



## **Středoškolská technika 2011**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# Forma na vstřikování plastů

Adam Přikryl

Sřední průmyslová škola strojnická

Třída 17. listopadu 49, Olomouc

Prohlašuji, že jsem maturitní práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené prameny a literaturu.

Datum:

---

Podpis

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu maturitní práce Mgr. Jiřímu Nevimovi za ochotu, čas a pozornost při poskytování informací, které mi ochotně věnoval při vypracování této práce, dále bych rád poděkoval Mgr. Renátě Havelkové za kontrolu struktury práce.

# Obsah

Obsah .....	3
1 Úvod .....	5
2 Rozdělení plastů .....	7
3 Vstřikování plastů .....	9
3.1 Vstřikovací stroj .....	10
4 Vstřikovací formy .....	13
4.1 Vtokové systémy forem.....	14
4.2 Problémy spojené s vstřikováním .....	15
4.3 Temperace forem .....	16
4.4 Vyhazování výlisků z forem.....	17
4.5 Volba ocelí pro formy na zpracování plastů.....	18
5 Cíle ročníkové práce.....	21
6 Výrobek (výstřik) .....	22
7 Vstřikovací stroj.....	25
8 Konstrukce vstřikovací formy.....	26
8.1 Tvárník a dutina .....	26
8.2 Vtokový systém.....	26
8.3 Temperační systém.....	27
8.4 Vyhazovací systém.....	28
8.5 Ostatní konstrukční prvky .....	29
9 Analýzy a diskuse .....	31
10 Závěr .....	34
Anotace .....	35
Resumé.....	36
Seznam literatury a dalších zdrojů .....	37

Seznam obrázků .....	38
Cizojazyčný slovník .....	39
Přílohy.....	40

# 1 Úvod

Využití plastů se za posledních několik desítek let rozšířilo natolik, že si bez plastů již nedokážeme život představit. Věci které se dříve běžně vyráběly z kovů, dřeva či jiných materiálů se dnes již vyrábí z plastů, které mají v mnoha ohledech lepší vlastnosti. A právě díky svým vlastnostem mají plasty své místo takřka v každém odvětví průmyslu.

Vstřikování patří mezi nejrozšířenější způsob zpracování polymerů. Jedná se o poměrně složitý tepelně-mechanický proces, který se provádí na vstřikovacím stroji. Byla vyvinuta řada zpracovatelských postupů, umožňujících vyrábět velmi složité výrobky miniaturních rozměrů, ale i výrobky velkorozměrné, složené z několika homogenních i heterogenních materiálů. Toky taveniny ve složitých geometriích jsou komplikovanou záležitostí, která se neobejde bez pomoci výkonné výpočetní techniky. K dispozici je řada velmi výkonných simulačních softwarů usnadňujících řešení těchto problémů v předstihu, ještě před započítáním výroby vlastního nástroje, což může přinášet velké úspory a zkrácení cyklu od návrhu výrobku po jeho produkci.

Forma pro vstřikování plastů je konstrukčně složitá a sestává se z mnoha dílů a součástí, na jejichž výrobu se zaměřilo velké množství firem. Tyto firmy nabízejí široký výběr z katalogů normálií čímž díky sériové výrobě značně napomáhají k zjednodušení a zlevnění procesu konstrukce formy. Mezi nejznámější firmy patří HASCO, D-M-E a STRACK.

# Teoretická část

---

## 2 Rozdělení plastů

### Podle chování při působení tepla:

- termoplasty - jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, kdy je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání  $T_m$  (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku  $T_f$  (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. (1)

- reaktoplasty - jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. (1)

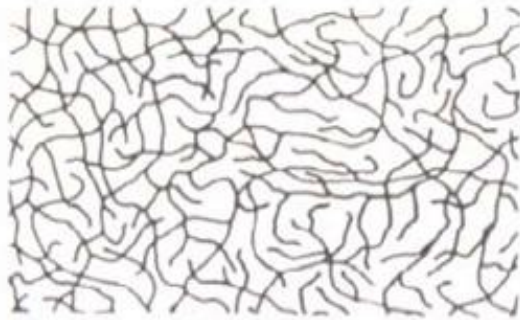
- kaučuky, pryže a elastomery - jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. (1)

### Podle uspořádání makromolekul:

- amorfní plasty - makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností a jsou dle propustnosti světla čiré (92% propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60% propustnosti světla). (1)

- krystalické (semikrystalické) plasty – makromolekuly vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %). Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. (1)

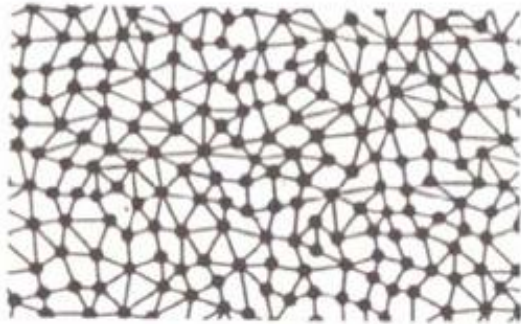




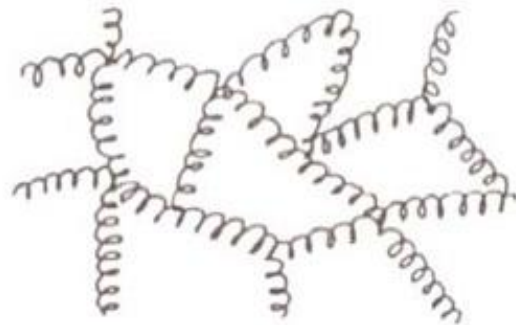
amorfní termoplast



semikrystalický termoplast



reaktoplast



elastomer

Obrázek 1 Struktury plastů (1)

#### Podle druhu přísad:

- neplněné plasty - neplněný plast je takový plast, u kterého množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice. (1)

- plněné plasty - plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření, apod. (1)

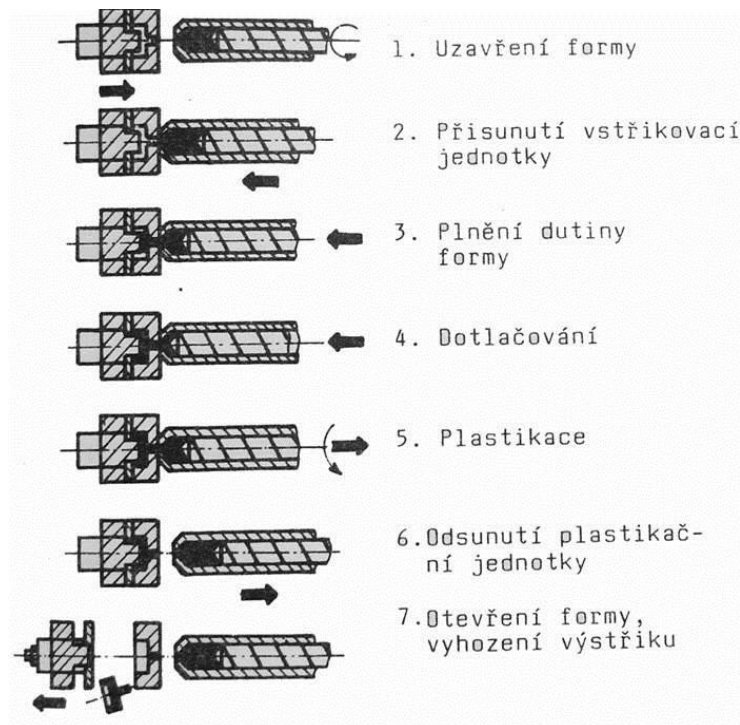
### 3 Vstřikování plastů

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku a nebo jsou polotovary či díly pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky. (1)

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem. (1)

#### **Vstřikovací cyklus**

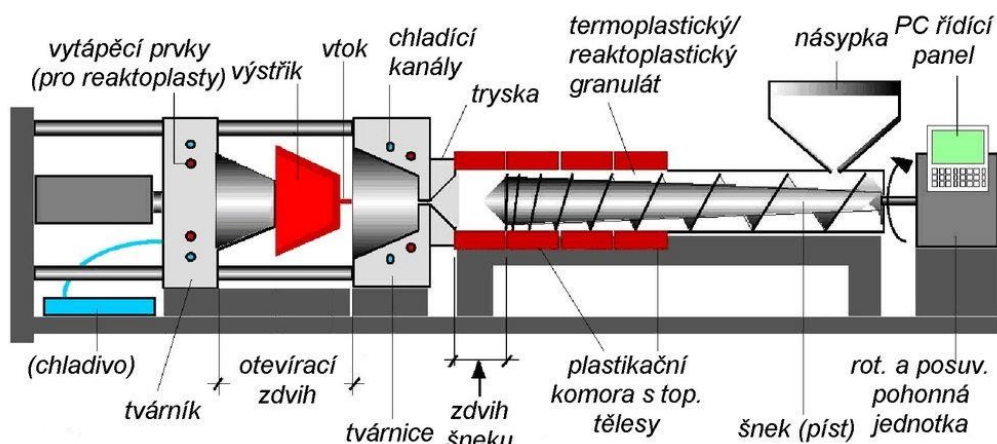
Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. (1)



Obrázek 2 Princip vstřikování (1)

### 3.1 Vstřikovací stroj

Plně funkční vstřikovací stroj s prováděnou pravidelnou údržbou je samozřejmým předpokladem pro optimalizaci procesu vstřikování. Z hlediska výsledku, tj. výroby výstřiku s definovanou kvalitou, je konstrukční provedení použitého vstřikovacího stroje nedůležité. Důležitá je reprodukovatelnost nastavených výrobních parametrů. Pro další práci se vstřikovací formou je nutné kromě reprodukovatelnosti parametrů zajistit správný výběr stroje s ohledem na uzavírací sílu a kapacitu plastikační jednotky. V neposlední řadě je nutné věnovat nejvyšší pozornost zpětnému uzávěru na plastikačním a vstřikovacím šneku. (2)

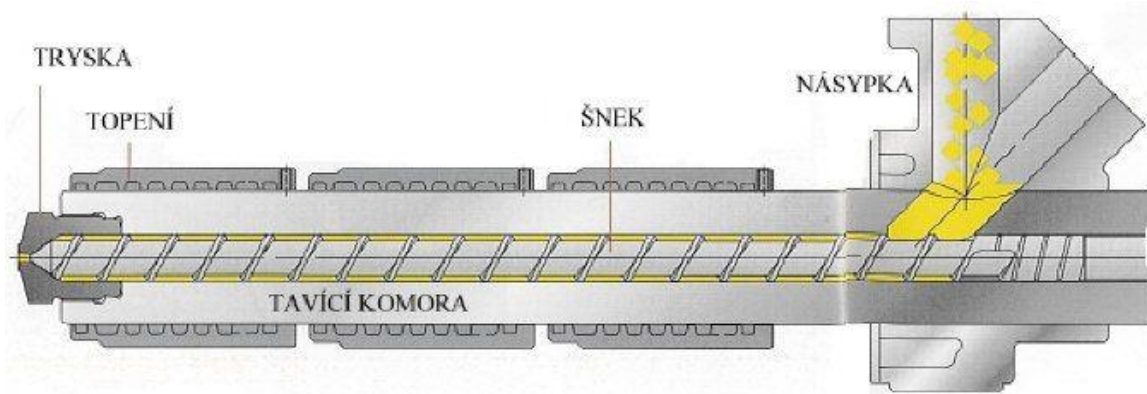


Obrázek 3 Schéma vstřikovacího stroje (1)

Vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Každý výrobce vstřikovacích strojů je schopen vybavit vstřikovací stroj tak, aby plnil funkci částečně nebo plně automatizovaného pracoviště, tj. dovybavit stroj manipulátory, roboty, temperačním zařízením, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárnami, dopravníky pro výrobky a vtoky, mlýny, atd. (1)

### Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly: přeměňuje granulát plastu na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstřikuje taveninu vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. Činnost šnekového stroje je následující: Při plastikaci se šnek otáčí a v hrdle násypky nabírá granulovaný plast, který stlačuje a dopravuje jej do vytápěných částí tavicí komory, kde materiál taje a jako tavenina se hromadí před čelem šneku a šnek během otáčení ustupuje dozadu. Po zplastifikování potřebného množství plastu se otáčivý pohyb šneku zastaví a šnek se bez otáčení pohybuje dopředu jako píst a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Tavicí komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. (1)

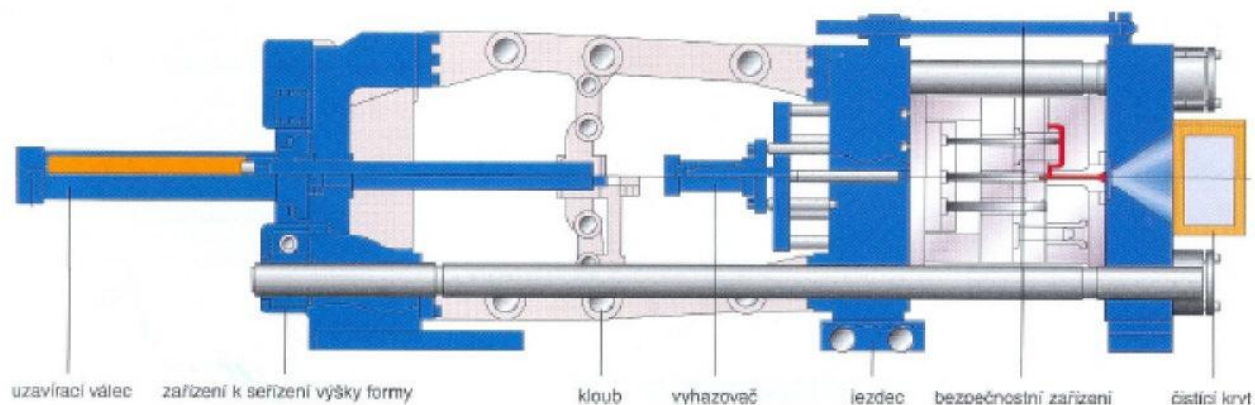


Obrázek 4 Vstřikovací jednotka (1)

### Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Uzavírací systémy mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace

hydraulického a mechanického způsobu a v poslední době se používají i elektrické systémy. (1)



Obrázek 5 Uzavírací jednotka (1)

## 4 Vstřikovací formy

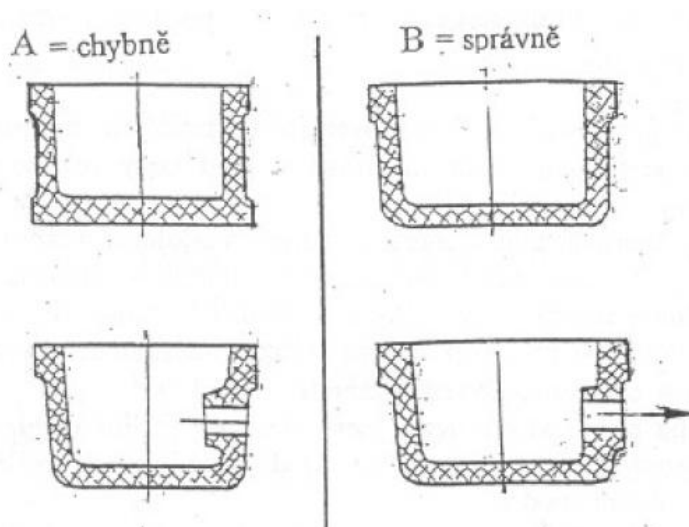
### Zásady konstrukce výlisků z plastů

Nejdůležitější etapou realizace plastového dílu je jeho správná konstrukce, a to jak z hlediska funkčního, tak z pohledu lisotechnického. Samotná, byť koncepčně dobře řešená forma a optimální technologie výroby, již prvotní nedostatky konstrukce dílu neodstraní. Konstrukce výlisku musí splňovat v zásadě dvě hlavní hlediska (3):

1. Funkci plastového dílu v daném zařízení a užité, estetické, ergonomické a bezpečnostní hlediska.

2. Lisotechnické zásady – zaformovatelnost; tloušťky stěn, žeber, nálitky a rádiusy; lisovací úkosy; volba vhodného druhu plastu...

Zaformovatelnost – rozumí se tím způsob optimálního zaformování ve formě, aby výstřik, odformovatelný pomocí různých konstrukčních prvků, mohl být ekonomicky vyráběn, nejlépe v automatickém chodu. (3)

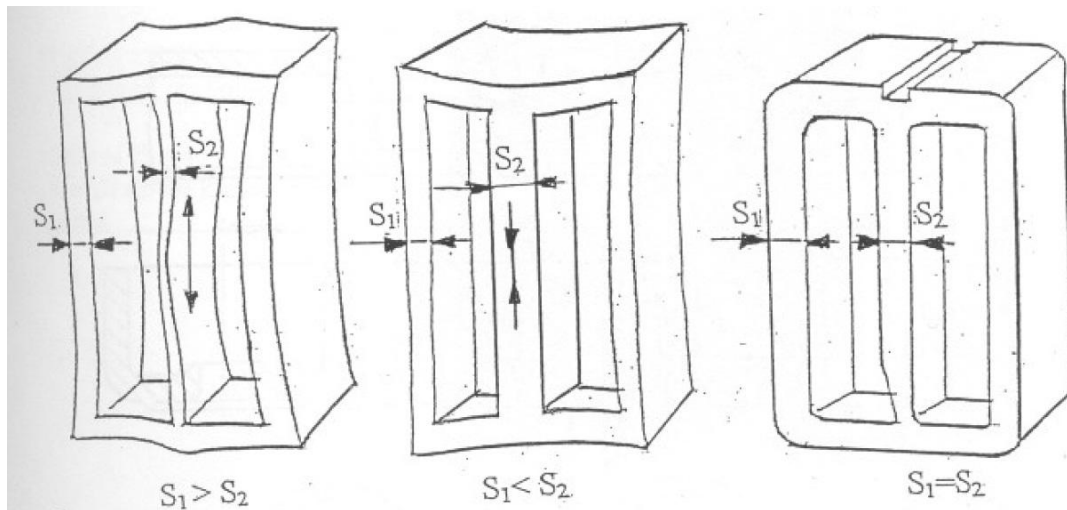


Obrázek 6 Příklady zaformovatelnosti (3)

Tloušťky stěn, žeber, nálitky, rádiusy – tloušťka stěny musí splňovat požadavek funkční (pevnost, tuhost, aj.) a lisotechnický (z hlediska tečení plastu ve formě). (3)

- z ekonomického hlediska se snažíme aby tloušťka stěny byla co nejmenší, neboť nám ovlivňuje nejen náklady na materiál, ale také strojní časy (doba tuhnutí, vytvrzování) (3)

- snažíme se zachovat rovnoměrnost tloušťky stěn, aby různým smrštěním nevznikaly deformace a prnutí při chladnutí výstřiku. Tlustší stěna v návaznosti na slabší stěnu má větší smrštění a tím vznikají tzv. faldy. (3)



Obrázek 7 Deformace smrštěním (3)

- ostré rohy vykazují úhlové deformace z důvodu různé intenzity odvodu tepla, proto se rohy zaoblují. Zaoblení zlepší průtok materiálu v dutině formy, snižuje zbytkové pnutí a usnadní vyjímání výrobku. (3)

- úkos je mírný sklon stěny v dutině formy. Je nutný pro snadné odformování při vyhazování výstřiku z dutiny formy. (3)

#### 4.1 Vtokové systémy forem

Úkolem vtokové soustavy je zajistit dopravu taveniny plastu z plastikační komory do dutiny formy. Vlastní vtok (ústí) by měl být dimenzován tak, aby umožnil maximální dobu působení dotlaku k vyrovnání objemové kontrakce. (3)

Vtok by měl být pokud možno směřován do nejtlustšího místa výlisku, a to jak u termoplastů tak i u reaktoplastů. Pro vstřikování s nadouvadlem do nejslabšího místa výlisku. (3)

Rozváděcí kanály – by měly mít co nejmenší poměr obvodu kanálu vůči ploše kanálu. To zaručuje nejmenší hydraulický odpor v kanálu při průtoku taveniny. (3)

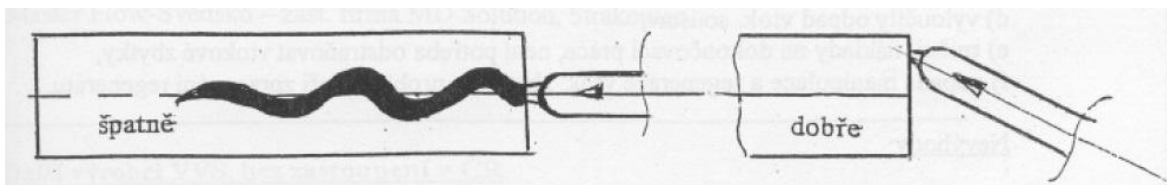
U vícenásobných forem musí být dodrženo odstupňování jednotlivých vtokových kanálů, již od hlavního kuželového vtoku. Kanály by měly být co nejkratší, nejlépe stejně dlouhé pro všechny dutiny formy, aby v každé z nich byly vytvořeny stejné tlakové podmínky, nutné především u výlisků rozměrově přesných. (3)

##### Zásady pro umístění vtoků

Rozmístění a počet vtoků není zásadní jen pro zatečení taveniny, ale je nutno mít na mysli i deformace výlisků vzniklé jejich nevhodnou dislokací. (3)

1. Vstřík je nutno orientovat do nejtlustšího místa výlisku, abychom mohli využít dotlaku pro eliminaci vtaženin. (3)

2. Vyvarovat se tzv. volnému toku taveniny do dutiny formy. Na výlisku vznikne obvykle výrazný vzhledový defekt, tvar hada. Pokud možno by za ústím měla být překážka pro zlom toku taveniny. (3)



Obrázek 8 Příklad zásad umístění vtoku (3)

3. Nevstříkovat do míst na výlisku, kde při jejich používání je největší napětí, respektive kde působí největší síly, ohybové momenty a kroutící momenty. Místa vtoků jsou z důvodů koncentrace prutů vždy nejslabšími místy výlisku. (3)

## 4.2 Problémy spojené s vstříkováním

### Odvzdušnění

Při plnění formy taveninou je nutno zajistit únik vzduchu, který je v ní obsažen. Čím větší je rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušňování dutiny formy. Samotná doba plnění má značný vliv na optimální vlastnosti výstřiku a proto ji nelze přizpůsobovat potřebám resp. chybám v odvzdušňování. (3)

Nemůže-li vzduch z dutiny formy uniknout, dojde jeho stlačením v příslušném místě tokové dráhy buď k jeho zatlačení do výlisku (bublina), při větších tloušťkách stěny, nebo častěji k jeho spálení – tzv. Dieselův efekt. (3)

