



## **Středoškolská technika 2013**

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

### **Vstřikování plastů - návrh konstrukce příboru**

**Lukáš Lank**

Střední průmyslová technická škola  
Jablonec nad Nisou



## MATURITNÍ PRÁCE

Studijní obor: **23-41-M/01 Strojírenství**

**„Strojírenství se zaměřením na CAD/CAM systémy a jazyky“**

Autor:

**Lukáš Lank**

Podpis:

Vedoucí práce:

**Bc. Lea Hušková**

Oponent práce:

**Ing. Jana Zouharová, Ph.D.**

Třída: **4.A**

Školní rok: **2012/2013**



„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil jsem literárních a dalších pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.“

V Jablonci nad Nisou dne: 17. 11. 2012

Lukáš Lank

.....

## **Anotace**

Cílem této práce je navržení tvarů jednotlivých částí příboru. Další problematikou, kterou se práce zabývá, je volba materiálu pro výše uvedené výrobky a zvolení nejvhodnější výrobní metody.

Dozvíme se zde i některé zajímavosti o vzniku plastů, o vývoji a následném použití plastů pro různá odvětví průmyslu.

**Klíčová slova:** Plast, dělení plastů, vlastnosti plastů, vstřikování plastů

## **Annotation**

The aim of this work is design shapes individual parts of cutlery. Another issue, which the work deals with is choice of material for above mentioned products and select the most appropriate production methods.

We will learn some interesting facts about the origin of plastics, development and subsequent use of plastics for various industries.

**Keywords:** Plastics, plastics division, properties of plastics, plastic injection

# Obsah

Obsah.....	5
Použité značky a symboly.....	7
1. Úvod.....	8
2. Teoretická část.....	9
2.1. Definice .....	9
2.2. Dělení plastů.....	10
2.3. Druhy plastů .....	11
2.4. Použití plastů.....	13
2.5. Vlastnosti plastů .....	14
2.6. Způsoby zpracování plastů.....	15
2.7. Zpracování reaktoplastů .....	15
2.8. Zpracování termoplastů.....	16
2.9. Výrobní metoda - vstřikování .....	19
3. Praktická část.....	24
3.1. Návrhy tvarů.....	24
3.2. Volba materiálu .....	24
3.3. Návrh výrobků.....	26
3.4. Návrhy 3D modelů nožů .....	28
3.5. Návrhy 3D modelů vidliček .....	30
3.6. Návrhy 3D modelů lžic .....	31
4. Závěr.....	34
5. Použité zdroje .....	35
5.1. Literatura .....	35
5.2. Další zdroje informací .....	35

6.	Seznam použitého softwaru.....	35
7.	Přílohy.....	35

## Použité značky a symboly

$\sigma_d$  – napětí v tlaku,  $\sigma_d$  [MPa]

$\rho$  – hustota,  $\rho$  [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

m – hmotnost, m = [kg], [g]

t – teplota, t [°C]

t – čas, t [h]

$M_r$  – relativní molekulová hmotnost  $M_r = [g \cdot mol^{-1}]$



## 1. Úvod

V současné době je každý z nás konfrontován s obrovským vývojem a pokrokem, který se nezastavitelně dere kupředu, a my jeho nástrahám musíme čelit se vtyčenou hlavou.

Se zrychlujícím se pokrokem také vzrůstá zájem o nové materiály, které by splnily stále se zvyšující nároky na životnost výrobků, nenáročnou a nejlépe žádnou údržbu, bezporuchový chod a za přijatelné finanční nároky ať se jedná o výrobní náklady nebo o samotnou výchozí hodnotu daného výrobku či výrobků.

Jedním z materiálu, do kterého vkládá mnoho průmyslových odvětví velké naděje a ohromnou perspektivu a možnosti nejen pro naši, ale i pro budoucí generace je plastická hmota, jejíž vlastnosti jsou ohromující a nabízejí nám řadu využití. Dnes jsou plastické hmoty naprosto nepostradatelným materiálem, který je využíván snad ve všech odvětvích, jakými jsou například letectví, kosmonautika, automobilový a elektrotechnický průmysl, medicína, potravinářský průmysl, zbrojařský průmysl atd.

Právě tento materiál, je hojně využíván pro své specifické vlastnosti jakými jsou snadná a levná výroba, možnosti a kapacity pro velkosériové výroby, nízká hmotnost, některé druhy plastů je možné použít i jako nádoby pro velmi toxické látky nebo kyseliny.

Dnes si život bez plastů a jiných příbuzných hmot neumíme představit a bylo by pro nás obtížné ba skoro nemožné je nahradit materiálem nebo materiály, které by měly přesně takové, ne – li lepší vlastnosti než plastické hmoty.

Jak již bylo řečeno, vývoj neustále postupuje kupředu a stále jsou objevovány nové prvky a poté vyráběny nové materiály. V budoucnosti možná budeme schopni vyrábět materiály s vlastnostmi, které překonají plastické hmoty ve všech ohledech a plasty budou jimi nahrazeny a možná už nebudou nikdy používány, ale nyní jsou nepostradatelnými a nenahraditelnými prostředky, které nám umožňují, abychom byli úspěšní a dominantní ve všech směrech a byli jsme schopni docílit a možná i překonat dosavadní vývoj v průmyslových odvětvích a naprosto převratným způsobem změnit a posunout naše myšlenky a vědění ještě více kupředu než dnes. Doufejme tedy, že se nám to podaří a naše společnost poroste a náš svět se změní, doufejme k lepšímu, než je dnes.

## 2. Teoretická část

Hmota, které dnes říkáme plast, se poprvé objevuje roku 1862, kdy byla představena veřejnosti na průmyslové výstavě. Hmota tvrdá jako rohovina, ale ohebná jako kůže, mohla mít různou barvu, bylo možné jí zpracovat metodami jako lisování, odlévání nebo řezání. Jejím objevitel byl Angličan Alexander Parkes a hmota, kterou objevil, nese jméno *Parkesin*. Je to sloučenina chloroformu a ricinového oleje. Parkes přivedl na světlo světa další plasty. Mimo *Celuloidu*, který je sloučeninou nitrocelulózy s kafrem jako rozpouštědlo se však žádný neosvědčil.

Od roku 1869 se o rozšíření *Celuloidu* zasloužil Američan John Wesley Hyatt. Používal se na kulečnické koule, vložky do límečků, pravítka, ping – pongové míčky, k výrobě ozdobných předmětů a hlavně filmů. Filmový průmysl byl jeho největším odběratelem, ale filmový promítači a archiváři jeho úhlavním nepřítelem.

Materiál měl mnoho vynikajících vlastností. Například to byla pružnost průhlednost, možnost nanášení fotocitlivé vrstvy. Měl však jednu vlastnost, která byla příčinou mnoha katastrof a nenahraditelných kulturních ztrát, protože *Celuloid* výborně hoří a to i bez přístupu vzduchu.

Dalším významným objevem byl *Bakelit*, o který se zasloužil chemik, vynálezce a vědec Leo Hendrik Baekeland, původem Belgičan. *Bakelit* je umělá pryskyřice, která vznikne reakcí mezi fenolem a formaldehydem. Pryskyřice mohla být zpracována tvářením nebo odléváním. Mezi jeho vlastnosti patří nehořlavost a schopnost izolovat. Používal se v elektrotechnice a v automobilovém průmyslu. Časem zaujaly jeho místo jiné plasty, ale svého času byl velmi žádan pro své skvělé vlastnosti a pro svou nízkou pořizovací cenu.[3]

### 2.1. Definice

*Plasty* – jsou látky složené ze směsi plniva spojeného většinou syntetickou vysokomolekulární pryskyřicí – *polymerem* (vytvořeným řetězcem molekul organických sloučenin – *monomerů*), schopné za určitých podmínek získat deformací nový tvar.

Typickým znakem plastů je velikost molekul. Bez výjimky jsou tvořeny makromolekulami, jejichž relativní molekulová hmotnost je  $10^3$  až  $10^7$  [ $g \cdot mol^{-1}$ ] (běžně organické sloučeniny maximálně  $10^2$ ). [1]

## 2.2. Dělení plastů

*Plasty* – se dělí podle chování při zpracování na reaktoplasty a termoplasty.

**Reaktoplasty** (*duroplasty*) – působením tepla se stávají nízkomolekulární sloučeniny (krátké řetězce monomerů vzniklé přerušением polyreakce v určité fázi výroby polymeru) po omezenou dobu plastické. Polyreakce pokračuje dalším ohřevem a jejím výsledkem je prostorově *zesíťovaná amorfní* (neuspořádaná) struktura. Tento děj se nazývá *vytvrzování* a je nevratný (po vytvrzení již nelze reaktoplasty tvarovat ani svařovat), s nepravidelnými prostorovými chemickými vazbami – jeho průběh lze ovlivnit katalyzátory. Vytvrzená hmota je netavitelná a nerozpustná. Jednotlivé úseky makromolekul jsou tak hustě propojeny chemickými vazbami, že je možno celý výrobek považovat za jednu ohromnou makromolekulu.

**Elastomery** – jsou zvláštní skupinou plastů, vysokomolekulární plasty, zachovávající elastické vlastnosti v širokém rozmezí teplot. Vznikají chemickými reakcemi přísad a nízkomolekulárních polymerů, tzv. *vulkanizací* (obdoba vytvrzování)

**Termoplasty** – lze teplem opakovaně roztavit a ochlazením převést zpět do tuhého stavu. Tváření je tedy možné opakovat. Při zahřívání nastávají pouze změny fyzikální povahy, ale chemická struktura plastu se nemění. Makromolekuly jsou buď lineární, nebo rozvětvené, a vytvářejí strukturu buď amorfní, nebo krystalickou, sestávající z uspořádaných oblastí (*krystalů*) obklopených amorfní hmotou. Uspořádanost polymerů není nikdy zcela dokonalá, proto se nazývají tyto *látky semikrystalické*. Měřítkem je *stupeň krystalinity*, který udává relativní podíl krystalických oblastí ve hmotě a může být u téže látky různý podle způsobu zpracování. Termoplasty představují asi 80 [%] všech používaných plastů.

