pak zkonstruovat vstřikovací nástroj, který by musel být řešen jiným způsobem než je tento. Z tohoto důvodu jsou podobné simulace vhodné k aplikaci před vlastní výrobou drahých forem, než při hledání řešení u nevhodné volby konstrukce vstřikovacího nástroje a v podstatě i výstříku.

Průřez vtokového ústí

Současné vtokové ústí má průměr 0,8 mm a byla odzkoušena varianta s průměrem 1,2 mm. Tato změna podle vyhodnocených údajů v tab. 3.8 ale nepřinesla žádný efekt v oblasti snížení deformace, zkroucení výstříku a vzniku propadlin. Pouze se hodnota maximální deformace blíží i k okraji výstříku na protilehlé straně ústí vtoku.

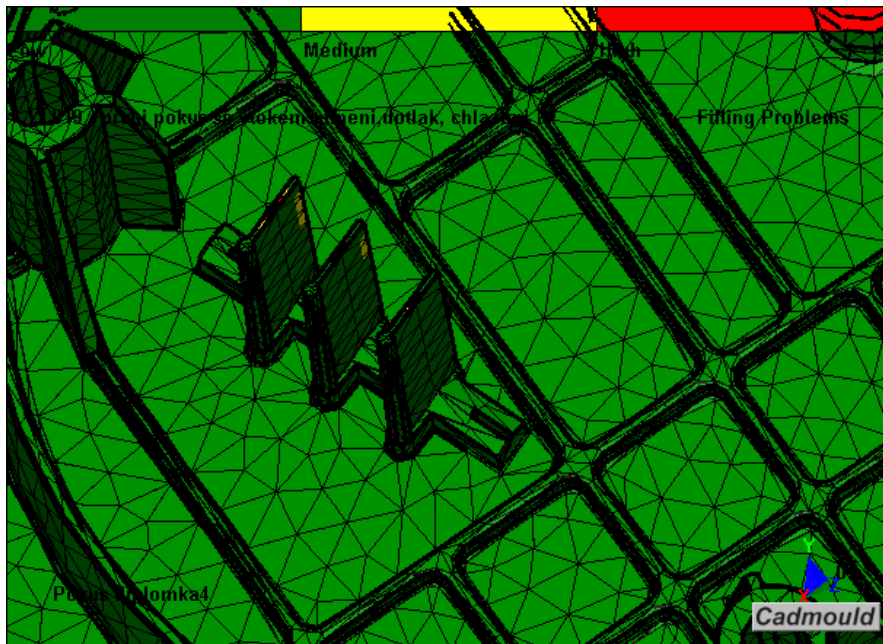
Tab. 3.8: Změna průřezu vtokového ústí

Průměr vtokového ústí [mm]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu
0,8	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek
1,2	0,79	1,828	okraj výstříku	1,125	menší náustek

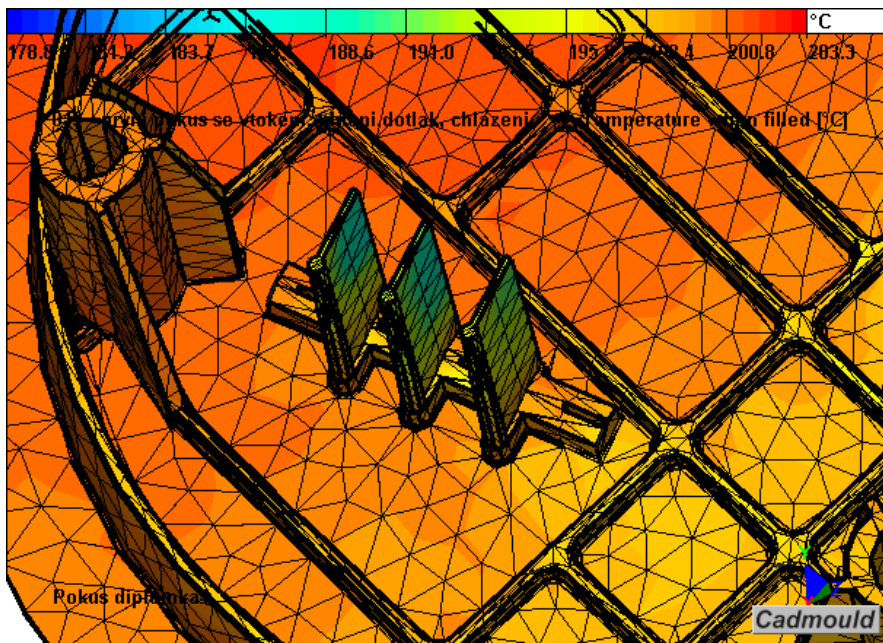
Oddělovací praporky

Některé výstříky vykazují při výrobě deformaci oddělovacích praporků elektrických kontaktů. Simulace žádný problém s deformacemi neposkytla, ale ukazuje toto místo, jako velice pravděpodobné pro vznik problémů při plnění dutiny nástroje taveninou. Při plnění současným vtokem je totiž tato partie plněna až jako poslední, teplota taveniny je také nižší a vzhledem k malé tloušťce jejich stěny se tyto problémy tak trochu dají očekávat již dopředu.

Návrhem opatření pro odstranění tohoto jevu je zesílit jejich stěnu. Pomocí programu Cادمould a jeho přídatných funkcí byla stěna praporků zesílena o 50 % a toto opatření přineslo následující výsledky, které jsou zobrazeny na obr. 3.70 a 3.71.

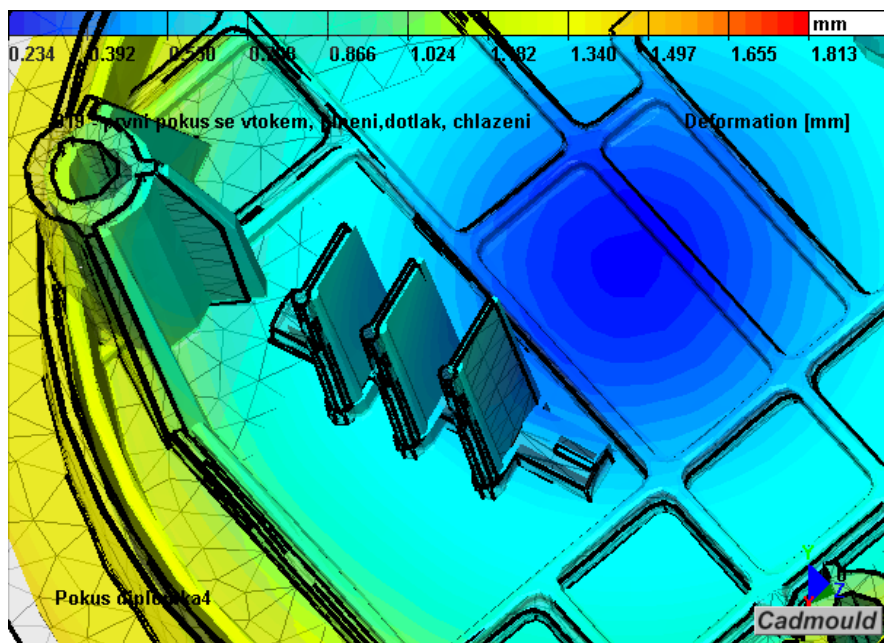


Obr. 3.70: Problémy při plnění



Obr. 3.71: Teplota v okamžiku plnění

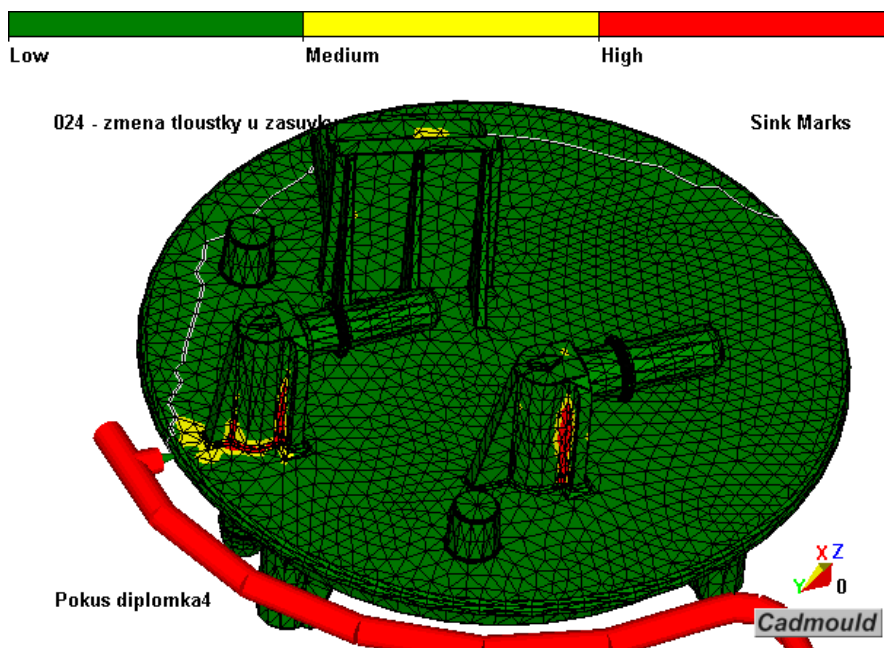
Teplota taveniny v okamžiku plnění je téměř na stejné úrovni jako u varianty bez provedené úpravy. Stačí ovšem zesílit stěnu a chladnější tavenina do těchto míst také bez větších problémů zateče. Podle simulace nejsou praporky po vychladnutí výstřiku deformované (viz obr. 3.72), a proto není nutné hledat jejich další úpravy, kromě zlepšení podmínek zatečení taveniny. Další volbou může být návrh teploty a teploty taveniny při vsřikování, ale tyto parametry by měly ale jiný vliv v jiných částech výstřiku, které jsou z hlediska funkce důležitější.



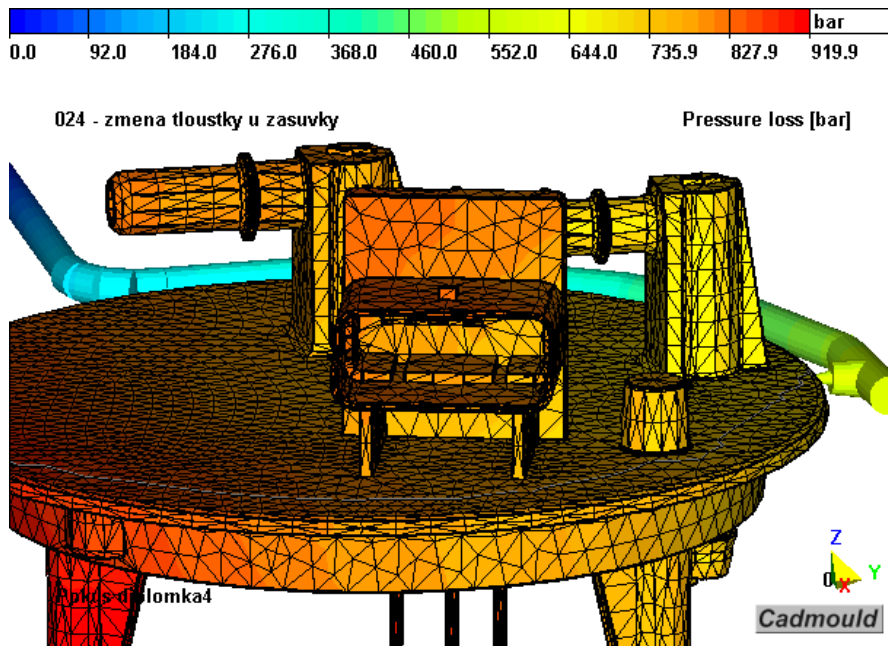
Obr. 3.72: Průběh celkové deformace v oblasti oddělovacích praporků

Tloušťka nosné stěny zásuvky

Tato stěna má z důvodu zastříknutí kovových zálisků do její spodní části větší tloušťku stěny. Z tohoto důvodu se zde objevují nežádoucí propadliny, které mohou mít vliv na deformaci zásuvky. Snížením tloušťky této stěny na 70 % nedojde k výraznému ovlivnění funkčnosti a hlavně požadavku zastříknutí kovových zálisků do tělesa výstřiku. Změna tloušťky přinesla efekt odstranění vzniku propadlin v zadní stěně zásuvky, jak je patrné z následujícího obr. 3.73.