Místa odvzdušnění u jednoduchých výlisků lze určit ze zkušenosti konstruktéra. U komplikovaných výlisků s více vtoky je nutno zajistit odvzdušnění pomocí simulačních metod a analýz plnění. (3)

Odvzdušnění lze řešit různými vložkami, pomocí vyhazovacího otvoru nebo odvedením vzduchu mikrootvorem. (3)

### Studené spoje

Vznikají spojením dvou proudů taveniny. Příčiny mohou být různé: spojení proudů taveniny vlivem více vtoků, vlivem překážky proudu taveniny ve tvarové dutině, vlivem různých hydraulických odporů v rozdílných tloušťkách stěn apod. Většinou je studený spoj



v kombinaci s uzavřeným vzduchem. Tyto studené spoje způsobují nejen snížení mechanických vlastností dílů, ale i nežádoucí vzhledové vady. (3)

Z technologického hlediska je lze částečně eliminovat zvýšením teploty taveniny, vstříkovací rychlosti včetně zvýšení teploty formy a odvodu vzdušného prostoru mezi toky taveniny. (3)

### **Smrštění**

Je to objemová změna při tuhnutí polymerních tavenin, jejichž základní příčinou je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů, u částečně krystalických plastů ještě přistupují krystalizační změny. (2)

Základním požadavkem všech uživatelů výstřiků z termoplastů je, že vyrobený díl musí mít požadované rozměry, definované jmenovitou hodnotou a tolerancemi, jak rozměrovými, tak i tolerancemi tvaru a polohy. Tvarová dutina formy tedy musí být o příslušné smrštění v daném místě větší. Takto jednoduše definovaný požadavek je ale v praxi velmi obtížně realizovatelný. Důvodem je, že na výsledné smrštění působí velké množství ovlivňujících parametrů, přičemž mezi základní je možné počítat (2):

- procesní parametry výroby – tlaky, teploty, časy,
- typ a vlastnosti zpracovávaného termoplastu – amorfní, částečně krystalické materiály, plněné, neplněné plasty, druh a obsah plniva,
- konstrukce výstřiků, resp. formy – zejména tloušťka stěn výstřiku, tvary ovlivňující smrštění apod.

## **4.3 Temperace forem**

Způsob uspořádání a dimenzování temperačního systému ve formě má značný vliv na vlastnosti výstřiku, jeho deformace a na dosažitelné doby chlazení, resp. cykly. Ačkoliv tento základní požadavek je všeobecně znám, neexistují přesné teoretické a konstrukční podklady jak optimálně, při značné variabilitě tvarů plastových dílů a materiálů, takový systém temperace navrhnout. (3)

Je tedy nutno mít alespoň základní teoretické znalosti, které povedou k optimálnímu řešení a dislokaci chladících okruhů. Dnes již máme prostředky, kterými lze kontrolovat a optimalizovat navrženou temperační soustavu, pomocí simulačních analýz vstříkovacího procesu. (3)

Kontrola spočívá v tom, že nám sdělí, zda navržená temperační soustava v dané formě respektuje stěžejní požadavek na rovnoměrnou dobu chladnutí taveniny po celém tvaru dílce. Toto je základní požadavek na kvalit systémů, jež zajistí u vylisku minimalizaci deformací, pnutí, rozdílů smrštění, povrchové kvality, vzhledu, případně jiných anizotropií souvisejících s použitým typem plastu a tvarem vylisku. (3)

Nutno je mít na paměti, že forma by měla mít dostatečnou hmotnost. Tím se nejen zmenší mechanické deformace při plném vstřikovacím tlaku a působením uzavírací síly stroje, ale zvýší se i tepelná stabilita formy. Nestabilita se projeví hlavně při přerušení výroby, nejenom mezi jednotlivými cykly po vyhození vylisku a novým nástřikem. (3)

Rovněž by mělo být pravidlem používání izolačních desek pod upínacími deskami, alespoň na pevné straně formy jako opatření proti odvádění tepla do upínací desky stroje. Nutností je to při používání vyhřívaných vtokových soustav a plastech, které vyžadují z pohledu dosažení příslušných vlastností vyšší teploty forem. (3)

#### **Rozmístění temperačních okruhů ve formě**

Rozmístění chladících okruhů musí být voleno tak, aby bylo dosaženo časově rovnoměrného chlazení všech partií vylisku současně. Tzn. stěny silnější by měly chladnout stejně rychle jako stěny slabší. Jinak nastanou vlivem rozdílného chlazení anizotropie smrštění a tím deformace vylisků, včetně vyvození vnitřního pnutí. (3)

Vstup chladícího média by měl být orientován vždy do míst nejteplejší části vylisku, tedy ke vstupu taveniny do tvaru. Tj. k vtokovým ústím, kde je tavenina nejteplejší a tím má i tvarová část formy vyšší teplotu, než části od vtoku vzdálené, tj. na konci vtokových drah. (3)

#### **4.4 Vyhazování vylisků z forem**

Vyhazovací systémy forem slouží k vyhození vylisků a svojí funkcí by měly zajišťovat převážně automatický výrobní cyklus. Dopředný pohyb slouží k vyhození. Zpětný pohyb je zajišťován pomocí vraccích kolíků (případně v kombinaci s pružinou). (3)

V případě nutnosti vrácení vyhazovací desky před uzavřením formy je nutno použít především hydraulických vyražeců, jež jsou obvyklé ve vybavení novějších vstřikovacích lisů. V případě, že lis není tímto zařízením vybaven je nutno použít jiné vhodné systémy. Je vhodné se vyhnout pouhému vrácení pomocí pružin, jež nejsou dostatečně spolehlivé a

může nastat kolize například kolize čelistí s vyhazovači. Obvykle se poloha vyhazovací desky jistí koncovým mikrospínačem. (3)

K vyhazování je možno použít vyhazovačů kruhových, či plochých, stíracích kroužků, stíracích lišt, stíracích desek, pneumatických ventilů apod. (3)

Plochy vyhazovacích prvků a jejich rozmístění na vyhazovaném dílu musí být voleny tak, aby nezpůsobovaly deformace dílů. Samotné deformace dílů vyvozují ve výlisku deformační pnutí, s vazbou na negativní mechanické vlastnosti. (3)

K systému vyhazování výlisků z forem je nutno zahrnout i vyhazování vtokových zbytků, především při použití studených vtokových soustav. (3)



Obrázek 9 Vyhazovače (6)

Hlavní kuželový vtok se z dýzy obvykle vytahuje pomocí nálitku s podkosem na posuvné straně formy. Vyhození obstarává vyhazovací kolík kotvený ve vyhazovací desce. Tentýž systém se používá u rozvodných kanálů, rozvádějících taveninu k tunelovému ústí. (3)

#### 4.5 Volba ocelí pro formy na zpracování plastů

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. (3)

Oceli pro tvárník a dutinu se nejčastěji cementují (houževnaté jádro, tvrdý povrch, dobře leštitelné) a kalí (velká odolnost proti opotřebení), popř. se používají antikorozi oceli (pro zpracování chemicky agresivních plastů). (3)

### **Oceli pro ostatní části forem (3):**

Desky – pro méně namáhané desky se používají konstrukční oceli třídy 11, pro více namáhané desky se používají cementační oceli konstrukční i nástrojové.

Vodící sloupky a pouzdra – jsou vesměs vyráběny z cementačních ocelí

Vyhazovače – nástrojové oceli, nitridované oceli

Dorazy – obvykle se vyrábí z nástrojových ocelí a kalí se na vysokou tvrdost

Vtokové vložky – vyrábí se z cementačních ocelí, popř. z kalitelných nástrojových ocelí.

# Praktická část

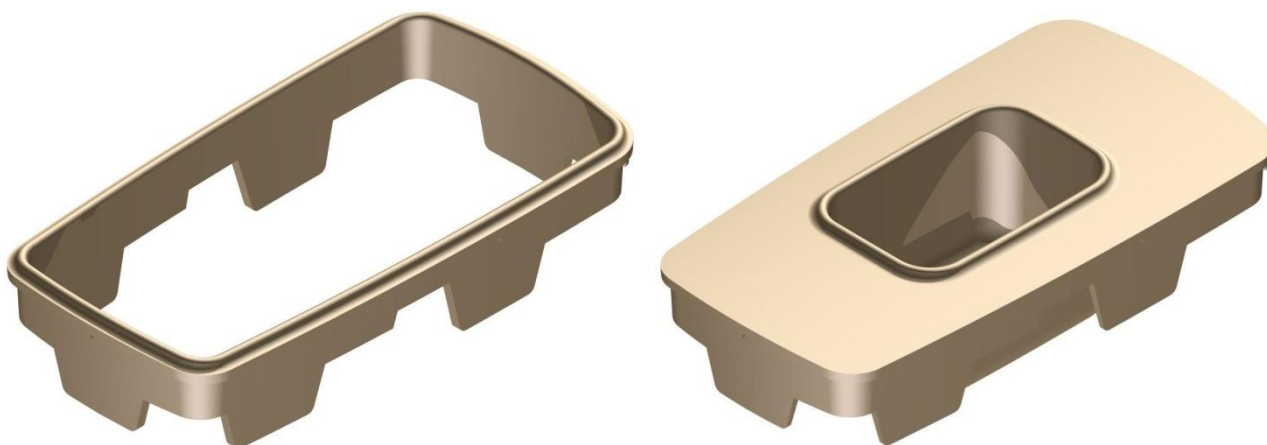
---

## **5 Cíle ročníkové práce**

Cílem ročníkové práce je navrhnout a vymodelovat funkční model formy ve 3D pro zadanou plastovou součást. Mezi další cíle patří úspěšné provedení analýz plnění materiálu do formy a smrštění součásti. Poslední cíl mé práce je zdokonalení sebe sama v programu Autodesk Inventor 2011 a s nástrojem Mold design.

## 6 Výrobek (výstřik)

Jedná se o dva rámečky z palubní desky luxusního vozu Mercedes C204. V rámečcích jsou umístěny další komponenty pro ovládání vozu (tlačítka,...). Modely rámečků jsem obdržel v 3D podobě od firmy Mürdter Dvořák s r.o. Tvar rámečků musel být zjednodušen z důvodu problematického návrhu pomocných dělicích rovin, kdy mi nedostatečná znalost práce s nástrojem MoldDesign, po mnoha neúspěšných pokusech, znemožnila jejich tvorbu. Bez pomocných dělicích rovin bylo nemožné vytvořit kombinaci šoupátka a zdvihače, což bylo jediným možným řešením pro odformování problematického tvaru na obou rámečcích. Problematickým tvarem byly západky pro snadné připnutí rámečků do sestavy na palubní desce, a aby bylo možné pokračovat v mé ročníkové práci, tak musely být odstraněny. Takto upravené rámečky sice ztratily význam coby do funkčnosti v sestavě auta, ale i tak stále stačili pro splnění cílů mé ročníkové práce.



Obrázek 10 Výstřik 1 a 2

### Materiál výrobku

Jako materiál pro oba výstřiky byl zvolen terpolymer ABS, jelikož díky níže uvedeným vlastnostem se ke svému účelu dokonale hodí.