**Jiné dělení plastů vychází ze způsobu získání surovin k výrobě plastů:**

**Syntetické plasty** – z chemicky upravených organických sloučenin vyrobených z ropy nebo uhlí (*fosilní suroviny*)

**Polysyntetické plasty** – z upravených *přírodních surovin* rostlinného nebo živočišného původu (celulóza, škrob, bílkoviny, rostlinné oleje a pryskyřice, živočišné tuky)

Stále více se uplatňují i ekologická hlediska a rozdělení plastů přiblíží k *možnostem jejich odstraňování* po použití (zpracování nebo likvidaci odpadu):

**Recyklovatelné (regenerovatelné) plasty** – jsou přímo nebo po únavě použitelné pro další výrobu (pojiva, plniva) – úspora energie i zdrojů při výrobě výchozích surovin, patří sem většina termoplastů

**Spalitelné plasty** – volným spalováním vzniká pouze  $CO_2$  a  $H_2O$ , případně tepelná energie

**Speciálně likvidovatelné plasty** – rozkládají se (spalují) ve vysokoteplotních (žárových) komorách s následnou chemickou úpravou vzniklých produktů

Biologicky odbouratelné plasty (převážně kompostovatelné) – působením mikroorganismů (například půdních bakterií) se rozkládají pryskyřice, plniva i přísady na sloučeniny biogenních prvků (C, N, P) a vodu nebo bioplyn. Patří sem většina přírodních a některé syntetické termoplasty.

#### **Podle rozsahu použití se plasty dělí do tří skupin:**

*Plasty pro běžné použití* se ve světě vyrábí v objemu milionů tun ročně a jsou cenově dostupné – **polyolefiny** (PE, PP), **polystyrenové hmoty** (PS), **polyvinylchloridy** (PVC), **fenolformaldehydy** (PF), **močovinoformaldehydy** (UF) a **acetáty celulózy** (CA)

*Plasty se zlepšenými vlastnostmi* se vyrábí v objemu statisíců tun – především **polyamidy** (PA), **polykarbonáty** (PC), **polyoximetylen** (POM), **polymetylkrylát** (PMMA), **polyuretan** (TPU), **epoxidové** (EP) a **polyesterové pryskyřice** (UP), **silikonové hmoty** (SI)

*Speciální plasty* pro nejnáročnější aplikace v elektrotechnice, v letecké výrobě, lékařství apod.

Značení jednotlivých druhů plastů (zkratky v podobě písmen) vychází z názvů jejich chemického složení a je v souladu s ČSN EN ISO 1043 – 1, 2, 3, 4 (64 002). [1]

### **2.3. Druhy plastů**

Základní druhy plastů, struktura, značení a zpracování viz **Tabulka 1** [1]

**Tabulka 1**

Značení	Chemický název	Struktura	Zpracování
rPE	Polyetylén rozvětvený	kTP	VS, EX, VF, TV
lPE	Polyetylén lineární	kTP	VS, EX, VF, TV

PETP	Polyetyléntereflát	kTP i aTP	VS, LI, EX, TV
PTFE	Polytetrafluoretylen	kTP	SP
PP	Polypropylen	kTP	VS, EX, VF, TV
PS	Polystyren	aTP	VS, TV, ZP
PVC	Polyvinylchlorid	aTP	VS, EX, TV, VF
mPVC	Polyvinylchlorid měkčený	aTP	EX, VS, VA, OD
PMMA	Polymethylmetakrylát	aTP	VS, EX, TV, OD
PA	Polyamid	kTP	VS, EX, VF
POM	Polyformaldehyd	kTP	VS, EX, VF
PC	Polykarbonát	aTP	VS, EX, TV
TPU	Termoplastický polyuretan	aTP	VS, EX
PUR	Polyuretan	RP	VS, ZP, LI
PF	Fenolformaldehyd	RP	LI, VS, OD
UF	Močovinoformaldehyd	RP	LI, VS
MF	Melamin formaldehyd	RP	LI, VS
UP	Polyester nenasycený	RP	LA, LI, VS
EP	Epoxidová hmota	RP	OD, LA, LI, VS

Zkratka	Význam	Zkratka	Význam
aTP	amorfní termoplast	OD	odlévání
kTP	semikrystalický termoplast	SP	spékání
RP	reaktoplast	TV	tvarování
		VA	válcování
EX	vytlačování	VF	vyfukování
LA	laminování	VS	vstříkávání
LI	lisování	ZP	zpeňování

## 2.4. Použití plastů

**PVC tvrdý** – používá se pro výrobu chemických nádrží a armatur, pro výrobu vodovodních a chemicky odolných potrubí do tlaku 1[MPa], do teploty 40 [°C] nebo v nábytkářství, dále se používá na výrobu speciálních profilů pro okenní rámy nebo pro potřeby stavebnictví

**PS, PE** – používají se na výrobu obkládacích dekoračních desek a pro tvarování různých předmětů

**ELASTOMERY** – těsnicí podložky *s tkaninovou výztuží*: dopravníkové pásy, podlahoviny, koženka, profilová těsnění pro dopravní prostředky a hadice do 120 [°C] (silikonový kaučuk do 200 [°C])

**PE** – používá se pro výrobu izolační fólie proti vlhkosti, kryty paňníků, obalové fólie, tvarování obalovin, kelímků apod.

**PVC, PS, PETP** – používají se pro potravinářský průmysl a v kosmetice

**PA** (*silon*), **PETP** (*tesil*), **PAN** (*akryl*) – používají se pro výrobu lan, sítí, bezpečnostních pásů, výztuží hnacích řemenů, dopravníkových pásů a pneumatik, v oděvnictví

**PP** – používá se pro výrobu lodních lan (*lehčí než voda*), trubek pro vodu do 90[°C] a do tlaku 1 [MPa], motouzů, pytlů, kobereců

**PVC měkčený** – používá se pro výrobu hadic beztlakových a vyztužených hadic do tlaku 0,6 [MPa] a na vodu do teploty 40 [°C], dále se používá na výrobu těsnících profilů pro dopravní prostředky nebo pro potřeby stavebnictví

**PE rozvětvený** – používá se na výrobu trubek a hadic pro vodu do tlaku 0,25 až 1 [MPa], při 20 [°C]

**PE lineární** – používá se pro výrobu trubek pro vodu do tlaku 0,6 [MPa] při teplotě 20 [°C]

**PA** – používá se na výrobu trubek a hadic na benzin, oleje do tlaku 1 [MPa] a do teploty 80 [°C]

**PTFE** – používá se na výrobu hadic s vysokou chemickou odolností do teploty 260 [°C], při teplotě 100 [°C] si zachovávají ohebnost

**PMMA** – používá se na výrobu přístrojů, modelů továren a přehrad, světelných panelů, osvětlovacích těles, ochranných štítů a krytů [1]

## 2.5. Vlastnosti plastů

U jednotlivých materiálů jsou vlastnosti závislé na struktuře a složení základního pojiva (*polymeru*), druhu a množství plniva a dalších přísad.

**Vyztužující plniva** – (*vlákna*: skleněná, kovová, textilní, z jiného druhu plastu, tkaniny, papír apod.) ovlivňují zejména mechanické vlastnosti (pevnost, modul pružnosti)

**Nevyztužující plniva** – (*prášky* anorganického nebo organického původu) mění některé fyzikální a elektrické vlastnosti (tepelnou vodivost, hustotu, izolační schopnosti apod.)

*Poznámka:*

Pro vstřikování je hranice 30 [%] hmotnosti plniva v podobě prášků nebo krátkých vláken. U jiných technologií je obsah plniv i více než 50 [%]. Příkladem může být laminát ve směru dlouhých skleněných vláken (65 [%] obsahu) dosahuje pevnosti v tahu 800 [MPa], neplněný 35 [MPa].

**Stabilizátory** – přísady ke zpomalení degradačních procesů (zhoršování vlastností, případně tepelný rozklad) v plastech za účelem zvýšení životnosti a provozní teploty

**Maziva** – usnadňují zpracování hmoty – zlepšují tekutost, zmenšují tření mezi částicemi plniva, zamezují nalepování hmoty k povrchu formy při zpracování

**Změkčovadla** – kapaliny organického původu s vysokým bodem varu, zlepšují houževnatost a tvárnost termoplastů nebo po smíchání s práškovým plastem vytvářejí pasty k dalšímu zpracování na výrobky nebo granule (například PVC)

**Tvrdidla** – podporují (vyvolávají) vznik příčných vazeb u reaktoplastů a elastomerů

**Katalyzátory** – (iniciátory a urychlovače) ovlivňují průběh (rychlost, dobu) vytvrzování

**Nadouvadla** – užívají se při výrobě lehčených plastů – chemickými reakcemi nebo teplem vznikají plyny, které vytvářejí dutiny v plastu

**Modifikátory** – přísady jiného druhu polymeru ke zlepšení určitých vlastností

*Poznámka:*

Pro použití a zpracování plastů jsou rozhodující s teplotou se měnící vlastnosti (tvarovatelnost, tekutost). Zvyšováním teploty pevnost a modul pružnosti klesají, v určité oblasti se tento pokles zrychluje, může se měnit skokem – *přechodové teploty*. [1]

## 2.6. Způsoby zpracování plastů

Ke zpracování plastů se používá řada technologických metod a postupů, které je obtížné definovat vzhledem k jejich množství a prolínáním se navzájem.

*Technologické procesy lze rozdělit na tvářecí, tvarovací, a doplňkové technologie.*

**Tvářecí technologie** (vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, odlévání, laminování, vypěňování) – zásadním způsobem mění tvar výchozího materiálu se značným přemísťováním jeho částic. Tváření probíhá současně za působení teploty a tlaku. Výsledkem je polotovár (desky, trubky, vlákna) nebo hotový výrobek (výstřik, výlisek, odlitek).

**Tvarovací technologie** (tvarování desek, ohýbání trubek, vyfukování, obrábění, svařování – jen TP, lepení, spékání plastových prášků – PE, PTFE) – vychází z polotovaru a hmota mění tvar bez velkého přemísťování částic, může se uplatnit vliv zvýšené teploty či tlaku.

**Doplňkové technologie** – slouží k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (příprava směsí polymerů s barvivy, plnivy, katalyzátory, příprava past, sušení hmoty, předehřev, příprava granulátu, tabletování) [1]

## 2.7. Zpracování reaktoplastů

Tvářecí vlastnosti reaktoplastů jsou stejně jako fyzikální vlastnosti především ovlivněny plnivem. Jsou posuzovány mírou tekutosti, která závisí na tvářecí teplotě výchozí suroviny na velikosti a tvaru částic plniva, které ovlivňují tlaky potřebné k lisování a vstřikování.

Před samotným zpracováním se nevytvrzené reaktoplasty upravují – *tabletováním* (předlisováním) surovin, za účelem – zmenšení objemového součinitele, zkrácení doby



prohřátí, využití vysokofrekvenčního přehřevu a zjednodušení manipulace s hmotou v dutině formy při vlastním tváření.