Obr. 3.73: Propadliny v zadní stěně zásuvky



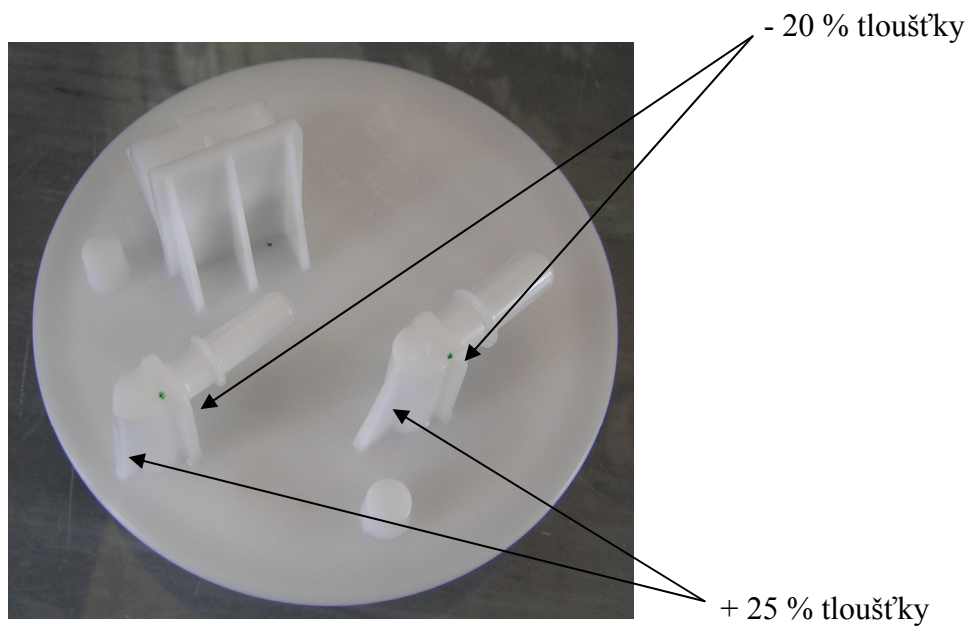
Obr. 3.74: Průběh tlaku v dutině nástroje

Na druhou stranu ale mohou malé propadliny vzniknout přímo na oválné části zásuvky, které jsou z uvedeného obrázku trochu vidět. Příčinou může být zvýšení tlakových ztrát v oblasti zásuvky podle obr. 3.74 oproti současnému stavu výroby. Z tohoto důvodu by bylo vhodné tloušťku původní stěny zmenšit maximálně na odzkoušených 70 %, lepších výsledků za cenu kompromisu místa vzniku propadlin by stačilo dosáhnout při 80-ti % původní tloušťky.

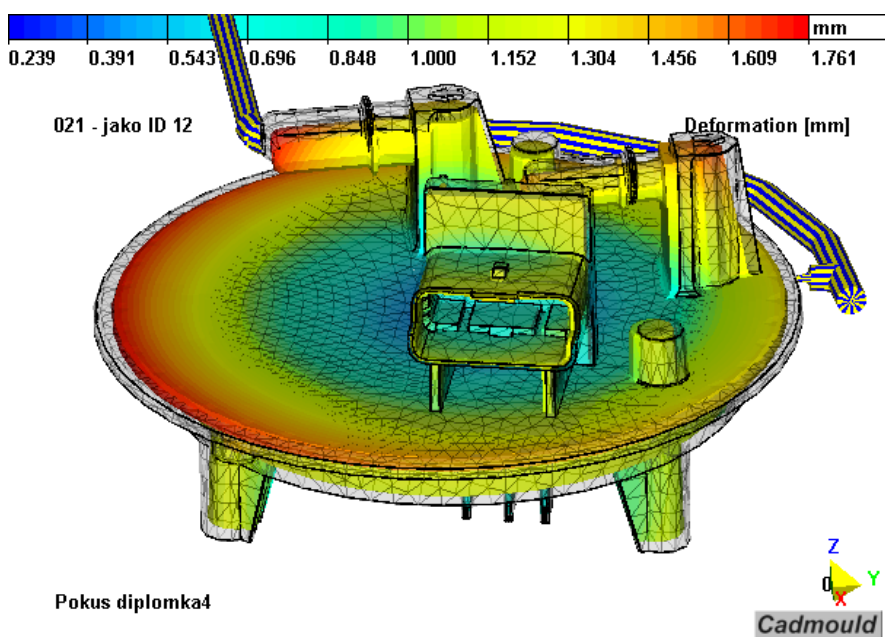
Úpravy rozměrů stěn palivových vývodů

Navrhované změny jsou rozšíření vyztužujícího žebra o 25 % tloušťky a zmenšení tloušťky stěny, ze které vychází náustek vývodu u obou palivových vývodů na horní straně výstřiku. Pro větší názornost jsou změny uvedeny na následujícím obr. 3.75.

Podstatou návrhu je přemístit do vyztužujícího žebra lokální místo s větší tloušťkou stěny, tím se zaručí pomalejší tuhnutí a vlivem smrštění a následného vnitřního pnutí budou oba palivové vývody stahovány jakoby dozadu, tzn. že se bude zachovávat jejich rovnoběžnost s rotační nosnou částí. Při výpočtu ovšem došlo k situaci, že vlivem teploty pomocí trubiček tavenina v zúžené části zatuhla a výstřik nebyl kompletní. Tento problém šel vyřešit až po nastavení teploty v chladicích trubičkách na hodnotu minimálně 70 °C nebo zachování původní tloušťky bez jejího zmenšování. Výsledek po variantě nastavení teploty na 70 °C a úpravě obou tloušťek stěn je zobrazen v následujících pohledech.

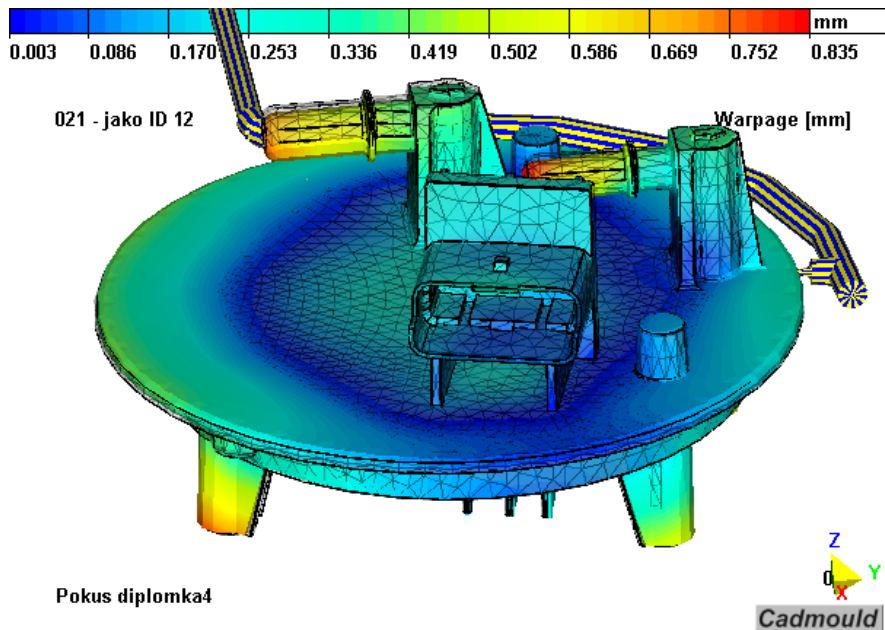


Obr. 3.75: Navrhované změny tloušťky stěn



Obr. 3.76: Celková deformace palivových vývodů po uvedených úpravách

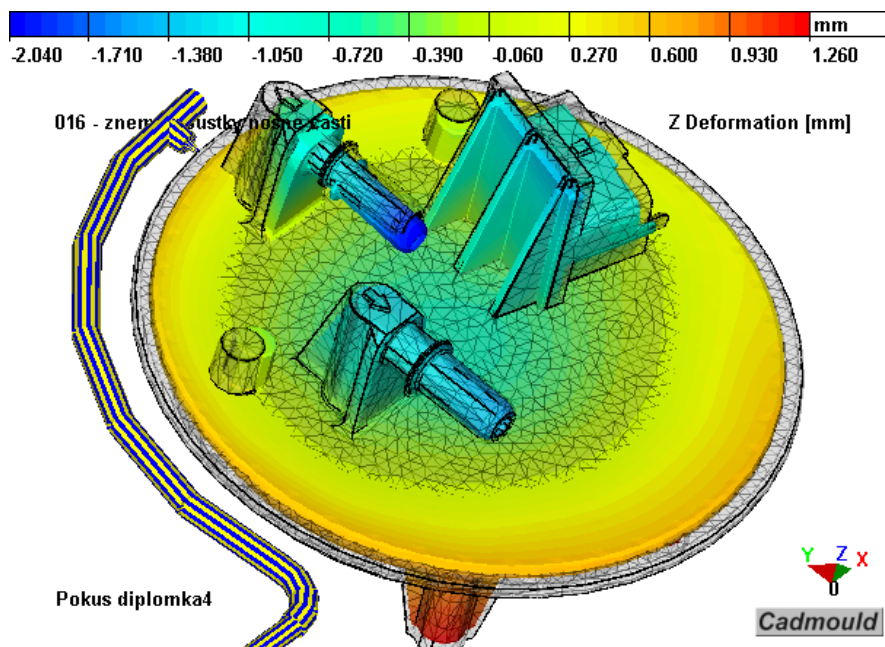
Z obr. 3.76 je patrné, že částečně klesla deformace a její maximální hodnota se přesunula do okraje nosné části výstřiku. Podle obr. 3.77 klesla i hodnota zborcení vývodů směrem do středu výstřiku. Jsou to ale pouze dílčí úpravy a výsledky, které vedou ke zlepšení zachování kolmosti těchto partií výstřiku vzhledem k současnému stavu výroby. Jejich zkroucení a deformace je způsobeno hlavně prohnutím rotační nosné části výstřiku. Maximální hodnota zkroucení klesla sice o 0,3 mm, ale deformace pouze o 0,1 mm.