ABS (Akrylonitril-butadien-styren) je tříložková směs základních monomerů, u kterých se vhodnou kombinací složek podařilo zlepšit chemickou odolnost plastu (vlivem akrylonitrilové složky) a podstatně zvýšit houževnatost (vlivem butadienové složky), a to při zachování dostatečné pevnosti v tahu i ohybu a při zachování potřebné tuhosti. (5)

Změnou poměru základních složek lze přitom jednotlivé vlastnosti měnit podle potřeby, a tak získat speciální druhy materiálu ABS vhodné pro aplikace, kde se vyžadují posílené vlastnosti v určitém směru. Jiné vlastnosti preferuje výrobce u materiálu určeného

na výrobu dílů pro automobilový nebo letecký průmysl a jiné u materiálu na výrobu dílců chladniček nebo na výrobu tlakových trubek. (5)

Výčet kladných vlastností plastu ABS (5):

- tuhost a pevnost
- houževnatost a vrubová citlivost
- tvarová stálost za tepla v poměrně širokém teplotním rozsahu
- rozměrová stálost v provozních podmínkách
- poměrně tvrdý a hladký povrch, který přispívá k atraktivnosti výrobku
- dobrá zpracovatelnost tvářením i obráběním
- dostupnost v široké škále barev
- malá hustota (jedna z nejmenších v řadě tuhých termoplastů)
- široké možnosti povrchových úprav určených k ochraně proti atmosférické korozi nebo ke zlepšení mechanických vlastností
- je hygienicky nezávadný při styku s potravinami a věcmi osobní potřeby

Výčet negativních vlastností plastu ABS (5):

- nejsou transparentní s jsou dostupné pouze v neprůhledných odstínech
- kromě speciálních samozhášivých typů nejsou terpolymery ABS odolné proti ohni a jsou zařazeny v kategorii látek pomalu hořících
- působí na ně některá chemická činidla
- bez povrchových úprav se projevují rychlejším atmosférickým stárnutím

V následujících obrázcích je popsán zvolený plast a doporučené vlastnosti zpracování vygenerované z knihoven obsahového centra programu inventor.



Mechanické vlastnosti		Vlastnosti smršťení	Vlastnosti plnidla	Dopad na životní prostředí	
Popis	Doporučené zpracování	Reologické vlastnosti	Tepelné vlastnosti	Vlastnosti PVT	
Název rodiny	ACRYLONITRILE COPOLYMERS (ABS, ASA, ...)				
Obchodní název	Magnum 3416SC				
Výrobce	Dow Chemical Europe				
Zkratka rodiny	ABS				
Struktura materiálu	Amorphous				
Zdroj dat	Moldflow Plastics Labs : pvT-Measured : mech-Measured				
Datum poslední úpravy	16-SEP-08				
Datum testu	20-AUG-07				
Stav dat	Non-Confidential				
ID materiálu	21042				
Kód stupně	MAT3353				
Kód dodavatele	DOWEUR				
Vláknna/plnidla	Nevyplněno				

Obrázek 11 Materiál – popis

Mechanické vlastnosti		Vlastnosti smršťení	Vlastnosti plnidla	Dopad na životní prostředí	
Popis	Doporučené zpracování	Reologické vlastnosti	Tepelné vlastnosti	Vlastnosti PVT	
Teplota povrchu formy	60	C			
Teplota taveniny	250	C			
Rozsah teplot formy (doporučený)					
Minimum	40	C			
Maximum	80	C			
Rozsah teplot taveniny (doporučený)					
Minimum	220	C			
Maximum	280	C			
Absolutní maximum teploty taveniny	300	C			
Teplota vyhození	106	C			
			Zobrazit informace o testu pro teplotu vyhození...		
Maximální smykové napětí	0.3	MPa			
Maximální smyková hodnota	50000	1/s			

Obrázek 12 Doporučené zpracování materiálu

Na obrázku 13 můžeme vidět identifikační kód pro recyklaci a identifikátor energetického využití daného materiálu. Z něho je patrné, že plast je řazen z hlediska recyklace do skupiny:

- Ostatní. Zahrnuje umělé látky, které nejsou uvedeny. Tato kategorie rovněž zahrnuje materiály, které jsou směsí nebo obsahují plnidla.

A z hlediska energetického využití se plast řadí mezi méně energeticky náročné materiály (čím méně oranžových dílků, tím více spotřebované energie)



Obrázek 13 Ekologie materiálu

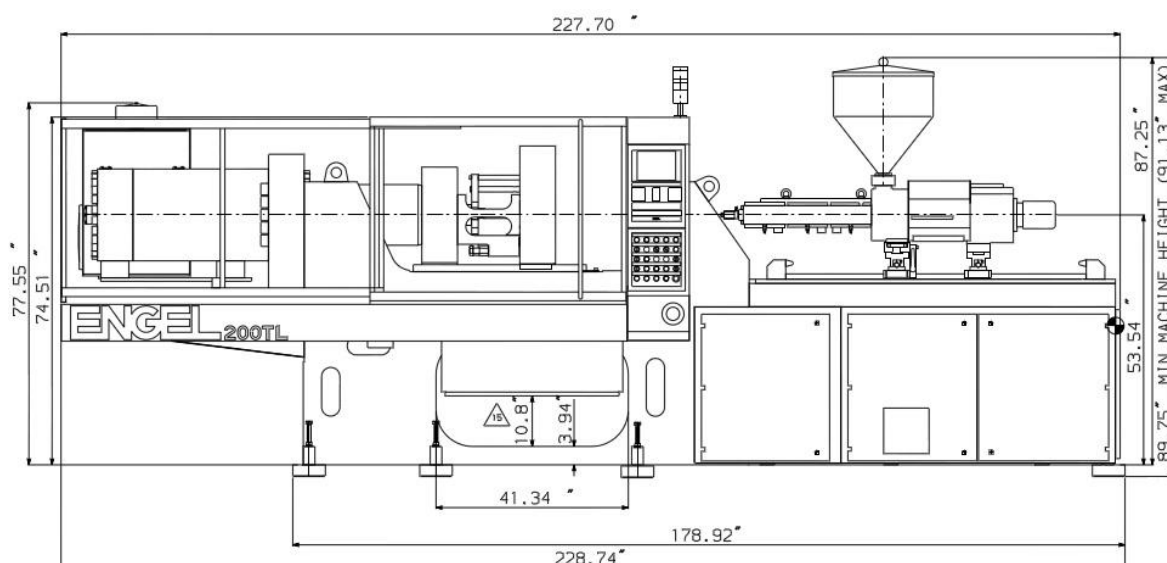
## 7 Vstřikovací stroj

Ke vstřikování byl zvolen vstřikovací stroj od rakouské firmy ENGEL. Firma ENGEL má dlouholetou tradici a za řadu let si vydobyla jedno z prvních míst v žebříčku výroby a prodeje vstřikovacích strojů. Dnes v této oblasti dodává špičkové vybavení a své pobočky má takřka po celém světě (i v České republice).

Pro náš případ byl zvolen konkrétně stroj ENGEL ES 200, protože svými parametry vyhovuje námi řešenému případu. Konkrétní údaje o vstřikovacím stroji jsou uvedeny na následujícím obrázku.

ENGEL ES 200		
Výrobce:	ENGEL	
Napsat:	ES 200	
rok výstavby:	1990	
Uzavírací jednotka		
Uzavírací síla	ton	200
Zdvih pohyblivé desky	mm	510
Průchod mezi sloupy	mm	510 x 510
Výška formy (min/max)	mm	400 / 710
Vnější rozměr upínac. desek	mm	770 x 770
Označení vstřikovací jednotky		
Průměr šneku	mm	45
Teoretický vstřik. objem	cm <sup>3</sup>	318
Gramáž vstřiku	gr	287
Vstřikovací tlak	bar	2100
Ostatní data		
Rozměry stroje (D x Š x V)	m	5,6 x 1,60 x 1,95
Celková hmotnost stroje	Kg	8000

Obrázek 14 Parametry stroje (4)



Obrázek 15 Výkres vstřikovacího stroje

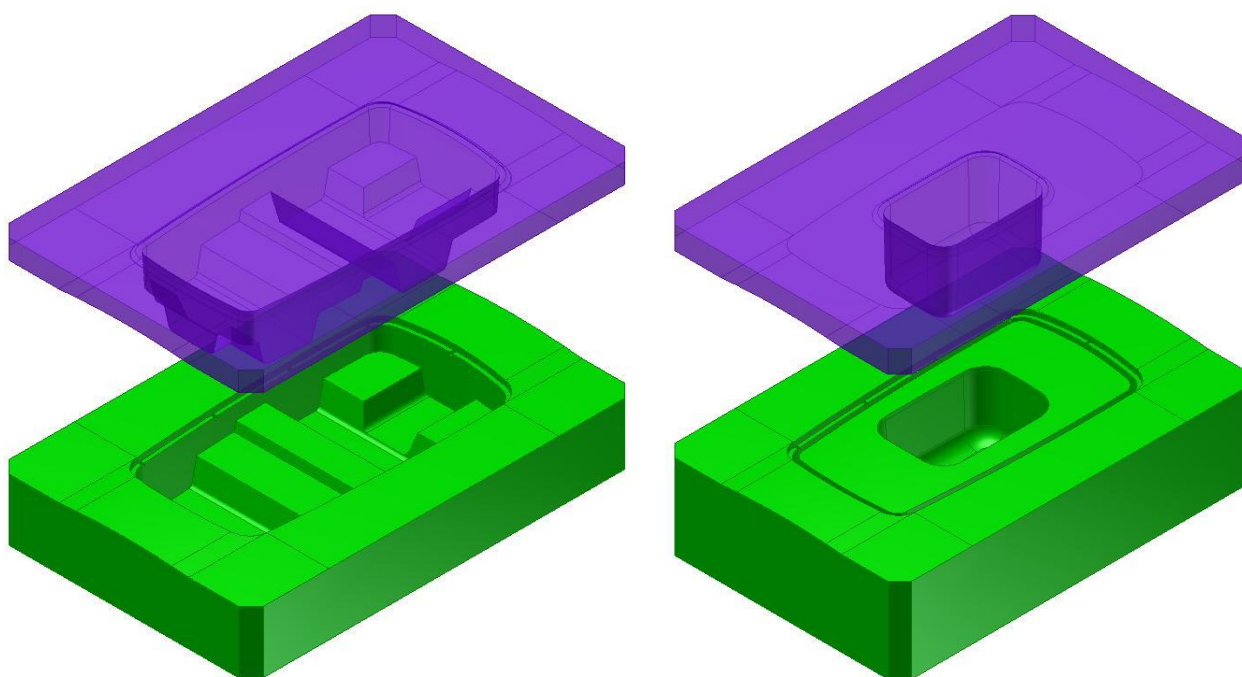
## 8 Konstrukce vstřikovací formy

Následující část se zabývá postupem konstrukce formy a problémy spojenými s konstrukcí. Dále je zde popis funkčnosti jednotlivých prvků formy.

### 8.1 Tvárník a dutina

Při konstrukci tvárníku a dutiny si zpočátku musíme stanovit zda se bude jednat o jednonásobnou formu nebo vícenásobnou formu. Jelikož nám byly zadány dva různé výstřiky, po uvážení byla zvolena forma jednonásobná s dvěma dutinami.

Dalším krokem při konstrukci tvárníku a dutiny je vhodné zvolení dělicí roviny, jež musí být umístěna tak, aby byl výlisek zaformovatelný, tedy aby bylo možné hotový výstřik bez deformace vyhodit z formy. V našem případě byla dělicí rovina zvolena u hran výstřiku, aby z estetického hlediska byla stopa po dělicí rovině co nejméně viditelná, a aby výstřik po otevření formy zůstal v pohyblivé části formy, odkud bude vyhozen vyhazovacím systémem.

