

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B 2341 - Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

**Analýza procesních parametrů dílu palubní desky vozu Škoda
Roomster**

**Analysis of process parameters of dashboard's car part of Skoda
Roomster**

Ondřej Wasserbauer
KSP – TP – B 18

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld – *TU v Liberci*
Konzultant bakalářské práce: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	57
Počet tabulek	4
Počet příloh	3
Počet obrázků	50

Datum: 26.05.2006

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B 2341 – Strojírenství

Student: Ondřej Wasserbauer

Téma práce: Analýza procesních parametrů dílu palubní desky vozu Škoda Roomster

Analysis of process parameters of dashboard's car part of Skoda Roomster

Číslo BP: KSP – TP – B 18

Vedoucí BP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Konzultant: Ing. Ing. Luboš Běhálek

Abstrakt: Tato práce se zaměřuje na popis předvýrobní a výrobní etapy polymerních dílů vyráběných technologií vstřikování a provedení studie tečení, dotlaku a rozměrové způsobilosti vyráběného dílu, střední díl konzole palubní desky 1DIN vozu Škoda Roomster, včetně analýzy vad výstřiku.

Abstract: This work is aiming to describe the pre-productional and productional period of polymer parts manufactured by injection technology and implementation of study of leak, pressure and measurement fitness of produced part, middle part cantilever of dashboard 1DIN of Skoda Roomster, including analysis of imperfection on injected part.

Místopřísežné prohlášení:

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

V Liberci, 26. května 2006

.....
Ondřej Wasserbauer
Vodárenská 207
Mladá Boleslav – Čejetice 293 01

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především panu Miroslavu Machovi, Davidu Vlčkovi, Ericu Florinovi, Ing. Luboši Běhálkovi a všem, kteří přispěli byť dobrou radou.



Obsah

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů

1	Úvod	8
2	Teoretická část	10
2.1	Výroba plastových dílů	10
2.2	Předvýrobní etapa.....	10
2.2.1	Zadání a zpracování dokumentace	11
2.2.2	3D modelování a numerická simulace dílu	11
2.2.3	Prototypy výrobku.....	14
2.2.4	Formy.....	16
2.3	Výroba dílů – princip vstřikování plastů	17
2.3.1	Nastavení procesních parametrů.....	18
2.3.2	Kontrola vyráběných dílů	19
2.3.3	Stabilita procesu, resp. způsobilost stroje a dílu	20
3	Praktická část	23
3.1	Experimentální díl a vstřikovací forma.....	23
3.2	Volba procesních parametrů	25
3.2.1	Studie tečení	26
3.2.2	Dotlaková studie.....	31
3.2.3	Rozměrová způsobilost	36
3.2.4	Studený spoj do „V“ versus do „Y“	44
4	Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze	47
4.1	Vady.....	48
4.1.1	Nedolitý výrobek.....	48
4.1.2	Propadliny	48
4.1.3	Studené spoje	48
4.1.4	Vzhledové šmouhy	49
4.1.5	Diesel efekt	49
4.1.6	Rozměrová způsobilost	49
5	Závěr	50
6	Použitá literatura	51

Přílohy



Seznam použitých zkratk a symbolů

CAD	počítačem podporovaná konstrukce
CAM	počítačem podporovaná výroba
CAE	aplikace simulačních programů
1DIN	první varianta tvarového řešení středního dílu palubní desky vozu Škoda Roomster
2DIN	druhá varianta tvarového řešení středního dílu palubní desky vozu Škoda Roomster
1DIN LL	první varianta tvarového řešení středního dílu palubní desky vozu Škoda Roomster pro levostranné řízení
1DIN RL	první varianta tvarového řešení středního dílu palubní desky vozu Škoda Roomster pro pravostranné řízení
2DIN LL	druhá varianta tvarového řešení středního dílu palubní desky vozu Škoda Roomster pro levostranné řízení
2DIN RL	druhá varianta tvarového řešení středního dílu palubní desky vozu Škoda Roomster pro pravostranné řízení

1 Úvod [1], [2]

Z obecně známých časových závislostí vývoje materiálového trhu vyplývá, že zhruba od sedmdesátých let minulého století se výrazně prosazují i další, nové typy materiálů, a to na bázi polymerů, keramiky a uhlíku, včetně kompozitů. Tento trend byl iniciován zejména prudkým rozvojem dopravní techniky, především letecké. Ve všech případech se jedná o materiály s podstatně menší měrnou hmotností, než mají kovy. Nejrychlejší trend rozvoje vykazují polymerní materiály, a to vzhledem ke svým šířeji uplatnitelným, snadnějším a produktivnějším technologiím výroby a zpracování.

Polymery se staly rovnocenným a nepostradatelným konstrukčním materiálem dnešní doby. Nacházejí uplatnění snad ve všech oblastech lidské činnosti díky jejich nezaměnitelným specifickým mechanickým, fyzikálním a chemickým vlastnostem, dále pak ceně materiálu i ceně výrobních technologií, u některých druhů i vysoké odolnosti proti agresivním prostředím a nakonec i vlivu na životní prostředí spojené s odpady, jejich recyklací nebo likvidací. Nelze opomenout velmi dobré elektroizolační, dielektrické a tepelně izolační vlastnosti. V současné době se připravují plasty podle předem definovaných požadavků na vlastnosti, což vede k rychlému zvyšování objemu a kvality výroby.

Průmysl plastů, pryže a kompozitů, jak již bylo naznačeno, patří k nejdynamičtěji rostoucím odvětvím současnosti. Světová výroba plastů se za posledních patnáct let zdvojnásobila a do roku 2010 se předpokládá její meziroční růst o 5 %. Ještě vyšší nárůst je očekáván v zemích střední a východní Evropy, kde se otevírá řada nových odbytových příležitostí v oblasti balení, v automobilovém průmyslu, ve stavebnictví, ve strojírenství i v elektrotechnice. Permanentní vývoj nových materiálů a zdokonalování jejich užitných vlastností současně rozšiřuje možnosti jejich uplatnění, takže v letech 2003 až 2010 by průměrná světová spotřeba plastů na obyvatele měla vzrůst z 28 na 37 kilogramů.

Z „boomu“ úspěšně těží český plastikářský průmysl. Počet firem zpracovávajících plasty stále roste. Přes určité zpomalení světového plastikářského průmyslu, se tato skutečnost českého plastikářského průmyslu prozatím nedotkla. Český plastikářský průmysl se opírá o dlouhou tradici a poměrně širokou základnu odborníků, takže uspokojí i náročné odběratele v automobilovém průmyslu, elektrotechnickém průmyslu apod. Výrobci investují do speciálních výrobních technologií jako jsou vícekomponentní vstřikování, vstřikování dutých dílů s podporou plynu nebo vody, vstřikování do pootevřené formy, strukturních pěn aj. S růstem produkce na českém trhu stoupá poptávka po strojích a zařízeních pro zpracování plastů, pryže i kompozitů.

Akční rádius ve strojním inženýrství se pro plasty neustále zvětšuje a záleží pouze na znalostech a schopnostech techniků a inženýrů, jak některé jedinečné vlastnosti polymerů vhodně využít a současně zachovat příznivé ekonomické ukazatele.

Stále rostoucí požadavky na kvalitu a rozměrovou přesnost plastových výrobků vedou konstruktéry ke stále progresivnějšímu a ekologičtějšímu přístupu při projektování. Neocenitelným pomocníkem tvůrců nových výrobků a nástrojů jsou CAD/CAM/CAE počítačové programy. Designéři plastových dílců mohou pro tvorbu a finální hodnocení navrhovaných součástí účinně využít designérské konstrukční (počítačové) programy, vytvořené zkušenými odborníky.

Kromě vlastních materiálových charakteristik je pro zlepšování mechanických vlastností důležitý i technologický proces. Jednou z cest, jak ovlivňovat mechanické vlastnosti, je nejen správná volba technologických parametrů, způsob řešení temperačního (chladicího), vyhazovacího a vtokového systému, ale také efektivnější využití orientace makromolekul. Jako velmi perspektivní se například jeví způsob řízené orientace v dutině vstřikovací formy.

Bakalářská práce byla vypracována ve spolupráci s firmou Faurecia interiéry vozidel – Mladá Boleslav se sídlem v Plazích, která se zaměřuje na výrobu a případnou montáž dílů pro interiéry automobilů (palubní desky, výplně dveří, obložení sloupků, prahů atd.) pro divizi VW (Volkswagen–Group). Jedná se o vozy Škoda Fabia, Octavia, Audi A6, Q7, VW Polo a Touareg. Kromě dílů pro tyto vozy se v Mladé Boleslavi produkují ještě díly pro vozy mimo koncern VW: Opel Agila/Suzuki Wagon R+ (výplně bočních a zadních dveří) a palubní deska pro model BMW Z1. Výroba probíhá na tříadvaceti vstřikovacích lisech s uzavírací silou od 350 tun do 3500 tun na strojích Krauss Maffei, Engel a ItalTech. Provoz továrny byl zahájen v roce 1995 a počet jejich zaměstnanců čítá 670 lidí.

Hlavní výrobní operace, které se zde provádí, jsou vstřikování a svařování plastů, pěnování, montáž, aj.

Úkolem této bakalářské práce bylo nastavit a zhodnotit procesní parametry zvolený plastový díl - střední konzole nového modelu vozu Škoda Roomster. Jedná se o díl vyráběný technologií vstřikování do uzavřené dvoudílné temperované formy s horkým vtokem. Dále popsat a analyzovat vady vyskytující se při vstřikování včetně jejich příčin, které se v průběhu fáze nastavování parametrů objevily.

2 Teoretická část

Teoretická část je rozdělena do tří kapitol. První kapitola popisuje ve stručnosti, čím vším je provázána výroba plastových dílů obecně. Následující kapitoly pojednávají o jednotlivých předvýrobních a výrobních etapách, počínaje zadáním dokumentace, až po výrobu forem. Popisují technologii vstřikování a význam nastavení procesních parametrů včetně průběhu kontroly vyráběných dílů. Na závěr je uvedeno shrnutí teoretické části.

2.1 Výroba plastových dílů

Nové druhy plastů a vědecko-technický rozvoj otevírají stále nové možnosti využití plastů ve všech oblastech lidské činnosti. S tímto souvisí rovněž vývoj technologických procesů zpracovávající polymerní materiály, procesů jichž existuje celá řada. Jednou z nejrozšířenějších technologií výroby plastových dílů je především technologie vstřikování termoplastů. Vzhledem k zaměření bakalářské práce jsou také následující kapitoly popisovány ve vztahu k této technologii. Technologický proces výroby plastových dílů lze rozdělit do několika etap:

- zadání a zpracování výchozí dokumentace plastového dílu
- 3D modelování dílu v digitální podobě
- zhotovení prototypu a modelu v reálné podobě
- zpracování technického řešení, konstrukce, dokumentace forem a vlastní výroba forem
- výroba plastového dílu

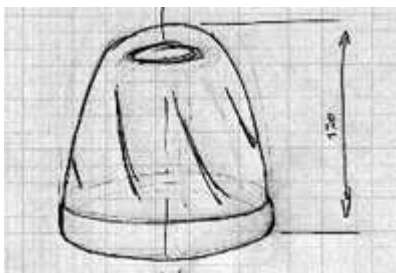
Jednotlivé etapy procesu, od zadání dokumentace až po kontrolu dílů, jsou popsány samostatně v následujících kapitolách, včetně základního principu technologie vstřikování. Samotné fázi nastavení a optimalizaci procesních parametrů je věnována celá experimentální část bakalářské práce.

2.2 Předvýrobní etapa

Ve fázi předvýrobní etapy se řeší základní parametry budoucí výroby na podkladě vstupů. Obecně je předvýrobní etapa rozdělena do několika postupných kroků následujícím způsobem: zadání a výchozí dokumentace, 3D modelování v digitální podobě, prototypy a modely v reálné podobě a technické řešení forem.

2.2.1 Zadání a zpracování dokumentace [3]

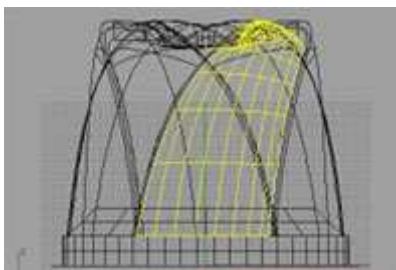
Specifikace budoucího plastového výrobku je výchozím bodem pro celou předvýrobní



Obr. 2.1: Skica navrhovaného dílce

etapu. Při zadání je předložena jednoduchá koncepce (viz obr. 2.1) nebo výkres, kde se specifikuje přibližný tvar, funkce a provozní podmínky budoucího plastového dílu. Na základě tohoto zadání je připraveno několik variant tvarového řešení i designu budoucího výrobku. V této fázi se dořeší jeho předběžná podoba, většinou pouze formou náčrtů a schémat. Po upřesnění a dopracování konečné varianty se přistupuje ke zpracování dokumentace v digitální podobě, která umožní reálný náhled na skutečnou podobu a slouží zároveň jako vstupní data pro další postup.

V počítači se stanoví přesné tvary a rozměry budoucího výrobku (viz obr. 2.2) a určí

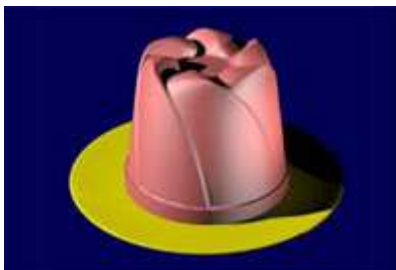


Obr. 2.2: Počítačový výkres

se i materiál (dle funkčnosti výrobku, požadovaných fyzikálních, mechanických, tepelných, reologických a jiných vlastností, apod.). V této fázi se také posuzuje, jakou technologii by bylo nejvhodnější použít pro výrobu plastového dílu.