Kromě nejstaršího způsobu výroby součástí **přímým lisováním** (Obr. 4.5.) lze často tyto hmoty zpracovávat nepřímým lisováním – **přetlačováním** (lisostřikem) – (Obr. 4.6.) – *výhody* – dobré prohřátí materiálu a jeho následná tekutost, forma je mechanicky méně namáhaná. *Nevýhody* – velké množství odpadu, dlouhá doba plnění, složitost zařízení.

**Vstřikování** – provádí se na strojích se šnekovým podáváním přehřáté hmoty, se vzrůstající teplotou se tekutost materiálu zlepšuje, je nutné vstřikování provádět pod teplotou vytvrzování.

**Nízkotlaké lisování** – používá se především u fenolických pryskyřic, *výhodou* tohoto způsobu je možnost použití lisů s mnohem menším výkonem a v některých případech postačuje i atmosferický tlak, *nevýhodou* – dlouhá doba vytvrzování.

**Odlévání** – lze vyrábět součásti z reaktoplastů (především z fenolformaldehydových nebo epoxidových pryskyřic), musí se dávat pozor na přilnavost pryskyřice, je nutná vhodná volba dělicího prostředku – *separatoru*.

**Laminování** – vrstvených hmot s dlouhými vlákny či tkaninami probíhá sycením (zaléváním, nanášením, postřikem, máčením) jednotlivých vrstev plniva pryskyřicí, zastudena nebo při zahřátí (urychlení vytvrzování), volně nebo pod tlakem (zalisování)

Méně častými způsoby zpracování reaktoplastů jsou **vytlačování** a **válcování** – používané k výrobě polotovarů (fólie, desky, trubky profily)

**Vypěňování** – provádí se v procesu vytvrzování při lisování nebo vstřikování nejčastěji použitím nadouvadel [1]

## 2.8. Zpracování termoplastů

Termoplasty se zpracovávají ve viskózně tekutém stavu, což v praxi znamená zahřát amorfnní polymery alespoň na teplotu viskózního toku, krystalické na teplotu tání.

Zpracování termoplastů je jednodušší než u reaktoplastů. Nejrozšířenější způsob tváření je **vstřikování** (Obr. 8.3.) – optimální tekutost je závislá na teplotách a vhodném tlaku.

**Vypěňování** – je to zvláštní způsob vstřikování nebo lisování

**Lisování** – se používá jen zřídka, protože vstupní materiál je třeba nejprve zahřát a po určitou dobu ho nechat ve formě vychladnout, tento postup je časově a energeticky velmi náročný

**Přetlačování a lisování rázem (kování)** – ohřáté suroviny (prášku, tablet, špalíků) v tvarových dutinách (zápustkách) – například pro zpracování tvrdých PVC

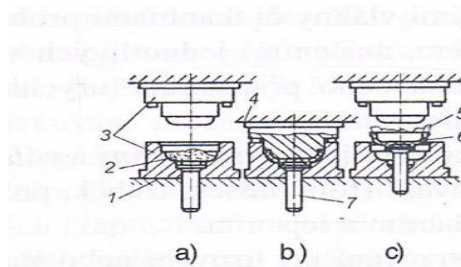
**Válcováním** – se vyrábějí z termoplastů listy malých tloušťek – desky a fólie

**Vytlačováním** – nevyrábějí trubky, pásy a profily

**Spékáním a natavováním** – se zpracovávají práškové termoplasty větších molekulových hmotností

**Tvarování** – lze tím zpracovat ohřáté desky, na které působí tlak a rovněž lze takto zpracovat i fólie

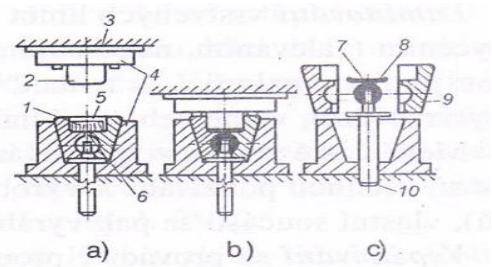
### Foukáním



Obr. 4.5. Princip přímého lisování reaktoplastů

a) plnění (nasypávání), b) lisování, c) vyjímání

1 – stůl lisu, 2 – hmota, 3 – forma, 4 – beran lisu, 5 – přetok hmoty, 6 – výlisek, 7 – vyhazovač

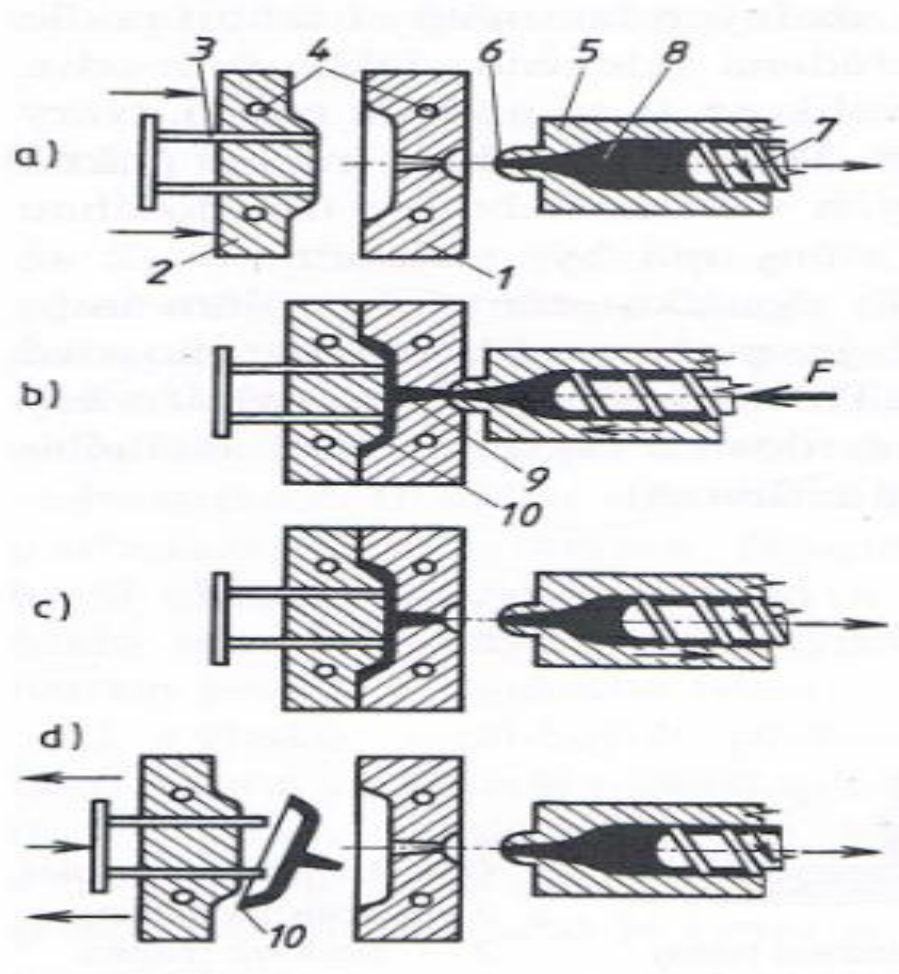


Obr. 4.6. Princip přetlačování lisování reaktoplastů

a) plnění, b) přetlačování, c) vyjímání

1 – tableta hmoty, 2 – píst, 3 – beran, 4 – forma, 5 – pracovní komora, 6 – kanál, 7 – přebytek hmoty, 8 – výlisek, 9 – dělená vložka, 10 – vyhazovač

[1]



Obr. 8.3. Princip vstřikování termoplastů (jeden pracovní cyklus)

a) **Plastikace:** forma se zavírá, šnek se otáčí a vrací, plastikuje roztavenou hmotu a dopravuje ji k trysce.

b) **Vstřík:** vstřikovací jednotka se přitiskne k formě, šnek se přestane otáčet, posune se dopředu jako píst a vstříkne taveninu do formy.

c) **Ukončení vstříku:** po dokončení vstříku a ztuhnutí vtoku se vstřikovací jednotka odsune od formy. Šnek se otáčí a vrací zpět a plastikuje další dávku hmoty.

d) **Otevřené formy:** po úplném ztuhnutí celého výstříku se forma otevře a výstřík se samočinně vyhodí.

1 – pevná část formy, 2 – pohyblivá část formy, 3 – samočinné vyhazovače,

5 – topný válec, 6 – tryska, 7 – šnek, 8 – termoplast, 9 – vtok, 10 – výstřík [2]

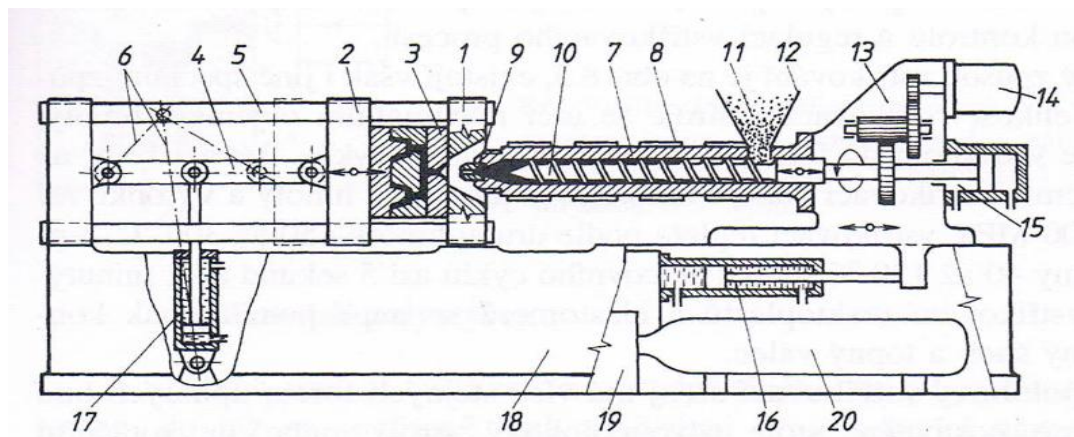
## 2.9. Výrobní metoda - vstřikování

**Vstřikování termoplastů** je vhodnou technologií pro hotové tvarové výrobky. Principem je vstříknutí roztaveného termoplastu pod tlakem do uzavřené formy (viz Obr. 8.3.). Výstřiky mohou mít hmotnost od 1 [g] až několik kilogramů. Forma je vyrobena z kovu, obvykle ocelová, chlazená protékající vodou a má samočinné vyhazovací zařízení. Hmota ve formě ochlazením ztuhne a po jejím otevření je hotový výstřik automaticky vysunut z formy. Pracovní cyklus *trvá jen několik desítek sekund*, a proto je vstřikování termoplastů *nejrozšířenější a nejlevnější technologií* pro velkosériovou výrobu tvarových předmětů. Forma může být jednonásobná nebo vícenásobná, například až pro 40 drobných výrobků na jeden vstřik.