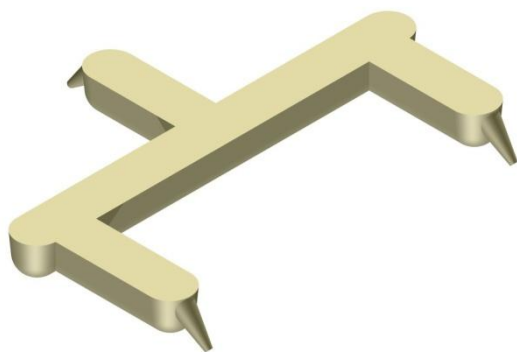


Obrázek 16 Tvárník a tvárnice obou výstřiků

### 8.2 Vtokový systém

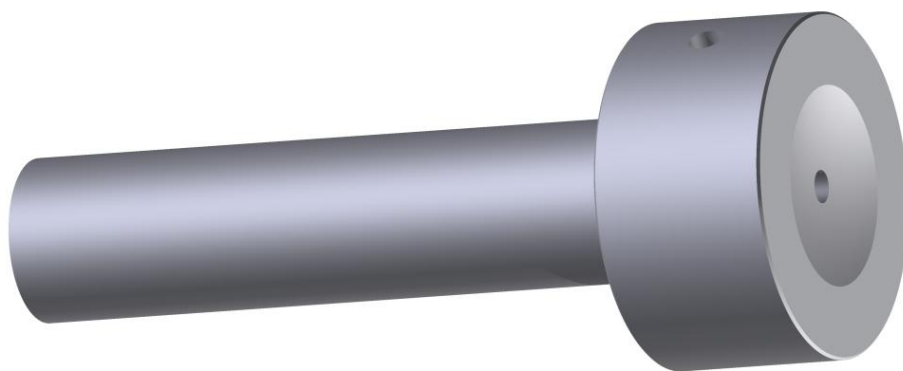
Návrh vtokového systému obnáší volbu umístění vtoků na výstřiku. V našem případě bylo umístění vtoků řešeno s ohledem na různý objem materiálu u obou výstřiků. Proto byl zvolen u méně objemného výstřiku jeden vtok a u více objemného výstřiku dva vtoky, aby se optimalizoval čas plnění dutiny.

Na pohyblivé straně formy byly vyrobeny vtokové kanály lichoběžníkového průřezu s tunelovými vtoky. Odpadový materiál vtokového kanálu bude od výstřiku oddělen automaticky díky vhodně situovaným vtokům a správnému rozložení sil při vyhazování vyhazovacími kolíky.



Obrázek 17 Odpad po vtokovém systému

Při výběru vtokového systému muselo být upuštěno od volby vyhřívaného vtokového systému, který nebylo možné zvolit v programu, ve kterém byla forma zpracovávána, z důvodu nemožnosti řešení budoucích analýz výstřiku. Proto byl zvolen studený vtokový systém, který má oproti vyhřívanému vtokovému systému základní nevýhodu, a to větší množství odpadového materiálu, což může být při hromadné výrobě nevýhodné. Aby se ušetřily náklady na výrobu objímky vtokového kanálu, byla vybrána normalizovaná objímka.

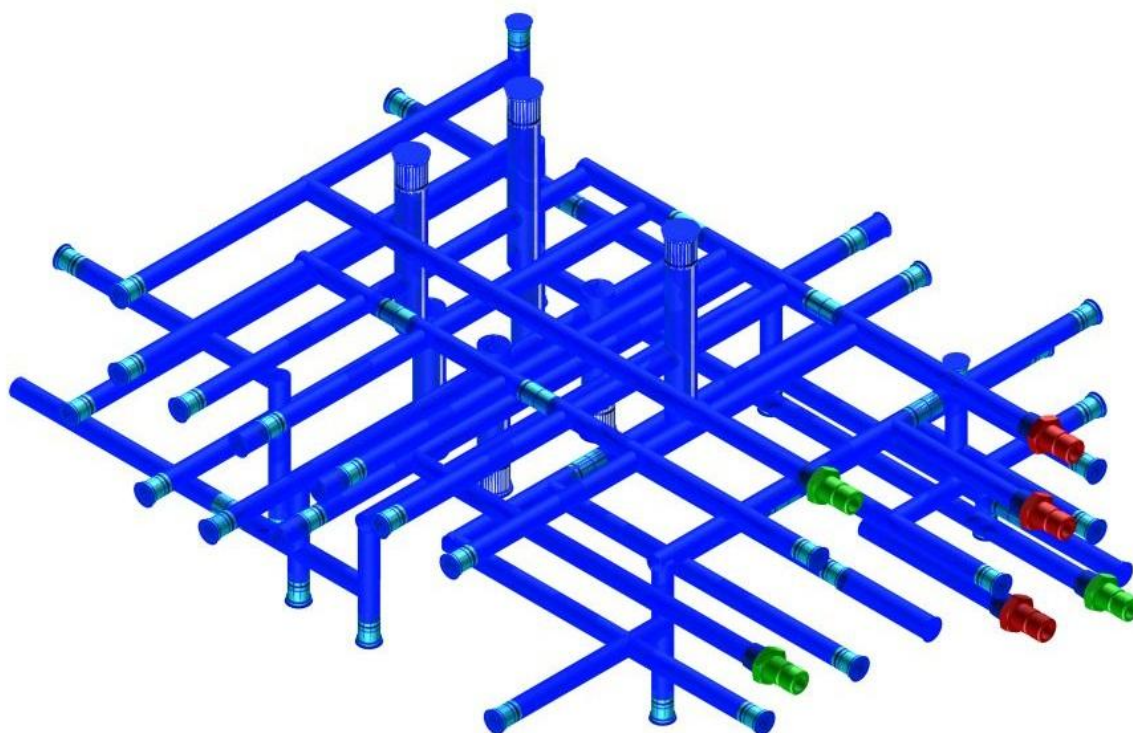


Obrázek 18 Objímka vtokového kanálu

### 8.3 Temperační systém

Úkolem temperačního systému je odvádět přebytečné teplo z formy a tím udržet jednotlivé díly formy při rovnoměrné teplotě. Na vhodném návrhu temperačního systému také závisí výsledná kvalita výstřiku. Při špatně navrženém temperačním systému by mohly být teplotní rozdíly na jednotlivých místech tvarové dutiny tak velké, že by

docházelo k nerovnoměrnému tuhnutí plastu v dutině, a tím i k následným deformacím hotového výstřiku. V našem případě byl temperační systém vytvořen skupinou vrtaných a vzájemně propojených otvorů s průměrem 8 mm. Skládá se ze třech samostatných okruhů, které mají vstup a výstup na jedné straně formy a jsou zakončené normalizovanými koncovkami pro připojení hadic. Jeden temperační okruh je řešen v tvárníku a zbylé dva temperační okruhy jsou v tvárnici. Dráha průtoku kapaliny je zajištěna pomocí vnitřních a vnějších ucpávek správně umístěných tak, aby zajišťovaly těsnost a maximální účinnost celého okruhu.

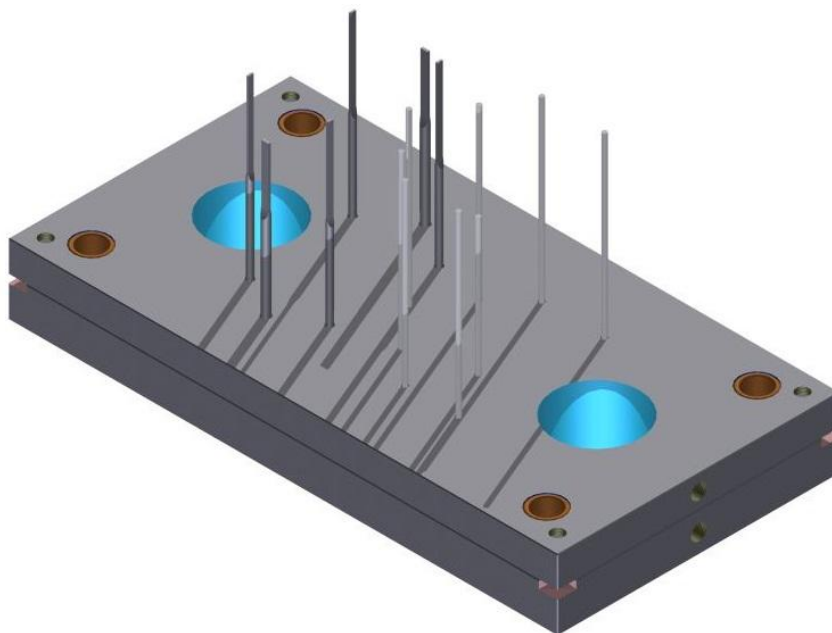


Obrázek 19 Ukázka dráhy temperačního systému

## 8.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém musí zajistit vyhození výstřiku z formy, aniž by došlo k jeho poškození. K tomuto účelu byly u jednoho výstřiku zvoleny vyhazovače válcové a u druhého výstřiku, vzhledem k jeho složitému tvaru, vyhazovače obdélníkového průřezu. Počet vyhazovačů a jejich rozmístění na výstřiku bylo zvoleno tak, aby mohl být výstřik bez větších deformací vyhozen. K vyhození odpadového materiálu ve vtokovém kanálu byly zvoleny vyhazovače válcové, které při vyhazování zároveň automaticky oddělí výstřik od kanálu.

Vyhazovače jsou ukotveny v kotevní a opěrné desce, která je upevněna k hydraulickému systému, jenž zjišťuje celý vyhazovací proces. Stabilita kotevní a opěrné desky je řešena pomocí vodících pouzder pohybujících se po vodících sloupcích.

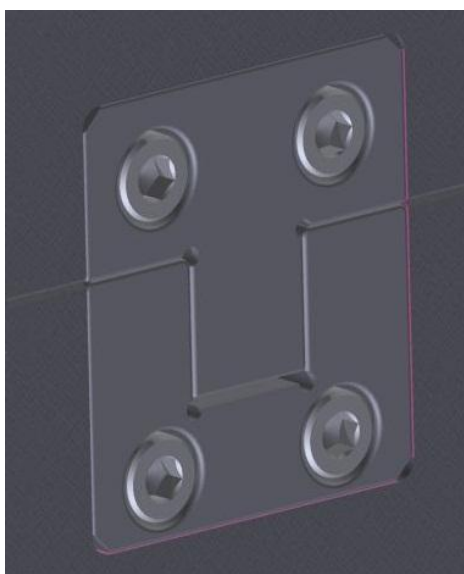


Obrázek 20 Vyhazovací desky s vyhazovači

## 8.5 Ostatní konstrukční prvky

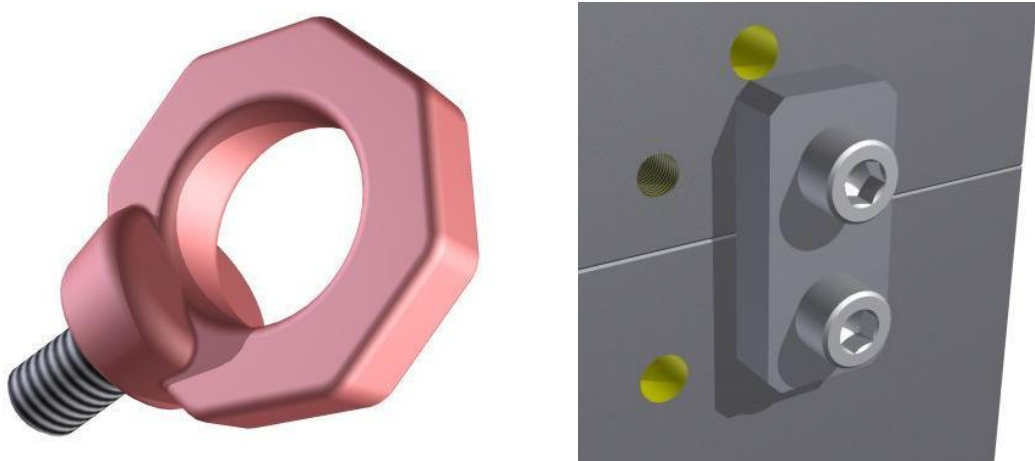
### Blokovací zámky

System čtyř blokovacích zámků slouží ke správnému zafixování polohy tvarových desek při zavírání formy. Zajištění správné polohy obou desek je nutné především proto, aby při nesprávném dosednutí desek na sebe nedošlo k poškození tvarové části desek, a tím ke znehodnocení jednoho z nejdražších prvků formy.