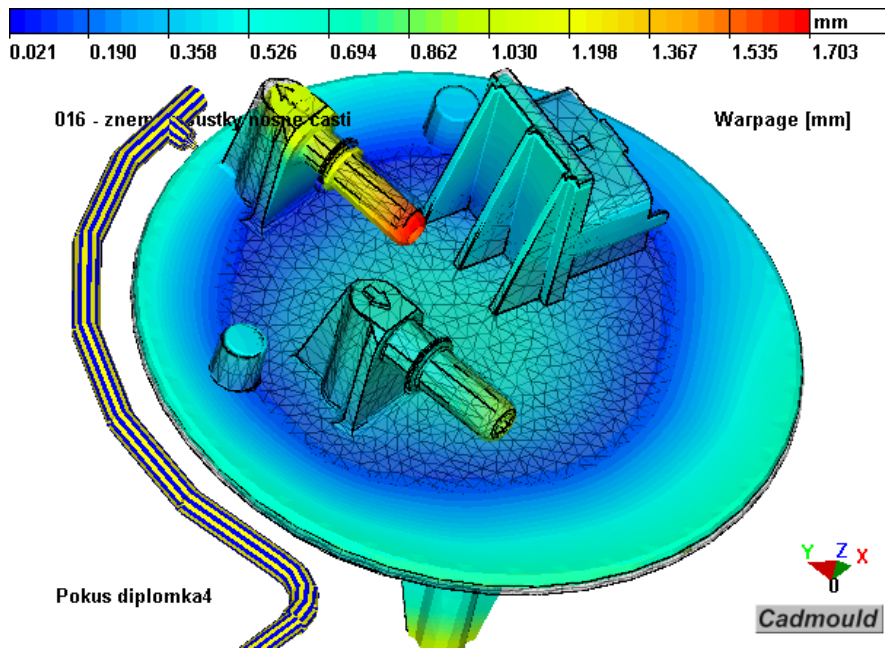
Obr. 3.77: Zkroucení výstřiku – vývodů paliva

Změna tloušťky rotační nosné části

Výstřik má tuto tloušťku zkonstruovanou na 2,5 mm. Byly provedeny dva výpočty se změnou tloušťky na 3 a 2,2 mm. Větší tloušťka měla zajistit snadnější plnění dutiny a hlavně zajistit působení dotlaku po delší dobu v partiích se silnějšími stěnami. Tím bylo požadováno snížení deformací palivových vývodů a vzniku propadlin. Výsledkem byl ale podle obr. 3.78 a 3.79 zcela opačný.

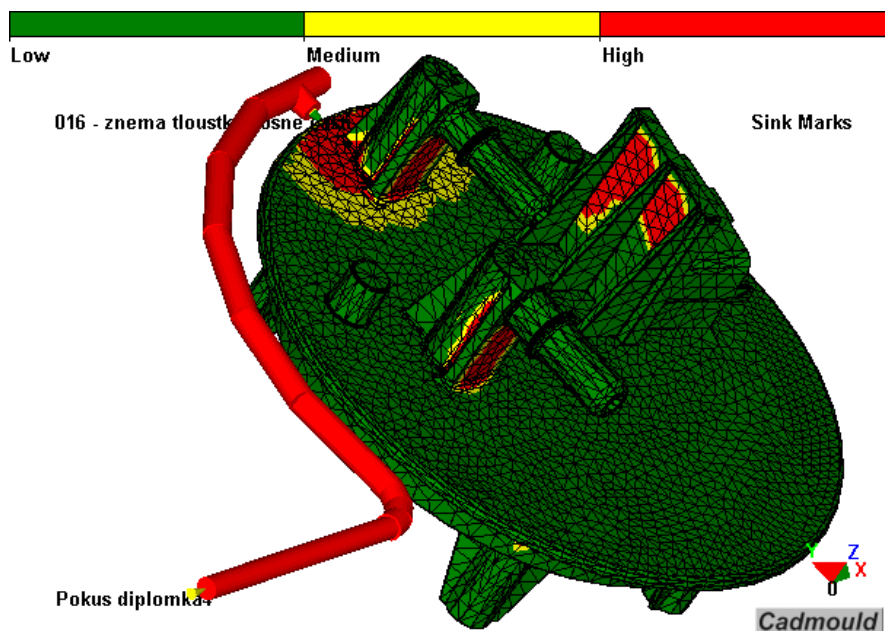


Obr. 3.78: Deformace ve směru osy Z při tloušťce 3 mm



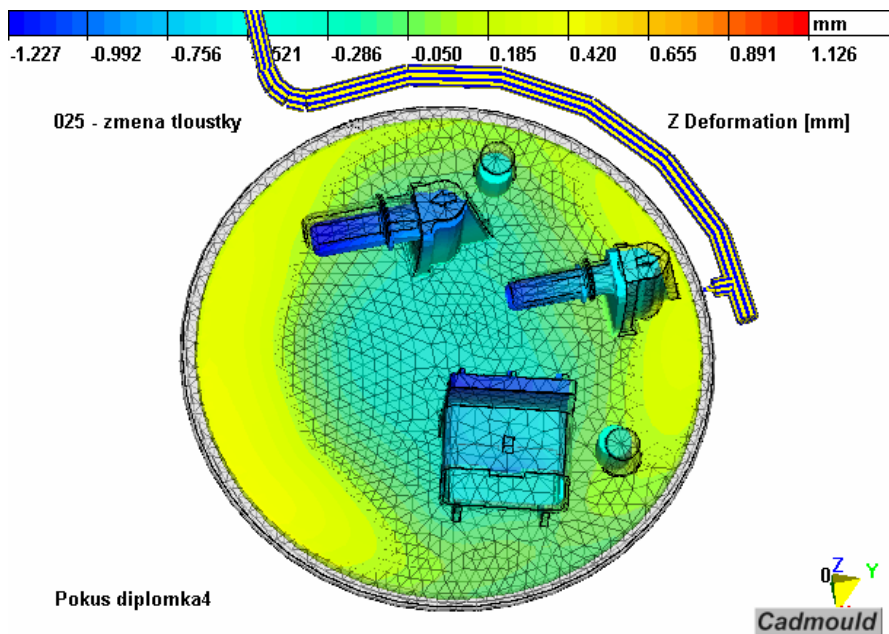
Obr. 3.79: Zborcení dílu při tloušťce nosné stěny 3 mm

Z obou obrázků jsou vidět nadměrné deformace, které jsou způsobeny hlavně větším prohnutím nosné části výstřiku. Největší celková hodnota deformace dosahuje 2,4 mm. Tlustší stěna také nezlepší ani situaci vzniku propadlin, které se naopak ještě více v oblasti vtokového ústí rozšíří a jsou vidět na obr. 3.80. Možným řešením by mohlo být zvětšení doby působení dotlaku, které bylo odzkoušeno již dříve.

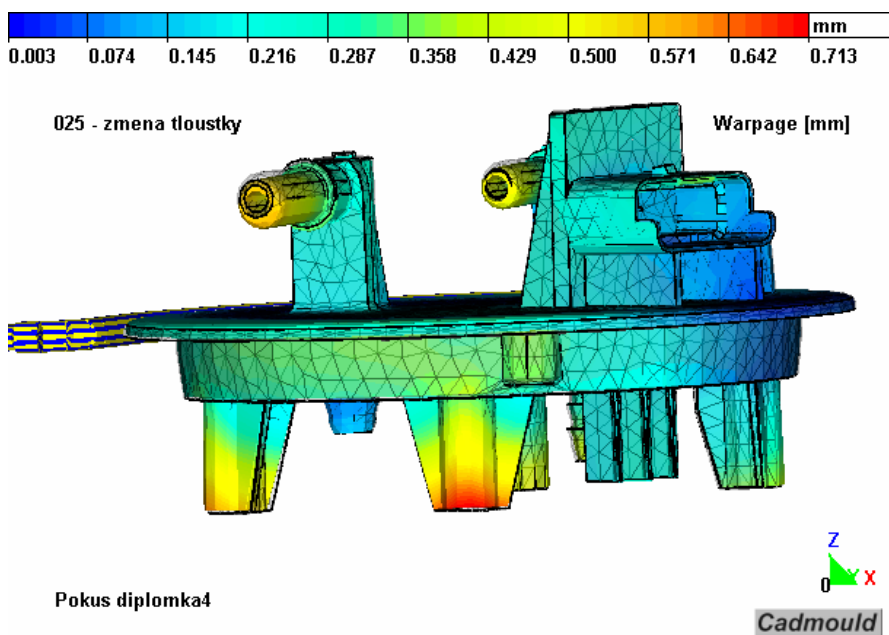


Obr. 3.80: Propadliny na výstřiku po změně tloušťky nosné části na 3 mm

Druhý experiment spočíval ve změně tloušťky na 2,2 mm. Rovinnost rotační nosné části je v tomto případě lepší, výškový rozdíl v ose Z na okraji a uprostřed výstřiku je 0,34 mm, při současném stavu výroby tato hodnota činí 0,78 mm. Z obr. 3.81 je ale vidět nerovnoměrnost symetrie prohnutí.

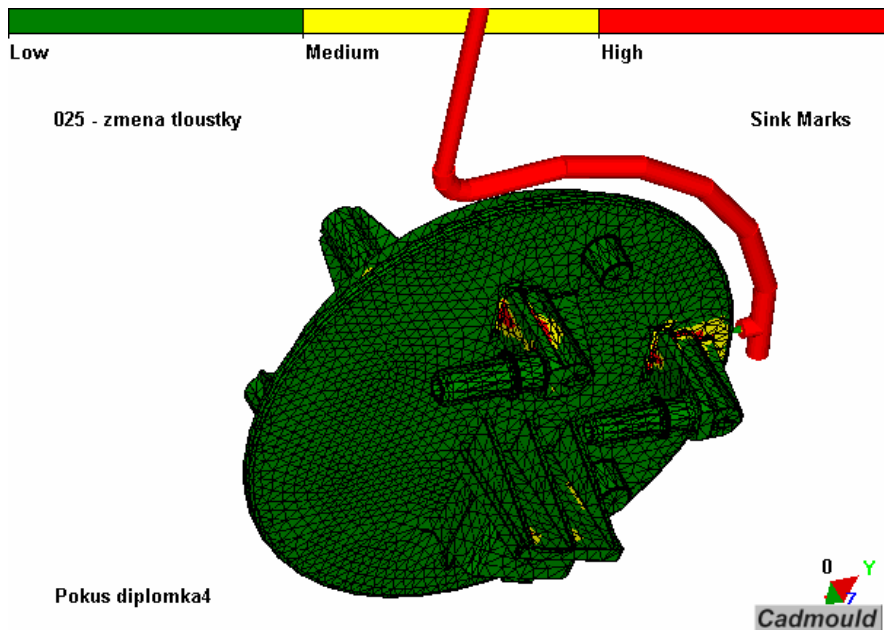


Obr. 3.81: Deformace ve směru osy Z při tloušťce nosné části 2,2 mm



Obr. 3.82: Zkroucení výstřiku při změně nosné části na tloušťku 2,2 mm

Největší hodnota zkroucení na obr. 3.82 se ale při této konstrukční úpravě přesunula z palivového vývodu na horní straně výstřiku na jeden z upevňovacích výstupků na spodní části výstřiku.



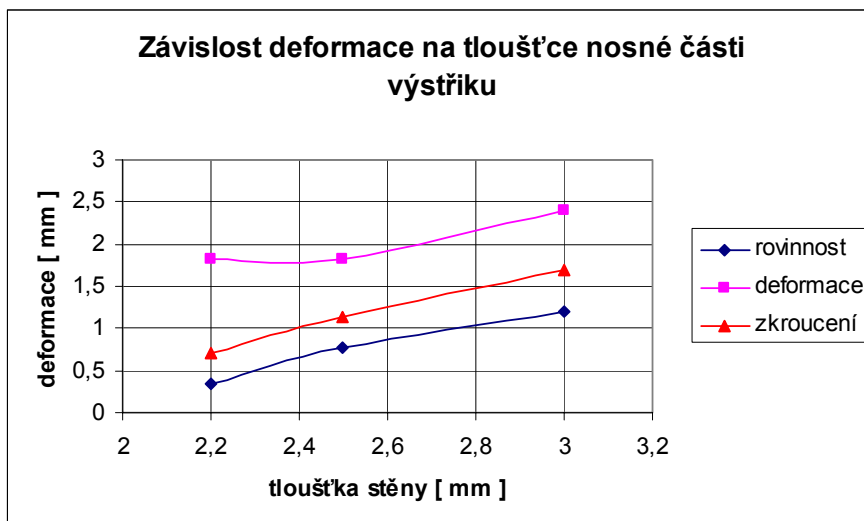
Obr. 3.83: Propadliny při tloušťce nosné části 2,2 mm

Z obr. 3.83 propadlin je vidět výrazné zlepšení a potlačení vzniku propadlin u palivových vývodů a také v zadní nosné stěně elektrické zásuvky. Tato konstrukční změna při zachování funkčnosti výstřiku přinesla výrazné zlepšení kvality výstřiku z hlediska jeho malých deformací a zachování požadovaného tvaru vlivem smrštění po vychladnutí výstřiku.