2.2.2 3D modelování a numerická simulace dílu [2], [3]

3D modelování budoucích výrobků probíhá v digitální podobě (na počítači) a vychází



Obr. 2.3: Počítačový 3D model výrobku

z náčrtů, výkresů a podkladů předem dohodnutých. Takto zpracovaný model (viz obr. 2.3) umožňuje reálný náhled na budoucí výrobek v prostorové podobě, včetně řezů, barev a simulace druhů materiálů a také velmi zrychluje předvýrobní i výrobní fázi.

Numerická simulace procesu výroby je v dnešní době široce rozšířena a používána jako počítačová podpora vývojových, konstrukčních a výrobních procesů při návrhu nových dílů a optimalizaci parametrů stávající výroby.

Simulace zahrnuje jednoduché, rychlé a levné modelování dílů, v našem případě dílců vyráběných vstřikováním termoplastů. Umožňuje vytváření temperačních a vtokových soustav s přesně definovanými průřezy jednotlivých částí. Řešit lze rovněž i vícenásobné

formy a posoudit tak vhodnost použité vtokové soustavy, provádět pevnostní výpočty, analýzy tečení, chlazení a deformace výrobku, správu dokumentů, atd. Při modelování procesu vstřikování je z technologického hlediska věnována pozornost především právě výše zmiňovaným analýzám plnění, chlazení a deformace výrobku.

Kontrola fáze **plnění** se provádí, aby se zjistilo, zda je forma plněna plastem rovnoměrně, zda nedochází k přehřátí taveniny a jaké je rozložení tlaku. Pro simulaci je nutno znát materiálové hodnoty a parametry simulující chod stroje. Práce stroje je zde zastoupena hodnotami a funkcemi vstřikovací rychlosti a vstřikovacího tlaku. Časovou závislostí těchto veličin lze napodobit chování stroje při skutečných podmínkách. Simulace plnění je výchozí částí pro další uvedené analýzy.

O simulaci plnění fáze je možno tedy říci, že slouží hlavně pro optimalizaci umístění vtokového ústí s ohledem na snadné zaplnění tvarové dutiny a na minimalizaci teplotních a tlakových ztrát. Dále pro dimenzování velikosti vtokového ústí z hlediska limitní smykové rychlosti vstřikování taveniny plastu a pro dimenzování vtokových kanálů, které zabezpečují rovnoměrné zaplňování všech tvarových dutin vstřikovací formy. Slouží též pro stanovení souvislostí mezi tvarem výrobku, materiálem a technologickými podmínkami vstřikování. Při této analýze je možno sledovat vznik vzhledových vad, jako např. studených spojů, propadů, zamezení vnitřních defektů a míst s degradovaným materiálem.

Chlazení (temperace) je další krok v analýze procesu vstřikování. Chlazení je nejdelší fází výrobního cyklu a má tedy důležitou návaznost na produktivitu výroby a na kvalitu navrhovaného výrobku. Pro obdržení přesných výsledků je třeba vytvořit chladicí okruhy konstruované na reálném modelu formy a také vybrat všechny parametry odpovídající daným okruhům. Při navrhování chladicích obvodů je nezbytné vzít v úvahu celkovou konstrukci nástroje. Je nutné specifikovat parametry chlazení: způsob chlazení, typ chlazení, typ chladicího média, teplotu chladicího média vstupujícího do chladicího obvodu, tepelnou vodivost formy, teplotu vyhození výstřiku a další.

Simulace fáze chlazení výrobku rozhoduje o umístění temperačního prostředku, nejčastěji temperačních kanálů formy, které respektuje stěžejní požadavek na rychlý (z ekonomického hlediska) a rovnoměrný (z technologického hlediska) odvod tepla z taveniny výstřiku po celém tvaru dílce, čímž se zabrání předčasnému tuhnutí taveniny plastu v nevhodných místech a vzniku tvarových a rozměrových vad výstřiku.

Simulace **deformací a zbytkových pnutí** slouží pro odhalení nepřipustných tvarových změn, způsobených chybnou technologií výroby, špatnou konstrukcí vstřikovací formy nebo nevhodným tvarem výrobku. Tato fáze slouží jako konečná forma kontroly vstřikované součásti a pomáhá nám předpovědět její výsledné užité vlastnosti.

Řešení fáze deformace počítá s výsledky obou předchozích částí. Tím dochází k zavedení všech technologických parametrů do výpočtu. Výsledkem celého simulačního cyklu je vztah mezi tvarem dílce, konstrukcí formy a optimálními technologickými parametry vstřikování pro dosažení očekávaných mechanických vlastností a minimální tvarové deformace výstřiku.

Simulace umožňuje tedy provádět všechny práce, se kterými se může setkat konstruktér či strojní projektant, ale hodí se i k úkolům designérským či analytickým. Konstruktérům, designérům a technologům dokáže velmi rychle a spolehlivě odpovědět na následující otázky:

- Je design plastového dílce navržen správně?
- Kam umístit vtokovou soustavu, její ústí?
- Kolik vtoků je potřeba použít?
- Kde vzniknou studené spoje?
- Jaký bude vstřikovací tlak?
- Jaká bude doba chlazení dílce?
- Jaká bude potřebná uzavírací síla stroje?
- Jaká musí být minimální tloušťka stěny dílu?

Tyto výsledky jej informují o případných dalších nutných změnách, které je nutno provést v konstrukci výrobku, formy, návrhu procesu za účelem optimalizace všech faktorů souvisejících s předvýrobními a výrobními náklady a podmínkami výroby.

Pokud se jedná o součásti jiné sestavy nebo funkční díly, je možné provést také simulaci pohybu a vyhodnocení případných kolizí s jinými díly.

Zaformování plastových dílů a konstrukce forem se řeší také v digitální podobě, včetně pohyblivých částí a konfliktu tvarů, vyhodnocení úkosů, chlazení formy atd. Tímto způsobem je možné chyby v konstrukci jak výrobků, tak nástrojů omezit na minimum a jsou eliminovány hned v počátku.

Součástí nabídky simulačních programů může být i analýza fyzikálních vlastností (hmotnosti, momentů setrvačnosti, polohy těžiště apod.) a také stanovení důsledků pevnostního namáhání. Vzhledem k tomu, že výsledky simulačních programů vykazují s velikou mírou spolehlivosti značnou věrnost výsledků, včetně volby pozadí, osvětlení, stínů a dalších podrobností, je možné už v této fázi stanovit konečné řešení výroby forem.

Mínění a předsudky, že analýzy jsou drahé a zaberou mnoho času, již neplatí. Otázka by nyní měla znít takto: „Kdo si může dovolit takovou analýzu neprovádět a nabízet nižší kvalitu plastových dílců, prodlužovat dokončení vstřikovací formy četnými opravami nebo nepoužívat optimální výrobní cyklus a prodražovat tak jejich výrobu?“

2.2.3 Prototypy výrobku [3], [4]

U výrobků náročných na funkci, vzhled nebo ergonomii lze zhotovovat model budoucího výrobku před jeho vlastní výrobou (viz obr. 2.4) a to některou z vhodných metod systému Rapid Prototyping.



Obr. 2.4: Prototypový model výrobku

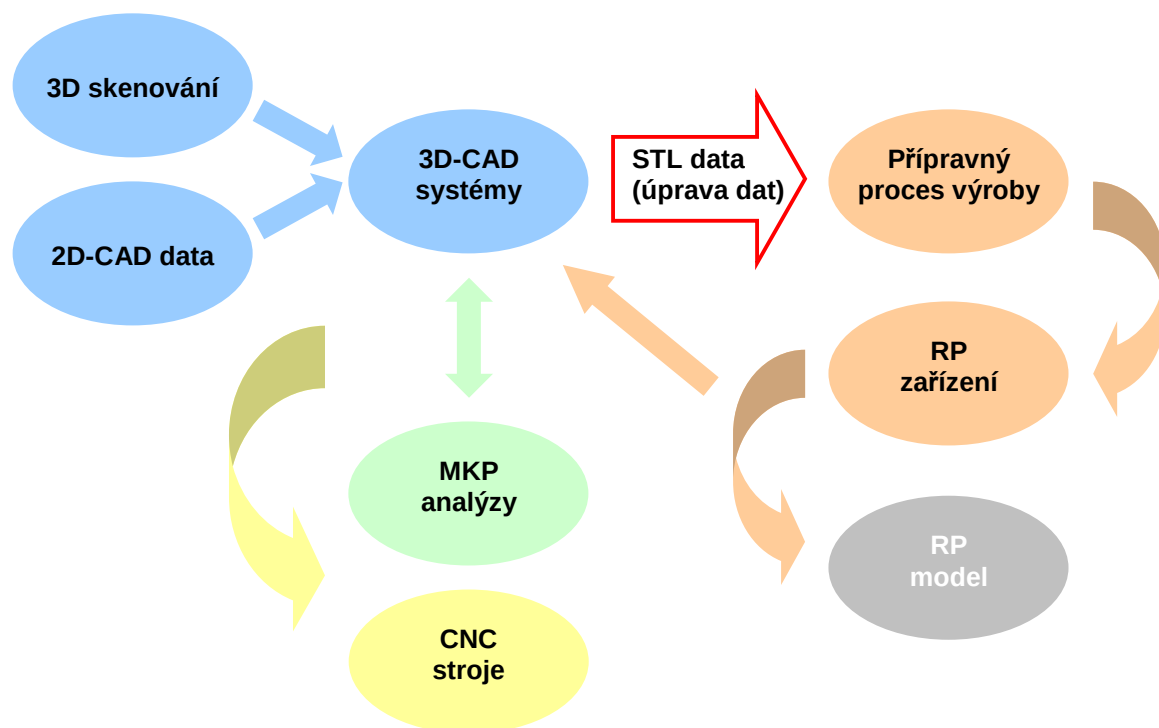
Rapid Prototyping, dále jen RP, je moderní technologie, která umožňuje rychlou výrobu modelů, vzorků a prototypových dílů z 3D CAD modelů nebo z 3D skenovaných dat, získaných prostorovou digitalizací, bez použití forem a nástrojů. Na obr. 2.5 je znázorněno schéma procesu tvorby takového modelu. V současnosti pak tvorba modelů a prototypů (prezenčních i funkčních) směřuje především do oblasti výroby forem a nástrojů. Na rozdíl od konvenčních metod obrábění, u kterých je tvar součásti vytvářen postupným odebíráním materiálu, je u metod RP tvar součásti získáván postupným přidáváním materiálu po vrstvách. Jednotlivé technologie RP se výrazně liší podle charakteru, jakým způsobem se vytvářejí jednotlivé vrstvy (viz tab. 2.1). Přesnost výrobního systému je dána především tloušťkou jednotlivých vrstev a přesností výroby 2D tvaru jednotlivých vrstev. Pomocí RP je možné vyrobit ve velmi krátké době jednoduché, ale také tvarově složité součásti např.: s dutými vnitřními prostory, šikmými a vodorovnými spodními stěnami, žebry apod.

Od začátku vývoje RP se prosadilo několik technologií, které pracují na principu modelování pomocí postupného přidávání nebo vytvrzování vrstev materiálu. Rozdělení technologií, které jsou souhrnně označovány termínem Rapid Prototyping, podle výchozího materiálu je uvedeno rovněž v tab. 2.1. Vedle výchozího stavu materiálu a fyzikálního principu jsou zde pro jednotlivé metody uvedeny také používané materiály.

Zvolená technologie výroby modelu určuje, jestli se bude jednat pouze o model, který je reálný, ale nemá fyzikální vlastnosti skutečného výrobku, nebo se vyrobí skutečná replika se všemi parametry budoucího produktu.

RP se vyvíjí již od osmdesátých let, kdy vznikla metoda stereolitografie. Za posledních deset let tato oblast prošla mohutným vývojem a v současné době se tyto systémy staly zcela neodmyslitelnou součástí mnoha vývojových pracovišť. Velké úsilí je věnováno zdokonalení softwarových i hardwarových technologií, které by umožnily provádět celý vývojový proces výrobku na digitálním modelu přímo v CAD systému (vizualizace, rendrování, virtuální realita, MKP, dynamické analýzy atd.). Ukazuje se ovšem, že potřebou současných designérů a konstruktérů je pracovat spíše s modelem fyzickým, u kterého se dá snadněji měnit design, odstraňovat případné chyby, kontrolovat smontovatelnost, opravitelnost, ergonomii nebo provádět funkční zkoušky, či simulace, čímž se podstatně

zvyšuje kvalita výrobků, protože konstruktér má okamžitou kontrolu fyzického modelu přesně tak, jak byl navržen. Ihned je také možná kontrola funkce a rozměrů v dané sestavě prototypu. Konstrukční a vývojová pracoviště vybavená CAD systémy pro objemové a povrchové modelování jsou právě díky této technologii schopna výrazně zkrátit čas potřebný pro vývoj nových výrobků a jejich uvedení do výroby a hlavně snížit celkové náklady na jejich vývoj. Z těchto důvodů je velmi výhodné zařadit RP do vývojového řetězce. Známa je také skutečnost, že konstrukční změna provedená v prvních fázích vývoje nového výrobku stojí o několik řádů méně, než změna provedená již ve fázi výroby přípravků a forem.



Obr. 2.5: Schéma procesu tvorby modelu [4]

Přednosti RP se využívají nejen v automobilovém, leteckém a elektrotechnickém průmyslu, ale i ve výrobě spotřebního zboží. Tento postup, využívající výrobu modelů systémem RP, současně dává také možnost otestovat reakci trhu na připravovaný výrobek. Odpadá tak riziko marketingového neúspěchu, z důvodů vzhledu, dodatečného odhalení funkčních vad, až po zahájení sériové výroby, kdy jsou do formy investovány řádově stovky tisíc a jsou zhotoveny velké série plastových výrobků, apod.