### Manipulační systém

O manipulaci s formou se stará normalizované transportní oko navržené na danou hmotnost formy. Aby při zvedání formy a manipulaci s formou nedošlo k jejímu samovolnému otevření, jsou po stranách formy zámky, které po zamčení znemožní otevření formy.



Obrázek 22 Prvky manipulačního systému (vlevo – transportní oko, vpravo - zámek)

Každý těžký díl formy je opatřen řadou otvorů se závity, do kterých je možné našroubovat pomocné zvedací prvky. K těmto prvkům je následně možné připevnit zvedací popruhy nebo hák upevněný na jeřábu tak, aby bylo možné s daným dílem manipulovat.

### Ostatní

Dalším důležitým prvkem formy jsou středící kroužky, díky nimž je pohyblivá a pevná část formy přesně ustavena a upnuta k upínacím deskám lisu.



Obrázek 23 Středící kroužek

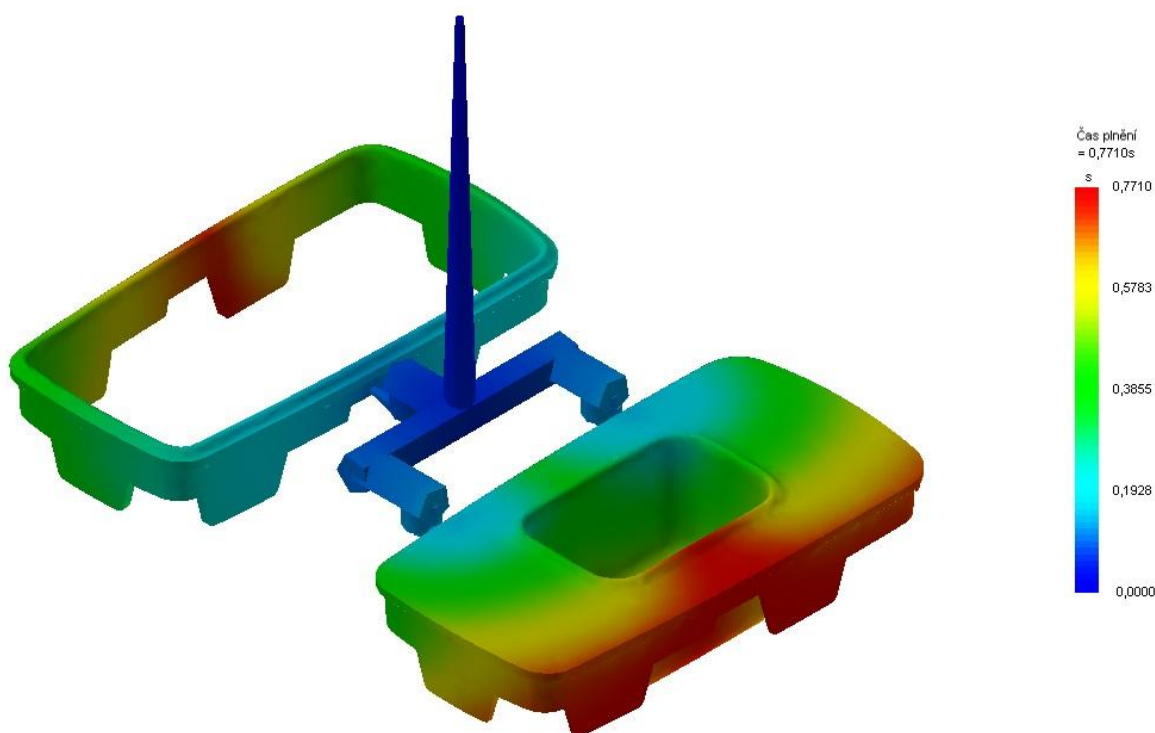
V našem případě je nutné použít podpěrné válce, které zabraňují průhybu formy při vstřikování plastické hmoty pod velkým tlakem.

## 9 Analýzy a diskuse

### Čas plnění

Výsledky této analýzy udávají, za jak dlouho se naplní dutina roztaveným plastem. Různé barvy zobrazují v pravidelných intervalech polohu fronty proudění jako výplně dutiny. Z výsledků této analýzy je možné si uvědomit to, kde je vhodné umístit vtoky. Vtoky by měly být umístěny tak, aby se součást plnila rovnoměrně a v co nejkratším čase. Dále lze z této analýzy poznat, kde mohou vznikat studené spoje, a také kde by bylo vhodné odvzdušnit dutinu kvůli natlačenému vzduchu při vstřikování.

V našem případě se dbalo převážně na stejnou rychlost plnění plastickou hmotou u obou součástí, což se nakonec povedlo s odchylkou v desetínách sekundy. Výsledný čas, za který byla dutina naplněna, je přibližně 0,77 sekundy. Tohoto času bylo docíleno opakovaným upravováním návrhového plánu a opětovným analyzováním.



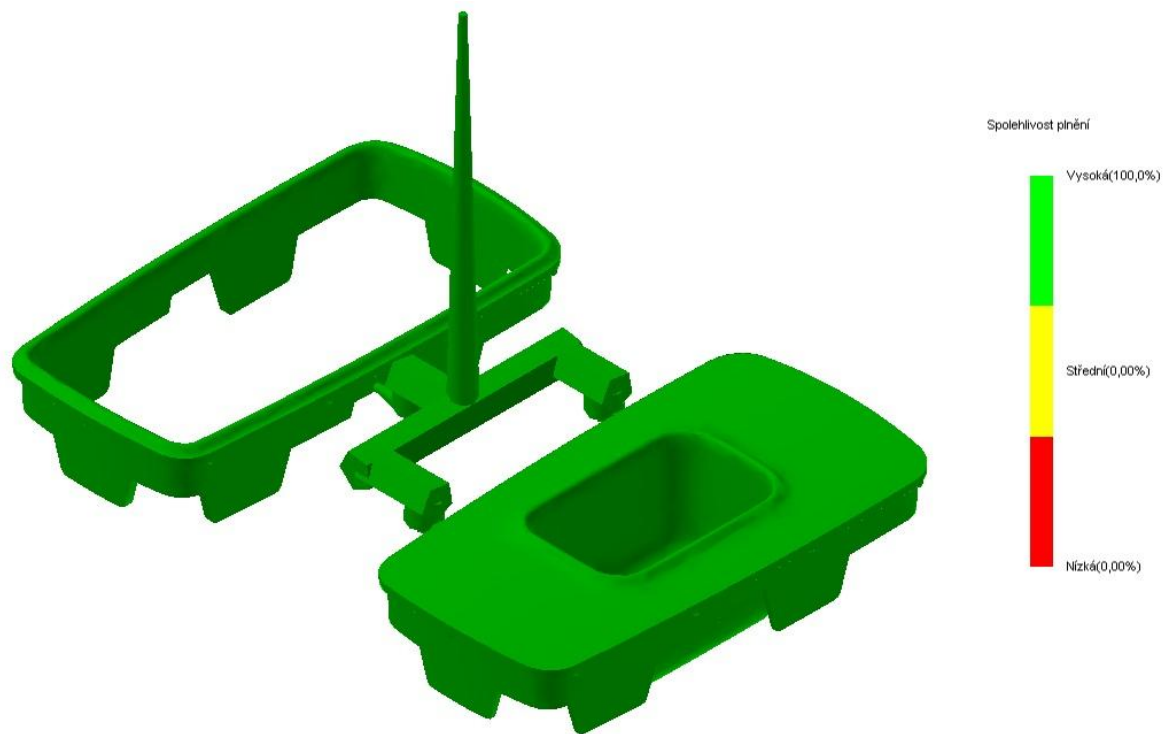
Obrázek 24 Analýza – čas plnění

### Spolehlivost plnění

Výsledek spolehlivosti plnění zobrazuje pravděpodobnost, že plast vyplní oblast v dutině za běžných podmínek tvarování vstřikováním. Z výsledků lze poznat, zda lze dutinu vyplnit snadno, obtížně nebo dojde k nedostřiknutí taveniny.

Výsledek analýzy pro náš konkrétní případ je příznivý. Součást se vyplní snadno a její kvalita bude pravděpodobně přijatelná.





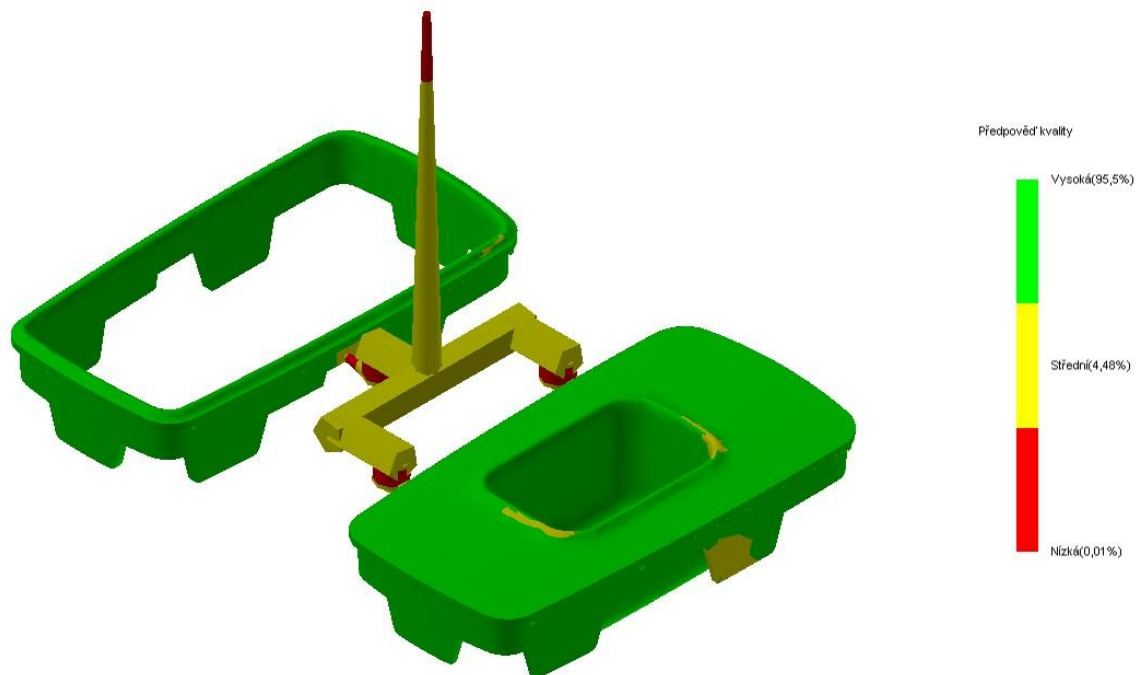
Obrázek 25 Analýza – spolehlivost plnění

### Předpověď kvality

Výsledek předpovědi kvality se používá k odhadnutí kvality mechanických vlastností a vzhledu součásti. Tento výsledek je odvozen z výsledků tlaku, teploty a dalších výsledků.