**Vstřikování strukturních pěn** se provádí tak, že vhodné termoplasty, například PS, ABS, PE, PP, se před vstřikováním smísí s práškovým nadouvadlem, které se pak teplotou v topném válci rozloží na plyn. Při vstřiku je forma naplněna jen z části, plyn expanduje a zpění hmotu, která zvětší svůj objem, až vyplní celou tvarovou dutinu formy. Povrch výstřiku je tuhý, kompaktní, protože hmota stykem s chladnou stěnou formy ztuhne tak rychle, že nezpění. Pod povrchem je plynulý přechod v pěnovou strukturu (*strukturní pěna*). Střední hustota u takových výstřiků bývá 500 až 800 [ $kg \cdot m^{-3}$ ]. Konečné vyplnění formy je způsobeno jen nízkým tlakem expandujícího plynu, musí mít výstřiky větší tloušťku stěn (minimálně 5 [mm]), aby je materiál dobře naplnil a zpěnil v nich. V hmotě nevzniká vnitřní pnutí, takže tloušťka stěny nemusí být stejnoměrná a výrobek není náchylný k pozdějším deformacím. Takto se vyrábějí například skříně magnetofonů, televizorů, rozhlasových přijímačů a nábytkové skříně.

**Vstřikování reaktoplastů a elastomerů** je podobné jako vstřikování termoplastů. Rozdíl je v tom, že ocelová forma je předehřívána na teploty 120 [°C] až 180 [°C] (teplota předehřevu je závislá na zpracování materiálu), aby v ní po vstřiku mohlo proběhnout zesíťování polymerních řetězců, vytvrzení u reaktoplastů nebo vulkanizace u elastomerů

**Vstřikovací stroj** (obr. 8.4.) je vhodný pro zpracování termoplastů, strukturních pěn, reaktoplastů i elastomerů, popisovaný stroj slouží ke vstřikování termoplastů. Jeho hlavní díly jsou: vstřikovací a uzavírací jednotka, lože, pohon a ovládací zařízení (na obrázku není uvedeno).



Obr. 8.4. Schéma vstřikovacího stroje (v poloze před vstřikem, forma uzavřena)

- 1- pevná upínací deska, 2 – posuvná upínací deska, 3 – forma,  
 4 – kloubový uzávěr, 5 – vodící tyče (4 kusy), 6 – osy pák při otevřené poloze  
 formy, 7 – topný válec, 8 – elektrické topení, 9 – tryska, 10 – šnek,  
 11 – termoplast, 12 – násypka, 13 – převodovka s regulací otáček šneku,  
 14 – elektromotor, 15 – hydraulický posuv šneku,  
 16 – hydraulický posuv vstřikovací jednotky, 17 – hydraulické ovládání  
 kloubového uzávěru, 18 – lože, 19 – čerpadlo s hydraulickým rozvaděčem  
 20 – plynový hydraulický akumulátor [2]

**Vstřikovací jednotku** tvoří ocelový topný válec vytápěný elektrickou energií, na jehož čele je vstřikovací tryska. V topném válci je otočně a posuvně uložen plastikační ocelový šnek. Hloubka jeho závitů se směrem ke trysce zmenšuje, aby se dosáhlo kompresního účinku při hnětení a dopravě roztaveného granulótu od násypky k trysce. Otáčky šneku jsou měnitelné. Posuv šneku i celé vstřikovací jednotky je hydraulický, vstřikovací tlak a rychlost se regulují změnou množství a tlaku přiváděné hydraulické kapaliny. Teplota topného válce se zvyšuje směrem k trysce a reguluje se samočinně zapínáním a vypínáním jednotlivých úseků topení pomocí termočlánků.

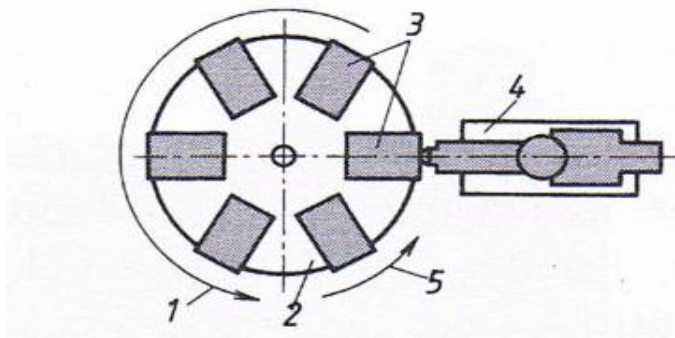
**Uzavírací jednotka** má jednu pevnou a jednu posuvnou upínací desku. Posuvná deska umožňuje rychlé uzavírání a otevírání formy.

**Ovládací a programovací zařízení** zajišťuje automaticky provoz a samočinné dodržování nastavených technologických parametrů (teplota v různých pásmech topného

válce, teplota formy, vstřikovací tlak, začátek a rychlost vstřiku, doba vstřikování, doba chlazení ve formě). Elektrická část je umístěna v samostatné skříni, hydraulická část je v loži. Nejmodernější stroje jsou vybavené číslicovým ovládním dovolujícím nastavení technologických parametrů a jejich průběhu na počítači a automatickou kontrolu a regulaci vstřikovacího procesu.

Běžný způsob vstřikování (viz Obr. 8.3) existují však i jiné speciální způsoby.

**Vícepolohový vstřikovací stroj** má více stejných forem upnutých buď na vratně posuvném stole (dvoupolohový stroj), nebo na rotačním karuselu (4 až 16 polohový stroj, obr. 8.5.) Formy postupně přicházejí před vstřikovací jednotku, která je naplní taveninou. V dalších polohách probíhá v uzavřené formě buď chlazení (u termoplastů), nebo vytvrzování (u reaktoplastů), nebo vulkanizace (u elastomerů), potom otevření formy, vyhození výstřiku, vyfouknutí formy stlačeným vzduchem a její opětné zavření. Tyto stroje mají velký pracovní výkon a jsou vhodné pro velké série výrobků, například karuselové stroje v obuvnictví.

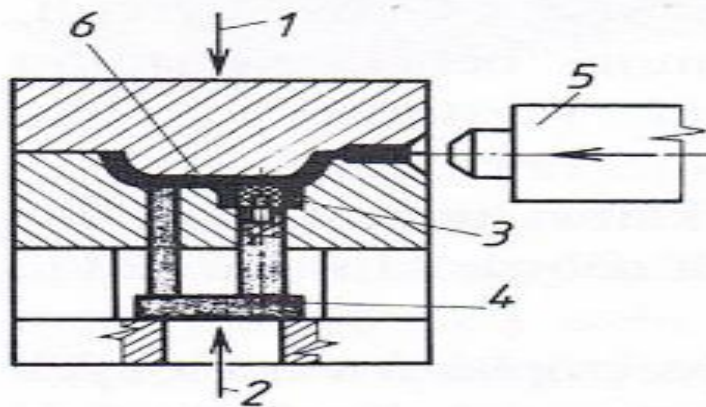


Obr. 8.5. Schéma půdorysu šestipolohového vstřikovacího stroje s rotačním stolem se vstřikem do dělicí roviny

- 1 – chlazení u termoplastů nebo vulkanizace u elastomerů, 2 – rotační stůl
- 3 – svislé hydraulické uzavírací jednotky s upnutými formami,
- 4 – vstřikovací jednotka, 5 – otevření formy, vyhození výstřiku a zavření formy [2]

**Stroj se vstřikováním do dělicí roviny** je vhodný pro některé výrobky z termoplastů, reaktoplastů i elastomerů hlavně se zastříknutými kovovými vložkami, například závitovými. Forma se otvírá obvykle vertikálně, aby se vložky mohly pohodlně

vložit do její spodní části. Pro zavření formy se vstříkne tavenina horizontální vstříkovací jednotkou.



Obr. 8.6. Vstříkování do dělicí roviny

- 1 – uzavření formy, 2 – vyhazování, 3 – závitová vložka,
- 4 – vyhazovací deska s vyhazovači, 5 – topný válec s tryskou,
- 6 – výstřík [2]

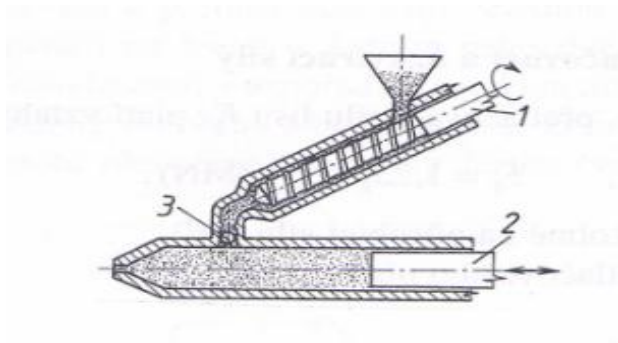
### Zpěňování polystyrenu

Zcela jiné je vstříkování předpěněného polystyrenu (PS) do formy, do níž se současně malými dírami přivádí horká pára o tlaku 0,15 [MPa]. Působením páry se PS dopění a vyplní formu.

Tloušťka stěn bývá vzhledem k velmi malé pevnosti hmoty desítky až stovky milimetrů. Takto vyrobená hmota se nazývá pěnový polystyren. Výrobky z pěnového polystyrenu jsou: obaly pro citlivé nástroje, sklo a porcelán, křesla pro nábytkářství, tepelně izolační desky pro stavebnictví. Pro tento způsob výroby jsou zapotřebí speciální stroje. [2]

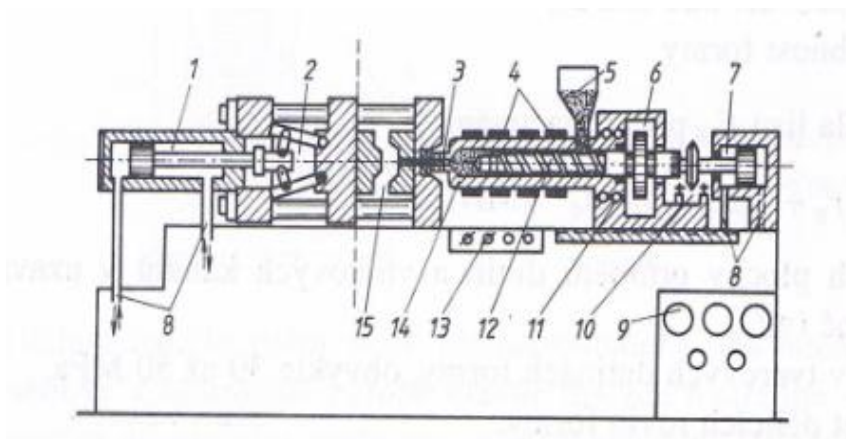
U **pístových vstříkovacích strojů** se forma uzavírá horizontálním pístem, na sedlo formy se přitlačí vstříkovací tryska. Pohybem pístu se vstříkne roztavená hmota z vytápěného válce tryskou a plnicími kanály do dutiny formy. Po ztuhnutí (zchladnutí) výrobku se vstříkovací píst vrátí vzhůru, nasype se nová dávka hmoty, následuje otevření formy a vyhození výrobku.