Tab. 2.1: Přehled metod RP [4]

Výchozí stav materiálu	Metoda - označení	Fyzikální princip	Použitý materiál
Kapalný	stereolitografie - STL	Po částech (laserový paprsek)	Pryskyřice (epoxidová, akrylátová)
	Solid Ground Curing - SGC	Plošně (UV-světlo)	Polymer, vosk
Práškový	Selective Laser Sintering - SLS	Spékání laserovým paprskem	Vosk, písek, PS, PC
	Model Maker - MM	Tepelný účinek	Plast
	Multi Jet Modeling - MJM	Tepelný účinek	Plast, vosk
	3D Printing - 3DP	Lepení	Keramika
Pevný	Fused Deposition Modeling - FDM	Tepelný účinek	ABS, elastomer, vosk, polykarbonát, polyphenylsulfon
	Laminated Object Manufacturing - LOM	Řezání laserem, lepení	Papír

2.2.4 Formy [3]

Velmi důležitým prvkem ve výrobním cyklu je nástroj – forma (viz obr. 2.6). Principem



Obr. 2.6: Forma pro vstřikování termoplastu

zpracování plastu se různé technologie liší, konstrukce forem je však v mnohých směrech podobná. Při konstrukci i výrobě forem jsou používány všechny dostupné moderní metody. Uplatnění CAD/CAM systémů v oblasti konstrukce a technologické přípravy výroby forem jde ruku v ruce se stále vyššími požadavky na jakost, rychlost tvorby a cenu. Vlastní zaformování plastového výrobku navazuje na 3D zpracovaný model výrobku v digitální podobě. Stejnou

technikou je po zaformování provedena konstrukce formy, její vtokový i chladicí systém a kontrola pohyblivých částí, kolize prvků, přesahy a tolerance, apod.

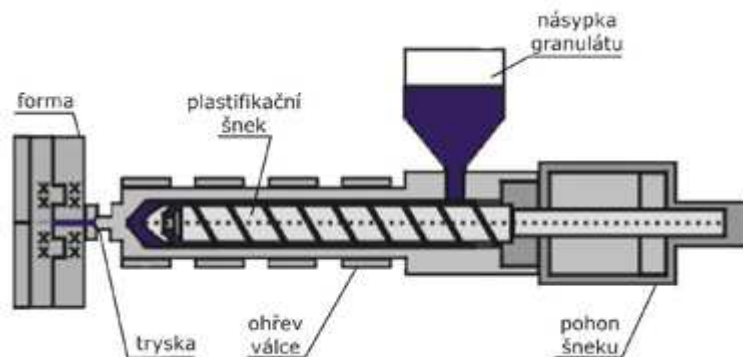
Jednotlivé části formy jsou následně opět v digitální podobě převedeny do řídicího programu numericky řízených strojů (CNC frézy, CNC elektroerosivní hloubičky, řezačky, apod.). Tímto způsobem výroby je zajištěno, že tvarové části forem jsou naprosto identické s technickou dokumentací a výrobní cyklus je zkrácen na nezbytné minimum.

Hovoříme-li o konstrukci formy, přesněji vstřikovací formy, jde především o konstrukci vtokového systému (který zajišťuje dopravu taveniny a optimální plnění formy), temperačního systému (který ohřívá formu na požadovanou teplotu pro daný materiál a zajišťuje

rovnoměrný a rychlý odvod tepla z taveniny plastu po zaplnění tvarové dutiny formy), vyhazovacího systému (který zajišťuje vyhození výstřiku z tvarové části), upínacích částí (které slouží pro uchycení formy na stroj) a dalších funkčních prvků formy (tvarových jader, kabelů, hadic, apod.).

2.3 Výroba dílů - princip vstřikování plastů [3], [5]

Ve vztahu k výrobě základně plastových dílců a součástí je velice významný podíl technologie vstřikování plastů. Tato technologie využívá nejnovějších poznatků z řady strojírenských oborů, elektroniky a výpočetní techniky, nic méně snaha vyrábět co nejlevněji s minimálními předvýrobními a výrobními náklady patří mezi prvotní požadavky. Vstřikování je cyklický, diskontinuální, nestacionární děj, při kterém je plast anizotermicky tvářen. Jedná se o proces, při němž je plast (granulát) a případně jiná plniva ovlivňující kvalitu a vzhled výsledného výrobku, plněn do násypky vstřikovacího lisu (viz obr. 2.7), z níž je dopravován do komory, kde je plastifikačním šnekem tlačén do válce, ve kterém se ohřívá, hněte a homogenizuje a ve formě taveniny vstupuje do trysky, kterou je tato vstřikována do dutiny formy. Po ukončení vstřikování, následného dotlaku (v důsledku kompenzace smrštění), plastikace nové dávky materiálu a chlazení výrobku, se forma otvírá, výrobek se vyhazuje a celý cyklus se opakuje.



Obr. 2.7: Schéma vstřikovacího lisu

Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Jejich tvar může být velice jednoduchý, ale stejně tak i značně složitý a jejich hmotnost může činit třeba jen zlomky gramů, zatímco nejtěžší výrobky váží až několik desítek kilogramů. Vstřikovací proces probíhá dnes již takřka výhradně na moderních strojích s mikroprocesorovým řízením, většinou plně automaticky, díky čemuž se dosahuje vysoké produktivity práce.

K přednostem vstřikování patří rovněž vysoké využití zpracovávaného materiálu, které se blíží (zejména při použití horkých vtoků) sto procentům. Tím se splňují požadavky kladené na bezodpadovou technologii. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy

je však značně vysoká. Technologie vstřikování je proto vhodná především pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jen při takových sériích je možné vyšší náklady na výrobu formy rozpočítat do jednotlivých výrobků. Vstřikovací formy svou velikostí a násobností odpovídají požadavkům na budoucí výrobek a na požadovanou produktivitu výroby. Zvyšováním počtu dutin roste produktivita výroby a klesá cena výrobku. Což je v současné době jeden z hlavních rozhodujících aspektů při volbě výrobní technologie. Tato technologie nachází uplatnění téměř ve všech odvětvích a oblastech dnešní doby a je možné s ní zpracovat většinu běžných plastů. Stále větší možnosti uplatnění nachází v automobilovém průmyslu, společně s dalšími technologiemi jako lisování a tvarování plastů a doplňkovými technologiemi jako je svařování, pěnování, vysekávání, lakování, atd.

Pro výrobu, jak obecnou, tak i samozřejmě vstřikovaných dílů, jsou charakteristické tyto požadavky:

- zajistit maximální automatizaci (eliminovat lidský faktor, řízení optimalizace procesu)
- snížit spotřeby energií (zavádět účinnější pohony - hydraulické, elektrické a hybridní, efektivnější systémy)
- důsledně používat ekonomické a ekologické aspekty ve výrobním procesu (zavádět bezodpadové hospodářství, snižovat dobu výroby a spotřebu materiálu, provádět recyklaci a zpracovávat technologický a užitkový odpad)
- zajistit co nejvyšší úroveň využívání výpočetní techniky s programy zaměřenými jak do oblasti konstrukce výrobku a formy, tak do oblasti komplexní organizace a řízení výroby.

2.3.1 Nastavení procesních parametrů

Nastavení procesních parametrů předchází neméně důležité fáze spojené s přípravou sušících zařízení, manipulátorů (uchopovacích hlav), rozvodu materiálu a v neposlední řadě je třeba připravit místo pro uskladnění forem. Poté, co byly dodány formy od jejich výrobce, probíhá jejich statická kontrola v údržbářské dílně forem (nástrojárně), kde se kontroluje celková funkčnost formy (mimo stroj), zaměřená na kontrolu pohyblivých částí formy, koncových spínačů a hydrauliky. Velká pozornost by měla být věnována i kontrole temperační (chladicí) soustavy.

S kontrolou forem probíhá současně vstupní kontrola a ověřování polymerního materiálu z hlediska vlhkosti a jeho reologického chování (tekutosti).

Po statické kontrole formy mimo stroj dochází k jejímu nasazení na lis, zapojení temperace pro pevnou i pohyblivou část formy (tvárníku a tvárnice), zapojení elektriky a posléze je znovu provedena kontrola funkčnosti formy na stroji.

Vlastní průběh vstřikovacího procesu je složen nejen z nastavení technologických parametrů, ale také z tvorby programu vytvářením sledu operací (pohyby formy, vstřik, dotlak, chlazení, ovládání tahačů jader, apod.) v závislosti na tvarovém řešení výrobku, resp. konstrukci formy, která může být čelistvová, vytáčecí, etážová, atd. Neopomenutelnou fází při tvorbě programu je také programování manipulátoru s uchopovací hlavou, který po otevření formy dopraví díl až k operátorovi, popř. do dutiny formy založí kovové zálisky, textílie (hybridní vstřikování), apod. Pro každý díl je nezbytné nastavit procesní parametry tak, aby zajistily výrobu dílů s požadovanými rozměry a kvalitou v optimalizovaných cyklech.

Cyklus a jeho nastavení – o nastavení cyklu rozhoduje konstruktér dílu, výrobce dílu a zákazník. Parametry, které se nastavují a ovlivňují cyklus, jsou:

- vstřik (rychlost, doba, množství taveniny)
- přepnutí na dotlak (ukončení plnění a začátek dotlakové fáze)
- dotlak (doba i jeho intenzita)
- dávkování (množství taveniny pro jeden cyklus)

První vstřikovaný díl je vždy bez dotlaku. Dotlak slouží při výrobě ke kompenzaci úbytku materiálu, v důsledku jeho smrštění ve fázi tuhnutí a chladnutí výstřiku.

Doladění na optimalizovaný cyklus – v této fázi se seřizuje se vstřikovací rychlost, čas a intenzita dotlaku a pohyby formy a robota. Parametry chlazení se z pravidla při optimalizaci cyklu nemění. Pakliže se zkrátí časy a zvýší rychlosti, dojde k rychlejšímu opotřebení formy, proto je třeba zvážit, zda se případná změna vyplatí.

2.3.2 Kontrola vyráběných dílů

Nezbytnou součástí každého výrobního procesu je kontrola vyrobených dílců. Každý vyrobený díl musí projít kontrolou, která probíhá po každé operaci z důvodu eliminace zmetků a nákladů spojených s jejich pokračující výrobou (když je např. vada ve formě) nebo následnou montáží (když se s dílem provádějí další operace). Při nastavování procesních parametrů se nikdy nepodaří, aby byl po vzhledové stránce výstřik po prvním cyklu stoprocentně kvalitní (vyskytují se mastnoty od oleje, nedolitý materiál, viditelné studené spoje atd.). Kontrola prováděná operátorem přímo u vstřikovacího lisu je označována jako tzv. samokontrola. Z hlediska výrobního cyklu se jedná o prvotní kontrolu prováděnou bezprostředně po vyjmutí výstřiku z dutiny formy. Operátor se musí řídit instrukcemi (kde, jak, co, čas):

- kde (určuje místo, kde se má díl kontrolovat)
- jak (způsob kontroly – vizuálně, dotechem)
- co (na co se zaměřit při kontrole – praskliny, lunkry, barevné efekty, nerovnosti, lícování, správnost nalepení a přítomnost filců, správné provaření svarů, apod.)

- čas (udává, jak dlouho má kontrola probíhat)

V případě neshody dílu, je na každém pracovišti odpovídající katalog vad obsahující písemný popis vady s jejím číselným označením (srozumitelný popis pro každého), kterým se musí díl v místě vady označit. V případě nejasnosti, zda nalezený defekt (problém) je vadou, či není, je situace řešena pomocí tzv. hraničních vzorků. Po posouzení závažnosti vady je díl buď uvolněn, poslán na „repasi“ nebo se vyhodí či recykluje. Případně jsou na těchto pracovištích i fotografie obvyklých vad pro kontrolu. Velikost tolerance kontroly se odvíjí od toho, zda se jedná o díl pohledový či „schovaný“.

Pakliže díl splňuje požadavky z hlediska kvality na něj kladené, je označen štítky a buď se zabalí a následně uskladní či transportuje přímo k zákazníkovi nebo se v rámci výrobního procesu přemístí na další pracoviště, kde je následně opracován, případně smontován ve větší celek.

Kontrola větších celků (např. smontovaná palubní deska) se nazývá „stoprocentní kontrola“ a jedná se v tomto případě o poslední článek kontroly kvality výrobků. Operátoři se řídí obdobnými instrukcemi jako v postupu při samokontrolě. Součástí této kontrolní operace je také kontrola označení dílů štítky.

Oddělení kontroly kvality se v průběhu výroby zaměřuje mimo jiné i na to, zda je proces vstřikování stabilní. Probíhá náhodná kontrola sledující převážně rozměrové a hmotnostní parametry dílů. Dále se pak zabývá analýzou zmetků, u kterých se vyhodnocuje, zda byly vyrobené u výrobce dílu nebo se jedná o zmetky poškozené při balení, při dopravě k zákazníkovi atd. Z toho následně plynou změny a opatření pro výrobu, montáž a logistiku. Toto oddělení rovněž provádí kontrolu dílů, která zahrnuje vzhledovou, rozměrovou (3D měření) a váhovou kontrolu (vše dle výkresové dokumentace), popř. se zabývá dalšími kontrolami jako u palubní desky, kde je prováděna také střelba airbagu.

2.3.3 Stabilita procesu, resp. způsobilost stroje a dílu [6]

Při vstřikování výrobků z konstrukčních plastů je jejich technická kvalita na prvním místě v souboru jakostních ukazatelů. Prvotřídní jakost má významný vliv i na celkovou ekonomii vstřikování. Těžiště péče o plast se přesunuje od prosté kontroly hotových výrobků (aniž by tato byla oslabena) k péči preventivní, tj. k vytváření takových podmínek, aby se předcházelo možnostem vadné produkce.

Součástí kontroly je tedy i ověřování stability procesu, která se zjišťuje pomocí kontroly způsobilosti dílů a stroje. Díly, zpravidla odstáté a vybrané z prostředku cyklu, se upínají na tzv. měrovou lérú (jedná se o kopyto, na které se díl usadí a upne) a různými měřidly se pak měří kontrolované body. U strojů se ověřuje, zda nastavené parametry jsou

stabilní a stálé v patřičných tolerančních mezích během cyklu a nedochází k jejich diferencím.