V našem případě lze z výsledků poznat, že velká část součásti bude mít vysokou kvalitu materiálu. Na součásti jsou také plochy s nižší kvalitou, ale není jich mnoho a lze je považovat za přijatelné. Přijatelné jsou díky tomu, že se nevyskytují na místech, která musí mít velkou jakost z designového hlediska nebo jsou velice malé a tudíž přijatelné. Součást nebude namáhána, a proto lze jakostní nedostatky přehlédnout.

Výsledky kvality vtokové soustavy nás zajímají především v místě vtoku, kde je potřeba docílit kvality velmi nízké. Tohoto se snažíme docílit především proto, že bylo navrženo samostatné oddělení vtokové soustavy od obou výstřiků. Nízká kvalita materiálu v místě vtoku zajistí jeho snadné prasknutí po vynaložení tlaku při vyhazování.

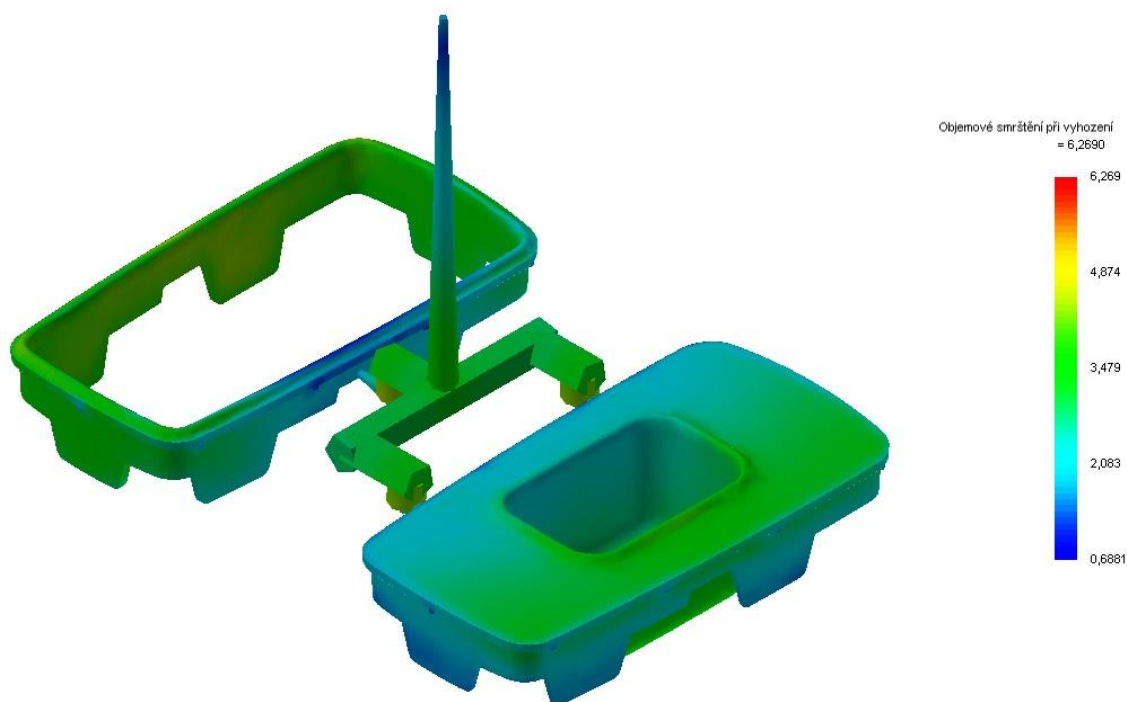


Obrázek 26 Analýza – předpověď kvality

### Smrštění součásti

Výsledek analýzy smrštění součásti udává procentuální hodnotu o jakou se smrští součást v daném místě. Výsledek musí splňovat hodnoty zadané zákazníkem. Hodnoty smrštění dále udávají, o kolik by měla být součást při konstrukčním návrhu větší než výsledný produkt.

V našem případě je smrštění součásti přijatelné po celé její ploše. Ke dvojnásobným hodnotám smrštění se dostáváme jen v místě větší koncentrace materiálu.



Obrázek 27 Analýza – smrštění součásti

## 10 Závěr

Jedním z cílů této práce bylo vytvořit návrh formy na vstřikování plastů pro zadaný plastový díl. Tento cíl zahrnoval konstrukci tvárníku a dutiny, vtokového systému, temperačního systému, vyhazovacího systému a dalších přidružených prvků patřících k návrhu formy. Formu jsem se snažil vymodelovat tak, aby se její reálný model co možná nejvíce blížil skutečnému funkčnímu modelu. Tento cíl považuji za splněný, jelikož model dodržuje většinu zásad, na které by se měl brát ohled při jeho konstrukci.

Dalším cílem práce bylo provést analýzy plnění dutiny formy a smrštění výstřiku, které zahrnovaly vhodnou volbu materiálu a podmínek pro vstřikovací cyklus. Na analýzy měla samozřejmě velký vliv i konstrukce vtokového systému s několika dalšími prvky. Tento cíl byl splněn, přestože výsledná předpověď kvality výstřiku v některých jeho částech nebyla stoprocentní, ale stále se dala považovat za přijatelnou pro náš konkrétní případ.

Pokud jde o poslední cíl, porozumění nástroji pro tvorbu forem v programu Inventor 2011, lze ho považovat také za splněný, jelikož jsem řešením této práce nabyl jistých znalostí jak tento nástroj ovládat.

## Anotace

Jméno a příjmení: Adam Přikryl

Škola: Střední průmyslová škola strojnická, Olomouc, tř. 17. listopadu 49

Název práce: Forma na vstřikování plastů

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Nevima, Ph.D.

Počet stran:

Počet příloh:

Počet titulů použité literatury: 6

Klíčová slova: Forma, vstřikování, plasty, výstřik, analýza, ABS

Výsledkem práce je funkční 3D model formy pro vstřikování plastů zhotovený dle stanovených cílů v programu Autodesk Inventor Professional 2011. Dalším splněným cílem jsou analýzy týkající se vstřikování a smrštění součástí, které byly návrhem konstrukce optimalizovány tak, aby byl výsledek vstřikování přijatelný.

## Resumé

V této práci jsem řešil problematiku konstrukce vstřikovacích forem pro plasty. Samotná konstrukce byla díky nástroji Mold design značně zjednodušena na úkor jisté volnosti při zasahování do některých konstrukčních prvků formy. Konstrukce formy samotné nebyla zrovna náročná, ale díky mé prvotní neznalosti nástroje Mold design jsem měl zpočátku jisté problémy a samotnou konstrukci jsem často měnil a opravoval. Tyto časté úpravy postupně zdokonalovaly model, až do finální verze v jaké je teď.

S hotovým modelem jsem mohl pracovat na analýzách vstřikování. Analýzy vstřikování a smrštění součásti jsou závislé především na zvoleném materiálu, rozvržením vtokové soustavy s chlazením a také vhodným nastavením parametrů formy (teplota, tlak) při vstřikování. Dopracovat se ke správnému výsledku nebylo lehké, protože i malý zásah do uvedených prvků návrhu mohl zcela změnit výsledek analýz. Jakožto nezkušený technolog jsem nedospěl ke zcela stoprocentním výsledkům leč stále velmi přijatelným.

In this work I was solving the issue of construction of injection molds for plastics. The construction itself was simplified due to Mold design tool at the expense of some flexibility in intervention to certain structural elements of the mold. Mold construction itself was not too difficult, but due to my primary unfamiliarity with the Mold Design tool I initially had some problems and I often changed and repaired the construction. These changes were gradually improving the model to the final version as it is now.

With the finished model I could work on the analysis of injection. Analysis of injection and shrink of pieces are depending on the chosen material, allocation of gating system with cooling and a suitable setting of mold parameters (temperature, pressure) for injection. Attain to the correct result was not easy, because even a small interference in those design elements can completely change the outcome of the analysis. As a inexperienced technologist I has not reached the full hundred percent results, but current results are still very acceptable.

## Seznam literatury a dalších zdrojů

1. **Lenfeld, Petr.** *Katedra tváření kovů a plastů - skripta.* [Online] [Citace: 25. Únor 2011.] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm).
2. **Zeman, Lubomír.** *Vstřikování plastů.* 1. české vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2009. str. 248. ISBN 978-80-7300-250-3.
3. **Řehulka, Zdeněk.** *Konstrukce vylisků a forem pro zpracování plastů.* místo neznámé : Sekurkon s.r.o. str. 229. ISBN 978-80-86604-44-2.
4. **Formplast GmbH.** *Formplast plastic machinery.* [Online] 2008. [Citace: 5. Duben 2011.] <http://www.formplastgmbh.de/cz>.
5. **Starý, Miroslav, a další.** *Terpolymery ABS, zpracování a použití.* Praha : STNL - Nakladatelství technické literatury, 1977. str. 248. ISBN neuvedeno.
6. **Meusburger.** *Meusburger formaufbauten.* [Online] [Citace: 8. Duben 2011.] <http://www.meusburger.com>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Struktury plastů (1) .....	8
Obrázek 2 Princip vstřikování (1).....	10
Obrázek 3 Schéma vstřikovacího stroje (1) .....	10
Obrázek 4 Vstřikovací jednotka (1).....	11
Obrázek 5 Uzavírací jednotka (1).....	12
Obrázek 6 Příklady zaformovatelnosti (3) .....	13
Obrázek 7 Deformace smrštěním (3).....	14
Obrázek 8 Příklad zásad umístění vtoku (3) .....	15
Obrázek 9 Vyhazovače (6).....	18
Obrázek 10 Výstřik 1 a 2.....	22
Obrázek 11 Materiál – popis .....	24
Obrázek 12 Doporučené zpracování materiálu .....	24
Obrázek 13 Ekologie materiálu .....	24
Obrázek 14 Parametry stroje (4).....	25
Obrázek 15 Výkres vstřikovacího stroje .....	25
Obrázek 16 Tvárník a tvárnice obou výstřiků .....	26
Obrázek 17 Odpad po vtokovém systému.....	27
Obrázek 18 Objímka vtokového kanálu.....	27
Obrázek 19 Ukázka dráhy temperačního systému.....	28
Obrázek 20 Vyhazovací desky s vyhazovači .....	29
Obrázek 21 Blokovací zámek v zavřené poloze.....	30
Obrázek 22 Prvky manipulačního systému (vlevo – transportní oko, vpravo - zámek).....	30
Obrázek 23 Středící kroužek .....	30
Obrázek 24 Analýza – čas plnění .....	31
Obrázek 25 Analýza – spolehlivost plnění.....	32
Obrázek 26 Analýza – předpověď kvality .....	33
Obrázek 27 Analýza – smrštění součásti .....	33

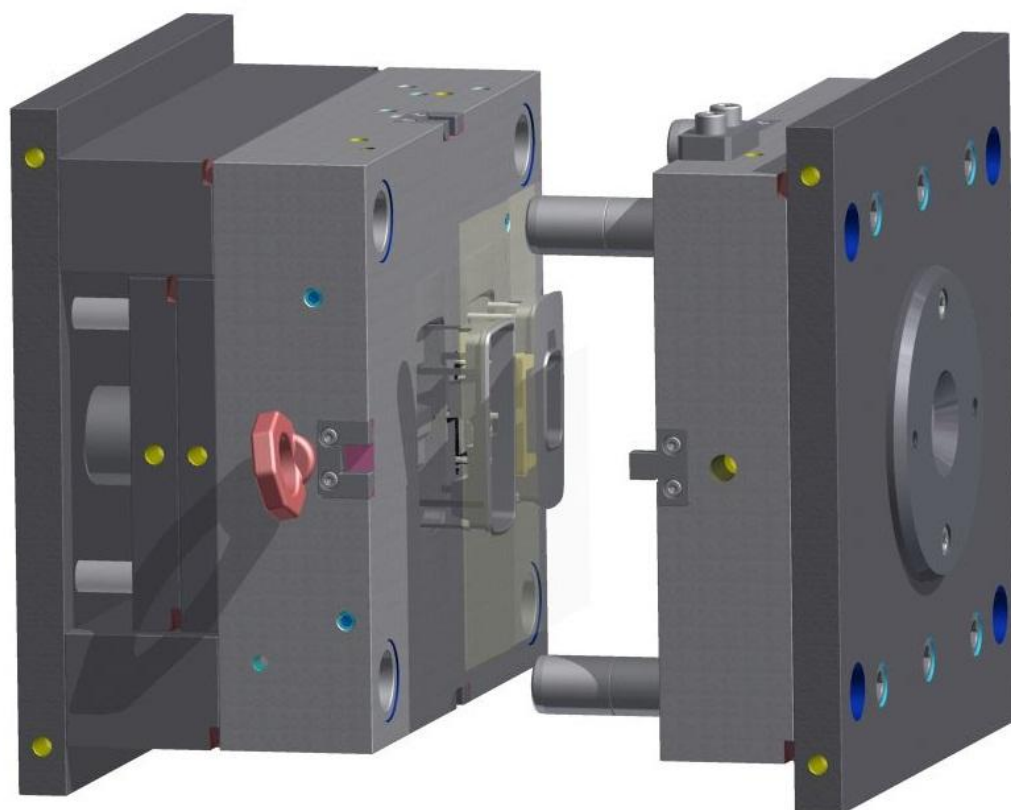
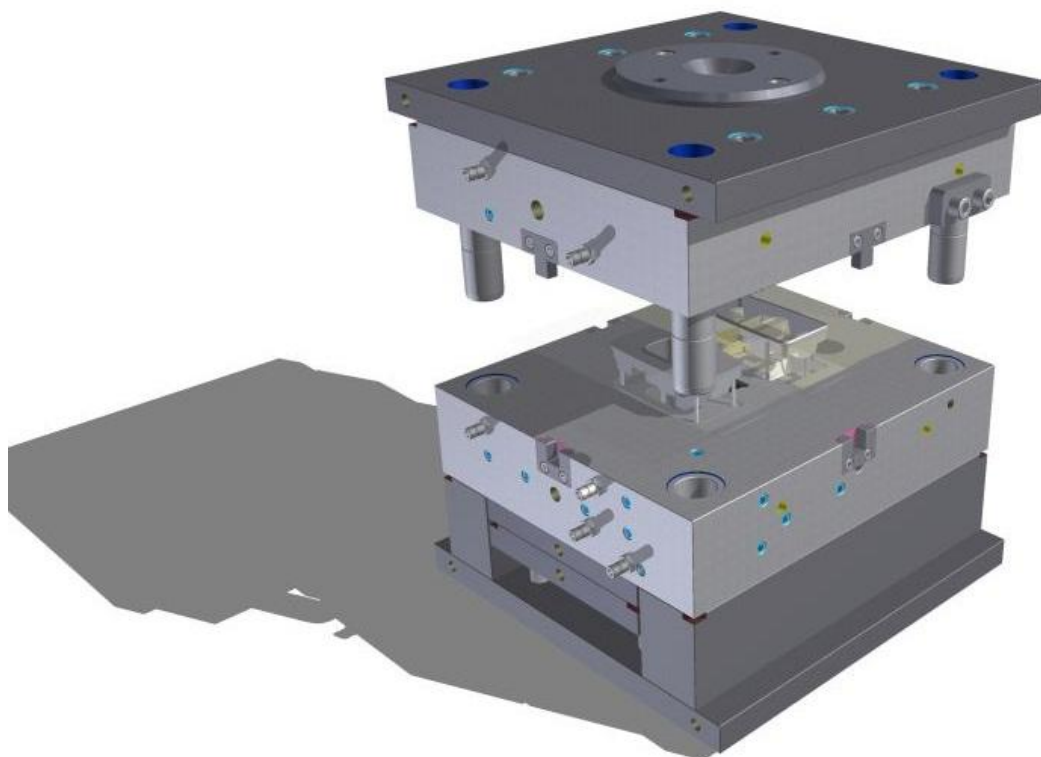
## Cizojazyčný slovník

Vstřikovací forma	Injection mold
Vstřikovací lis	Injection press
Vstřikovací jednotka	Injection-pump unit
Uzavírací jednotka	Clamping unit
Termoplast	Thermoplastic
Reaktoplast	Thermoset
Vtoková soustava	Gating
Chladicí systém	Cooling system
Vyhazovací kolík	Ejector pin
Vyhazovací deska	Ejector plate
Plastifikace	Plastication
Smrštění	Shrinkage
Odvzdušnění	Deaeration
Studený spoj	Cold link

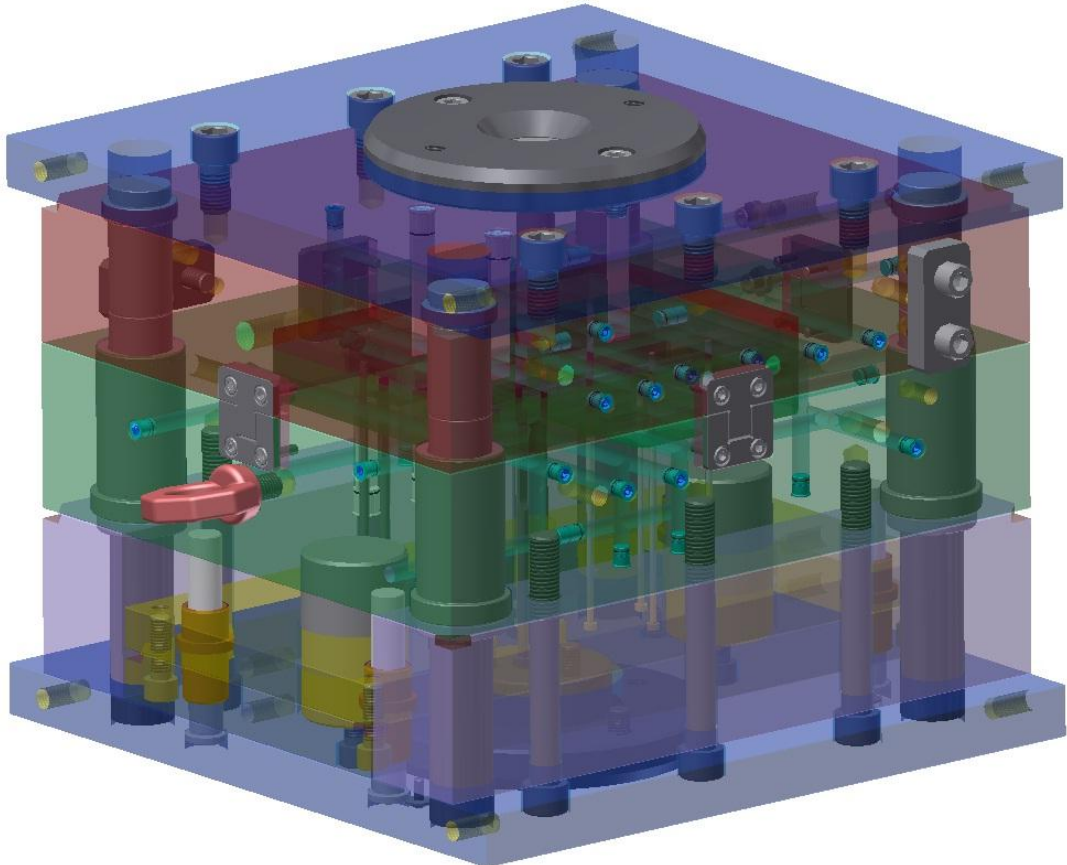
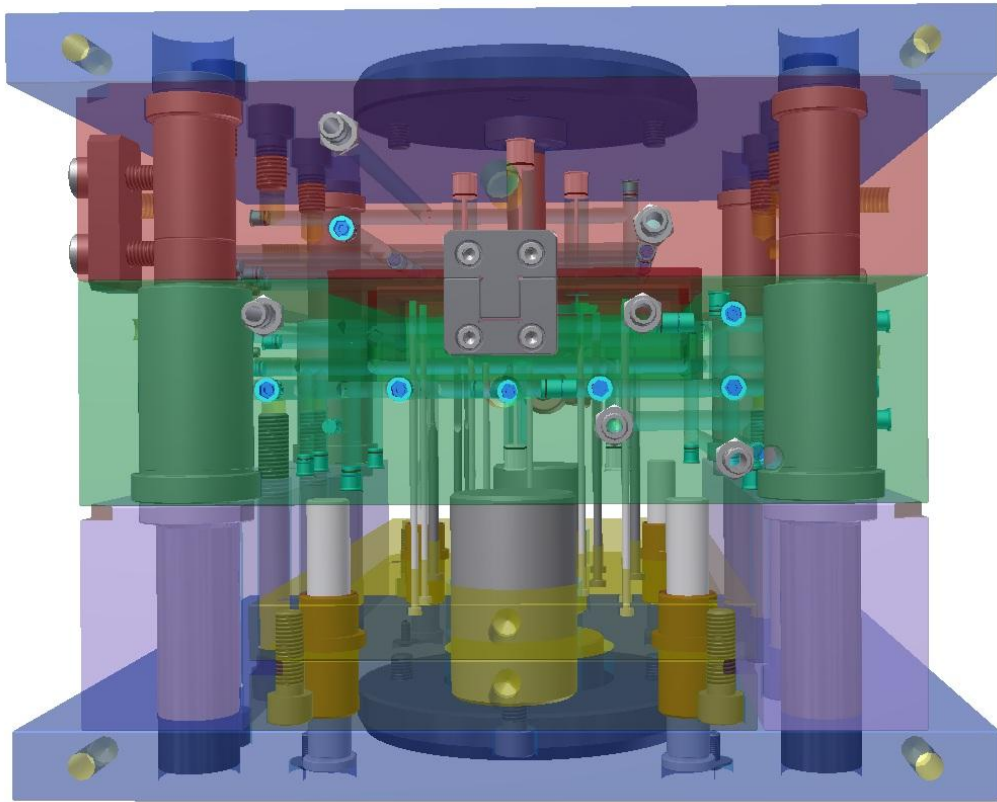


# Přílohy

## Příloha 1 – Forma celek – otevřená



## Příloha 2 – Forma celek uzavřená



**Příloha 3 – Forma ve schematickém zobrazení lisu**