Tab. 3.9: Změna tloušťky nosné části

Tloušťka nosné části [mm]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu
2,2	0,34	1,82	okraj výstřiku	0,713	upevňovací výstupek
2,5	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek
3	1,2	2,402	menší náustek	1,703	menší náustek

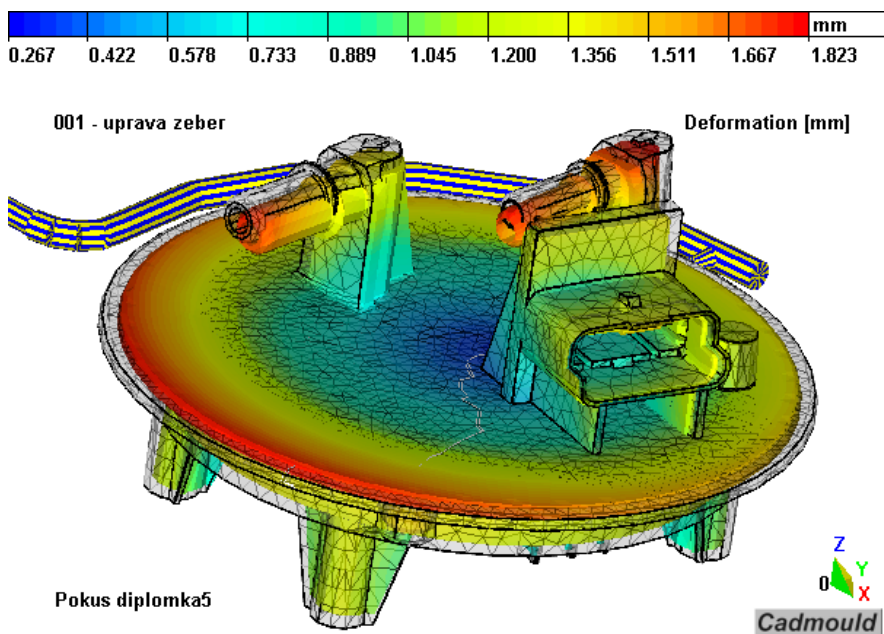
Tab. 3.9 ukazuje přehled sledovaných parametrů v závislosti na tloušťce nosné stěny výstřiku a v následujícím grafu 3.6 je jejich změna vyobrazena graficky.



Graf 3.6: Závislost rovinnosti, deformace a zkroucení výstřiku na změně tloušťky nosné části výstřiku

Tloušťka vyztužujících žeber

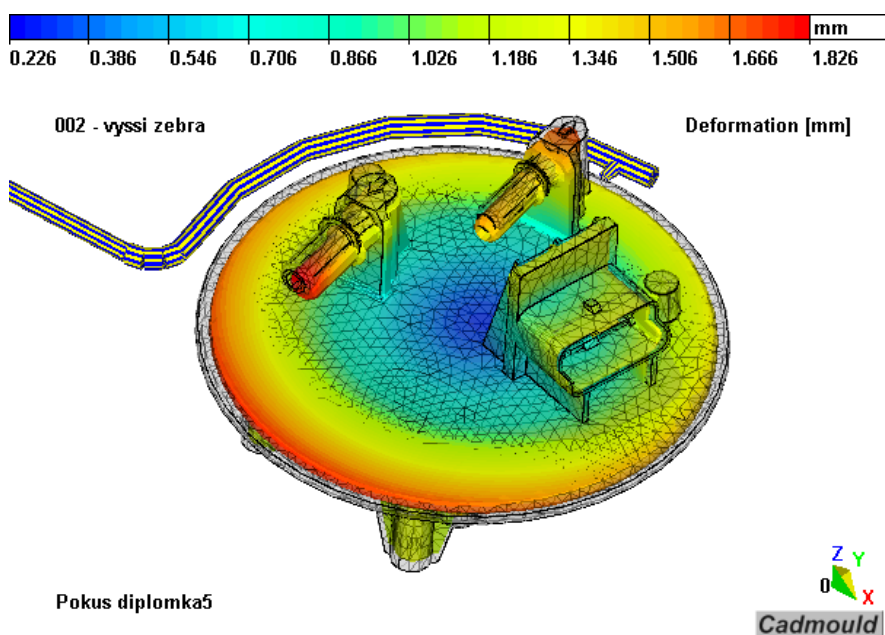
Na spodní straně výstřiku jsou žebra o výšce 2 a šířce 1,5 mm. V programu Catia byla jejich šířka upravena na 2 mm a cílem bylo sledovat vliv na deformace a výslednou rovinnost nosné kruhové části výstřiku. Tato konstrukční úprava byla jako jediná provedena mimo software Cadmould, tzn. že musel být znovu načten model, vytvořena vtoková soustava a nastavení všech parametrů jako na začátku celé simulace. Užší žebra nebyla vzhledem k zásadám konstruování výstřiků odzkoušena.



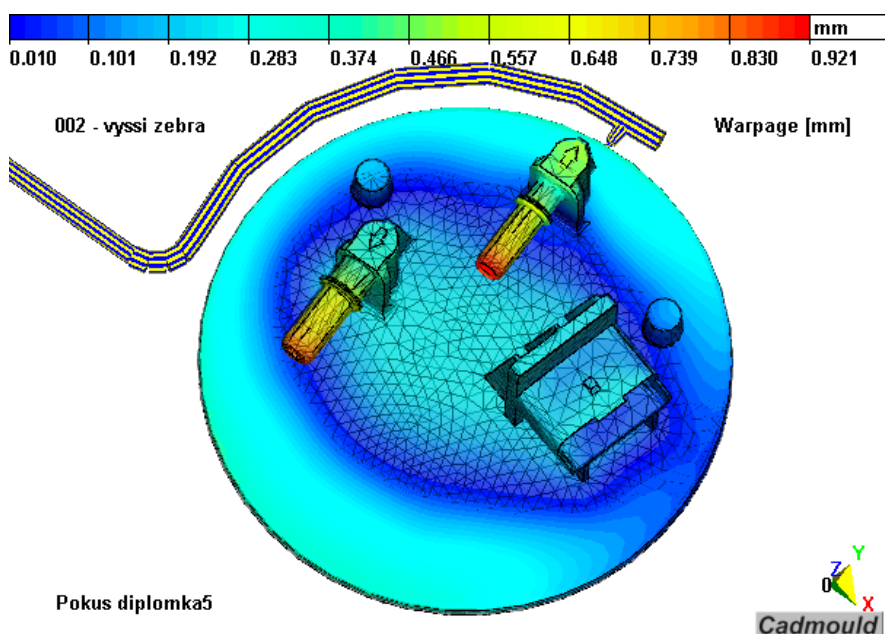
Obr. 3.84: Celková deformace výstřiku po rozšíření žeber na spodní části

Ve srovnání s deformací na obr. 3.84 a zkroucením výstřiku před touto úpravou je vliv rozšířených žeber na rovinnost naprosto nulový. Výškový rozdíl dvou bodů na okraji a ve středu výstřiku je v obou případech zhruba 0,8 mm. Maximální deformace a hodnota zkroucení je oproti současnému stavu téměř na stejné úrovni.

Další úpravou bylo zvýšení žeber o 1 mm, tedy na 3 mm výšky při zachování šířky 2 mm. Maximální deformace zůstala stejná, ale rovinnost a zkroucení výstřiku mírně klesly, jak je patrné na následujících obr. 3.85 a 3.86.



Obr. 3.85: Deformace výstřiku při zvětšení výšky vyztužujících žeber

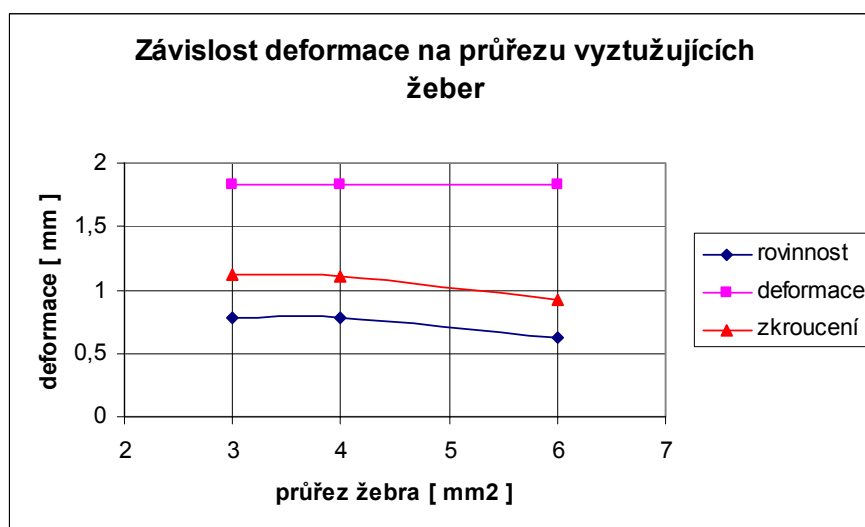


Obr. 3.86: Zkroucení výstřiku při zvětšení výšky vyztužujících žeber

Následující tab. 3.10 a graf 3.7 opět schematicky a trochu názorněji poskytují představu o vlivu rozměru vyztužujícího žebra na deformaci a celkovou rovinnost výstřiku.

Tab. 3.10: Změna průřezu vyztužujících žeber

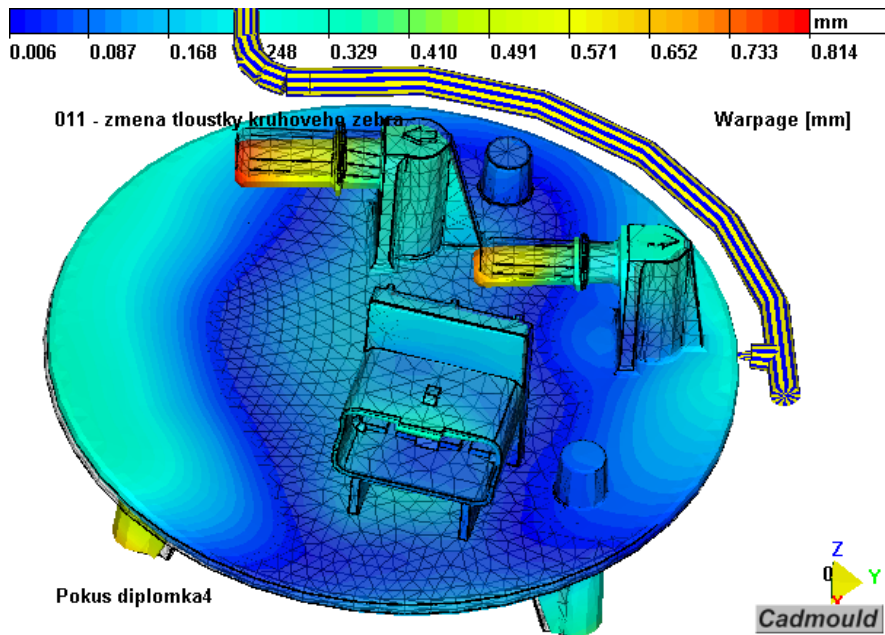
Tloušťka/výška žeber [mm]	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu
1,5/2	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek
2/2	0,78	1,823	okraj výstřiku	1,105	menší náustek
2/3	0,621	1,826	větší náustek	0,921	menší náustek