K podchycení všech ovlivňujících faktorů, tj. kontrole kvality slouží statická procesní kontrola – SPC (Statistical Process Control). Tato metoda si klade za cíl prostřednictvím kontrolních postupů a řízení v průběhu procesu minimalizovat podíl vad a zajistit technicky co nejstabilnější proces výroby.

Jak již vyplývá z názvu, využívá se při SPC pojmů a metod matematické statistiky. Množství sledovaných výrobků s určitým kvalitativním znakem jakosti tvoří statistický soubor. Tento soubor, např. rozměrů, zapsaný ve formě tabulky, obsahuje značné množství informací, ale je nepřehledný. Proto, ve snaze zhustit informace o souboru, daný statický soubor charakterizujeme pomocí hodnoty aritmetického průměru $\bar{x}$ a směrodatné odchylky s . A následně lze i graficky znázornit hodnoty statického souboru. Z histogramu je pak možno si vytvořit představu o distribuci hodnot sledované veličiny. Předpokládá se, že sledovaný soubor má tzv. normální rozdělení a je tedy možno provádět náhodné výběry reprezentující celý základní statický soubor.

Kromě aritmetického průměru $\bar{x}$ a směrodatné odchylky s se pracuje s pojmy c_p a c_{pk} . Potenciál procesu c_p hodnotí proces z hlediska celkové schopnosti procesu pracovat v tolerančním pásmu pracovní bezpečnosti jakosti. Způsobilost (přesnost) procesu c_{pk} hodnotí proces na základě umístění naměřených hodnot mezi tolerančními mezemi. Minimální požadavek na schopnost procesu vyrábět jakostně, je dán hodnotou c_p i $c_{pk} = 1,33$ s tím, že výrobce bude usilovat o další zdokonalení procesu tak, aby zvýšil jeho přesnost.

Na základě zjištěných skutečných hodnot c_p a c_{pk} platí tyto základní požadavky:

- pro nestabilní výrobní procesy, kdy c_p nebo c_{pk} je menší než 1,0, je vždy nutná 100% kontrola výrobků
- výrobní procesy, u nichž jsou c_p a c_{pk} větší než 1,33, musí mít zpracovány zdokonalovací programy.

Vztah mezi c_p a c_{pk} indikuje, jak dobře je proces „posazen“ do středu oboustranných tolerancí. Jestliže je jejich hodnota stejná, je proces ve středu tolerančního pole, jsou-li rozdílné, proces, resp. výrobky – jejich kvalitativní ukazatelé nejsou uprostřed tolerančního pole.

Po dosažení způsobilosti výrobního procesu, neboli jinak řečeno pro seřízení a optimalizaci vstřikovacího procesu, je možno použít optimální tlakovou křivku ke kontrole probíhajícího vstřikovacího procesu. Po záznamu optimální a skutečné tlakové křivky je možno případnému zákazníkovi doložit reprodukovatelnost tvářecího procesu.

U výstřiků se nejčastěji hodnotí tvarová a rozměrová přesnost. I zde je samozřejmostí záznam naměřených hodnot a jejich následné zpracování metodami statické analýzy.



K měření slouží zařízení vybavená sběrníci pro automatický záznam a vyhodnocení dat, od posuvného měřítka přes mikrometry, dutinometry, optické profilprojektory, laserová měřicí zařízení, až po souřadnicové měřicí stroje.

Všechny výše popsané skutečnosti v kapitolách 2.2 a 2.3 jsou obecně platné pro jakýkoliv plastový díl. Shrnují vše, co je nezbytně nutné k tomu, aby mohla být spuštěna sériová výroba. Přesto je možné, že se výše popsané postupy mohou v detailech lišit. Zejména obsah kontroly vyráběných dílů, která je specifikována vždy pro daný koncern.

3 Praktická část

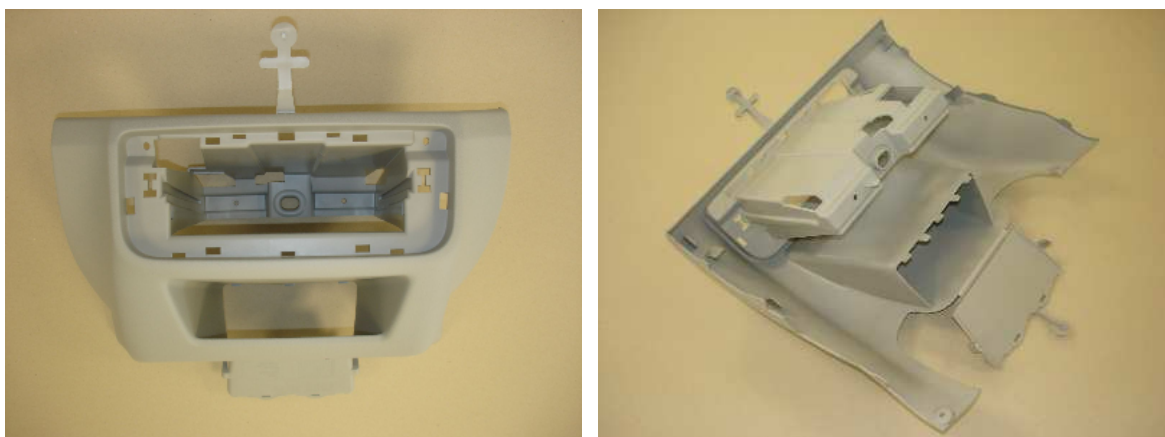
Pro experimentální měření a zhodnocení procesních parametrů vstřikovaného dílce byl vybrán střední díl palubní desky pro levostranné řízení (firemní označení Mittelteil 1DIN LL), dále jen 1DIN, automobilu Škoda Roomster a Fabia druhé generace (viz obr. 3.1).



Obr. 3.1: Modely Škoda Roomster (vlevo) a Fabia II. generace (vpravo)

3.1 Experimentální díl a vstřikovací forma

Jedná se o díl vyráběný technologií vstřikování s dvěma horkými vtoky s filmovým ústím. S použitím techniky sekvenčního vstřikování, kdy spodní tryska (dále jen T1) má za úkol vyplnit díl a účelem horní, druhé trysky (dále jen T2), která se aktivuje teprve po spuštění trysky T1, je vyplnit záklopku (desku tvořící zadní stěnu spodní přihrádky), která je spojena s dílem pomocí pantu, viz obr. 3.2.



Obr. 3.2: Střední díl konzole palubní desky 1DIN vozu Škoda Roomster

Z hlediska konstrukce formy se jedná o jednonásobnou dvoudeskovou vstřikovací formu s jednou dělicí rovinou, dvěma horkými vtoky s filmovým ústím, temperačním

systémem využívající k temperaci (chlazení) formy cirkulujícího teplotnosného média (vody) v temperačních kanálech, zhotovenou německou firmou Vogel, jenž je uznávaným výrobcem v této oblasti.

Vstřikovací forma obsahuje pro zhotovení otvorů tvarová jádra s hydraulicky ovládaným pohybem, vyhazování výstřiku z tvarové dutiny formy je zajištěno prostřednictvím vyhazovacích kolíků. Forma tohoto dílu má obdobnou tvarovou dutinu jako forma pro díl 2DIN (viz obr. 3.3), která odpovídá druhé variantě řešení středního dílu palubní desky, z níž byly převzaty i některé hodnoty procesních parametrů, neboť jeho zkušební výroba předcházela výrobním zkouškám dílu 1 DIN.



Obr. 3.3: Střední díl konzole palubní desky 2DIN vozu Škoda Roomster

Předepsaná uzavírací síla pro obě formy je 6000 kN. Z důvodu kapacity a vytížení všech výrobních strojů se obě varianty (1DIN i 2DIN) obou verzí řízení (levostranné - LL a pravostranné - RL) vyrábí na stroji Krauss Maffei KM 1000-8000 MC s mikroprocesorovým řízením a uzavírací silou 10 000 kN, viz obr. 3.4.



Obr. 3.4: Vstřikovací lis Krauss Maffei KM 1000-8000 MC

K výrobě je použita polymerní směs PP/PE T15 s 15% obsahem talku, která svými reologickými a užitnými vlastnostmi vyhovuje výrobě a aplikaci výrobku v konstrukci

automobilů. Polymerní směs obsahuje rovněž barvicí koncentrát a uvedený díl je vyráběn ve třech barevných provedeních: černém (koncentrát onyx), šedostříbrném (silvergrau) a béžovém (ivory). Z předpokládaných podílů dílů v sériové výrobě podle zabarvení (viz tab. 3.1) je patrné, že největší podíl (více jak poloviční) bude mít v zastoupení při výrobě u obou typů středních dílů i obou verzí řízení provedení v černé barvě, následované béžovým provedením a nejméně kusů bude vyrobeno v šedostříbrné variantě. Celkový předpokládaný podíl vyrobených dílů je zobrazen v tab. 3.2. O tom, jak předpokládané analýzy prodejních podílů byly blízké či vzdálené skutečnosti, rozhodnou však až cílový zákazníci.

Tab. 3.1: Podíl dílů v sériové výrobě podle barvy [%]

Barva	Typ střední konzole			
	1DIN LL	1DIN RL	2DIN LL	2DIN RL
ONYX	66%	66%	66%	66%
SILVERGRAU	12%	12%	12%	12%
IVORY	22%	22%	22%	22%

Tab. 3.2: Celkový podíl dílů v sériové výrobě [%]

Typ střední konzole			
1DIN LL	1DIN RL	2DIN LL	2DIN RL
63%	7%	27%	3%

3.2 Volba procesních parametrů

Při nastavování procesních parametrů je hlavním cílem dosáhnout tvarové způsobilosti výrobku, což znamená, že výstřik nesmí mít nedoteklé plochy, přetoky, propadliny, vzduchové bubliny nebo lunkry, praskliny atd.

Dalším krokem při dosažení bezchybného výrobku je splnění požadavku na vzhledovou způsobilost. Tím je myšleno to, aby díl neměl viditelné studené spoje, stříbření, šmouhy, škráby, dezén na vzhledové straně byl bez chyb, čistý atd.

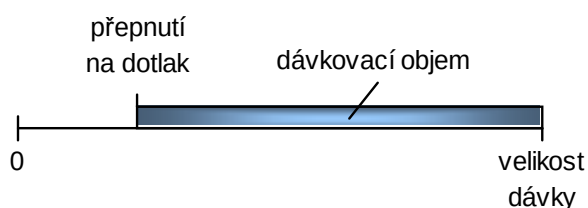
Posledním článkem v řetězci kvality výrobku je dosažení podmínek rozměrové a váhové způsobilosti. Pro díl to znamená, že musí mít veškeré geometrické rozměry shodné s těmi, které jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci (např.: tloušťka stěn v určených místech, správné zakřivení stěn, otvory pro uchycení dílu v požadovaných bodech s přesným průměrem), nelze opomenout ani požadavek na předepsanou hmotnost dílu s příslušnou tolerancí.

Konkrétní hodnoty všech parametrů, které nejsou bezpodmínečně nutné k popsání procesu v jednotlivých studiích, zde nejsou záměrně uváděny, vzhledem ke know-how firmy.

3.2.1 Studie tečení

Tato studie znázorňuje naplnění dílu taveninou v závislosti na nastavených procesních parametrech a vzhledem k vyskytnutým vadám, o nichž bude hovořeno následně, na jejich postupné změně, úpravě a optimalizaci. V tomto případě tedy jen úpravě přepínacího zdvihu na dotlak, resp. okamžiku přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak, který je společný pro obě trysky. Okamžik přepnutí zdvihu na dotlak, resp. dráha šneku, je nastavován vzhledem k výstupu taveniny z tavící komory, viz obr. 3.5. Okamžik přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak lze řídit nejen dráhou šneku (tj. velikostí zdvihu) jako v tomto případě, ale také podle tlaku v dutině formy, v hydraulice nebo podle času. Jedná se tedy o cyklus snímků od prvního vstřiku, až po stoprocentně kvalitní díl z hlediska tvaru a vzhledu, to znamená, kdy tvarová a vzhledová způsobilost jsou ve shodě s hodnotami a údaji ve výkresové dokumentaci. Nastavení parametrů pro rozměrovou a váhovou způsobilost se provádí v dotlakové studii.

Pro první zkušební vstřik byly zvoleny data od výrobce formy, který tak na před sériové produkci ověřil funkčnost a spolehlivost formy. Jednalo se o tyto veličiny: teplotu taveniny, teplotu nástroje, čas vstřiku, čas dotlaku a chladicí čas. Ostatní zbylé hodnoty pro vstřik byly převzaty z dílu 2DIN. Na rozdíl od 1DIN je tento plněn jen jedním vtokem (stejně umístění jako T1 u 1DIN). Tímto krokem se značně zkrátila doba pro nalezení optimálních hodnot parametrů a zefektivnil celý průběh zkoušek. Při následných úpravách procesních parametrů se měnil jen parametr přepnutí zdvihu na dotlak. Jiné parametry se neměnily, protože by pak nemohlo dojít ke srovnání hodnot jednotlivých cyklů, resp. výstřiků mezi sebou.



Obr. 3.5: Nastavení přepínacího zdvihu na dotlak vzhledem k výstupu taveniny z tavící komory

Při „prvním“ vstřiku se díl na obr. 3.6 plnil jen jednou tryskou a to T1, která měla za úkol vyplnit díl až po pant. Tryska T2 byla zavřená. Tento a další cykly v této studii byly bez dotlaku, který by výsledný efekt jen zkreslil, tzn. velikost dotlaku byla v této fázi rovna nule.