Nejčastěji používané stroje obsahují zařízení pro předběžnou plastifikaci, které taví plastickou hmotu mimo materiálový válec a do něho je pak hmota dodávána například plastifikačním šnekem (viz Obr. 4.9.). U jedno dutinové komory se kromě otáčení šnek axiálně (hydraulicky) posouvá a jeho čelní plocha vstřikuje určitý objem hmoty tryskou do formy (viz Obr. 4.10.). [1]



Obr. 4.9. Princip vstřikování pístem s předběžnou plastifikací v oddělené komoře

1 – plastifikační šnek, 2 – vstřikovací píst, 3 – zpětný ventil [1]



Obr. 4.10. Schéma vstřikovacího stroje se šnekovým podáváním

1 – uzavírací válec, 2 – uzavírací mechanismus, 3 – tryska, 4 – vyhřívání,  
 5 – násypka, 6 – hydromotor šneku, 7 – válec pro axiální pohyb šneku,  
 8 – přívod tlakové kapaliny, 9 – regulační jednotka, 10 – koncové spínače,  
 11 – chladičí kanály, 12 – plastifikační šnek, 13 – ovládací panel,  
 14 – tavící komora, 15 – forma [1]



### 3. Praktická část

Cílem této práce je navržení jednotlivých tvarů příboru, které budou vyráběny technologií vstřikováním plastů do kovové formy. Dále volba vhodného materiálu.

#### 3.1. Návrhy tvarů

Návrh tvarů samotného příboru byl velmi obtížný. ***Při návrhu se museli vzít v úvahu tyto skutečnosti:*** jestli bude příbor jednoúčelový nebo určený pro děti (dlouhodobé používání), návrh tvaru (snadné vyjmutí z formy), volba materiálu (splnění bezpečnostních a hygienických norem), výroba (jednoduché tvary – snadná výroba formy, levná a rychlá výroba)

##### ***Bezpečnost:***

Obecně by měl být znám fakt, že příbory vyráběné z plastů musí mít určitou míru bezpečnosti při jejich používání, ať už se jedná o jednoúčelový příbor, příbory určené pro více použití nebo příbory určené pro děti.

***Plastový příbor určený pro děti:*** zde se jedná o naprosté a striktní dodržení té nejvyšší bezpečnosti!

***Hrany plastového příboru určeného pro děti musí být upraveny tak, aby nedošlo k poranění dítěte!***

##### ***Tvorba modelů:***

Modely byly vytvořeny v programu *AUTODESK INVENTOR 2013*

#### 3.2. Volba materiálu

Materiál zvolený pro výrobu je PP (polypropylen). Materiál byl zvolen pro své vlastnosti, které jsou vyhovujícími pro daný účel. Jednou z uvedených vlastností je, že jakýkoliv výrobek, vyrobený z tohoto materiálu může být v dlouhodobém kontaktu s potravinami. V případě, že by se jednalo o nádobu vyrobenou z tohoto materiálu, je možné používat tuto nádobu i v mikrovlnné troubě. Další předností, na kterou je kladen v dnešním světě obzvláště velký důraz, je recyklovatelnost obalů či použitých výrobků. Polypropylen splňuje i tuto výše uvedenou podmínku, kterou dnešní společnost tvrdě posuzuje, z hlediska životního prostředí, ale především kvůli stále se tenčícím zdrojům surovin. Další doplňující informace jsou obsaženy v ***Tabulce H.***

Zvoleným materiálem pro tyto výrobky je: PP (Polypropylen) – materiál byl zvolen z této *Tabulky H* [4]

Název	PS Polystyren	PS krystal Polystyren	PP Polypropylen	OPS Orientovaný polystyren	PE Polyethylen	PVC Polyvinylchlorid	PET Polyetylen tereftalát	AL Aluminium
Mikrovlnná trouba	ne	ne	ano	ne	ne (LDPE) ano (HDPE)	ne	ne (APET) ano (CPET)	ne
Teplotní rozsah	-10°C/+70°C	-10°C/+70°C	-18°C/+130°C	0°C/+70°C	HDPE -20°C/+120°C LDPE -20°C/+90°C	-40°C/+80°C	APET -40°C/+70°C CPET -40°C/+220°C	-200°C/+360°C
Transparentnost	nízká až střední	vysoká lesk	nízká až střední	vysoká, lesk	nízká až střední	vysoká	vysoká	žádná
Kontakt s potravinami	krátkodobě	krátkodobě	dlouhodobě	krátkodobě	dlouhodobě	dlouhodobě	dlouhodobě	dlouhodobě
Bariéra pro kyslík	1500	1500	600 - 1800	1680 - 1900	270 - 440	50	20 - 40	nepropustný
Výchozí surovina	ropa	ropa	zemní plyn	ropa	zemní plyn	zemní plyn, chlor	ropa	hliník
Energie k výrobě 1kg	83 MJ	83 MJ	74 MJ	83 MJ	79 MJ	60 MJ	100 MJ	128 MJ
Recyklace	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano, ideální
Spalováním vzniká	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, saze	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, saze	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, saze	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, saze	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, saze	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, saze, hydrochloridacid, dioxin	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, saze	CO <sub>2</sub> , oxid hliníku

### 3.3. Návrh výrobků

Dosažení potřebných rozměrových tolerancí je značně ovlivněno technologií výroby a konstrukcí výstřiku (rovnoměrná tloušťka stěn, přesná regulace tlaků a teplot). ČSN 64 006 uvádí běžně dosažitelnou přesnost:

u termoplastů IT 16 až IT 11, vyjimečně IT 9 (u jednodušších menších součástí a plastů s menším smrštěním a dobrou tekutostí v přesných jednorázových formách),

u reaktoplastů IT 12 až IT 10, výjimečně až IT 8.

Pro každý výrobní způsob má postup návrhu určité odlišnosti. Hlavní zásady jsou uvedeny v ČSN 64 0008 a v pokynech výrobců surovin či zpracovaných polotovarů a výrobců strojů.

***Polypropylen je semikrystalický termoplast, proto byla pro výše uvedené výrobky zvolena přesnost IT 11.***

***Příbor bude vyráběn technologií vstřikováním plastů do kovové formy. Podrobnější informace viz Teoretická část.***

Pro zpracování termoplastů je vstřikování nejrozšířenější způsob. Navrhování je podstatně náročnější než u kovových výrobků z těchto důvodů:

U plastů je poměrně velké smrštění, asi 0,5 [%] až 3 [%] lineárně po vyjmutí z formy (chlazená forma, vstřikování v tekutém stavu). Smrštění se zvětšuje krystalizací části struktury a závisí také na velikosti a tvaru výrobku a na technologických podmínkách při vstřikování. Převážná část smrštění (80 [%] až 90 [%]) proběhne během 24 [h] po vystříknutí a dodatečné smrštění do 1 měsíce (viz Tab. 4.4.).

***Po vstříknutí polypropylenu do formy dojde ke smrštění o 1,2 až 3,5 [%] a následně se projeví i dodatečné smrštění o 0,2 až 0,3 [%].***

Termoplasty s práškovými plnivými (grafit, keramická moučka aj.) a s krátkými vlákny lépe odvádějí teplo (rychleji ve formě chladnou) a mají rovněž menší smrštění po vyjmutí z formy.

*Vnitřní pnutí* – způsobuje ho rychlý vstřik pod vysokým tlakem a rychlým ochlazením. Po čase dojde k samovolnému uvolnění vnitřního pnutí, zvláště při vysokých provozních teplotách (může dojít k deformaci výrobku, u křehkých materiálů i k praskání).

*Změna rozměrů* – dochází při: teplotní roztažnosti, mechanickému namáhání, tečením, u navlhklých hmot pronikáním tekutiny z okolního prostředí.

*Vznik propadlin* – vzniká zvyšováním vnitřního pnutí následkem nevhodného proudění taveniny vlivem nesprávně řešeného tvaru předmětu a umístění vtoku i nehomogenního materiálu při přípravě suroviny.

Tabulka 4.4.

Plast		Smrštění (%) *)	
		ve formě	dodatečné
PE	kTP	1,0 až 4,0	0,2 až 0,4
PP	kTP	1,2 až 3,5	0,2 až 0,3
PS	aTP	0,4 až 0,7	–
PVC	aTP	0,4 až 0,8	–
mPVC	aTP	0,6 až 3,0	–
PMMA	aTP	0,1 až 0,6	–
PA	kTP	0,8 až 2,5	0,4 až 0,6
POM	kTP	1,2 až 3,6	0,2 až 0,4
PC	aTP	0,5 až 0,8	–
CA	aTP	0,4 až 0,7	–

#### **Zásady pro konstrukci výrobku:**

*Zaoblení hran* (hlavně vnitřních) – plynulejší proudění tekutiny ve formě a zmírní vrubový účinek – volí se 0,5 až 1 násobek tloušťky stěny

*Úkosy stěn* jsou 0,5 [°] až 3 [°] (větší u vnitřních stěn a u křehkých hmot)

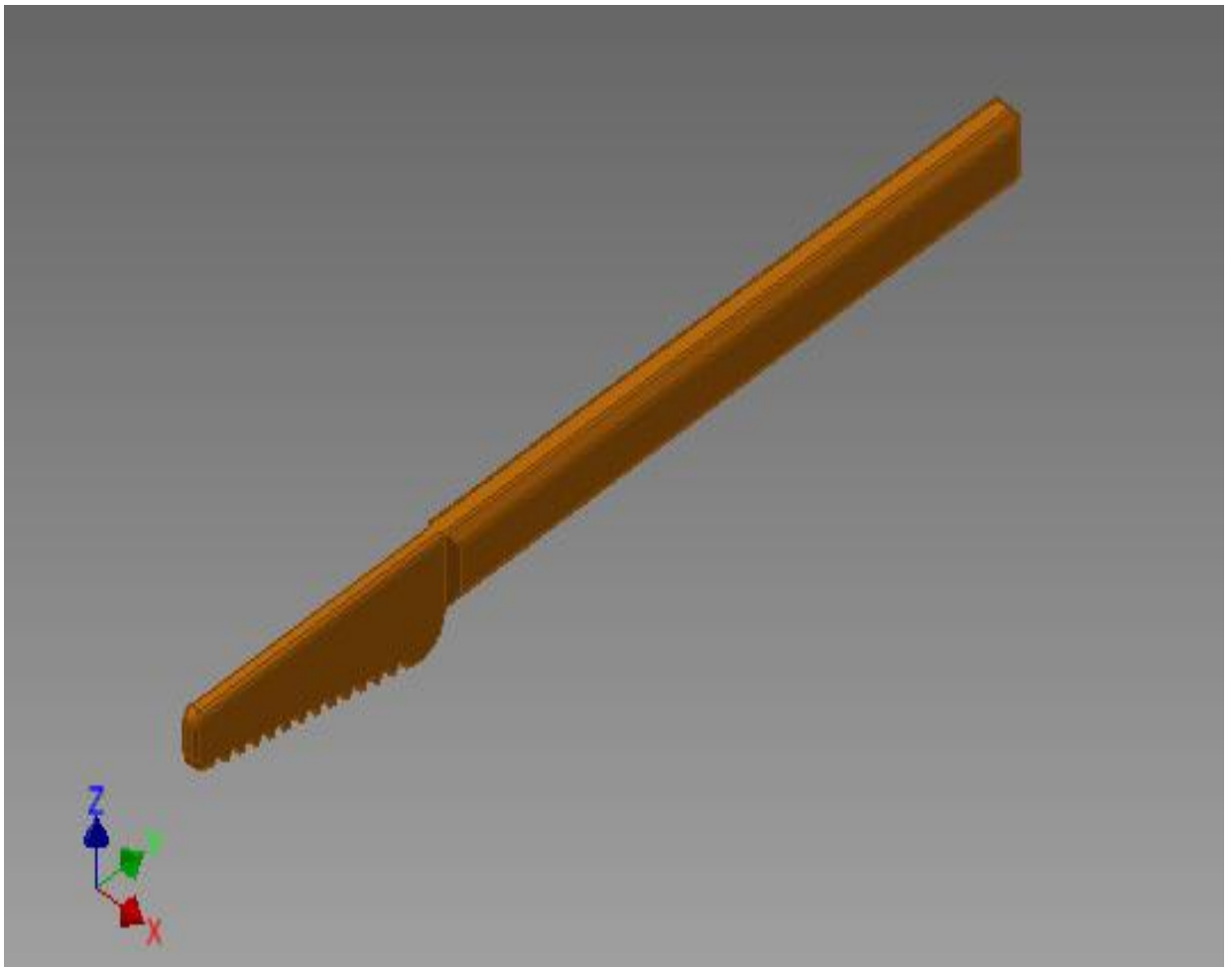
*Tloušťka stěn* – bývá v rozmezí 0,5 [mm] až 4 [mm], pokud možno všude stejná, aby chladnutí probíhalo stejně rychle ve všech místech. Tenké stěny znamenají úsporu materiálu, rychlejší chladnutí ve formě a menší smrštění, ale vyžadují dobře tekutou hmotu a co nejkratší dráhu taveniny při vyplňování formy. Silné stěny jsou následkem pomalého chladnutí náchylné k tvoření propadlin nebo vnitřních dutin, podobně jako v místech hromadění materiálu. Vhodnější je zvětšit tuhost výrobku žebrováním:

Rozměry výrobku po vyjmutí z formy jsou o *velikost smrštění* menší než rozměry formy.

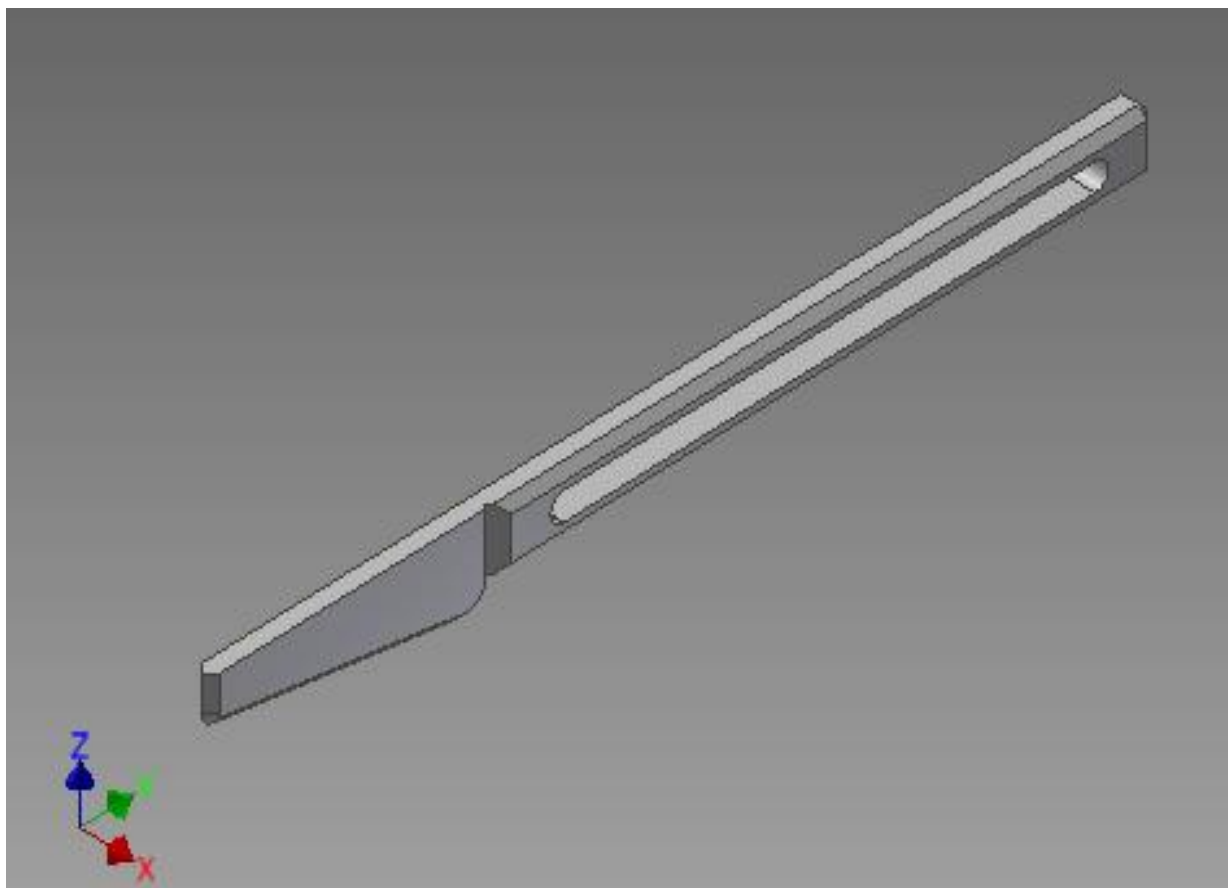
Pro výrobky z reaktoplastů (vstříkované do vytápěných forem) jsou vhodné rovněž dobře tekuté hmoty bez vláknitých plniv. Přesnost a rozměrová stabilita výrobků jsou lepší než u termoplastů z důvodů větší tuhosti (vyšší modul pružnosti), menšího smrštění a velmi malého vnitřního pnutí (ve formě nenastává prudké ochlazení, ale pomalejší vytvrzování polymerů). Zásady pro navrhování výrobků z reaktoplastů jsou stejné jako u termoplastů, tloušťky stěn mohou být větší – 2 [mm] až 6 [mm]. [1]

*Volba tloušťky, viz výkresová dokumentace. Volba úprav hran, viz výkresová dokumentace.*

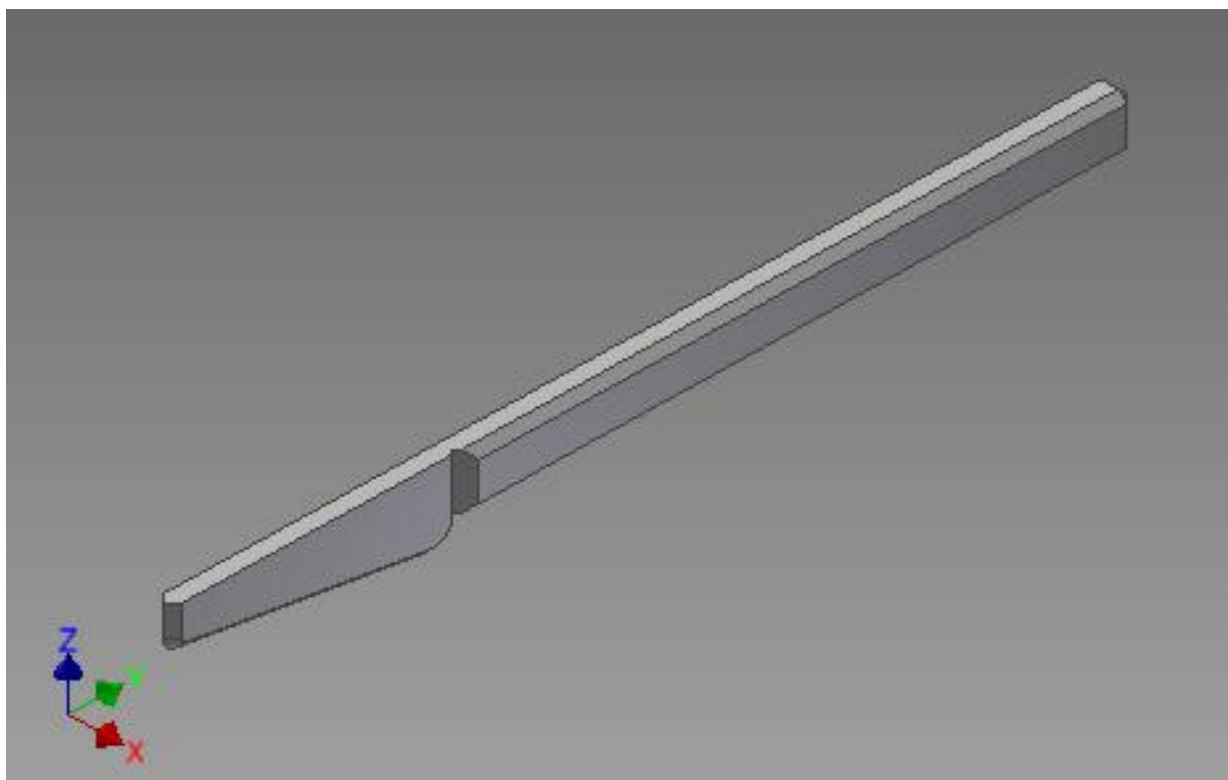
### 3.4. Návrhy 3D modelů nožů



**Obr. 1.1.** Schéma nože se zaoblenými a sraženými hranami a výraznou řeznou částí. Výkresová dokumentace, viz přílohy.

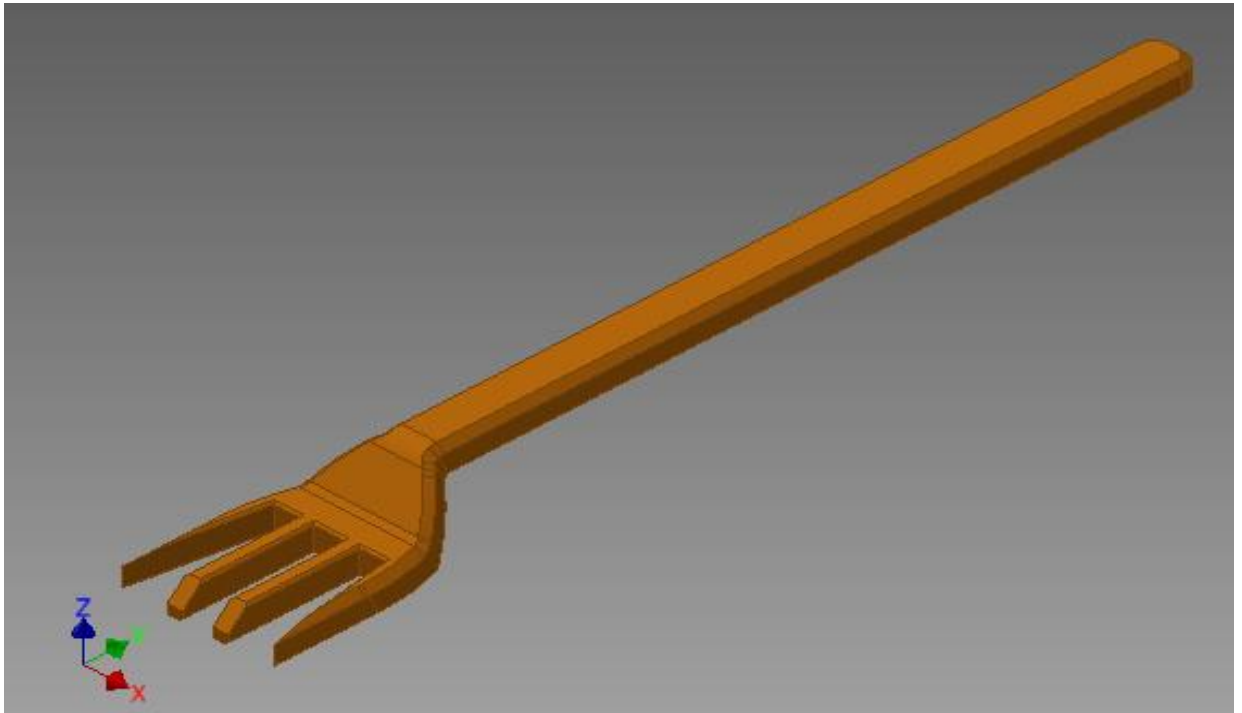


**Obr. 1.2.** Schéma nože s tvarově upravenou rukojetí.



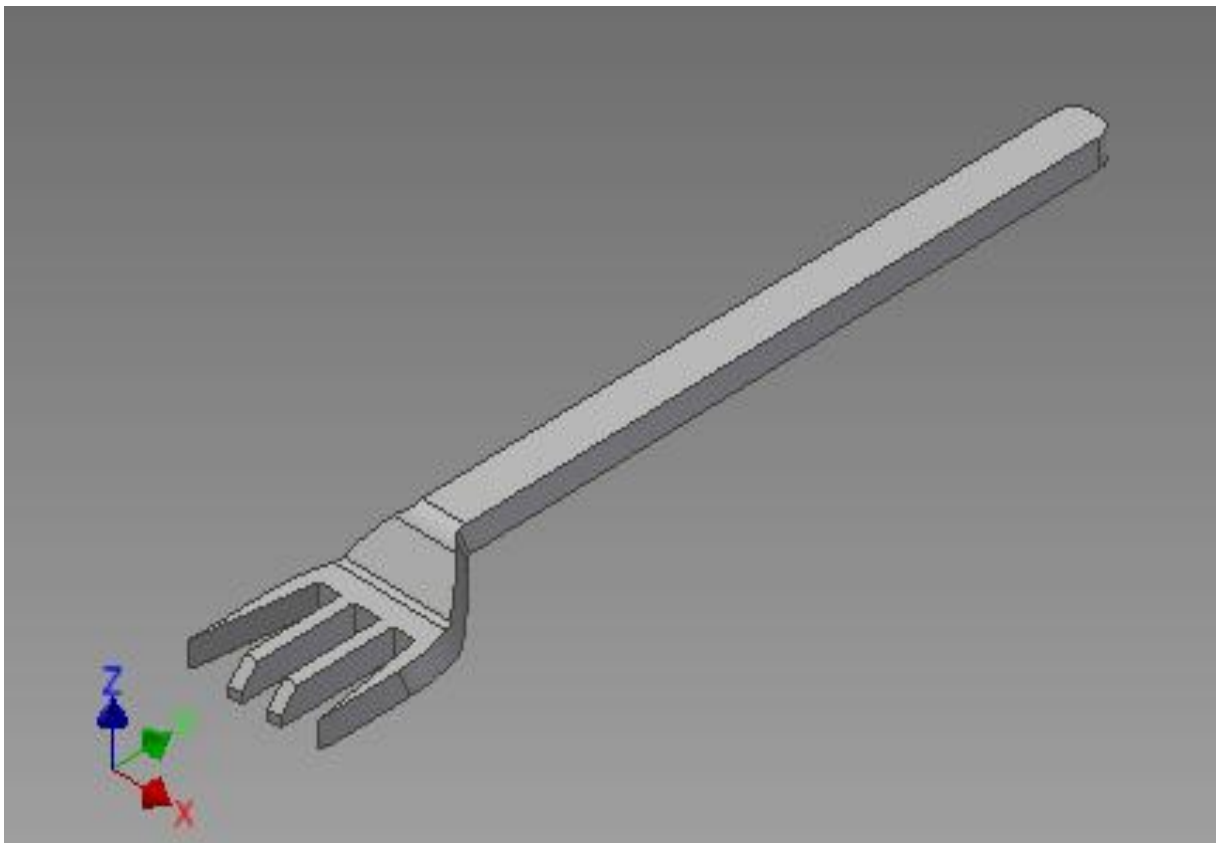
**Obr. 1.3.** Schéma nože bez zaoblení hran.

### 3.5. Návrhy 3D modelů vidliček

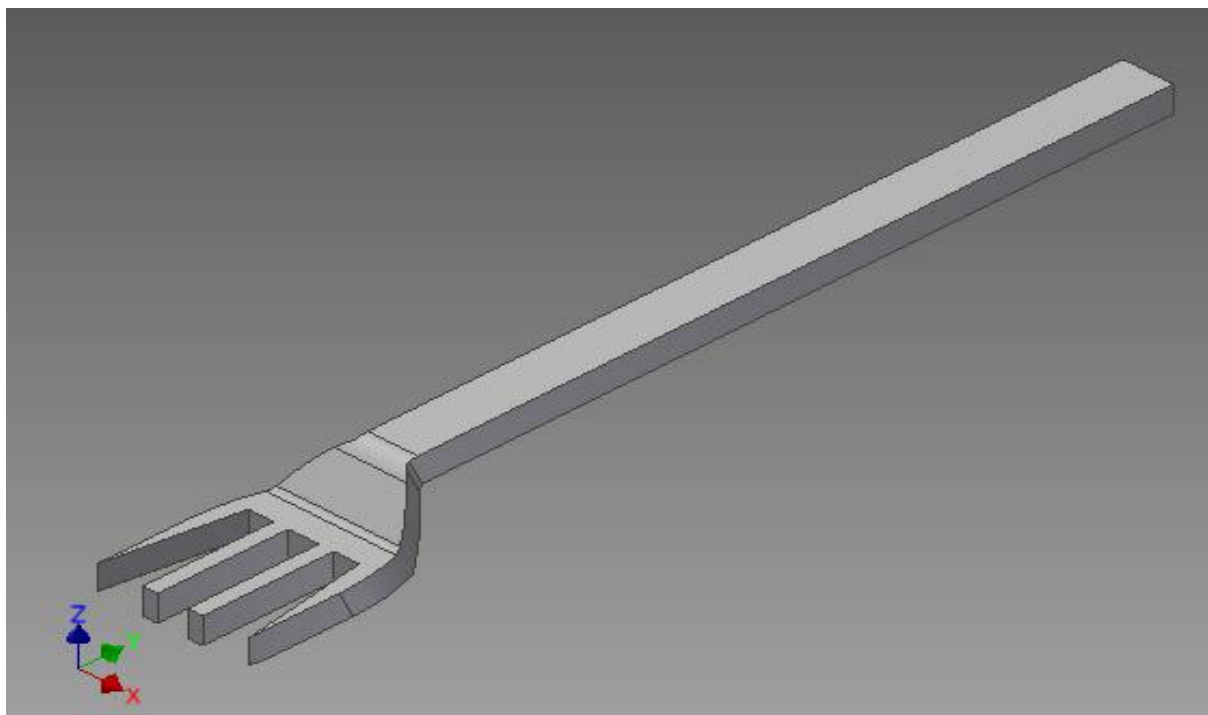


*Obr. 2.1.* Schéma vidličky se zaoblením a sražením hran a tvarovou rukojetí.

Výkresová dokumentace, viz přílohy.



*Obr. 2.2.* Schéma vidličky bez sražení hran.



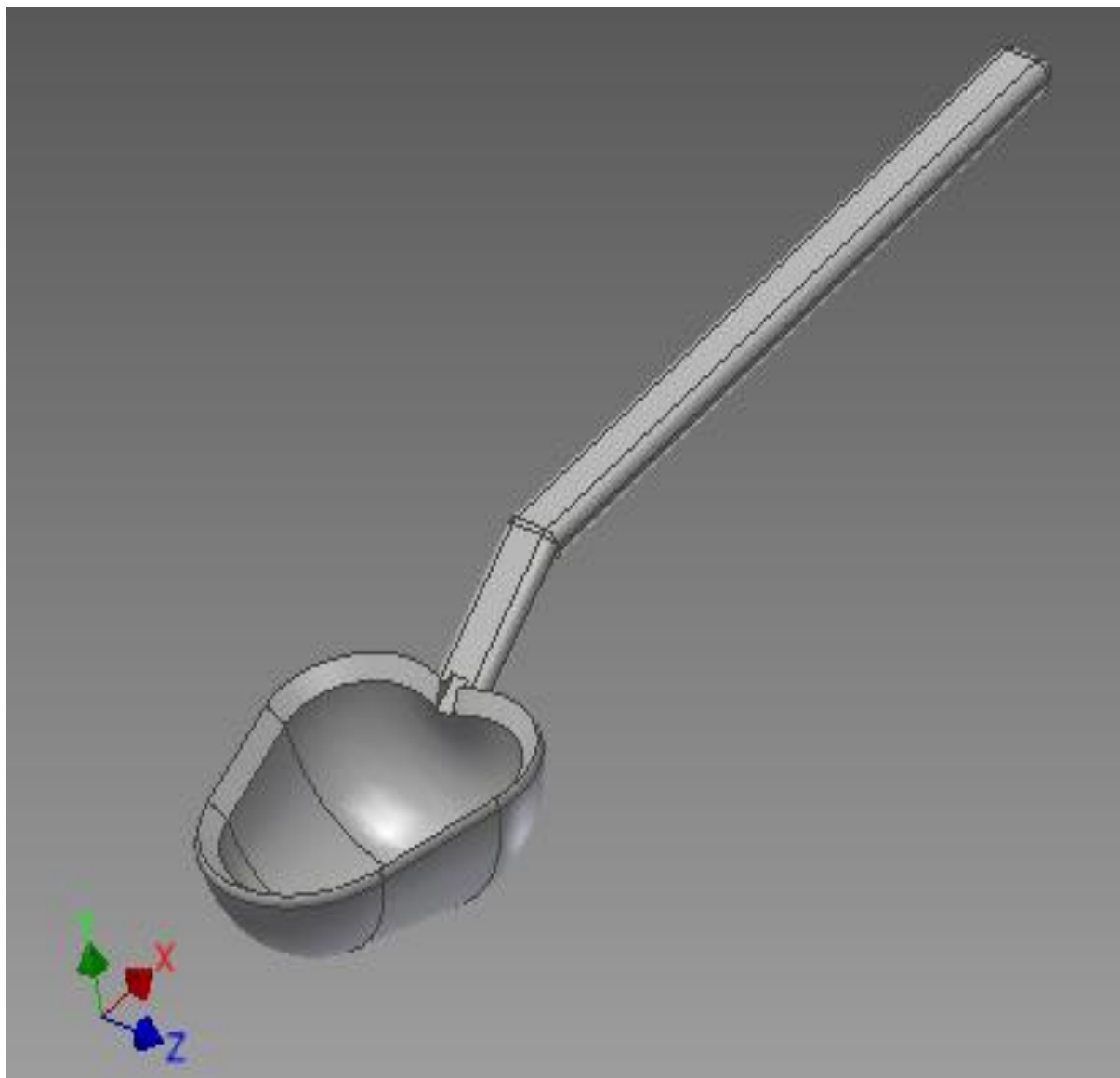
*Obr. 2.3.* Schéma vidličky bez úprav hran.

### 3.6. Návrhy 3D modelů lžic

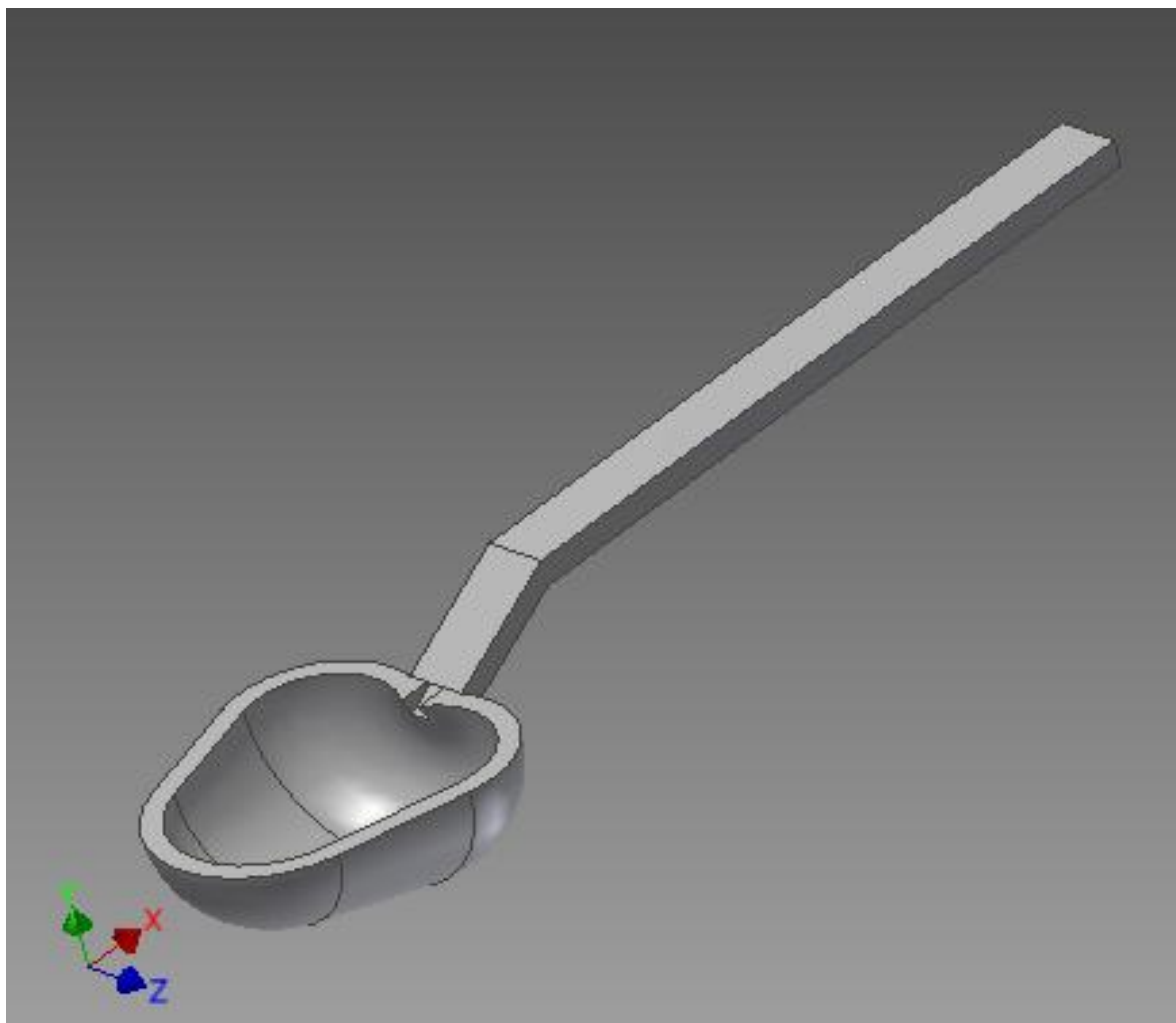


*Obr. 3.1.* Schéma lžice s tvarovou rukojetí. Výkresová dokumentace, viz přílohy.





**Obr. 3.2.** Schéma lžice s tvarovou rukojetí a zvláště tvarovanou pracovní částí.



**Obr. 3.3.** Schéma lžice bez úprav hran na rukojeti a s výraznou tvarovou pracovní částí.

*K výrobě kompletního příboru je nutná nejen úplná výkresová dokumentace, ale jedná se o věci s vysokou tvarovou složitostí a proto je nutné, aby byly k dispozici i 3D modely příborů!*

## 4. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout tvary plastového příboru, který bude vhodný pro několikanásobné použití. Dalším bodem byla volba materiálu, který svými vlastnostmi a složením bude zdravotně nezávadný a v případě dlouhodobého kontaktu s potravinami nedojde ke zdravotním komplikacím uživatele.

V první části (Úvod) je uvedena obecná důležitost plastů, jako suroviny budoucnosti vhodné k dalšímu zpracovávání a používání pro všechna odvětví průmyslu, bez které bychom si jen stěží mohli představit život.

Ve druhé části (Teoretická část) je definována historie objevu a počátky éry plastů spolu s jejich prvním použitím. V podkapitolách Teoretické části je obecně definován plast spolu se svými specifickými vlastnostmi, výrobou, úpravami, použitím, recyklací a zpracováním.

Ve třetí části (Praktické část) jsou uvedeny konkrétní návrhy tvarů jednotlivých částí příboru. Je zde rovněž zvolený materiál, který musel být zvolen s ohledem na výše uvedené skutečnosti. Dále se zde nachází zvolená výrobní metoda, kterou bude příbor velkosériově vyráběn.

V přílohách je kompletní výkresová dokumentace jednotlivých částí navrhovaného příboru.

## 5. Použité zdroje

### 5.1. Literatura

- [1] ŘASA J., HANĚK V., KAFKA J.: *Strojírenská technologie 4*: 1. Vydání Praha: SCIENTIA 2003. 105 – 139 s. ISBN 80 – 7183 – 284 – 7
- [2] HLUCHÝ M., KOLOUCH J., PAŇÁK R.: *Strojírenská technologie 2*: 2. upravené vydání Praha: SCIENTIA 2001. 230 – 256 s. ISBN 80 – 7183 – 244 – 8

### 5.2. Další zdroje informací

- [3] <http://www.odmaturuj.cz/chemie/historie-plastu-2/> (10. 2. 2013, 19:16)
- [4] <http://www.vlmais.cz> (10. 2. 2013, 19:10)

## 6. Seznam použitého softwaru

Microsoft Corporation: *Microsoft Office Word 2007*  
Autodesk: *Inventor Professional 2013 – čeština (czech)*

## 7. Přílohy

1. výkres lžice (ROČ - 4.A - 01 - 01)
2. výkres nože (ROČ - 4.A - 01 - 02)
3. výkres vidličky (ROČ - 4.A - 01 - 03)