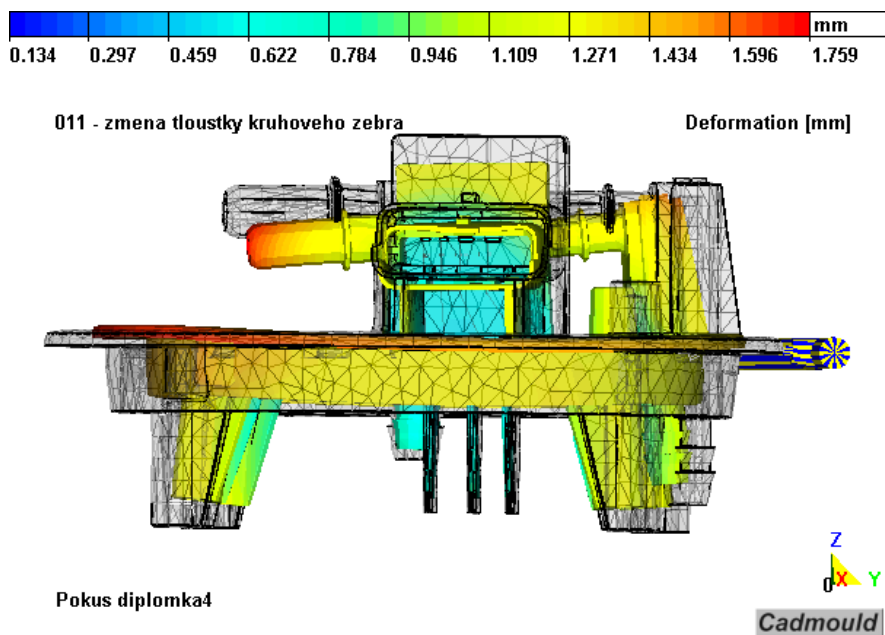
Graf 3.7: Závislost rovinnosti, deformace a zkroucení výstřiku na změně průřezu vyztužujících žeber

Změna tloušťky kruhového žebra

Kruhové žebro na spodní části výstřiku tvoří jednak vyztužující prvek a jednak slouží jako funkční část, jejíž vnější strana musí plnit těsnící funkci při aplikaci součásti v provozu. Z tohoto důvodu byla provedena úprava pouze ve formě zesílení žebra o 20 %. Užší žebro by bylo v rozporu se zásadami navrhování konstrukce výstřiků z plastů a nemuselo by také spolehlivě plnit svou funkci.

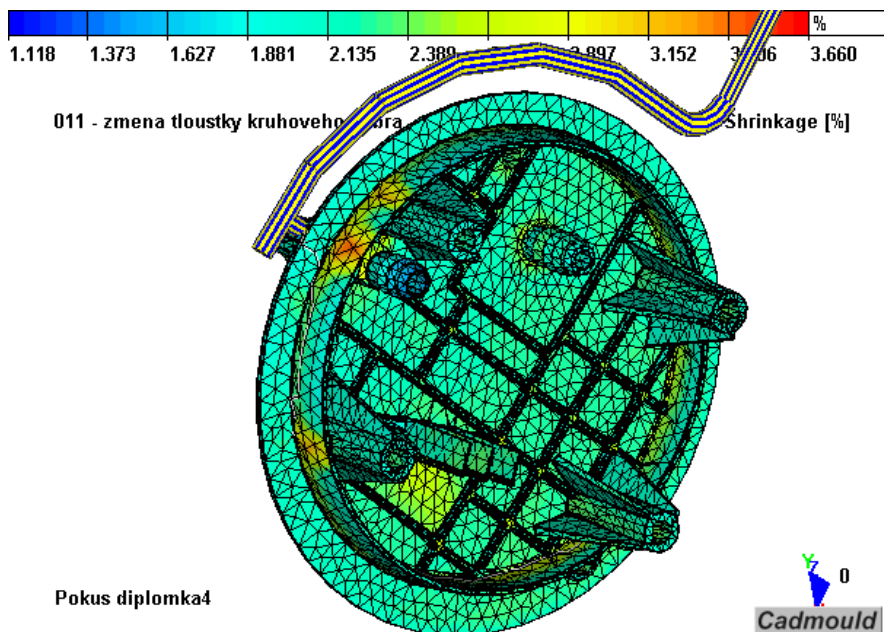


Obr. 3.87: Zkroucení výstřiku po zvětšení spodního kruhového žebra



Obr. 3.88: Pohled na celkovou deformaci po změně tloušťky žebra

Výsledkem je podle obr. 3.87 mírný pokles a přesunutí maximální deformace na okraj výstřiku, který je protilehlý umístění vtokového ústí. Klesla hodnota i největšího zkroucení výstřiku zhruba o 0,3 mm, viz obr. 3.88. Podstatný rozdíl je ale v tom, že výstřik a hlavně jeho nosná rotační část není zkroucená rovnoměrně, ale nepravidelně a to by mohlo způsobovat problémy s ovalitou a těsností plochy kruhového žebra. Průběh je patrný z předchozích obrázků deformace a zkroucení výstřiku. Zároveň klesla i rovinnost dílu na 0,5 mm, ale při již zmíněném nepravidelném prohnutí nosné části výstřiku.



Obr. 3.89: Smrštění výstřiku po zesílení kruhového žebra

Hlavním důvodem této úpravy bylo zachování ovality těsnící části výstřiku. Z průběhu smrštění na obr. 3.89 a naměření kontrolních bodů se tato vlastnost jinak nezměnila, spíše naopak. Kromě nerovnoměrné deformace nosné kruhové části vzniká v tomto případě i větší rozdíl v hodnotách smrštění po obvodu těsnící plochy, což je pro funkci dílu nežádoucí. V tab. 3.11 je vliv širšího žebra oproti současnému stavu ohodnocen podle dosažených výsledků kladně, ale za cenu nerovnoměrných a zvýšených hodnot smrštění a zprohýbání nosné části, i když se zlepšila hodnota rovinnosti.

Tab. 3.11: Změna tloušťky kruhového žebra

Tloušťka kruhového žebra	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu
současnost	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek
+ 20 %	0,5	1,759	okraj výstřiku	0,814	větší náustek

3.7 Souhrn optimalizovaných parametrů vedoucích ke zlepšení výroby

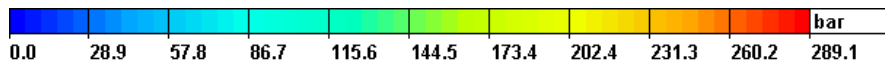
Během jednotlivých úprav byly zaznamenány dílčí výsledky vedoucí ke zlepšení stavu propadlin a deformace výstřiku, ať již celkové, nebo pouze v některých částech. Tyto pozitivní změny jsou uvedeny v následujícím odstavci:

- prodloužení doby dotlaku na 26,7 s průběhem jeho velikosti na 50/48/40/30 % výše vstřikovacího tlaku
- umístění vtokového ústí na větší z palivových vývodů
- změna teploty na 60/80/70 °C (70 °C vlivem umístění vtoku)
- zesílení vyztužujících žebér palivových vývodů o 25 %
- zeslabení stěny o 20 % pod náustkem u palivového vývodu, kde není umístěn vtok

- zesílení šířky na 2 mm a výšky na 3 mm vyztužujících žeber na spodní straně výstřiku
- zeslabení nosné části výstřiku na 2,2 mm
- zeslabení nosné stěny elektrické zásuvky na 70 %
- zesílení tloušťky oddělovacích praporků o 50 %

3.8 Výpočet experimentu

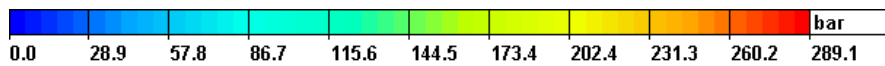
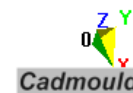
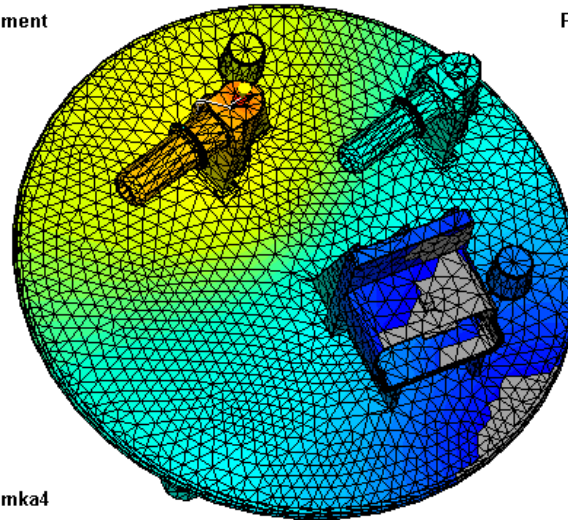
Na závěr všech simulací byl proveden experimentální výpočet, který byl nastaven podle uvedených zlepšujících parametrů a bylo sledováno celkové chování výstřiku s tímto nastavením. Teplota taveniny byla ponechána na původní hodnotě 200 °C, z důvodu vzniku problémů při plnění taveninou o nižší teplotě. Obdobně je tomu při zachování času vstřiku a průřezu vtokového ústí, protože změny těchto údajů nepřinesly během simulace žádné lepší efekty výroby. Výsledek tohoto experimentu je stručně uveden v následujících obrázcích.



028 - experiment

Pressure [bar]

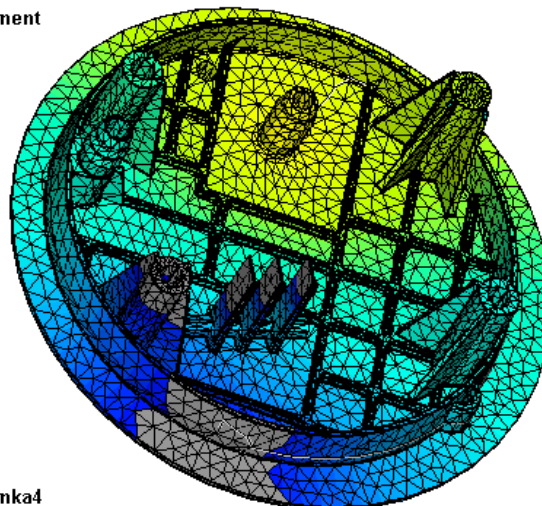
Pokus diplomka4



028 - experiment

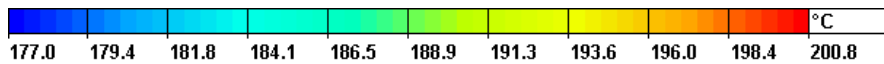
Pressure [bar]

Pokus diplomka4



Obr. 3.90: Průběh tlaku taveniny v okamžiku těsně před dokončením plnění

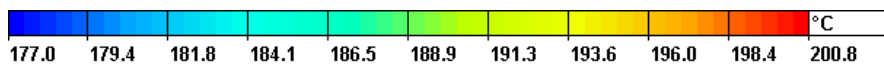
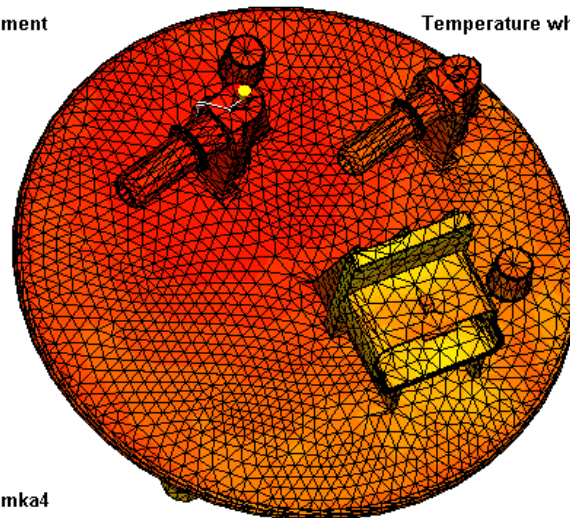
Oproti současnému stavu výroby je potřeba vynaložit na plnění dutiny podle obr. 3.90 větší vstřikovací tlak. Na obrázku je sice asi třetinová hodnota tlaku vůči stejnému obr. 3.21 podle současnosti, to je ale způsobeno tím, že je vstřikovací tryska umístěna přímo na výrobek. Nejsou zde proto zahrnuty tlakové ztráty způsobené prouděním taveniny přes horký vtok, který by se musel do nástroje při této variantě vtoku zabudovat.