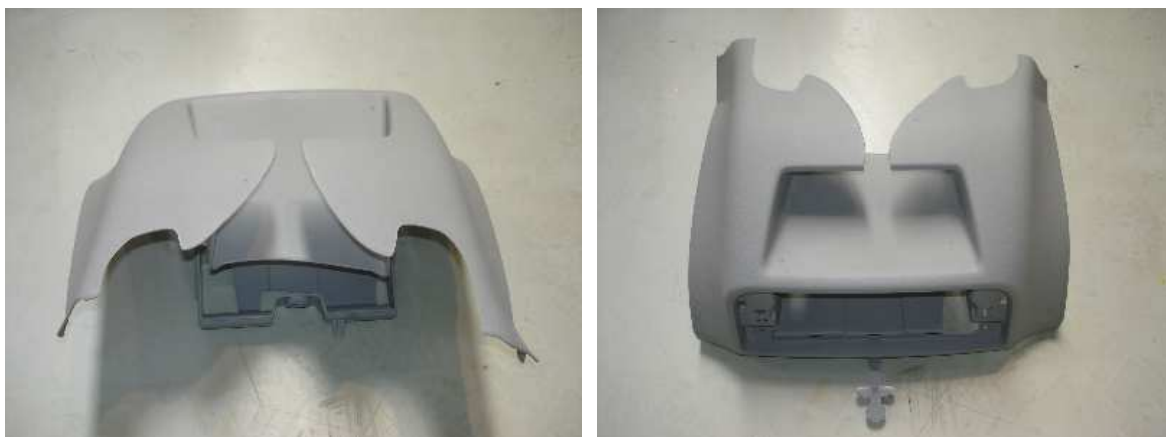


Obr. 3.6: Střední díl konzole po „prvním“ cyklu

Tvar dílu je naplněn cca. z poloviny. Zvolené hodnoty přepnutí zdvihu na dotlak (50 mm) a dávky (110 mm) se ukázaly být jako nedostačující. Objevily se nedoteklé plochy, stříbření (způsobené vzduchem, nikoliv vlhkostí materiálu) a díl viditelně nesplňoval podmínky ani jedné ze způsobilostí.

V této fázi zkoušky stříbření nebylo považováno za závažnou vadu, neboť prioritou v této etapě bylo získat požadovaný tvar výrobku a dostat výrobu do stabilního cyklu. Teprve poté lze přistoupit k doladění parametrů mající vliv na vzhled výrobku, resp. rozměry a váhu.

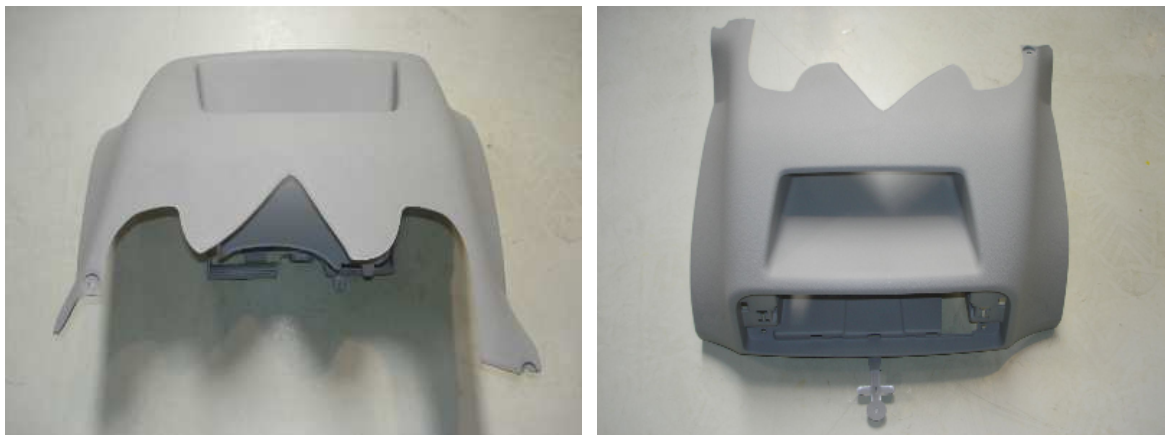
K odstranění nedostříknutých míst byl pro „druhý“ vstřik snížen přepínací zdvih na dotlak o pětadvacet procent na 25 mm, což znamená zvýšení dávkovacího objemu do dutiny formy o oněch pětadvacet procent. Všechny ostatní parametry, včetně dávky, zůstaly nezměněné.



Obr. 3.7: Střední díl konzole po „druhém“ cyklu

Tvar dílu byl naplněn cca. ze tří čtvrtin objemu dílu (viz obr. 3.7). Vyskytly se opět nedoteklé plochy a stříbření.

Pro „třetí“ vstřik se snížil přepínací zdvih na dotlak o dalších 5 mm, což opět nevedlo k zaplnění tvarové dutiny formy (viz obr. 3.8), kdy tvar dílu byl naplněn cca. z pětadevadesáti procent. Velikost dávky zůstala 110 mm.



Obr. 3.8: Střední díl konzole po „třetím“ cyklu

Úprava parametrů se ukázala stále jako nedostačující. Problémem zůstávaly nedoteklé plochy (plocha s otvorem pro uchycení a plocha dílu před pantem).

Jelikož je třeba, aby v komoře zůstalo určité množství taveniny na hmotový polštář, nebylo možno dále zvýšit velikost dávkovaného množství. Z tohoto důvodu se navýšila celková plastifikovaná dávka o 10 mm na 120 mm.

Pro „čtvrtý“ vstřik byl nastaven okamžik přepnutí zdvihu na dotlak na 30 mm, viz obr. 3.9. Platí pravidlo: „o co se zvýší dávka, o to se musí zvýšit hodnota přepnutí, aby bylo pak možné přepnutí snížit.“ Teoreticky se při změně dávky měla začít zkouška od začátku. To znamená, že by se nový cyklus měl dělat s polovinou dávky. Od toho se však upustilo z důvodu zkrácení doby pro nastavení parametrů a snížení ekonomických ztrát z důvodů zvýšené výroby zmetkových (zkouškových) kusů.



Obr. 3.9: Střední díl konzole po „čtvrtém“ cyklu

Tvar dílu byl naplněn cca. z devadesáti procent. Úprava parametrů (30 mm pro přepnutí) byla nedostačující, do dutiny teklo méně materiálu, než v předchozím cyklu (díl měl horší plnění). Z tohoto důvodu se snížil přepínací zdvih na dotlak na hodnotu 20 mm.



Obr. 3.10: Střední díl konzole po „pátém“ cyklu

Zvolené parametry (dávka 120 mm, přepnutí na dotlak 20 mm) pro „pátý“ vstřik se ukázaly být jako nadhodnocené, neboť tryska T1 plnila už nejen tvar dílu, ale zároveň i záklopku (viz obr. 3.10), což byl nežádoucí efekt, neboť záměrem bylo, jak již bylo uvedeno, aby záklopka byla plněna tryskou T2.

Objevilo se také opět stříbření na přičce mezi šuplíkem pro autorádio a spodní přihrádkou. Příčina byla v tom, že materiál byl dlouho v komoře, tavenina měla vyšší viskozitu a tím i rychleji tekla do formy. Tento efekt byl odstraněn cca po 2-3 cyklech, kdy se „tekutější“ materiál vystříknul z komory.

Pro „šestý“ vstřik, obr. 3.11, se přepínací zdvih na dotlak upravil na hodnotu 25 mm.



Obr. 3.11: Střední díl konzole po „šestém“ cyklu

Tvar dílu byl zcela vyplněn. Tryska T1 částečně plnila i záklopku, což však v tomto případě nebylo vůbec na škodu. Výstřik měl požadovaný tvar, kterého bylo potřeba docílit, aby bylo možno zahájit plnění záklopky tryskou T2.

Při „sedmém“ cyklu, viz obr. 3.12, byly již obě trysky aktivní. Okamžik spuštění trysky T2, byl nastavován dráhou zdvihu a měl hodnotu 27 mm, přepínací zdvih na dotlak byl upraven na 20 mm, zbylé parametry byly převzaty z předešlého cyklu.



Obr. 3.12: Střední díl konzole po „sedmém“ cyklu

Tvar dílu se nezměnil, záklopka byla rovněž celá vyplněná, ale měla zvýšenou tloušťku stěny než bylo žádoucí a objevily se na ní přetoky.

Pro „osmý“ vstřik, viz obr. 3.13, byl zvolen přepínací zdvih na dotlak 23 mm, okamžik spuštění trysky T2 na 25 mm a celková dávka zůstala na 120 mm. Tato změna parametrů způsobila, že do formy teklo méně materiálu, než v předchozím cyklu. Cílem bylo, aby změněné parametry pozitivně ovlivnily plnění záklopky, k čemuž nedošlo.



Obr. 3.13: Střední díl konzole po „osmém“ cyklu

Nastavené parametry nezajistily optimální naplnění dílu. Oddálení okamžiku trysky T2 o 2 mm způsobilo, že záklopka byla nedolitá a vyskytly se na ní propadliny.

Pro „devátý“ vstřik, viz obr. 3.14, se zvolil přepínací zdvih na dotlak 22 mm, okamžik spuštění trysky T2 byl nastaven na 26 mm, velikost dávky zůstala 120 mm. Touto změnou byl okamžik spuštění trysky T2 předsunut o 1 mm a okamžik přepnutí na dotlak o 1 mm oddálen.



Obr. 3.14: Střední díl konzole po „devátém“ cyklu

Tímto cyklem, kdy bylo dosaženo tvarové způsobilosti dílu, končí fáze plnicí studie (bez dotlaku).

Jakmile jsou procesní parametry pro výrobek z hlediska tvaru nastaveny, přichází na řadu nastavení robota, manipulátoru s uchopovací hlavou k vyjmutí výstřiku z dutiny. To zahrnovalo vše od pohybů robota jako je najetí do formy, vyjetí s výrobkem a jeho doprava až k operátorovi a zpětný pohyb nad formu, až po nastavení sklonu a vzdálenosti přísavky od výstřiku a momentu sepnutí mechanických čelistí na uchopovací hlavě. Tímto krokem se urychlil průběh zkoušky, neboť při fázi „studie tečení“ byl každý díl vyjímán ručně, což každý cyklus výrazně prodlužovalo.

3.2.2 Dotlaková studie

Před začátkem této fáze musí díl splňovat podmínky tvarové a vzhledové způsobilosti. V dotlakové studii se upravovala doba dotlaku a jeho intenzita. Následné změny v nastavení parametrů sloužily k dosažení převážně rozměrové, ale částečně i váhové způsobilosti. Čím bude vyšší dotlak, tím bude i vyšší rychlost doplnění materiálu při dotlaku a tím více materiálu poteče do formy.

„Desátý“ vstřik je na obr. 3.15. Intenzita dotlaku byla nastavena na 30 MPa a doba jeho účinnosti trvala 10 s. Aktivovaný dotlak částečně dorovnal váhu celého výstřiku.



Obr. 3.15: Střední díl konzole po „desátém“ cyklu

Díl splňoval požadavky tvarové způsobilosti na něj kladené. Dotlak vyrovnal veškeré tvarové vady (mírné propadliny podél studeného spoje a na záklopce). Jediným problémem bylo stříbření, které nezmizelo ani po ustálení cyklu. Objevovalo se na problematickém místě, na příčce mezi přihrádkou pro autorádio a spodní odkládací přihrádkou na čelní straně dílu.

Stříbření bylo zapříčiněno vysokou rychlostí plnění, při které se dutina formy nestíhala odvdzdušnit. Bylo třeba tedy změnit rychlostní profil plnění dílu. Rychlost plnění se snížila. Tím se však rozhodilo předešlé nastavení plnění tvaru dílu, speciálně nejvzdálenějších míst od místa vtoku trysky T1, které jsou v oblasti před pantem a plochy s otvorem pro uchycení. Postupnou úpravou rychlosti plnění se dosáhlo jak tvarové způsobilosti, tak se také odstranilo stříbření.

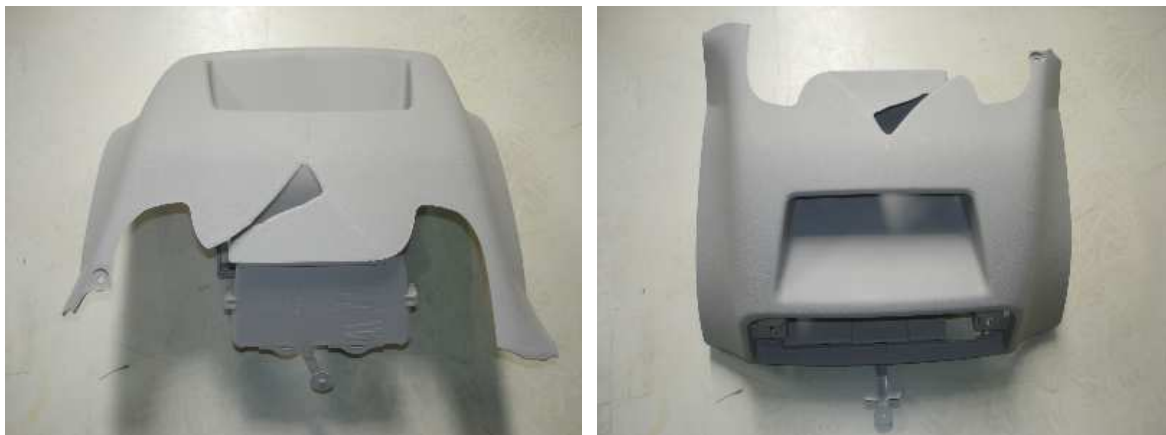
Výrobek po „jedenáctém“ vstřiku je znázorněn na obr. 3.16.



Obr. 3.16: Střední díl konzole po „jedenáctém“ cyklu

Díl byl nedolitý, objevily se nespojené proudy taveniny, zároveň byly nedoteklé plochy s otvorem pro uchycení a plocha před pantem, v důsledku snížení rychlosti plnění před

dotlakem v celé délce cyklu. Profilem by měla být sinusoida s největším přírůstkem rychlosti od začátku vstřikování, aby materiál dotekl, ale v tomto případě tomu tak nebylo. Jelikož bylo třeba odstranit stříbření, snížila se rychlost plnění ve všech úsecích (ty byly cca. po 10 mm). Následnou úpravou hodnot veličin pro rychlost vstřikování stříbření zmizelo. Jak se díl měnil v závislosti na upravených parametrech dokládá série snímků na obr. 3.17 až obr. 3.21.



Obr. 3.17: Střední díl konzole po „dvanáctém“ cyklu



Obr. 3.18: Střední díl konzole po „třináctém“ cyklu



Obr. 3.19: Střední díl konzole po „čtrnáctém“ cyklu

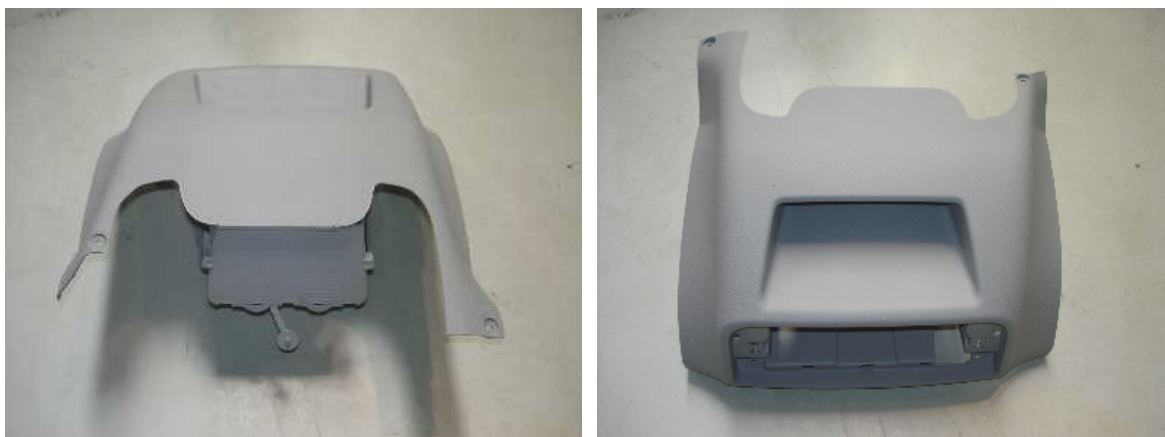


Obr. 3.20: Střední díl konzole po „patnáctém“ cyklu

Na výstřicích (zobrazených na obr. 3.17 až obr. 3.19) se stále vyskytovaly nespojené proudy taveniny a zároveň nedolité plochy s otvorem pro uchycení a plocha před pantem. Současně se na záklopce vyskytly spáleniny v důsledku tzv. diesel efektu.

Při „patnáctém“ vstřiku (další úpravou rychlostního profilu plnění) bylo docíleno spojení všech tří proudů taveniny. Zároveň se odstranily i spáleniny objevující se na záklopce. Na výstřiku se však stále vyskytovaly nedolité plochy s otvorem pro uchycení. Plocha před pantem byla již dolitá (viz obr. 3.20).

Výrobek po „šestnáctém“ vstřiku je na obr. 3.21.

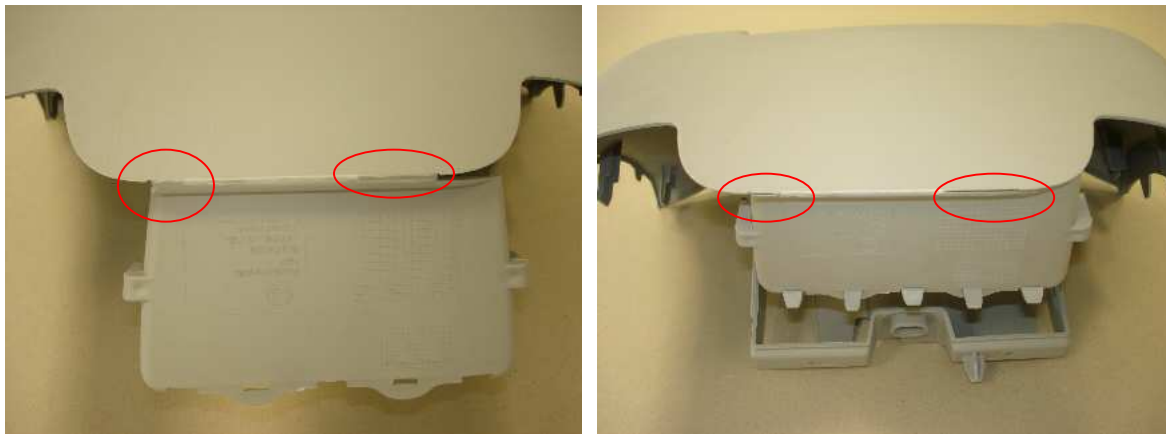


Obr. 3.21: Střední díl konzole po šestnáctém cyklu

Veškeré plochy byly dolité a bez vzhledových vad. Stříbření bylo odstraněno úpravou rychlostního profilu, výsledná varianta má rychlý nástup rychlosti plnění a někde za polovinou doby vstřiku se plnění zpomaluje.

Díl v této fázi byl tvarově způsobilý k sériové výrobě. Problém se vyskytl pouze u pantu, který byl křehký, nedolitý a náchylný k praskání a trhání, viz obr. 3.22.

Technologické řešení pantu je ústupkem a kompromisem mezi vzhledem a technologickou úpravou nejslabšího místa formy, v tomto případě tedy pantu, a následnou změnou vlastností výrobku. Zbroušením formy v místě pantu by se tloušťka výrobku zvýšila, pant by pak zesílil (mohl by se tak odstranit problém s jeho praskáním). Ale poté, co by se přiklopil k dílu, by v něm mohlo vznikat silné vnitřní napětí a pravděpodobně by se muselo přistoupit i k úpravě tvaru zobáčků, které přidržují záklopku u dílu.



Obr. 3.22: Prasklý pant po vyjmutí z formy

Výstupní kontrola povolila, že na díle smí být viditelný studený spoj na ploše před pantem, čímž se celý problém s křehkostí a trháním pantu vyřešil.

Nabízejí se tři možnosti kam umístit studený spoj. Ani jedna z nabízených variant není sto procentně uspokojující co do vzhledu výrobku, ale dvě z nich se vyhnou problému s trhajícím se pantem:

- a- *Studený spoj na záklopce*: Nejméně vhodná varianta z důvodu vizuální kvality výrobku. Studený spoj by byl po přiklopení záklopky k dílu na viditelném místě.
- b- *Studený spoj v pantu*: Nejméně vhodná varianta co do funkce výrobku. Studený spoj v tomto místě způsobí, že díl je křehký a náchylný k trhání a praskání. Nicméně studený spoj není po zabudování dílu do palubní desky na viditelném místě.
- c- *Studený spoj na dílu*: I přesto, že se i zde jedná o pohledovou stranu výrobku, tato varianta nejméně ovlivňuje vzhled i funkci výrobku.

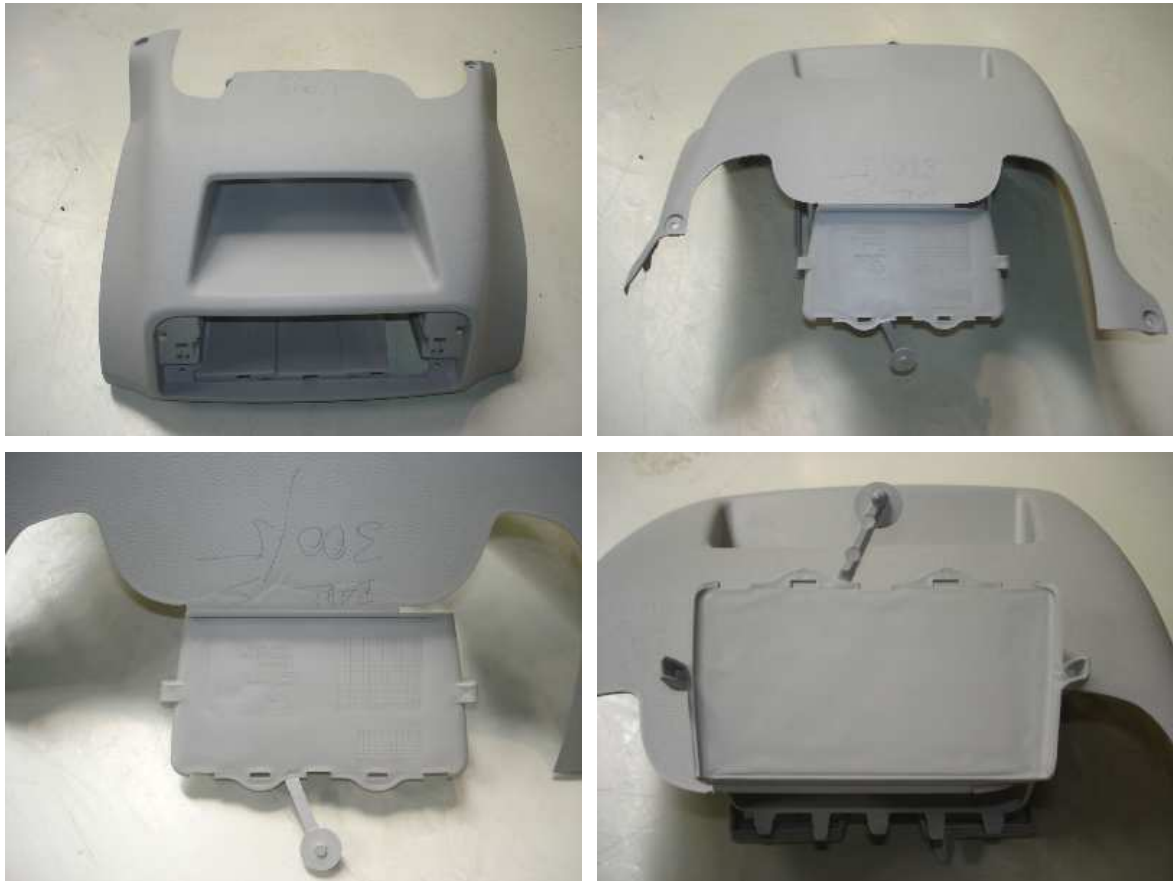
Po konzultaci s oddělením QS (oddělení kvality) a „toolinženýrem“, kdy už byl odladěný tvar výrobku, ale kvůli studenému spoji v pantu docházelo k praskání a trhání v tomto místě, bylo rozhodnuto, že studený spoj bude umístěn sice na vzhledovou, ale spodní stranu výrobku (varianta c viz výše).

V tomto případě se jednalo o nestandardní postup řešení na odstranění vady, který si vyžádaly okolnosti při zkouškách procesních parametrů. Jelikož se nejedná o nic výrazně provázaného s prací, není o tom dále více zmiňováno.

3.2.3 Rozměrová způsobilost

Pakliže již díl měl „svůj“ tvar, bylo možné přistoupit k řešení rozměrové způsobilosti, která byla dána dobou a intenzitou dotlaku. Zároveň se hledali i parametry pro pozici studeného spoje, kterou ovlivní okamžik spuštění trysky T2.

V „sedmnáctém“ vstřiku, viz obr. 3.23, se s okamžikem spuštění trysky T2, upraveným na 27 mm, změnila (snížila) také doba dotlaku z 10 s (viz. kap. 3.2.2) na 5 s.



Obr. 3.23: Střední díl přístrojové desky po sedmnáctém cyklu

Studený spoj se posunul z pantu směrem do středu dílu. Na výstřiku se objevily propadliny na záklopce a v jejím okolí a nedolité zobáčky na dílu, které mají záklopku u něj přidržovat.

Pro následující „osmnáctý“ vstřik (viz obr. 3.24) se dotlak navýšil z původních 30 MPa na 40 MPa, doba jeho účinnosti zůstala zachována (5 s), rovněž tak i okamžik spuštění trysky T2.



Obr. 3.24: Střední díl přístrojové desky po „osmnáctém“ cyklu

Na výstřiku se stále vyskytovaly propadliny (na záklopce a v blízkosti pantu), studený spoj se posunul ještě více ke středu. Zobáčky byly stále nedoteklé.

Pro „devatenáctý“ vstřik se změnil pouze okamžik spuštění trysky T2 na hodnotu 29 mm, viz obr. 3.25.



Obr. 3.25: Střední díl přístrojové desky po „devatenáctém“ cyklu

Na výstřiku se stále vyskytovaly propadliny (na záklopce a v blízkosti pantu), studený spoj měl přibližně stejnou pozici jako při minulém cyklu. Zobáčky byly stále doteklé.

Pro „dvacátý“ vstřik se snížil jen okamžik spuštění trysky T2 na hodnotu 28 mm, viz obr. 3.26.



Obr. 3.26: Střední díl přístrojové desky po „dvacátém“ cyklu

Studený spoj se posunul zpátky směrem k pantu. Na výstřiku byly propadliny a nedoteklé zobáčky.

Z výše získaných výsledků (doby 5 s a intenzity dotlaku 40 MPa a hodnoty spuštění trysky T2 v místě 28 mm) se následně pro „jedenadvacátý“ vstřik změnil jak okamžik spuštění trysky T2 (na 27 mm), tak i doba dotlaku (na 6 s), viz obr. 3.27.



Obr. 3.27: Střední díl přístrojové desky po „jedenadvacátém“ cyklu

Pozice studeného spoje byla ještě blíže u pantu než v předešlém cyklu. Na dílu se vyskytovaly stále propadliny a nedolité zobáčky.

Při „dvaadvacátém“ vstřiku, viz obr. 3.28, byl dotlak zvýšen o 10 MPa na hodnotu 50 MPa, doba jeho účinnosti zůstala 6 s, stejně tak i aktivace trysky T2 byla nezměněna (27 mm).



Obr. 3.28: Střední díl přístrojové desky po „dvaadvacátém“ cyklu

Výsledný efekt byl takřka stejný jako při minulém cyklu. Studený spoj téměř nezměnil pozici a na dílu se stále objevovaly propadliny a nedoteklé zobáčky.