028 - experiment

Temperature when filled [°C]

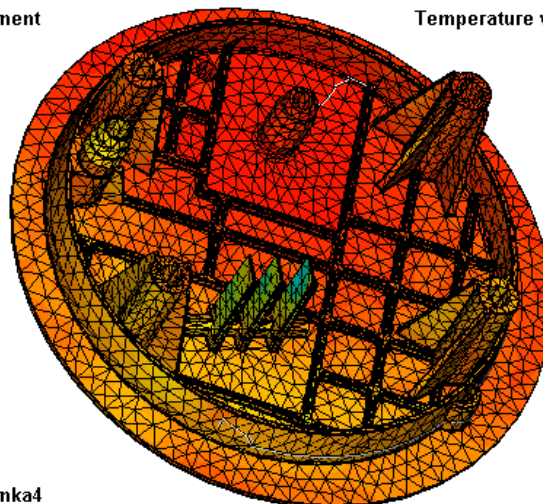
Pokus diplomka4



028 - experiment

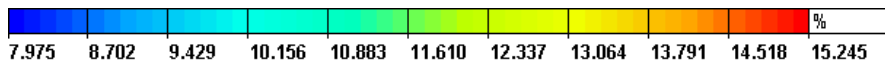
Temperature when filled [°C]

Pokus diplomka4



Obr. 3.91: Teplota taveniny v okamžiku plnění

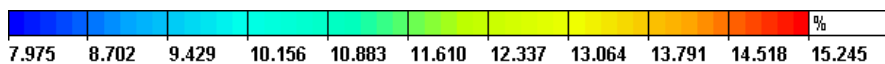
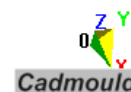
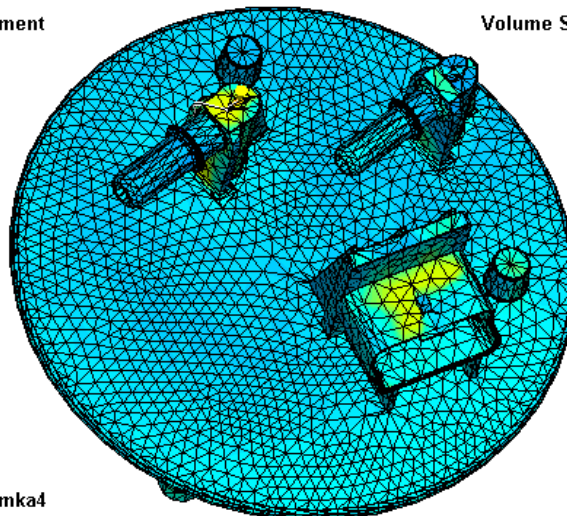
Teplota taveniny na obr. 3.91 v okamžiku dosáhnutí do stromečku nalevo je na hodnotě okolo 194 °C, a při těchto podmínkách zde vzniká studený spoj. Ve druhém stromečku studený spoj nevzniká, protože se nachází přímo pod vtokovým ústím. Ani v oblasti oddělovacích praporků není teplota taveniny vyšší než před uvedenými změnami, ale vlivem větší tloušťky stěny je toto místo snadněji plněné. Negativním vlivem je nižší teplota taveniny v oblasti elektrické zásuvky, která je stejně jako u skutečného stavu výroby plněna taveninou plastu až nakonec.



028 - experiment

Volume Shrinkage [%]

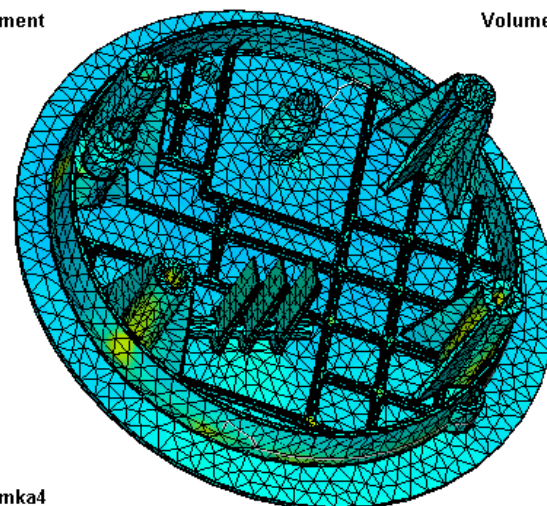
Pokus diplomka4



028 - experiment

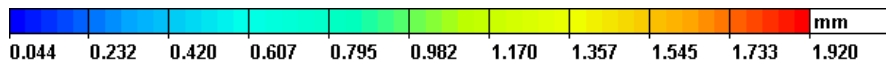
Volume Shrinkage [%]

Pokus diplomka4



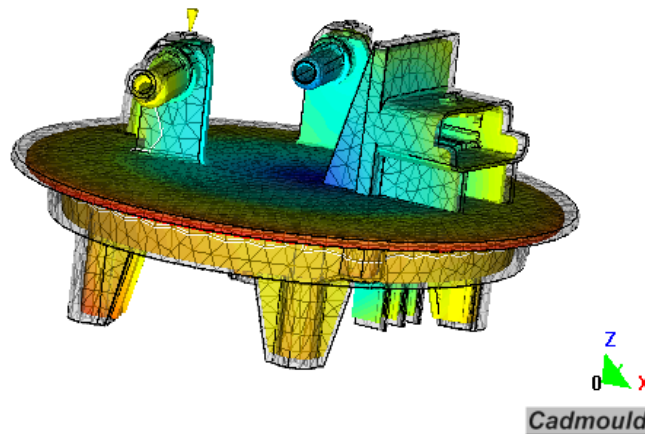
Obr. 3.92: Průběh objemového smrštění výstřiku

Největší objemové smrštění se opět nachází v místě umístění vtokového ústí a míst tlustých stěn na výstřiku. Oproti původnímu stavu se větší smrštění nachází také ve dvou upevňovacích výstupcích, které jsou dále od místa vtokového ústí. Ze spodní části obr. 3.92 průběhu smrštění je patrné nerovnoměrné smrštění po obvodu kruhového žebra i celého výstřiku, což může způsobovat jeho ovalitu. Poslední oblastí velkého smrštění je horní část elektrické zásuvky.



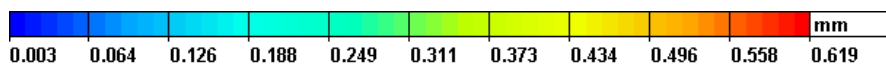
028 - experiment

Deformation [mm]



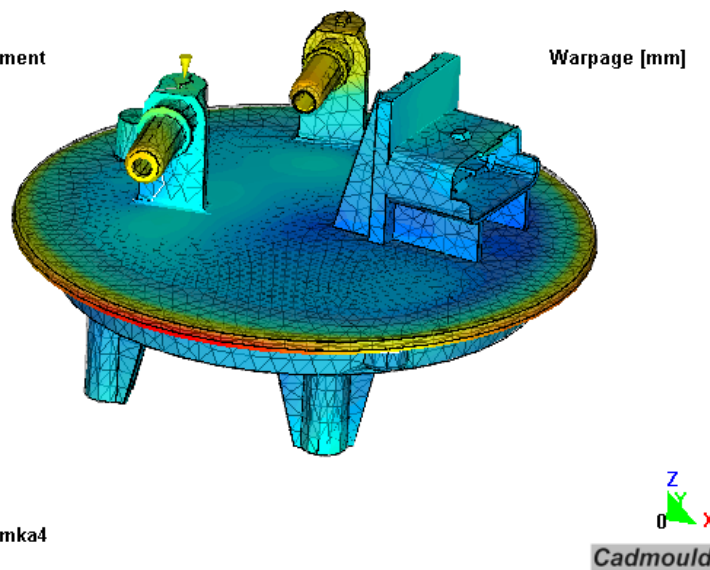
Pokus diplomka4

Obr. 3.93: Průběh celkové deformace ve výstřiku



028 - experiment

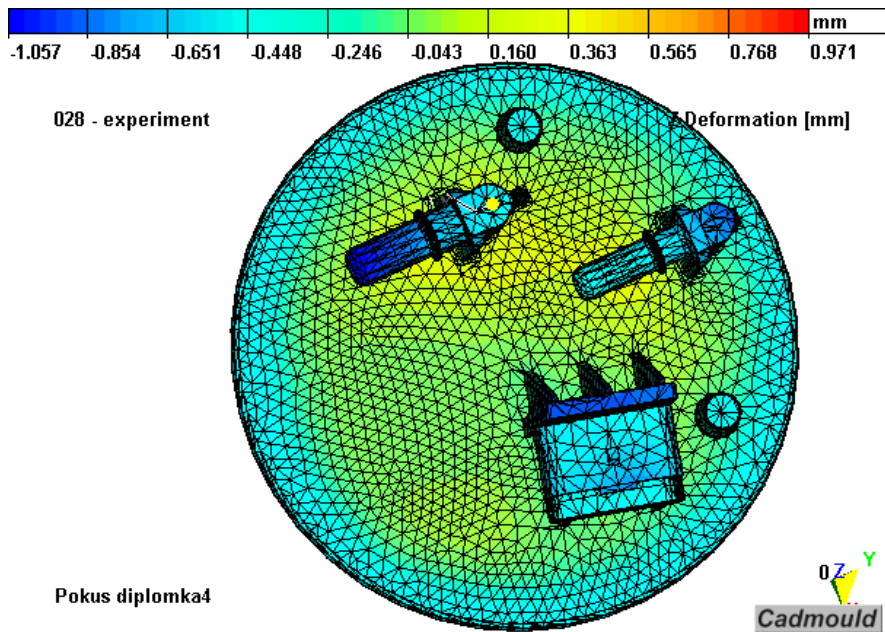
Warpage [mm]



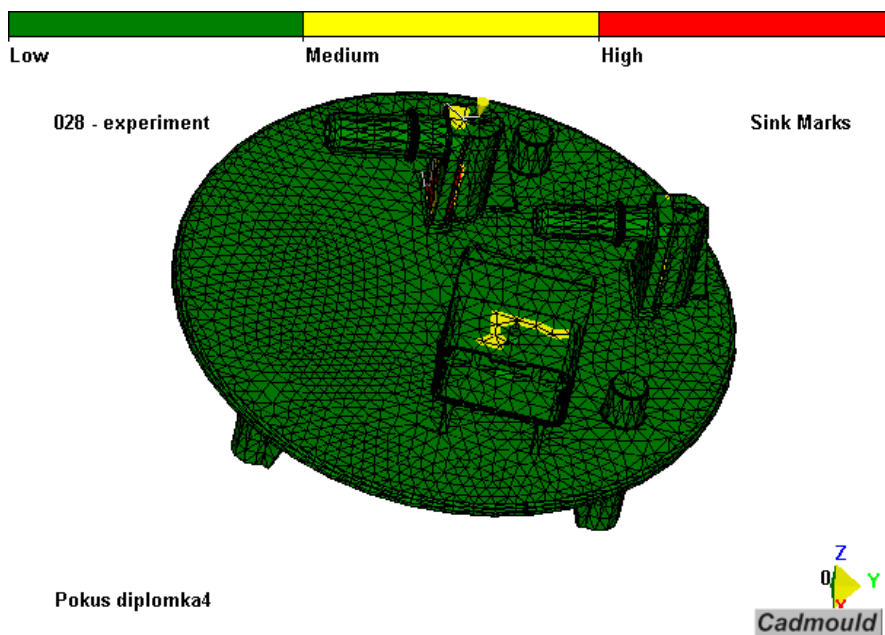
Pokus diplomka4

Obr. 3.94: Zkroucení výstřiku

Celková maximální deformace na obr. 3.93 vzrostla o 0,1 mm a vyskytuje se na okraji nosné části výstřiku. Výrazně ale vůči současnému stavu výrovy klesla hodnota zkroucení výstřiku (viz obr. 3.94), hlavně v oblasti palivových vývodů na horní straně dílu. Rovinnost nosné části vůči současné výrobě je ale podle následujícího obr. 3.95 větší (0,85 mm) a největší prohnutí není ve středu výstřiku, ale v místě pod ústím vtoku.

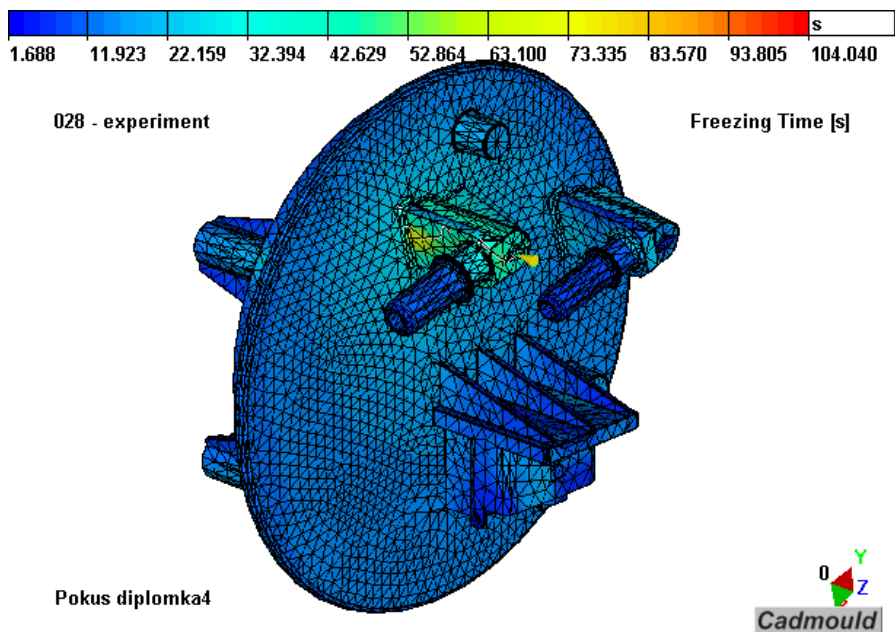


Obr. 3.95: Deformace výstřiku ve směru osy Z



Obr. 3.96: Místa vzniku propadlin

Vznik propadlin je úzce spojen s místy velkého objemového smrštění, a proto se propadliny vyskytují podle obr. 3.96 v místech palivových vývodů a na horní straně elektrické zásuvky.



Obr. 3.97: Doba chlazení jednotlivých částí výstřiku

Celkový čas chlazení na obr. 3.97 je poměrně dlouhý, protože se velice blíží času podle současného stavu výroby, který ovšem navíc zahrnuje ještě chladnutí vtokového kanálu. Z obrázku je vidět, že celý výstřik kromě oblasti okolo vtoku chladne poměrně rychle a v závislosti na tloušťce stěny, z čehož pak lze usuzovat charakter rozložení objemového smrštění.

V tab. 3.12 jsou uvedeny pro srovnání výsledků experimentu a současného stavu výroby opět některé sledované hodnoty.

Tab. 3.12: Porovnání výsledků experimentu se současným způsobem výroby

Simulace výstřiku	Rovinnost [mm]	Max. deformace [mm]	Oblast výskytu	Max. zkroucení [mm]	Oblast výskytu
podle současnosti	0,78	1,826	palivový vývod	1,126	menší náustek
experiment	0,85	1,92	okraj výstřiku	0,619	okraj výstřiku

4 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE

Studený spoj

Studený spoj vzniká na obou stromečcích a nelze je díky konstrukci nástroje odstranit. Jednou z možných variant je odzkoušená změna vtoku, která sice hlavně původně sledovaný studený spoj odstraní, ale na druhou stranu způsobí vznik horšího studeného spoje na druhém stromečku, který je blízko původního ústí vtoku. Stromeček pod navrženým umístěním vtoku je plněn rovnoměrně a vysokou teplotou taveniny, takže vzniku studeného spoje je v tomto místě zabráněno.

Při současném stavu výroby vzniká studený spoj na obou koncích palivových vývodů na spodní straně výstřiku. Umístěním vtokového ústí do palivového vývodu nebo jeho ponecháním v současném místě se úplnému odstranění studeného spoje alespoň v jednom z obou stromečků nezabrání. Rozdíl je v tom, že stromeček, který se podle dané varianty nachází blíže ke vtokovému ústí je plněn teplejší taveninou plastu a spoj tak vzniká za lepších podmínek vstřikování. Teplota čela taveniny se od teploty vstřikované taveniny nijak výrazně neliší, proto kvalita vzniku studeného spoje závisí na teplotě vstřikovaného plastu. Vyšší teplota je vhodnější, ale na druhou stranu přináší negativní výsledky v jiných hodnocených oblastech.

Teplotu čela taveniny v okamžiku vzniku těchto spojů neovlivní ani jiný způsob temperace nástroje. Víceméně jakákoliv teplota chladicí vody v trubičkách má v podstatě na vznik studeného spoje stejný vliv a teplota taveniny není v okamžiku plnění dutiny výrazně snižována. Účinek temperace má sice vliv na teplotu taveniny při styku s chladnou stěnou dutiny, ale více se projeví až po naplnění dutiny a způsobuje rychlé ochlazení a vznik malého smrštění plastu v tomto místě. To může mít za následek vznik vnitřního pnutí vůči okolním partiím a ohrožení pevnosti stromečku palivového vývodu. Nižší teplota vody v trubičkách je z důvodu rychlejšího odvodu tepla z těch částí výstřiku, kde se nacházejí stěny větších tloušťek a odvod tepla je z těchto míst problematický.

Rovinnost a prohýbání dílu

Prohýbání nosné části výstřiku je způsobeno konstrukcí nástroje a výstřiku. Při chlazení výstřiku v nástroji má plast snahu se směrem do středu smršťovat. To mu ale zabraňuje kruhové žebro a upevňovací výstupky, které se nemohou hnout z místa a v nosné části pak vzniká pnutí, které se po vyhození výstřiku z nástroje projeví právě tímto prohnutím.

Konstrukcí výstřiku se tomuto jevu dá předcházet většími vyztužujícími žebry na spodní straně, jejichž modifikací průřezu bylo dosaženo menších rozdílů v rovinnosti nosné části. Další možností v této oblasti je změna tloušťky kruhového žebra. Vzhledem k zásadám konstruování byla provedena pouze změna k zesílení žebra, což se sice projevilo také snížením prohnutí, ale nebylo po celém obvodu rovnoměrné a výstřik byl různě pokroucen. Dále se prohýbání nosné části snížilo tloušťkou její stěny. Podle již uvedených výsledků a grafického zobrazení je zřejmé, že prohnutí výstřiku výrazně klesá se zmenšující se tloušťkou nosné části. To lze ale provádět pouze do určité přípustné meze, protože tato část výstřiku je důležitá jednak z pevnostního hlediska celého dílu a jednak z hlediska plnění taveninou plastu ostatních partií výstřiku, včetně schopnosti umožnit působení dotlaku.

Stav, který nastává během tuhnutí a chlazení výstřiku se dá ovlivnit temperací nástroje. Čím bude teplota chladícího média v horní části nástroje nižší a v dolní

vyšší, tím se dosáhne menšího prohnutí výstřiku. Protože se v současné době teplota v horní polovině nástroje pohybuje na hranici nejnižší doporučené pro vstřikování POM, je výhodnější z hlediska výsledné kvality výstřiku zvyšovat teplotu temperace ve spodní části nástroje. To ale přináší nežádoucí efekt, který se projevuje delším vstřikovacím cyklem a nižší ekonomičností výroby.

Další významný faktor, který snižuje prohnutí výstřiku je změna působení doby dotlaku. Při současném způsobu výroby je podle simulačního výpočtu fáze dotlaku ukončena zhruba 10 vteřin před zatuhnutím taveniny v ústí vtoku. Pokud se prodlouží doba dotlaku, bude chybějící tavenina plastu při tuhnutí dodávána do nosné části výstřiku, což se projeví menším smrštěním a tím se ve výsledku plastový díl méně prohne. Delší dotlak stejně jako vyšší teplota temperace ve spodní části nástroje způsobuje prodlužování celého cyklu a zvyšování energetické náročnosti výroby.

Souhrnně lze říci, že pro zlepšení rovinnosti se doporučuje zvýšit dotlak, zesílit vyztužující žebra a zvýšit teplotu temperace na spodní straně výstřiku.

Deformace a kolmost vývodů paliva

Tato problematika úzce souvisí s prohýbáním nosné části výstřiku, neboť naklánění roviny, ze které oba palivové vývody vystupují, způsobuje natočení těchto částí výstřiku a tím není dodržena výška obou os náustků. Tzn., že dílčí úpravy související s menším prohýbáním nosné části mají stejný vliv i na konečnou deformaci palivových vývodů.

Částečně lze deformaci také ovlivnit změnou tloušťky stěny, ze které vychází náustek vývodu a tloušťkou žebra, nacházejícího se na opačné straně palivového vývodu. Zeslabením stěny a zvětšením žebra se částečně přesune hromadění materiálu plastu směrem k vyztužujícímu žeburu. Tím se dosáhne pozdějšího tuhnutí taveniny v tomto místě a vlivem smrštění je pak palivový vývod stahován opačným směrem oproti jeho současné deformaci a zkroucení.

Dalším zlepšujícím vlivem je delší působení dotlaku. Obecně jsou oba palivové vývody tvořeny tlustými stěnami výstřiku, kde vzniká velké smrštění a propadliny vlivem nedostatečného dotlaku. To má za následek vzniku vnitřního pnutí, které výstřik deformuje.

Jiný způsob temperace má vliv hlavně na prohnutí výstřiku než na deformaci těchto částí. Deformaci by mohl ovlivnit takový způsob temperace, kdy by se hodně zvýšila teplota média v trubičce a v horní části nástroje pro dosažení pomalého a rovnoměrného tuhnutí plastu. Tato skutečnost by ale měla negativní vliv na prohýbání nosné části výstřiku a výrazně by prodlužovala celý cyklus vstřikování.

Kruhovitost a průměr obvodové části

Na začátku praktické části byl odsimulován současný stav výroby podle parametrů, které jsou při výrobě nastaveny. Pro porovnání výsledků simulace a rozměrů naměřených na skutečném výstřiku byly odměřeny i deformace a velikosti smrštění na obvodu těsnicí části výstřiku kruhového žebra. V tomto případě se dokonce rozměry těsnicí části shodovaly s realitou a jejich hodnoty se vešly do tolerancí stanovených odběratelem.

V dalších simulacích už tento rozměr nebyl kontrolován, protože se špatně a nepřesně zjišťuje a jeho změny se porovnávají pouze podle diferencí s první simulací. Změny v deformaci u uvedených úprav technologických a konstrukčních

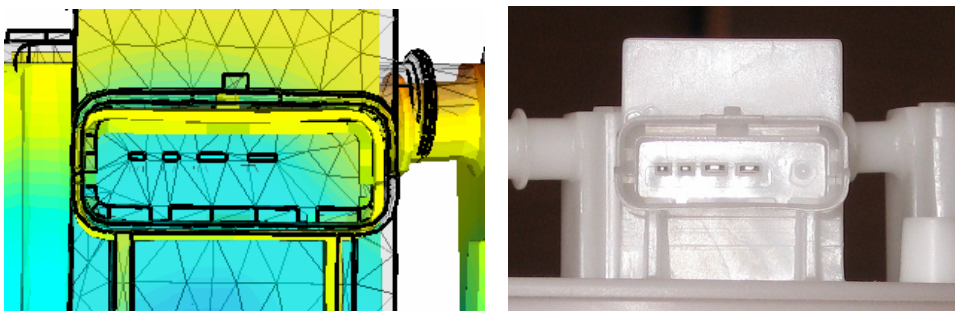
parametrů téměř nenastávají a vzhledem k poměrně malému rozptylu hodnot rovinnosti nosné části není ani tvar této partie výstřiku tvarově a rozměrově deformován.

Z hlediska ovality se posuzuje míra velikosti smrštění po celém obvodu a snahou je docílit konstantní hodnoty. Ta je u všech výpočtů poměrně dodržena, stejně jako zvýšené smrštění v oblastech větších tloušťek materiálu. Jsou to zejména místa okolo upevňovacích výstupků. To je jednou z nevýhod konstrukce výstřiku a upevňovací výstupky by měly mít z tohoto důvodu mezi sebou a kruhovým žebrem určitou mezeru, aby byla po celém obvodu žebra zajištěna konstantní tloušťka materiálu.

Deformace tvaru zásuvky

Zásuvka se výrazněji deformuje hlavně v její okrajové části, která je tvořena zeslabenou stěnou. Na výstřiku odpovídají naměřené rozměry hodnotám požadovaným od odběratele, ale výsledky simulace vykazují větší deformaci, než jaká ve skutečnosti nastane.

Podle všech uvedených simulací umístění vtokového ústí na výstřik je zřejmé, že elektrická zásuvka je partie výstřiku, která je plněna vždy až v poslední fázi. Proto je plněna za podmínek nízké teploty taveniny a velkých tlakových ztrát. Teplota taveniny je dále ovlivněna kovovými elektrickými kontakty, které se do nástroje zakládají pomocí přípravku a mají nižší teplotu než je teplota nástroje. Zakládací přípravek má také nižší teplotu a způsobuje rychlé ochlazení taveniny plastu a zařizování jeho tvaru v dutině nástroje. Tento jev nelze do procesu simulace vložit a proto výsledky simulace ukazují více zdeformovaný tvar zásuvky, než jak je tomu u skutečného výstřiku. Pro porovnání se skutečností je uveden následující obr. 4.1.



Obr. 4.1: Detail deformace zásuvky podle simulace a skutečnosti

Všechny simulace provedených úprav na výstřiku vykazovaly stejnou deformaci elektrické zásuvky. Pro odstranění tohoto nežádoucího jevu by bylo nutné provést konstrukční úpravy výstřiku, např. přidáním vyztužujících žeborů pro zabránění deformace slabého okraje.

Deformace praporků

Některé výstřiky vykazují deformaci oddělovacích praporků elektrických kontaktů. Při simulaci nebyla v tomto místě vyhodnocena mimořádná deformace kromě smrštění. Při analýze plnění dutiny ovšem simulace vyhodnocovala toto místo jako pravděpodobný výskyt problémů při vstřikování. Toto místo dutiny nástroje je podobně jako elektrická zásuvka plněno v poslední fázi a taveninou o nízké teplotě a

tudíž vysoké viskozitě. Oddělovací praporky jsou poměrně slabé a proto zde vzniká možnost problémů.

Nabízejí se tři řešení, a to vyšší teplota taveniny, teplota nástroje nebo zesílení tloušťky stěny. Vyšší teplota taveniny ale způsobuje větší smrštění v ostatních částech výstřiku a vyšší teplota temperace nemá na teplotu taveniny v okamžiku plnění výrazný vliv. Jedinou přijatelnou možností je zesílení tloušťky stěny. Byla provedena simulace se zesílením o 50 % a hned přinesla pozitivní výsledky. Možné místo vzniku problémů je naprosto minimální a tato úprava stačí k vyřešení tohoto problému.

5 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá optimalizací technologických a konstrukčních parametrů vstřikování plastového dílu, který je součástí palivového modulu čerpadla. V teoretické části je popsána metoda výpočtu v software Cadmould, který byl na vypracování této práce použit a s jehož pomocí lze optimalizaci provádět jednoduše s použitím počítače a ne přímo ve výrobním procesu. Dále jsou v teoretické části diplomové práce stručně charakterizovány plasty z hlediska rozdělení a jejich chování a vlastností v závislosti na teplotě. Podrobněji je zde popsána technologie zpracování plastů vstřikováním, včetně zásad návrhu a konstrukce jak samotného výstřiku, tak i vstřikovacího nástroje.

Přestože se uvedený výrobek již nějakou dobu vyrábí, vyskytují se na něm uvedené a řešené problémy, které jsou dány konstrukcí výstřiku i nástroje. Z tohoto hlediska je optimalizace navrhována vzhledem ke skutečnosti, že vstřikovací nástroj je vyroben a nebude se předělávat. Konstrukční úpravy výstřiku a tudíž i nástroje jsou proto aplikovány pouze s ohledem na drobné konstrukční úpravy formy, které jsou na stávajícím nástroji proveditelné a současně nemají výrazný vliv na konstrukci a funkčnost výstřiku. Z tohoto důvodu jsou na výstřiku prováděny úpravy ve formě změn technologických parametrů vstřikování a změn tloušťek stávajících stěn a vyztužujících žeber, a ne např. dalším přidáváním vyztužujících prvků na model výstřiku.

Optimalizace technologie a konstrukce výstřiku spočívala v odsimulování současného stavu výroby podle technologických parametrů zjištěných z průvodky výstřiku a porovnání výsledků se skutečným výrobkem pro stanovení vyjádření, kterým se dá zhodnotit míra přesnosti výpočtu a aplikace na výrobu v praxi. Dále byly prováděny výpočty s jiným nastavením parametrů a to až na některé výjimky vždy s podmínkou, že byl změněn pouze jeden parametr a byl vyhodnocován jeho vliv na celkové deformace výstřiku a sledovanou problematiku. Tímto způsobem byly provedeny všechny uvedené změny jak technologických, tak i konstrukčních parametrů. Jejich vzájemné různé kombinace nebyly prováděny, protože by se nemusel tímto způsobem zjistit řádný vliv konkrétního parametru na kvalitu výstřiku a vznikalo by takto neúměrné množství variant nastavení. Tím by se celý proces jednak časově výrazně prodloužil, a jednak by se komplikovalo vyhodnocování výsledků, které by se takto staly poměrně nepřehlednými.

Konkrétní změny technologických parametrů a konstrukčních změn výstřiku jsou postupně navrženy a vyhodnoceny v praktické části této práce. Výsledky jsou uvedeny s ohledem na přínos kladných a žádoucích změn, a jejich vliv na celkovou deformaci výstřiku včetně negativních výsledků je stručně uveden v příložených tabulkách.

Všechny úpravy jakýchkoliv parametrů, které vedou ke zlepšení celkové deformace a zkroucení výstřiku, nebo vedou pouze k dílčím pozitivním vlivům na konkrétní řešenou problematiku, jsou stručně vypsány v části souhrnu optimalizovaných parametrů.

Na závěr všech simulací byl proveden experimentální výpočet s nastavením všech parametrů podle takových hodnot, které zlepšily celkový stav výstřiku, ale i drobných vylepšení. Tímto bylo sledováno, zda lze na uvedené a jednotlivé pozitivní výsledky aplikovat metodu superpozice dílčích zlepšení. Z uvedených výsledků je ale zřejmé, že tomu tak není a celkové zlepšení je pouze částečné. Každý parametr má na určitou oblast nějaký vliv a současně má vliv i na jiné související parametry, tzn. že kladná změna jednoho parametru nemusí mít pozitivní vliv v aplikaci s jiným

parametrem na celkový výsledek. Souhrnně lze říci, že výsledek experimentálního výpočtu přinesl spíše převažující kladné změny na stavu a chování výstřiku po ztuhnutí a zchlazení.

Na závěr této práce je nutné poznamenat, že uvedené návrhy přinesly zlepšující, ale i negativní efekty při simulaci výroby tohoto dílu a je možné je aplikovat při samotné výrobě. Výsledky práce jsou samozřejmě k dispozici pro výrobce – firmu HPQ Plast s.r.o. a mohou být použity v praxi. Samotný výpočet a hlavně jeho číselné výsledky sice zcela přesně neodpovídají skutečnému stavu, ale v mnoha ohledech se v podstatě shodují. Tento rozdíl je způsoben faktem, že nelze úplně přesně pomocí počítačové simulace definovat reálné podmínky provozu a tato nepřesnost zadání se projeví i určitou diferencí mezi výsledky simulace a skutečnou výrobou. Při návrhu konstrukce výstřiků i nástrojů a jejich optimalizaci je ale software Cadmould neocenitelným a nezbytným pomocníkem při hledání optimální varianty způsobu výroby plastových výrobků.

Seznam použité literatury:

- [1] Internetové stránky: www.cadmould.cz, duben 2006.
- [2] Internetové stránky: www.simcon-worldwide.com, září 2005.
- [3] Ausperger, A.: Využití simulačního programu pro minimalizaci deformací vstříkovaného dílu. In Plasty – konstrukční materiály. Sborník přednášek ze 4. Mezinárodní konference, 10. – 11. března 2005. Praha : plast form service s.r.o. ISSN 1213-2640
- [4] Kazda, I.: Numerické modelování metodou konečných prvků. Doplňkové skriptum. Praha : ČVUT v Praze, 1995. ISBN 80-01-01321-9.
- [5] Lenfeld, P.: Zvyšování kvality plastových dílů pomocí měření a simulace. Habilitační práce. Liberec : TU v Liberci, 2000.
- [6] Krebs, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů. Liberec : TU v Liberci, 2001. 25 s. ISBN 80-7083-449-8.
- [7] Sova, M.; Krebs, J.; a kol.: Termoplasty v praxi – svazek 1 a 2. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [8] Štěpek, J.; Zelinger, J.; Kuta, A.: Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Praha . SNTL, 1989, ISSN – 04-602-89.
- [9] Šafařík, M.: Nástroje pro tváření kovů a plastů I. Liberec : VŠST v Liberci, 1987, ISSN 55-823-86.
- [10] Internetové stránky www.vslib.ksp.cz, březen 2006.
- [11] Studijní materiály z předmětu Navrhování výrobků z plastů.
- [12] Neuhäusl, E.: Problematika vnitřního pnutí výstřiků z termoplastů. In Plasty – konstrukční materiály. Sborník přednášek ze 4. Mezinárodní konference, 10. – 11. března 2005. Praha : plast form service s.r.o. ISSN 1213-2640.
- [13] Internetové stránky www.campusplastics.com, březen 2006.
- [14] Simcon GmbH: Cadmould – User's manual.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum
26. 5. 2006

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date
26. 5. 2006

Signature