Pro následující „třiadvacátý“ vstřik, viz obr. 3.29, byla zvýšena doba dotlaku o 4 s na hodnotu 10 s, jeho intenzita zůstala na výše zmíněných 50 MPa, stejně tak i okamžik spuštění trysky T2 měl stejnou hodnotu jako v předešlém cyklu.



Obr. 3.29: Střední díl přístrojové desky po „třiadvacátém“ cyklu

Studený spoj byl téměř v pantu a na dílu se stále objevovaly propadliny a nedoteklé zobáčky.

Po několika nezdařených pokusech nalézt optimální nastavení, které by zajistilo požadovanou pozici studeného spoje na dílu a zároveň splnilo požadavky rozměrové způsobilosti, bylo přistoupeno k systematictější práci. Nejprve se zajistily parametry pro rozměrovou způsobilost dílu a následně poté se nastavoval okamžik spuštění trysky T2. Hodnoty pro nalezení nejvhodnějších parametrů rozměrové způsobilosti byly kombinací doby a intenzity dotlaku, jak je uvedeno v tab. 3.3.

Tab. 3.3: Kombinace hodnot doby a velikosti dotlaku z hlediska rozměrové způsobilosti

Doba dotlaku [s]	Intenzita dotlaku [MPa]			
	20	30	40	50
6	x	x	x	x
9	x	x	ok	x
12	x	x	x	x
15	x	x	x	x

Jako neoptimálnější volba kombinace intenzity a doby dotlaku z hlediska rozměrů se ukázaly být hodnoty: 9 s a 40 MPa. Tyto veličiny zajistily, že díl byl zcela dolitý bez jakýchkoliv tvarových a vzhledových vad.

Po nalezení výše uvedených parametrů zbývalo nastavit okamžik spuštění trysky T2, která plní záklopku a tím ovlivnit umístění studeného spoje na výstřiku. Cílem bylo, aby co nejméně ovlivňoval pant a pevnost výstřiku v daném místě. Jeho finální hodnota, splňující požadavky a podmínky kvality vzhledu, rozměru a hmotnosti byla stanovena na 28 mm.

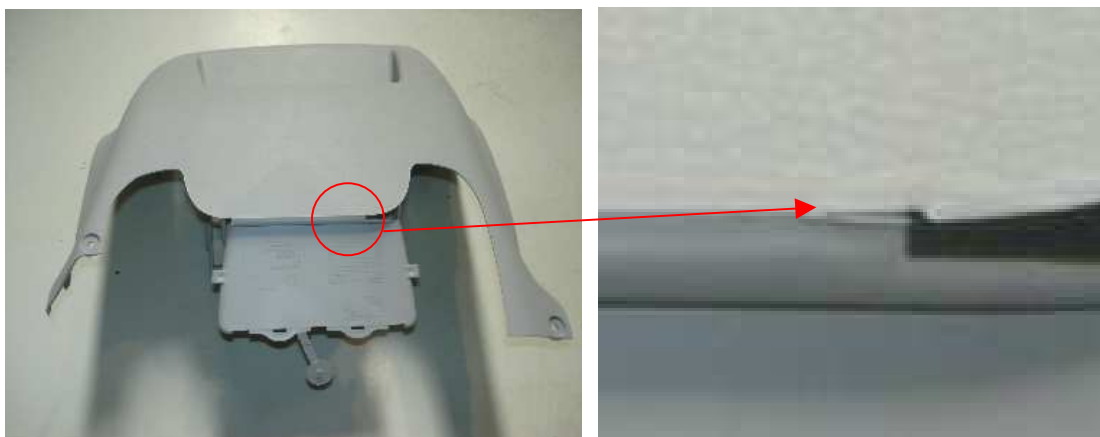
Výsledný studený spoj ve tvaru „Y“, viz obr. 3.30, je kompromisem technologických možností stroje, resp. formy a požadavku na vzhledově způsobilý díl.



Obr. 3.30: Střední díl přístrojové desky s výsledným studeným spojem ve tvaru „Y“

Požadavek oddělení kvality, aby studený spoj byl co nejmenší a nejméně ovlivňoval vzhled výstřiku, vedl k tomu, že se studený spoj posouval směrem k pantu, až do něj zasáhl, jak je zřejmé z obr. 3.31.

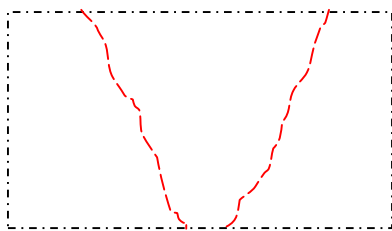
Úprava parametrů zapříčinila, že studený spoj zasahoval už do pantu, což způsobovalo, že pant byl křehký a trhal se. Musel se tedy navrhnout takový okamžik spuštění trysky T2, který vyhovoval všem požadavkům kladeným na výrobek, tj. aby byl způsobilý jak po vzhledové, tak i po technické stránce, což byla hodnota 28 mm.



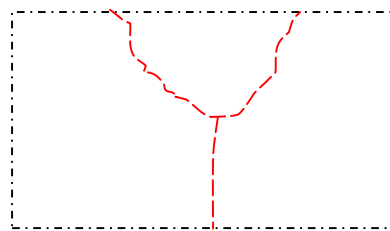
Obr. 3.31: Střední díl přístrojové desky – studený spoj zasahuje do pantu

3.2.4 Studený spoj do „V“ versus do „Y“

Varianta studeného spoje do „V“, viz obr. 3.32, má neoddiskutovatelnou výhodu co do pevnosti výrobku. Po vzhledové stránce však toto řešení zatěžuje díl více, než varianta do „Y“, viz obr. 3.33, neboť na ploše v přihrádce jsou dva studené spoje (varianta do „V“) „více na očích“.



Obr. 3.32: Studený spoj do tvaru „V“



Obr. 3.33: Studený spoj do tvaru „Y“

U dílců s barevným odstínem silvergrau a ivory by mohla být uplatněna varianta do „V“. Tyto barvy s použitím dezénu na vzhledové straně výrobku studené spoje skryjí. A naopak pro barvu onyx je výhodnější použít řešení do „Y“, neboť studené spoje na této barvě vyniknou více, než na jakékoliv jiné.

Použití dvojího nastavení cyklu pro jeden výrobek v závislosti na barvě vstřikovaného granulátu je nestandardní, nikoliv nereálné. Jelikož se však v sériové výrobě provádí kontrola stability procesu, nebylo by možné porovnat přímo cykly pro každou variantu studeného spoje a je třeba mít stálý cyklus pro všechny barvy, bylo proto rozhodnuto o použití varianty studeného spoje do „Y“.

Výstřik v oblasti studeného spoje na spodní hraně přihrádky při větším zatížení praská. Zajímavé bude, jak tato finální varianta, znázorněná na obr. 3.34, obstojí v sériové výrobě a hlavně jak se projeví na kvalitě interiérů při každodenním používání a namáhání.



a)



b)

Obr. 3.34: Studený spoj – tvar Y

a) díl v šedostříbrném provedení, b) díl v černém provedení

Druhou alternativou pro tvar a umístění studeného spoje by mohl být tvar studeného spoje do „V“, jenž je patrný na obr. 3.35.



obr. 3.35: Studený spoj – tvar „V“ na dílu v černém provedení

Jak již bylo zmíněno, tato varianta studeného spoje a procesní parametry nastavené pro díl, však nesplňovaly požadavky vizuální kvality.

4 Vyhodnocení výsledků a jejich diskuze

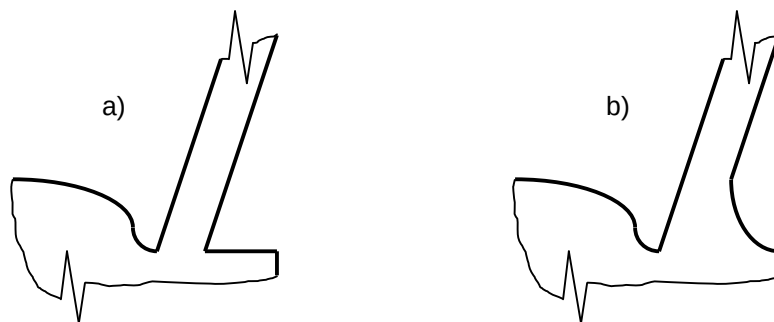
Forma byla konstruována se dvěma vtoky, díky tomu je možné měnit pozici studeného spoje na dílu, s tím cílem, že tryska T1 plní tvar dílu a tryska T2 záklopku, která je spojena s dílem pomocí pantu. Při plnění dutiny formy přes pant, pouze jednou tryskou, by se vyskytl problém s dotečením materiálu. Aby materiál dotekl i do nejvzdálenějšího místa od ústí vtoku, musela by se zvýšit rychlost plnění, doba vstřiku, atd. Ve finále by byl problém s odladěním rozměrové způsobilosti, výstřik by byl namáhán vnitřním napětím, případně by také stoupla hmotnost výrobku (ta by se lišila v závislosti na intenzitě a době dotlaku i zvolené konstrukci síly stěn).

Vstřikovat díl v celku se záklopkou, tak jak je tomu ve skutečnosti, má nespornou výhodu v tom, že se ušetří výrobní čas, výrobní kapacita stroje, prostory pro skladování dílů, celkové náklady, atd. Jistým řešením k eliminaci studeného spoje na dílu, při zachování výhod stávajícího řešení konstrukce formy, by bylo vytvoření dvou různých oddělených dutin v jedné formě, které by však jistě přineslo spoustu dalších problémů a rizik. Tato varianta by znamenala změnu tvaru dílu a záklopky pro její uchycení. Dále by forma musela v sobě zahrnovat dva oddělené temperační okruhy. Patrně nejvážnější problém by nastal při nastavování parametrů pro cyklus, kdy by byl minimální manipulační prostor pro jejich úpravu.

Do budoucna se alespoň počítá se změnou ústí filmového vtoku pro trysku T2. Šikmý vtok a jeho nesouosé umístění na záklopce (viz obr. 4.1) zapříčiňuje nestejnou plnění záklopky a v důsledku toho vzniká i nesymetrický studený spoj. Případná konstrukční změna ústí (viz obr. 4.2) by mohla pozitivně ovlivnit plnění dutiny formy a studený spoj ve tvaru „Y“ by se mohl ještě zmenšit. Toto je však třeba ještě ověřit v praxi.



Obr. 4.1: Šikmý nesouosý vtok



Obr. 4.2: Ústí filmového vtoku trysky T2
a) před úpravou, b) po zamýšlené úpravě

4.1 Vady

Během zkoušky se vyskytlo několik vad na výstřiku (defekty vzhledu, rozměrů, tvaru a vlastností od předem stanoveného standardu), někdy i více najednou. Požadavek zněl, aby úprava procesních parametrů tyto vady odstranila nebo alespoň zminimalizovala a zároveň zajistila, že díl bude vyráběn v požadované kvalitě ve stabilním cyklu.



Obr. 4.3: Nedolitý výrobek

4.1.1 Nedolitý výrobek – nedolitá plocha před pantem a plochy s otvory pro uchycení, viz obr. 4.3. Jde o nejvíce patrnou vadu, neboť vnější obrysy výrobku nejsou zcela uzavřené, tvarová dutina nebyla úplně zaplněna. Vyskytuje se zvláště v těch případech, kdy jsou místa daleko od vtoku při dlouhých dráhách tečení. Objem vstříkované dávky je příliš malý. Neúplný výstřik může vzniknout i livem nedostatečného odvzdušnění formy.

Řešením bylo zvýšení dávky a posunutí (oddálení) přepnutí na dotlak. Do formy se tak vstříklo větší množství taveniny, která zcela vyplnila její tvarovou dutinu.



Obr. 4.4: Nedoteklý výrobek s propadlinami

4.1.2 Propadliny – propadlá a nedolitá záklopka, viz obr. 4.4. Dvě vady vyskytující se v tomto případě současně jako důsledek nedolitého výrobku, případně i nerovnoměrné temperace formy.

Řešením bylo zvýšení intenzity dotlaku a úprava okamžiku spuštění trysky T2, která se otevírá dříve. Zvýšená dávka taveniny dopravována přes trysku T2 doplnila záklopu a dotlak dorovnal propadliny na dílu.



Obr. 4.5: Nedolitý výrobek se studeným spojem

4.1.3 Studené spoje – na ploše před pantem, viz obr. 4.5. Studené spoje se často objevují v místech, kde tavenina plastu musela obtékat překážku, dáno konstrukcí výrobku, resp. formy nebo v místech, kde byla dlouhá dráha taveniny plastu oproti místům s krátkou dráhou. V tomto případě platí obojí. Projevují se zřetelnou a viditelnou spojnici dvou čel taveniny plastu. V těchto místech má výstřik odlišné vlastnosti, nežli v místech ostatních. Ve většině případů nelze studeným spojem zabránit, ale lze použít taková opatření, která je alespoň eliminují.

Řešením v tomto případě bylo zvýšení intenzity dotlaku a úprava okamžiku spuštění trysky T2. Konstrukce výrobku a formy neumožnila vyrobit díl bez studeného spoje. Díky použité technologii dvou vtoků bylo možné upravovat i měnit pozici a tvar studeného spoje. Výsledné řešení je kompromisem mezi vzhledem výrobku a technologickými možnostmi stroje, resp. formy.



Obr. 4.6: Stříbření na dílu

4.1.4 Vzduchové šmouhy (šlírovitost) – stříbření na příčce, viz obr. 4.6. Objevuje se většinou jako malá stříbrná místa na výstřiku a vystupuje často v oblasti žeber a změn tloušťky stěn.

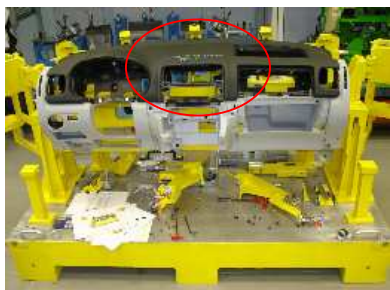
Řešením k odstranění vzduchových šmouh bylo snížení rychlosti plnění. Ta je rozdělena do několika fází v závislosti na poloze šneku. Konečný rychlostní profil má na začátku značný přírůstek rychlosti a zhruba od poloviny cyklu rychlost vstřikování klesá. Tím se docílilo, že byl díl dolitý a zároveň se odstranilo stříbření.



Obr. 4.7: Spáleniny na zobáčcích

4.1.5 Diesel efekt – spáleniny na zobáčcích, viz obr. 4.7. Na povrchu výrobku jsou patrná černá zabarvení, spáleniny. V těchto místech nedochází k zaplnění dutiny.

Řešením bylo opět snížení vstřikovací rychlosti. Při rychlém plnění dutiny formy nemá vzduch dostatek času, aby unikl z formy, stlačením se zahřívá na vysokou teplotu a tím dochází ke spálení taveniny. Díky snížení rychlosti plnění se odstranil problém se spáleninami na výrobku.



Obr. 4.8: Rozměrová léra pro celek palubní desky

4.1.6 Rozměrová způsobilost – díl má po vychladnutí jiné rozměrové parametry, než jaké jsou požadovány a uvedeny ve výkresové dokumentaci, jako jsou např. jiná délka a zakřivení stěn, odlišné rozměry a průřezy otvorů. Tím je ovlivněn vzhled i funkce výrobku. Kontrola rozměrů byla prováděna na rozměrovém přípravku (na tzv. rozměrové léře), viz obr. 4.8.

Řešením byla úprava přepnutí zdvihu na dotlak a zároveň snížení jeho doby a zvýšení intenzity.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo nastavit a zhodnotit procesní parametry pro výrobu zvoleného plastového dílu, tj. střední konzole nového modelu vozu Škoda Roomster, vyráběného technologií vstřikování.

Některé z procesních parametrů byly převzaty od výroby stejného dílu lišící se však tvarovým řešením a způsobem konstrukce vtokového systému, jehož výroba předcházela výrobním zkouškám zvoleného dílu.

V rámci experimentální (praktické) části bakalářské práce byla, pro dosažení požadované kvality výstřiku, řešena především studie tečení, dotlaku a jeho rozměrové způsobilosti. Popsány a analyzovány byly rovněž veškeré vady vyskytující se v průběhu nastavování procesních parametrů, včetně způsobu jejich eliminace, popř. odstranění.

Z provedené studie, která přehledně ukazuje problematiku nastavení technologických parametrů v procesu vstřikování a může tak jistě také přispět k praktické výuce studentů v zaměření tváření kovů a plastů, plyne rovněž důležitost využití numerické simulace při návrhu konstrukčního řešení vstřikovací formy (v našem případě tvarových dutin a vtokového systému). Numerická simulace zabraňuje mnohým problémům vznikajících při vstřikování, spojených např. s umístěním studeného spoje, popř. nestejným plněním tvarové dutiny formy, které bylo v našem případě zaznamenáno.

Uvedená problematika není v žádném případě řešena vyčerpávajícím způsobem. V dalších fázích, které nesouvisí se zadáním bakalářské práce, je nutno řešit rovněž analýzu chlazení, způsob rozložení teplotního a napěťového pole, které ve svém důsledku, jako průvodní jev procesu vstřikování, výrazně ovlivňuje strukturu (morfologii) a vlastnosti výstřiku.

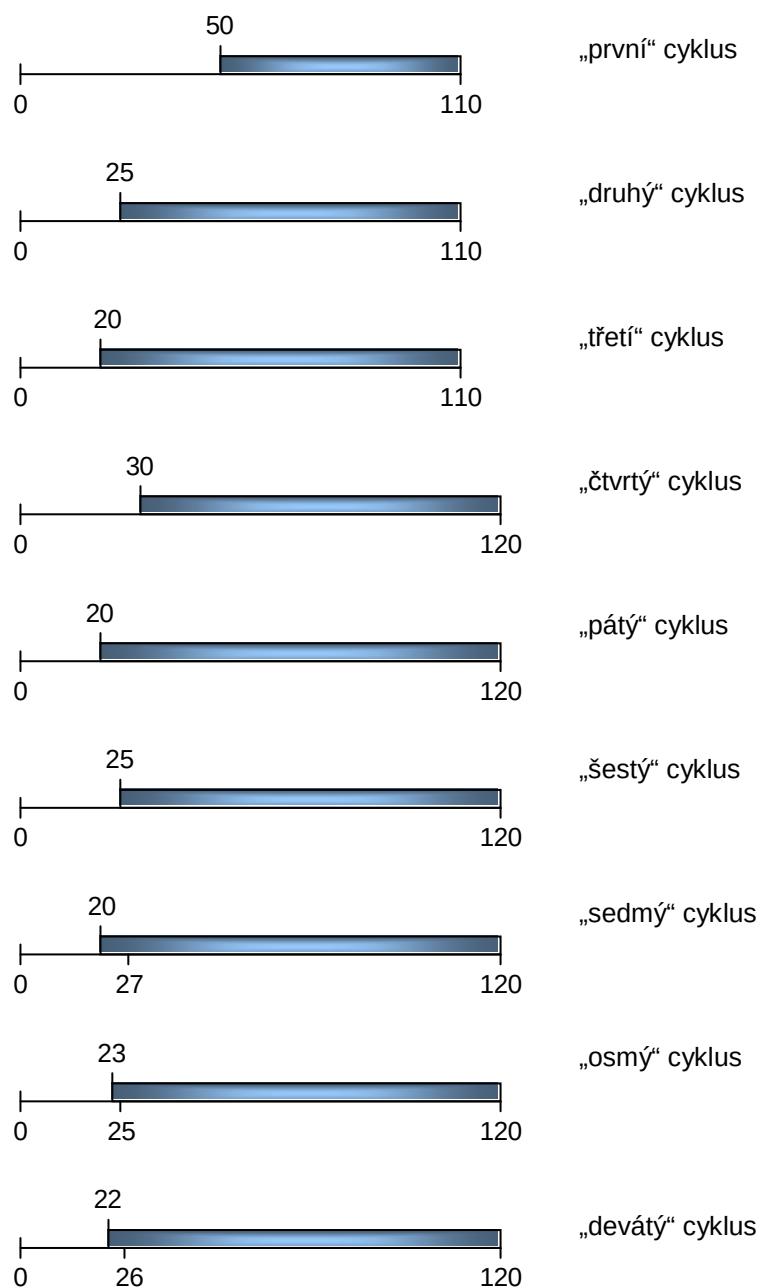
6 Použitá literatura

- [1] <http://home.tiscali.cz:8080/plastyakaucuk/cislo/8.htm> (listopad 2005)
- [2] AUSPERGER, A.; HISEM, P.; RADOSTA, T.: Zbytková pnutí ve vstřikovaných výrobcích v automobilovém průmyslu, *In Materiálové inženýrství se zaměřením na nové materiály a technologie*, Liberec: TU v Liberci, červen 2000, s. 7-13. ISBN 80-7083-404-8
- [3] <http://www.sotallia.com> (říjen 2005)
- [4] DEIMLINGOVÁ, P.: Aplikace metody rychlé výroby vstřikovacích forem, Fakulta strojní, Liberec: TU v Liberci 2004
- [5] KREBS, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů. Skriptum TU Liberec, 2001
- [6] ZEMAN, L.: Kontrola kvality při vstřikování konstrukčních plastů. *In Sborník přednášek z 1. Mezinárodní konference - Plasty – konstrukční materiály*, 18.-19.3., Praha: ČVUT v Praze, 1997, s. 107-111

Přílohy

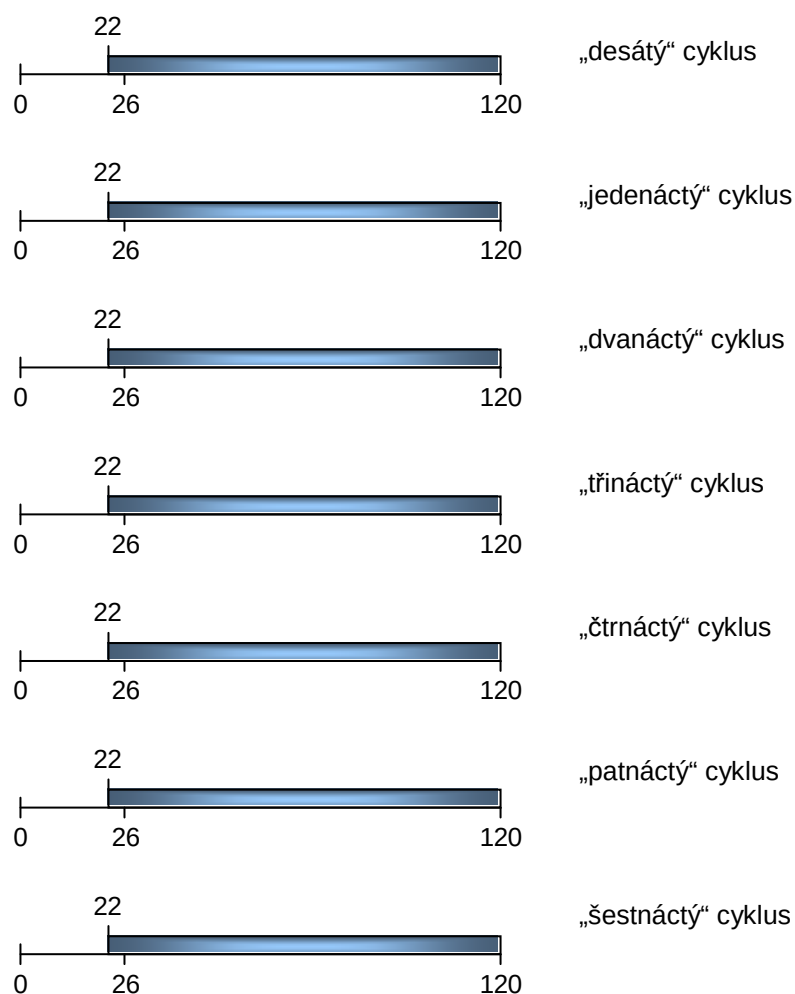
- Příloha 1:** Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak ve fázi studie tečení.
- Příloha 2:** Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak a spuštění trysky T2 ve fázi studie dotlaku.
- Příloha 3:** Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak a spuštění trysky T2 ve fázi studie rozměrové způsobilosti.

Příloha 1: Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak ve fázi studie tečení.



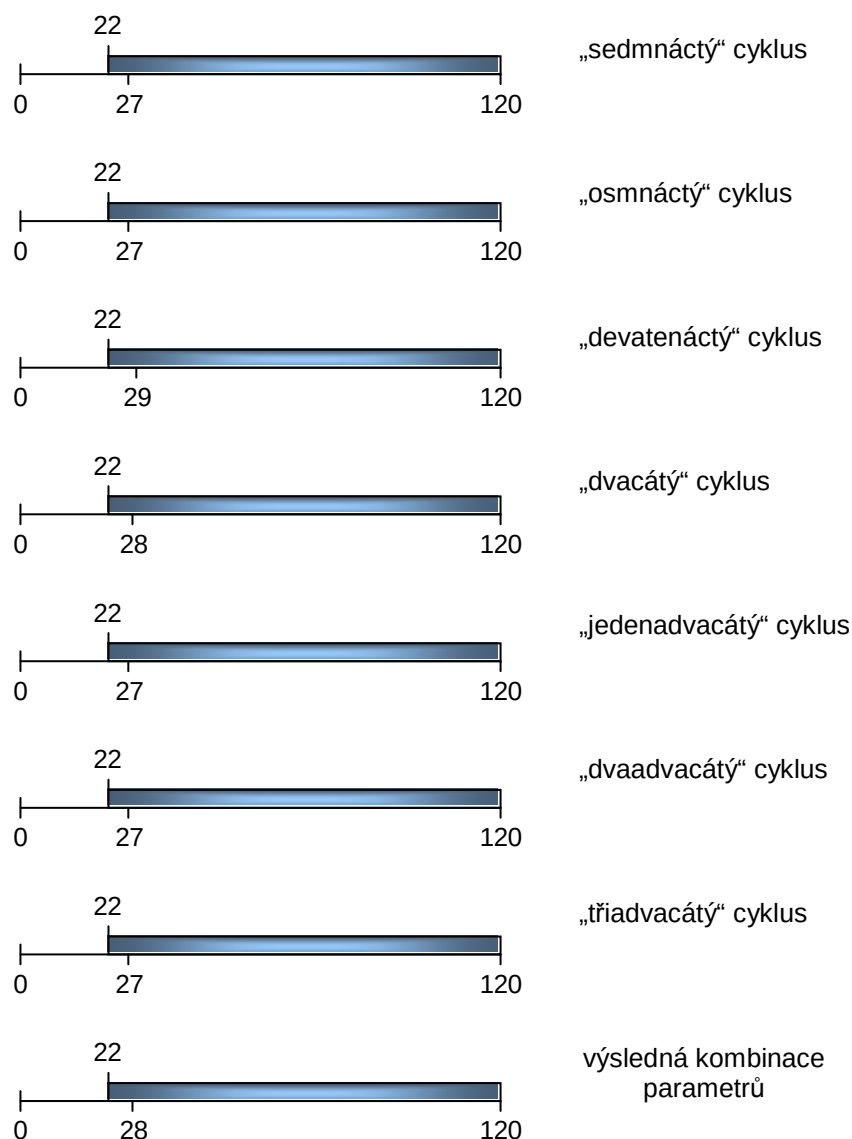
Obr. P1: Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak ve fázi studie tečení

Příloha 2: Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak a spuštění trysky T2 ve fázi studie dotlaku.



Obr. P2: Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak a spuštění trysky T2 ve fázi studie dotlaku

Příloha 3: Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak a spuštění trysky T2 ve fázi studie rozměrové způsobilosti.



Obr. P3: Zobrazení dávkovacích objemů současně s okamžikem přepnutí na dotlak a spuštění trysky T2 ve fázi studie rozměrové způsobilosti



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. květen 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. May 2006

Signature: