

# Návrh technologického postupu pro výrobu dílce metodou vakuového lisování

Vladimír Doležel

---

Bakalářská práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vladimír Doležel**  
Osobní číslo: **T11531**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh technologického postupu pro výrobu dílce  
metodou vakuového lisování**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerži na téma vakuové lisování plastů
  - definice vakuového lisování plastů
  - materiály pro vakuové lisování plastů
  - stroje(lisy) pro vakuové lisování plastů
  - zpracování odpadu
2. Experimentální část - Návrh technologického postupu pro výrobu dílce metodou vakuového lisování
  - zadání dílce zákazníkem (požadovaný tvar, rozměry, barva, počet kusů, atd.)
  - nastavení parametrů výroby
  - finanční analýza návrhu + srovnání s jinými metodami
3. Zhodnocení návrhu postupu a závěry

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1.Řehulka Z, Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů, Sekurkon 2006

2.Krebs J, Teorie zpracování nekovových materiálů, Liberec 2006

3.Lenfeld P, Katedra tváření kovů a plastů: Skripta, Liberec 2008

4.Ducháček V, Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití , Praha 2006

5.Internetové zdroje dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ladislav Fojtl**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**10. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**23. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá vakuovým lisováním plastů, které patří k jedné z významných metod zpracování plastových polotovarů. V rešeršní části bakalářské práce je popsán princip vakuového lisování, jeho využití v praxi, základní informace o používaných materiálech, stroje pro vakuové lisování a zpracování odpadu. V experimentální části je navržen technologický postup výroby výrobku metodou vakuového lisování spolu s dokončovacími operacemi a je také uvedeno srovnání s jinými metodami, konkrétně se vstřikováním. V závěru práce je zhodnocení navrženého postupu a úvaha nad zefektivněním daného postupu.

Klíčová slova: Vakuové tvarování, vstřikování

## **ABSTRACT**

This Bachelor Thesis deals with vacuum thermoforming of plastics which is considered as one of important methods for processing of semi-finished plastic products. In the theoretical part of the bachelor thesis principle of thermoforming, its application in practice, main information about used materials, machines for vacuum thermoforming and also the waste management are described. Experimental part of this thesis contains of technological procedure of the part production by vacuum thermoforming together with finishing operations. Further more, the comparison to other production method (injection moulding method) is also included. At the end of this thesis, the evaluation of the proposed procedure and efficiency improvement of the procedure are given.

Keywords: Vacuum thermoforming, injection moulding procedure

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Ladislavovi Fojtlovi, za odborné vedení, rady a čas, kterými po dobu tvorby této práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat firmě Promens, která mi poskytla informace, které jsem mohl využít ke tvorbě své bakalářské práce.

*Fidem fati virtute sequemur*

*Vírou v sebe změníš osud*

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I</b> <b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1</b> <b>TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>11</b>
1.1    ROZDĚLENÍ.....	11
1.2    TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
1.3    VAKUOVÉHO LISOVÁNÍ (TVAROVÁNÍ) .....	13
1.3.1    Mechanické tvarování.....	14
1.3.2    Pneumatické tvarování.....	14
<b>2</b> <b>MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO VAKUOVÉ LISOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>22</b>
<b>3</b> <b>STROJE PRO VÁKUOVÉ LISOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>28</b>
<b>4</b> <b>ZPRACOVÁNÍ ODPADU</b> .....	<b>30</b>
<b>II</b> <b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>
<b>5</b> <b>STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b> .....	<b>38</b>
<b>6</b> <b>NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU</b> .....	<b>39</b>
6.1    ZADÁNÍ DÍLCE ZÁKAZNÍKEM .....	39
6.2    NASTAVENÍ PARAMETRŮ VÝROBY .....	40
6.2.1    Lisování .....	40
6.2.2    Dokončování vakuově tvarovaných dílů .....	46
<b>7</b> <b>FINANČNÍ ANALÝZA NÁVRHU + SROVNÁNÍ S JINÝMI             METODAMI</b> .....	<b>48</b>
7.1    FINANČNÍ ANALÝZA ZADANÉHO VÝROBKU.....	48
7.2    NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY .....	49
<b>8</b> <b>ZÁVĚR</b> .....	<b>52</b>
<b>9</b> <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>53</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>54</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>55</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>57</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>58</b>



## ÚVOD

V dnešní době nás výrobky z plastů obklopují na každém kroku. Od té doby co byly vynalezeny, nahradily některé dříve používané materiály (kov, dřevo, sklo) a umožnily vznik výrobků, které nebylo dříve možné vyrobit. Před několika desítkami let se roční výroba plastů pohybovala v několika tisících tun ročně, nyní jsou to stovky miliónů tun a pořád stoupá. V podstatě by se dnešní doba dala nazvat „doba plastová“.

Jednou z technologií zpracování plastů je vakuové lisování. Touto technologií se vyrábí, např. kryty na osvětlovací techniku, blatníčky a kapoty na traktůrky, vnitřní kryty do aut a autobusů atd. Tato technologie je vhodná pro výrobu menšího počtu vylisků, ale uplatnění najde i v sériové výrobě. Vakuové lisování patří mezi významné technologie zpracování plastů, a proto je předmětem výzkumu této bakalářské práce.

Konkrétní výzkum této bakalářské práce se zabývá návrhem technologického postupu dílce, jeho finanční analýzou a srovnání s jinou technologií a to konkrétně se vstřikováním.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ

## 1.1 Rozdělení

V současnosti existuje více metod zpracování plastů, a proto je možné zvolit několik technologií pro dosažení podobných výsledků, konkrétně tvarů a vlastností. Použitelnost jistého způsobu zpracování plastů je závislá jednak na technologických vlastnostech zpracovávaného plastu a dále pak na tvaru a funkci výrobku, kterou má během své životnosti plnit. Podle vztahu mezi plastem vstupujícím do procesu a výsledkem tohoto procesu lze technologie rozdělit do následujících skupin:

- **Tvářecí technologie** – zahrnují technologie, při kterých se tvar výchozího materiálu mění zásadním způsobem, tzn., že dochází ke značnému přemístování částic materiálu. Tváření probíhá za působení teploty a tlaku nebo obou vlivů současně. Patří sem vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, ale i odlévání, laminování, vypěňování, apod. Výsledkem je buď výroba konečného dílu anebo výroba polotovaru.[1,8]
- **Tvarovací technologie** – zahrnují technologie, u kterých se vychází z polotovaru a hmota mění tvar bez velkého přemístování částic. Může se uplatňovat vliv zvýšené teploty i tlaku, ale také nemusí. Patří sem tvarování desek, výroba dutých těles, ohýbání trubek, obrábění plastů, spojování a spékání plastů.[1,8]
- **Doplňkové technologie** – slouží k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (míchání a hnětení, sušení, granulace, předeřev, atd.) anebo naopak, k úpravě finálních výrobků (potiskování, natírání, atd.) a také recyklace.[1,8]

Je zřejmé, že se u jednoho druhu plastu při výrobě finálního výrobku můžeme setkat s technologiemi, patřícími do všech skupin. U každé technologie lze zpravidla vyčlenit tři části, které tvoří:

- příprava hmoty nebo polotovaru,
- vlastní zpracovatelský proces,
- dokončovací operace.[1,8]

Plasty se zpracovávají při takových termodynamických podmínkách, které umožňují dodat jim požadovaný tvar, aniž by byly nepříznivě ovlivněny jejich fyzikální nebo mechanické vlastnosti. Pro tváření, které je provázeno menšími či většími přesuny hmoty je nutné převést plast buď do kaučukovitě elastického stavu, nebo do viskózně tekutého stavu. Čím

větší přesuny hmot se požadují, tím musí být teplota vyšší, ale pouze tak, aby se nepřekročila teplota rozkladu.[1]

Proces zpracování je kritickou částí celého procesu výroby konečného výrobku, neboť výrazně ovlivňuje cenu výrobku a produktivitu. Faktory, které se podílejí na volbě technologie, jsou:

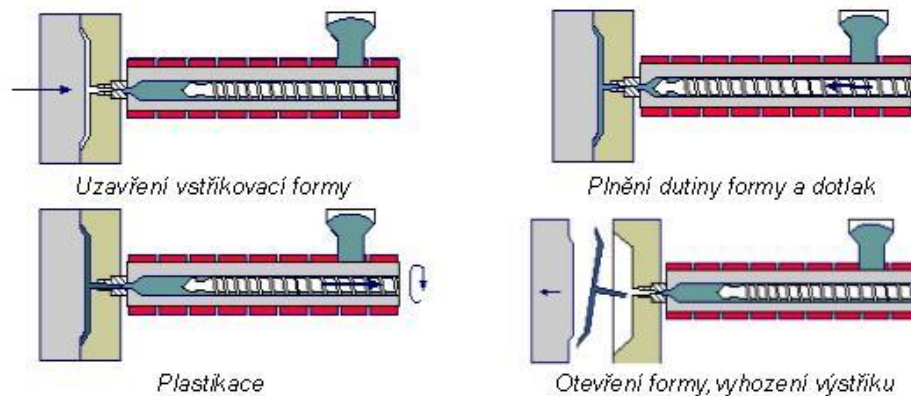
- tvar výrobku,
- velikost výrobku,
- tolerance na výrobku,
- materiál (plast),
- nástroj,
- stroj.[1,8]

Je zřejmé, že technologii na zpracování plastů je velké množství a není cílem této práce je všechny rozebírat. Bude kladen důraz hlavně na popsání technologie vakuového lisování a zjednodušeně uveden princip technologie vstřikování, protože se jedná o nejrozšířenější metodu a také z důvodu, aby bylo možné porovnáním určit vhodnou oblast uplatnění vakuového lisování právě vůči této nejrozšířenější technologii.

## 1.2 Technologie vstřikování

Vstřikování je termodynamický cyklický tvářecí proces. 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. [1,8]

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 je plast roztaven 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. Celý tento cyklus je zobrazen na Obr.1 [1,7]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [1]

### 1.3 Vakuového lisování (tvarování)

Tvarování je výrobní postup, u kterého polotovar ve tvaru desky nebo fólie mění svůj tvar bez většího přemísťování částic hmoty. Většinou se provádí za tepla, jen ve výjimečných případech je možné některé plasty tvarovat bez ohřevu. [1,8]

Využívá fyzikálních a mechanických vlastností termoplastických hmot, které se při zahřátí mění do plastického stavu. Při ochlazení se struktura plastu mění zpět do tuhého stavu. Tímto způsobem výroby je možné z plastů vytvářet od malých dílků až po velké konstrukční celky. [4,8].

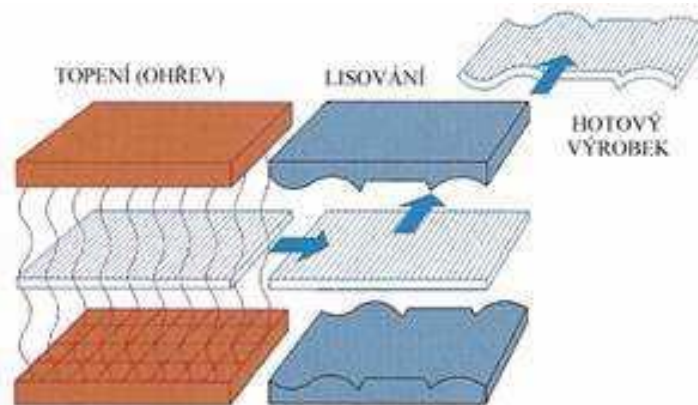
Ke změně tvaru je zapotřebí zvýšené teploty a tlaku. Protože je zapotřebí hotový plastový polotovar (deska), z toho vyplývá, že touto technologií lze zpracovávat pouze termoplasty. Je možné tvarovat prakticky všechny termoplastické materiály, nejčastěji jsou však ze styrenových plastů, např. PS, PS – PE, ABS, dále z PVC a jeho kopolymerů, PMMA, PC, PP a PE.[1,7]

Vakuové lisování rozdělujeme podle:

- Vyvinuté síly - mechanické,
- pneumatické – podtlakové, přetlakové
- Tvaru formy - pozitivní,
- negativní,
- Předtvarování - mechanické,
- pneumatické,
- kombinované.[8]

### 1.3.1 Mechanické tvarování

U mechanického tvarování se změny tvaru polotovaru dosahuje vzájemným působením jednotlivých částí dvoudílné formy na tvarovaný materiál. Způsob umožňuje používat vyšší tvarovací tlaky, než u ostatních způsobů, případně kombinovat tvarování s přímým oddělením výrobku od zbytku polotovaru. Mechanickým tvarováním se zhotovují tvarově jednoduché výrobky, např. kelímky, víčka, krabičky apod. Tento způsob tvarování je vhodný pro výrobky s menší tvarovací hloubkou (mělké výrobky). Při tvarování hlubších výrobků se získají výrobky s nerovnoměrnou tloušťkou stěny (ztenčení stěny u dna výlis-ku). [1,8]



Obr. 2 Mechanické tvarování [1]

### 1.3.2 Pneumatické tvarování

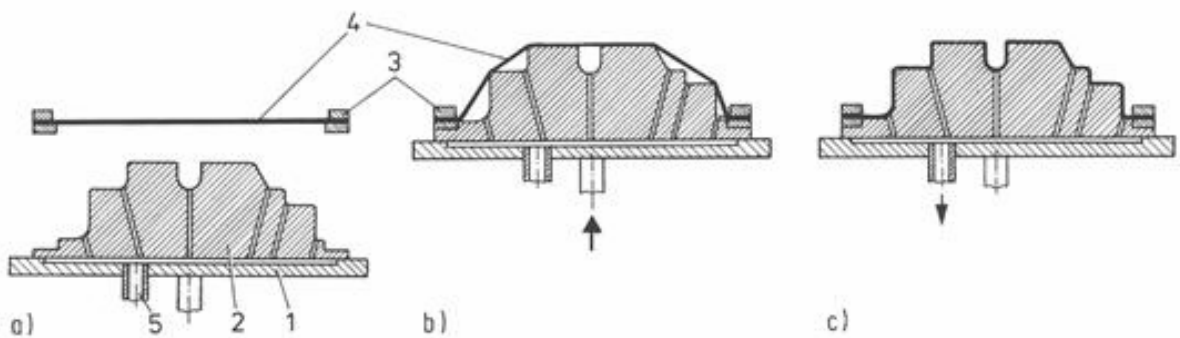
V praxi je v současné době nerozšířenější podtlakové tvarování, u něhož k dosažení změny tvaru polotovaru postačuje rozdíl atmosférického tlaku a vakua vytvořeného v dutině formy vývěvou. Tvarovací tlak je tedy roven maximálně několika desítkám kPa. U přetlakového způsobu se síla k tvarování vyvozuje působením tlakového média, obvykle stlačeného vzduchu, jehož tlak bývá v rozmezí asi od 0,2 do 1 MPa. Často se přetlakový způsob kombinuje s podtlakovým. Nízké tlaky umožňují používat formy z málo pevných materiálů, např. lité ze speciálních pryskyřic. [1,2]

K přednostem podtlakového tvarování patří možnost vyrábět předměty s velkou plochou a přitom s tenkou stěnou. Jednoduché, a tedy i levné tvarovací formy, stejně jako relativně málo nákladná tvarovací zařízení dovolují ekonomickou výrobu předmětů i v malých sériích, např. jen několika desítek kusů. Je možné tvarovat desky předem potisknuté nebo jinak povrchově upravené. Tak se vyrábějí například plastické mapy. [1,8].

V dnešní době se tvarováním zpracovávají desky s tloušťkou až 10 mm a fólie od tloušťky 0,3 mm, výjimečně již od 0,1 mm. Pro výroby, získávané tepelným tvarováním desek, je charakteristický vysoký poměr délky k tloušťce stěny výrobku. Ten není z hlediska materiálu omezen a v podstatě je limitován velikostí tvarovacího zařízení a rozměry vyráběných desek. Velkou výhodou tvarování oproti vstřikování jsou podstatně nižší náklady na pořízení tvarovacího stroje i tvarovací formy. Mohou být až desetkrát nižší. Nevýhodami tvarování je vyšší cena desek oproti granulátu, jež může být až dvojnásobná, a dále dosti velký podíl technologického odpadu. V nepříznivých případech může podíl odpadu činit až 50%. Při navrhování výrobků platí určitá omezení jejich tvaru, např. není možné vyrábět výtažky s kompaktními žebry. Rovněž zalisování kovových vložek do stěny výrobku bývá obtížné. [1,7,8]

- **Pozitivní tvarování**

Jednoduchý *pozitivní* způsob *tvarování* umožňuje dosáhnout rovnoměrnou tloušťku stěny i při hloubce tažení dané poměrem  $H / D = 1$ . Základem je pozitivní tvarovací forma – tvárník, odpovídající svým tvarem výrobku, viz.Obr.3. Deska se upne do rámu a ohřeje infračervenými zářiči na tvarovací teplotu (a). Po odsunutí ohřívacího zařízení se forma pohybem vzhůru vtlačí do desky (b) nebo se rám s deskou přetáhne přes nepohyblivou formu. V této fázi vlastně dochází k mechanickému předtvarování desky [1,8].



1 – stůl stroje, 2 – tvárník, 3 - rám stroje, 4 - deska

Obr. 3 Pozitivní tvarování [1]

Touto metodou se vyrábí například:

Komponenty na traktúrky (kapoty, blatníky, víka atd.)



*Obr. 4 Traktúrek [9]*

Kryty na osvětlovací techniku

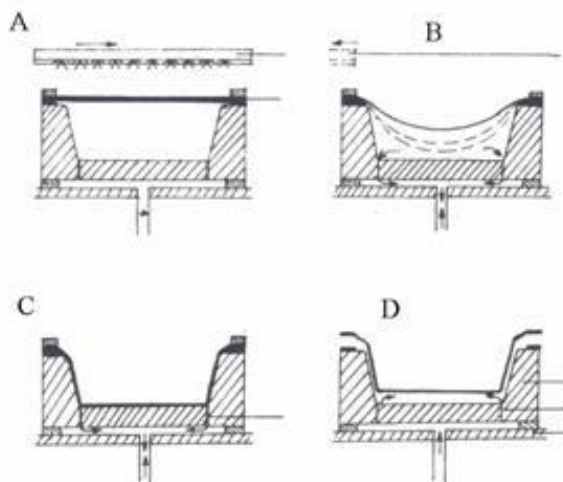


*Obr.5 Osvětlovací technika [12]*

- **Negativní tvarování**

Základem je tvarovací forma s dutinou, která svým tvarem odpovídá žádanému výrobku. Rozměry dutiny musí ovšem být zvětšeny o smrštění hmoty, podobně jako tomu je u jiných technologií. Deska určená k tvarování se upne do rámu a neprodyšně se spojí s formou. Potom se nad desku přisune ohřívací zařízení (A) a po dosažení tvarovací teploty, což se kontroluje dobou ohřevu, se topení odsune (B) a bezprostředně se rychle z dutiny formy odsaje vzduch. Vytvořeným vakuem se plast přitiskne na vnitřní stěnu dutiny formy a přesně přijme její tvar (C). Po ochlazení výtažku se vakuum zruší a výrobek se z formy vyjme (D) buď ručně, nebo se uvolní stlačeným vzduchem, který se přivádí do formy odsávacími kanálky.[1,8]





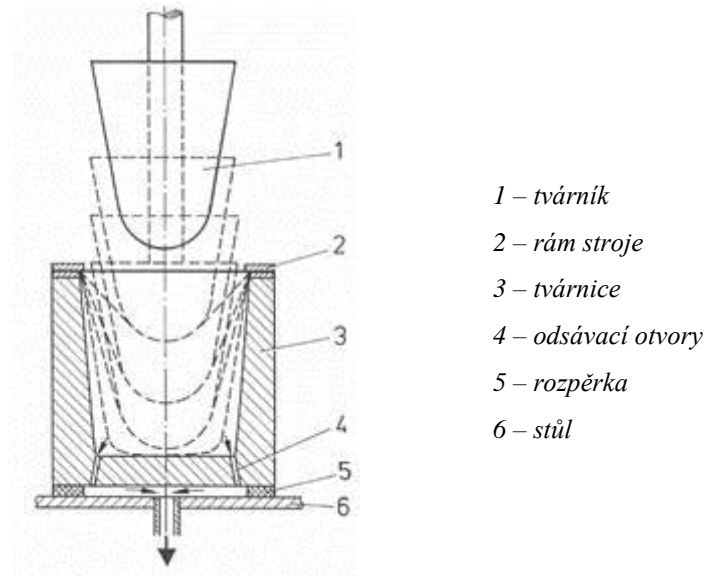
*Obr. 6 Princip negativního podtlakového tvarování [1]*

Touto metodou se vyrábí například vířivky.



*Obr.7 Vířivka[13]*

Snaha dosáhnout co nejrovnoměrější tloušťky stěny výtažků vedla k vývoji celé řady kombinovaných způsobů tvarování. Modifikací jednoduchého negativního tvarování je negativní tvarování s mechanickým předtvarováním. Ve své podstatě se jedná o kombinaci způsobu negativního a pozitivního. Z postupu na obrázku 8 je zřejmé, že od jednoduchého tvarování se liší tím, že se deska po skončení ohřevu nejprve předtvaruje pomocným tvárníkem, který desku vtlačuje směrem do dutiny formy.[1,8]

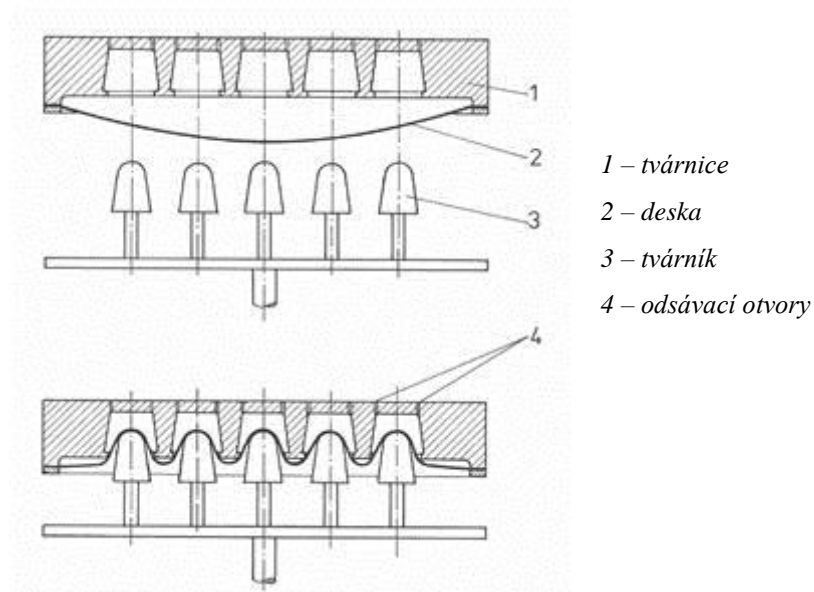


- 1 – tvárník
- 2 – rám stroje
- 3 – tvárnice
- 4 – odsávací otvory
- 5 – rozpěrka
- 6 – stůl

Obr. 8 Princip negativního podtlakového tvarování  
s mechanickým přetvarováním [1]

Když tvárník dosáhne stanovené hloubky, zapojí se odsávání vzduchu. Vytvořeným podtlakem deska zaujme konečný tvar a výtažek se ve formě ochladí. Plocha pomocného tvárníku má činit maximálně 70 % celkové tvarované plochy desky a hloubka předtvarování se volí cca 70 % konečné hloubky tahu. Tvárník nesmí plast příliš ochlazovat a proto se vyrábí z materiálu se špatnou tepelnou vodivostí, např. z tvrdého dřeva, vrstvené tkaniny nebo z PA. Musí to být materiál, který snáší tvarovací teplotu. Osvědčují se také duté tvárníky, do nich se vhání teplý vzduch, který mezi deskou a tvárníkem vytváří vzduchový polštář zabraňující přímému dotyku desky a tvárníku.[1,8]

Při zasouvání tvárníku do negativní formy, což musí proběhnout velmi rychle, se ve formě zvyšuje tlak vzduchu. To způsobuje vydouvání volné části desky vzhůru a její nežádoucí ztenčování. Tento způsob tvarování je vhodný i pro desky s větší tloušťkou, a to až 10 mm a umožňuje výrobu výlisků s poměrem  $H / D$  až 1,5. Výhodou je velmi rovnoměrná tloušťka stěny výrobku a možnost použití vícenásobných forem v hromadné výrobě. Nevýhodou je složitější a dražší zařízení, které vyžaduje přesné dodržení nejen sledu, ale i doby trvání jednotlivých operací.[1]

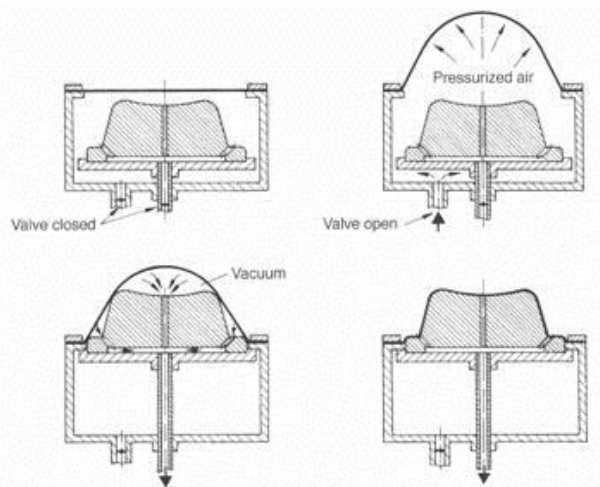


*Obr. 9 Vícenásobná forma pro negativní tvarování s mechanickým předtvarováním a pohled na tvárníky [1]*

U pozitivního způsobu s pneumatickým předtvarováním je první operací po zahřátí desky její předtvarování pomocí stlačeného vzduchu, jak lze vidět na obrázku 10. Deska se po zahřátí na tvarovací teplotu nejprve vyfoukne do tvaru „bubliny“ a protože je tvarována na vzduchu, ztenčuje se velmi rovnoměrně. Stupeň předtvarování se řídí množstvím, tlakem a teplotou vzduchu. Ta může dosahovat teploty zahřátého plastu. Do vytvořené bubliny se zespoda vtlačí pozitivní forma a přesný tvar získá výtahem po aplikaci vakua. Při tvarování je možné postupovat třemi způsoby: Ohřátá deska je nejprve předtvarována stlačeným vzduchem a teprve potom je zdvižena forma. Rychlost zvedání formy musí být co největší, aby se předtvarovaná deska neochlazovala. Jakmile forma dosáhne horní koncové polohy, ihned je zapnuto vakuum a výlisek je dotvarován. Nebo forma je zdvižena ještě dříve, než je předtvarování vzduchem zcela skončeno. Tím se dosáhne toho, že na vrchní ploše formy se vytvoří malé vzduchové polštáře, které jednak zabraňují dotyku desky s formou a jednak ještě napomáhají dalšímu předtvarování. To vede k ještě rovnoměrnějšímu rozdělení tloušťky stěny na výlisku. A nebo předtvarování vzduchem i pohyb formy se dějí současně. [1,8]

Tímto způsobem se vyrábějí výtahy s poměrem  $H / D$  větším, než 2. Přitom tloušťka stěny je velmi rovnoměrná, a to i v rozích. Nevýhodou je dražší zařízení, které musí pracovat

automaticky, aby jednotlivé operace na sebe navazovaly podle předem ověřeného programu.[1]



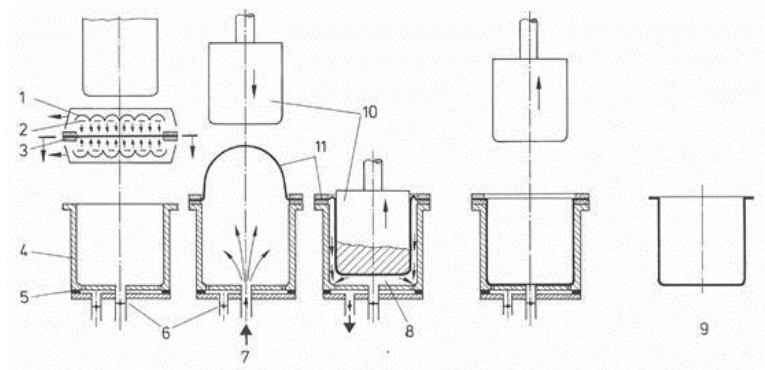
Obr. 10 Princip pozitivního podtlakového tvarování  
s pneumatickým předtvarováním [1]

Ke zvláštnostem tohoto způsobu patří, že záměrným nerovnoměrným ohřevem desky je možné dosáhnout nestejněho stupně ztenčení v různých místech předtvarované desky, a tím různě tlusté stěny na výlisku.[1]

- **Kombinované předtvarování**

Z dalších možných způsobů tvarování je třeba uvést tvarování s pneumatickým a mechanickým předtvarováním. Používá se u zvlášť hlubokých výtažků s poměrem  $H / D$  větším, než 2. Následuje buď vtlačení formy do předtvarované desky a potom je uveden do pohybu tvárník a pak je zapnuto vakuum, nebo je forma uvedena do pohybu ještě před skončením pneumatického předtvarování a po dosažení konečné pozice formy jsou současně uvedeny v činnost tvárník i vakuum anebo jsou současně uvedeny do pohybu forma i tvárník, a když dosáhnou konečné pozice je zapnuto vakuum. Konečný tvar získá výtažek zapojením vakua. Tento způsob se používá i pro výrobu výtažků se zdvojenými stěnami. Ty se tvarují v pozitivně-negativní formě, jejímiž funkčními částmi je jak vnější povrch tvárníku, tak vnitřní povrch dutiny. Forma se nejdříve pohybem vzhůru vtlačí do vyfouknuté desky, nato se střední část bubliny přetlačí předtvárníkem do negativní části formy. Tvarování se opět dokončí využitím vakua. Celý proces musí být automatizován, teplota nejen plastu, ale i vzduchu, formy a předtvárníku musí být přesně regulovány. Podle tvaru výtažku totiž činí konečná tloušťka stěny vzhledem k původní desce jen 20 %. Použitý plast proto musí vykazovat obzvláště vysokou tažnost. Doba potřebná na předtvarování ohřáté desky stlače-

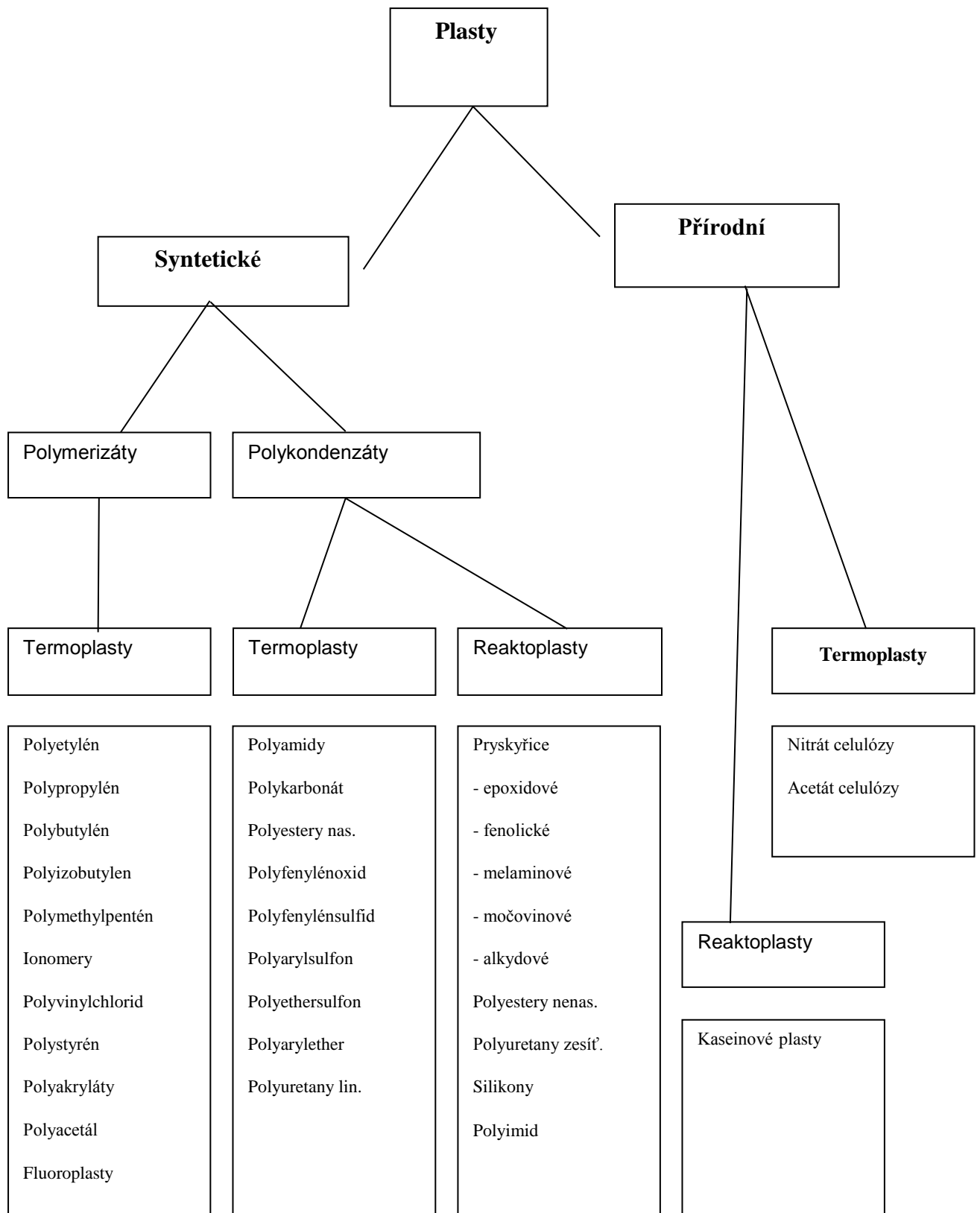
ným vzduchem je asi 0,5 až 1 s. Na přetažení desky do negativní formy je třeba také asi 1 s a na dotvarování pomocí vakua rovněž asi 1 s. Vlastní tvarovací proces tedy proběhne asi během 3 s a je znázorněn na obrázku 11.[1,8]



- 1 - ohřev
- 2 - topná spirála
- 3 - rám stroje
- 4 - tvárnice
- 5 - rozpěrka
- 6 - odvod vzduchu
- 7 - přívod vzduchu
- 8 - výška pro dotvarování vakuem
- 9 - výtažek
- 10 - tvárník pro předtvarování
- 11 - deska

*Obr. 11 Princip negativního podtlakového tvarování s pneumatickým a mechanickým předtvarováním [1]*

## 2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO VAKUOVÉ LISOVÁNÍ PLASTŮ



Plasty se vyrábějí chemickou modifikací přírodních polymerů nebo jsou syntetizovány z anorganických a organických surovin. Na základě svých fyzikálních vlastností, dělíme plasty v zásadě do tří skupin - na reaktoplasty, elastomery a termoplasty. Tyto skupiny se liší především molekulární strukturou, právě ta určuje jejich rozdílné tepelné chování [5].

*Reaktoplasty a elastomery* jsou tvořeny z polymeru z trojrozměrně síťovaného molekulárního řetězce, který jim umožňuje držet si svůj tvar. Reaktoplasty jsou tvrdé a mají velmi těsnou hustotu molekulární struktury, zatímco elastomery mají volnější molekulární síť, což vede k vysoké míře pružnosti. U obou materiálů probíhá vytvrzování během formování, poté jsou trvale zpevněny chlazením, po kterém již není možné dalším zahřátím materiál opět změkčit a formovat [5,10].

*Termoplasty* mají lineární nebo rozvětvenou, ne však síťovanou, molekulární strukturu. Při běžných teplotách jsou termoplasty pevné a pružné, při vyšších teplotách jsou měkké a poddajné. Poté co se termoplast ochladí a ztuhne, drží svůj tvar. Termoplasty mají také něco, co můžeme nazvat jako "paměť" - po opakovaném zahřívání mohou změkknout a ochlazením se opět vytvrdí do svého tvaru. Opakované zahřívání termoplastů nezpůsobuje trvalé změny parametrů, vlastností či složení. Kromě toho je pracovní teplota pro termoplasty výrazně nižší než u reaktoplastů [5,10].

*Termoplasty* mají širokou škálu vlastností. Neustálý výzkum prováděný pro vývoj nových materiálů, rozšiřuje stále rostoucí řadu možných využití. V závislosti na přidání různých přísad a poměrů příměsí použitých při jejich výrobě, mohou být vyrobeny takové termoplasty, které odolají vysokým teplotám, statické elektřině, ultrafialovému záření nebo vysokému zatížení. Mohou být měkké a poddajné jako guma nebo tvrdé a odolné jako kov. Některé termoplasty odolávají teplotám až do 300 °C, zatímco jiné snášejí teploty pod -70 °C. Vyrábějí se i takové druhy, které jsou schopny odolávat ohni nebo se mohou galvanizovat.[4,5]

Vlastnosti termoplastů se mohou značně lišit. Vybrat ten správný typ odpovídající specifikaci výrobku, je velmi důležitým krokem ve výrobním procesu. Obecně lze říci, že amorfní materiály jako je polystyren a ABS jsou jednodušší a méně nákladné na tvarování, protože mají větší rozsah teplot pro formování a potřebují kratší dobu pro následné zchlazení. Částečně krystalické a krystalické materiály jako je polyetylén a polypropylen, mají užší rozsah teplot pro formování, vyžadují přesnější regulaci teplot a pečlivé sledování průběhu

ohřevu. Částečně krystalické a krystalické plasty vyžadují pomalejší následné zchlazení, čímž se prodlužuje čas a zvyšují se výrobní náklady.[5,7]

V oblasti vakuového tvarování se používají termoplasty ve formě filmů a desek. Filmem se rozumí tenká plastová folie do 1,5 mm, která je obvykle dodávána v rolích a zpracovává se na automatických formovacích strojích. Běžně jsou tyto folie používány k výrobě blistrů. Silnější plasty v tloušťkách od 3,0 mm do 12 mm jsou obvykle dodávány ve formě desek a tvarují se jednotlivě na formovacích strojích. Takové plasty jsou používány pro trvalejší využití, například na sprchové kouty, elektronická zařízení, automobilové doplňky nebo zdravotnické vybavení. Mezi plasty se střední tloušťkou řadíme plasty od 1,5 mm do 3,0 mm, ty jsou v tzv. šedé zóně, to znamená, že mohou mít jak vlastnosti tenkých folií, tak vlastnosti silných desek. Jsou dodávány v deskách a jsou formovány jednotlivě. Tloušťka a rovnoměrnost plochy od okraje k okraji extrudované plastové desky nemusí být dokonalá, tolerance činí do 5% u tenkostěnných materiálů a 0,2 mm u silných materiálů. Rozdíly v tloušťce folie se pohybují kolem 2% požadované tloušťky folie.[5,7]

Termoplastické desky a fólie jsou vyráběny postupem, který je známý jako extruze. Tento proces začíná přípravou surového plastu ve formě prášku, granulí nebo kuliček. Materiál je vložen do vyhřáté otočné komory, kde dochází k jeho tavení a přimíchání různých přísad. Dále prochází řadou válců, kde je hmota protlačována do požadované tloušťky, tím získáme buď folie, nebo desky. Hotový výrobek se ochladí a nařeže na požadované rozměry.[3,5]

Následuje seznam termoplastů, které jsou obecně používány pro vakuové tvarování:

**ABS – Akrylonitrilbutadienstyren** - ABS je polymer akrylonitrilu, butadienu a styrenu. Obvykle se skládá z přibližně poloviny styrenu a druhé poloviny tvořené stejným dílem butadienu a akrylonitrilu. Akrylonitril a styren zajišťují chemickou odolnost, tvrdost a odolnost vůči teplu, butadien zajišťuje odolnost proti nárazu. Akrylnitril - butadien - styren má vysokou pevnost v tahu, rozměrovou stálost, tvrdost povrchu a tuhost v širokém rozsahu teplot. Určité druhy vykazují dobrou rázovou pevnost při nízkých teplotách od -40 °C. Je flexibilní, chemicky odolný, má lesklý povrch a relativně nízké výrobní náklady. ABS se proto používá v široké škále produktů, od hraček až po díly pro automobilový průmysl. [5]

**HDPE – Polyethylen vysokohustotní** - HDPE, stejně jako LDPE patří do skupiny polyolefinů a je jedním z částečně krystalických polymerů, vyrábí se polymerací ethyleny za



pomocí katalyzátorů. Hustota HDPE se pohybuje v rozmezí od 0,93 do 0,97 g/cm<sup>3</sup>. Hustota HDPE je nepatrně vyšší než LDPE. Ve srovnání s LDPE vykazuje HDPE menší větvení, což má za následek silnější mezimolekulární energie, které zajišťují větší pevnost v tahu. HDPE je tužší než LDPE, je odolný vůči kyselinám, rostlinným olejům, alkoholu a dlouhodobému zahřívání do cca. 110 stupňů Celsia. Je téměř nezníčitelný, má vynikající houževnatost, odolnost proti otěru, pevnost v tahu a jeho opotřebení je minimální. HDPE disponuje výhodou snadného řezání, je vhodný pro zpracování beze špon, výborně se opracovává a má samomazací schopnost. HDPE velmi dobře izoluje a ponechává si své vlastnosti i při velmi nízkých teplotách. HDPE lze použít pro širokou škálu využití jako například na kontejnery na organický odpad, pro celou řadu každodenních domácích potřeb jako jsou kuličky na prádlo, kartáče, uzávěry lahví, lahve, nádoby na mléko apod. I přesto, že je HDPE dost těžký, může být použit pro výrobu velmi tenkých plastových folií používaných pro balení potravin.[5]

**LDPE – Polyethylen nízkohustotní** - LDPE patří do skupiny polyolefinů a je jedním z částečně krystalických polymerů, vyrábí se polymerací ethylenu. K prospěšným vlastnostem plastů z polyethylenu patří jejich tvrdost, vysoká pevnost v tahu a velmi dobrá odolnost proti vlhkosti. Jejich vlastnosti mohou být měněny pomocí vhodných co-polymerizací. Používá se nejčastěji jako izolace kabelů, smršťovací folie pro balení, na igelitové tašky a balení potravin. Nízkohustotní polyethylen je také vynikající materiál pro nádoby a zařízení, které vyžadují odolnost proti pohonným hmotám, kyselinám a alkoholu. Hračky a komponenty pro dětská hřiště jako jsou skluzavky a trubky, ty jsou vyráběny z LDPE kvůli jeho měkkému povrchu a odolnosti proti střídajícím se teplotám. Jeho čírost, odolnost vůči chemické korozi, nízká toxicita a to, že je bez zápachu, činí tento materiál vhodným pro kuchyňské výrobky a laboratorní vybavení.[5]

**PC – Polykarbonát** - Polykarbonáty jsou vysokomolekulární amorfnní technické termoplasty. Vyznačují se kombinací vynikající mechanické odolnosti, sklovité průhlednosti, vynikající rozměrové stálosti, značné tepelné odolnosti a dobrých elektrických vlastností. Polykarbonát (PC) - polymerní řetězec opakuje uhličitánové skupiny a polykarbonáty jsou ve skutečnosti polyester kyseliny uhličitě. Polykarbonát spojuje řadu velmi dobrých vlastností, kterých nebylo dosud souhrnně dosaženo u žádného dalšího typu termoplastů. Ačkoliv má polykarbonát vysokou odolnost proti nárazu, má nízkou odolnost vůči poškrábání a tak je například na polykarbonátová brýlová skla či vnější polykarbonátové součásti automobilů aplikována speciální ochranná vrstva. Vlastnosti polykarbonátu jsou dosti blíz-

ké vlastnostem polymethylmetakrylátu (PMMA, akryl), ale polykarbonát je pevnější a použitelný v širším rozsahu teplot, je ale také dražší. Tento polymer je vysoce transparentní pro viditelné světlo, disponuje lepší propustností světla než spousta druhů skla. Polykarbonát je univerzální, pevný plast, který lze použít pro širokou škálu výrobků. Od neprůstředných oken po kompaktní disky (CD), výčet možností použití je téměř nekonečný. Hlavní výhodou polykarbonátu, ve srovnání s jinými druhy plastů, je jeho bezkonkurenční pevnost a nízká hmotnost.[5]

**PMMA – Polymethylmetakrylát** - je transparentní termoplast, běžně známý jako akrylátové sklo nebo akrylát. Často se používá jako alternativa ke sklu, protože je lehký a odolný proti rozbití. Z chemického hlediska se jedná o syntetický polymer methylmetakrylátu. Hustota PMMA činí 1,17-1,20 g/cm<sup>3</sup>, což je méně než polovina hustoty skla. Má dobrou mechanickou odolnost, vyšší než sklo a polystyren, ale stále výrazně nižší než polykarbonát a některé další technické polymery. Filtruje UV-záření na vlnových délkách přibližně 300 nm a někteří výrobci nátěrových hmot přidávají ochranné vrstvy nebo aditiva, aby byla zlepšena absorpce. PMMA má široké použití pro výrobky každodenní potřeby jako jsou tužky, vlasové spony, knoflíky, různé nádoby a další potřeby pro domácnost. Ve stavebnictví převládá využití PMMA pro vnitřní i venkovní osvětlení, signální ukazatele, nábytek, dělicí příčky, solární kolektory, barevná skla do koupelen, atd. [5]

**PP – Polypropylen** - je termoplastický polymer s širokým spektrem využití. Polypropylen je velmi všestranný materiál a nabízí skvělou kombinaci vlastností, mezi které patří např. tuhost, pevnost v ohybu. Je pevný, lehký a tepelně odolný. Kromě těchto a mnoha dalších vlastností, je snadno opracovatelný a může být použit pro celou řadu výrobních metod a využití. Jeho výroba probíhá pomocí roztoku nebo suspenze v plynné fázi procesu, kde je monomer propylenu s pomocí katalyzačního systému vystaven teplu a tlaku. Polymerace je prováděna při nízké teplotě a tlaku, takže výsledný produkt je průsvitný nebo plně barevný. Aby se změnila vlastnosti plastu, musí být změněny katalyzační a výrobní podmínky. Používá se jako obalový materiál, na výrobu textilií, na opakovaně použitelné nádoby, laboratorní zařízení, automobilové díly a mnohé další produkty. Jako jeden z polymerů vyrobených z monomeru propylenu, je odolný vůči řadě chemických rozpouštědel, kyselin a zásaditých látek.[5]

**PS – Polystyren** – vyrábí se polymerací z monomeru styrenu. Polystyren je termoplast, který při pokojové teplotě zůstává v pevném nebo sklovitém stavu, při zahřátí na vyšší teplotu (cca 100 °C) se stává tekutým a po jeho následném ochlazení se vrací zpět do pev-

ného stavu. Čistý tuhý polystyren je tvrdý a bezbarvý. Polystyren může být ale i průhledný nebo vyrobený ve spoustě různých barev. Pružnost polystyrenu je však omezená. Polystyren (PS) je určen pro výrobky vyžadující vynikající elektrické a mechanické vlastnosti, stejně tak jako dobrou zpracovatelnost. Polystyren bývá zpravidla zpracováván technologiemi vstřikováním, ale díky své vynikající tvárnosti může být opracován i jinými technikami, včetně vakuového tvarování, vyfukování, vytlačování či lisování. Typickými příklady jeho použití jsou kryty nádrží, izolátory, koaxiální kabely - separátory, trubky na agresivní kapaliny, stínidla, profily, kontejnery, zásobníky a obalový materiál.[5]

**PET – Polyethylentereftalát** - PET patří do skupiny polyesterů, je to silný, průhledný plast s nízkou hmotností. V závislosti na tloušťce, může být PET polotvrdý až tvrdý, vždy je ale lehký. Disponuje dobrou odolností proti plynu, alkoholu (nutná další úprava) a rozpouštědlům, jeho odolnost proti vlhkosti je průměrná. Je bez barvy, je vysoce transparentní, odolný proti nárazu a pevný. PET je velmi nečinný materiál, který je odolný vůči mikroorganismům a nevykazuje žádnou reakci s potravinami. Z tohoto důvodu je doporučován pro balení potravin, nápojů a léků. PET je recyklovatelný, dlouhodobě udržitelný. Právě tento materiál je v celosvětovém měřítku nejvíce recyklován. Může být několikrát po sobě recyklován a dále opět používán pro výrobu nádob na potraviny a nápoje, oblečení, díly pro automobilový průmysl a celou řadu dalších produktů. PET je materiál nejčastěji volený pro obaly potravin a nápojů, je lehký, odolný proti rozbití, pevný, hygienický a zachovávající čerstvost. Nejčastěji se používá k balení sycených nealkoholických nápojů a vody.[5]

**PVC – Polyvinylchlorid** - je vyráběn polymerací vinylchloridu. PVC je pevný, těžký, středně silný amorfní materiál. PVC je velmi všestranný, může být pružný nebo pevný, čirý nebo barevný, to vše v závislosti na přidaných látkách a účelu jeho použití. K dostání jsou různé úrovně kvality a to např. PVC odolný proti nárazu, PVC určený pro dráty a kabely nebo PVC pro vakuové tvarování či vstřikování, atd. PVC nabízí dobrou stabilitu vůči povětrnostním vlivům, je tedy materiálem vhodným pro venkovní použití. Výrobky z PVC mohou vydržet i 100 a více let. Vzhledem k obsahu chlóru, je u PVC znesnadněno vzplanutí. Mimo to se jedná o hygienický materiál, vhodný pro lékařské účely, používá se zejména na kontejnery pro skladování krve a plazmy. Ve zdravotnictví je tento materiál často používán na výrobu obalů pro farmacii a chirurgii, infuzní vaky, různé hadičky, dýchací masky, rukavice, lahve, sklenice, odvodňovací systémy, sady pro srdeční a plicní bypassy, atd. [5]

### 3 STROJE PRO VÁKOVÉ LISOVÁNÍ PLASTŮ

Protože je v dnešní době nutné co nejvíc pokrýt požadavky a potřeby zákazníků nabízejí výrobci tři druhy zařízení:

- manuální,
- poloautomatická,
- automatická.

Mezi nejvýznamnější výrobce těchto zařízení ve světě patří: Formech International, Geiss, C.R.Clarke, CMS a v české republice např. Koplast.

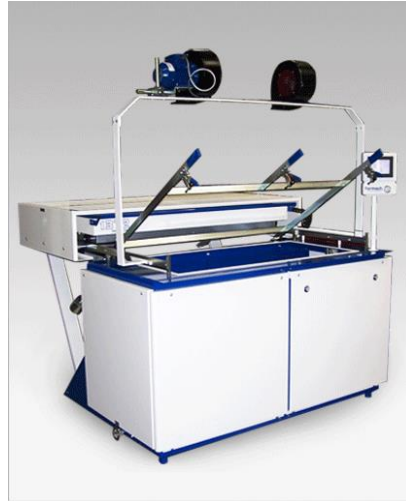
Vakuové tvářecí stroje manuální jsou konstrukčně nejjednodušší a tudíž i nejlevnější. Využívají se většinou pro kusovou výrobu či na výrobu prototypů. Tento typ stroje vyžaduje odbornou obsluhu. Celý proces je manuální, od vložení polotovaru, jeho upnutí, přes vysunutí a zapnutí ohřívacího tělesa, vysunutí formy do zahřátého polotovaru, spuštění vakuování až po vyjmutí hotového výlisku.[3,4,6]

Stroje bývají definovány velikostí maximálního možného výlisku (obvodem, výškou) a maximální tloušťkou desky, ze které se bude lisovat.[6]



Obr. 12 Manuální tvářecí stroj Formech – Compac Mini [6]

Vakuové tvářecí stroje poloautomatické – na těchto strojích probíhá téměř celý proces automatizovaně, pouze vkládání plastové desky a vyjímání hotového výlisku provádí obsluha = snížení požadavků na obsluhu a urychlení procesu.[3,6]



*Obr. 13 Poloautomatický tvářecí stroj Formech - 1372 [6]*

Vakuové tvářecí stroje automatické – tato zařízení se v průmyslu vyskytují nejčastěji. Slouží k sériové produkci výrobků. Obsluha pouze spouští a nastavuje stroj, samotný proces je zcela automatizován.[3,6]



*Obr. 14 Automatický tvářecí stroj Formech – HD Series [6]*

## 4 ZPRACOVÁNÍ ODPADU

U metody vakuového lisování plastů je hmotnost odpadu někdy větší než hmotnost hotového výrobku (například u kapoty na zahradní traktůrek váží hotový díl 39% a odpad 61% z celkové váhy vylisku) a proto je nutné zmínit, jak se v tomto případě odpady z vakuového zpracovávají, a jak probíhá samotná recyklace plastů vůbec.

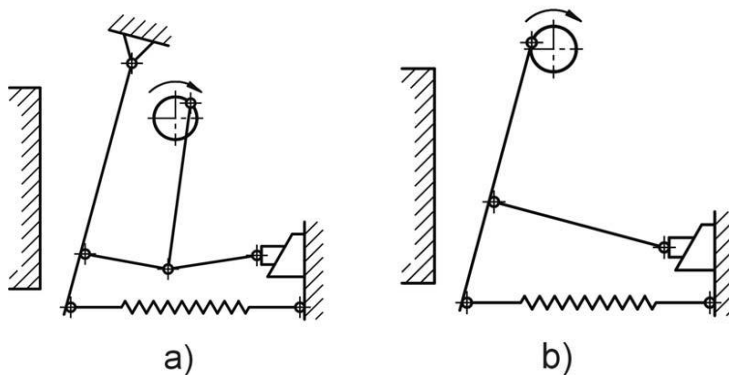
Recyklace plastů je proces renovace zbytkových nebo odpadních plastů a zařazení materiálu do užitečných produktů, někdy úplně odlišných ve formě od jejich původního stavu.

Odpadní plastové materiály jsou ve speciálních strojích drceny na malé granule. Hrubost granulace je možné regulovat a dodávat tak granulovaný plast v různých velikostech. Tato plastová drť se vrací dodavateli plastů, který ji následně znovu zpracovává na plastové desky, které jsou již standardně použity k výrobě.[10]

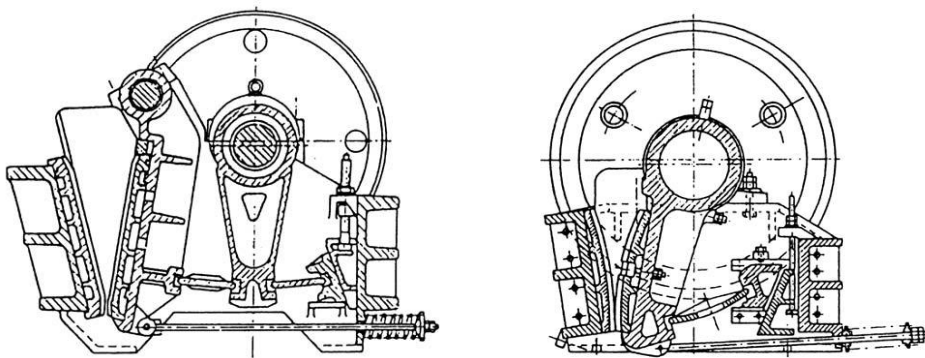
Druhy drtičů: - čelistové  
- kuželové  
- válcové  
- nárazové.[11]

Druhy mlýnů: - s volně uloženými mlecími tělesy  
- kladkové  
- nárazové  
- proudové  
- válcové.[11]

U drtičů čelistových tvoří pracovní element dvě rovinné nebo mírně vyklenuté desky, z nichž jedna nebo obě konají kývavý pohyb, přičemž dochází k drcení materiálu. Konstrukční řešení pohonu čelistových drtičů vychází z principů znázorněných na Obr. 15 a 16.[11,14]

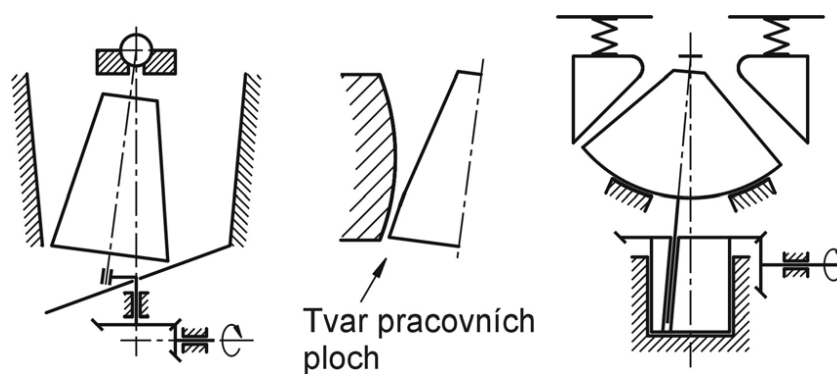


Obr.15 Kinematické schéma pohonu čelistí drtiče klikovým mechanismem[11]



Obr.16 Čelist'ové drtiče s uspořádáním pohonu dle Obr.15 [11]

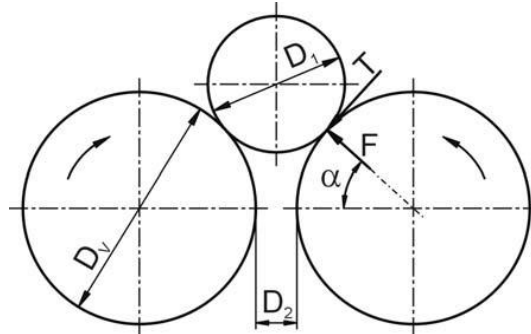
Drtiče kuželové pracují na podobném principu jako drtiče čelist'ové, ale pracovní elementy tvoří čelisti, ale kuželovitý drticí element. Tento element rotuje a navíc koná vzhledem k vnějšímu pevně uloženému kuželu kyvný pohyb.[11,14]



Obr.17 Schéma konstrukce kuželových drtičů[11]

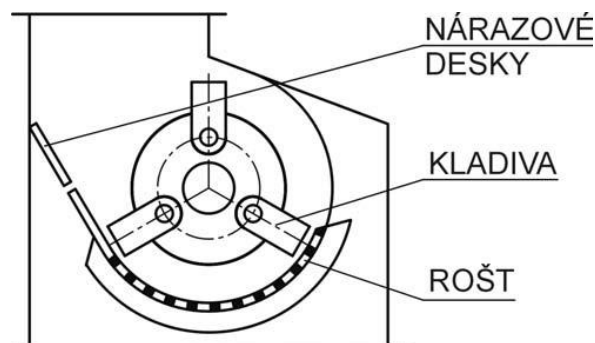
Válcové drtiče mají jako pracovní elementy dva rotující válce, jejichž povrch je různě tvarován (rýhy, hroty, zuby atd.). Válce rotují vzájemně opačným směrem, materiál je do štěrbin vtahován třecími silami, které vznikají mezi materiálem a povrchem válce. Válce

se zpravidla chladí. Velikost částic produktu lze nastavit velikostí mezery  $D_2$  mezi povrchem válců znázorněné na Obr.18[11,14]



Obr.18 Schéma konstrukce válcových drtičů[11]

Nárazové (úderové) drtiče používají k drcení úderu drtičích elementů (kladiv), které jsou pevně nebo otočně uchyceny na rotoru a také nárazy částic materiálu na stěny zařízení nebo na nárazové desky nebo rošty, jak lze vidět na Obr.19 [11,14]

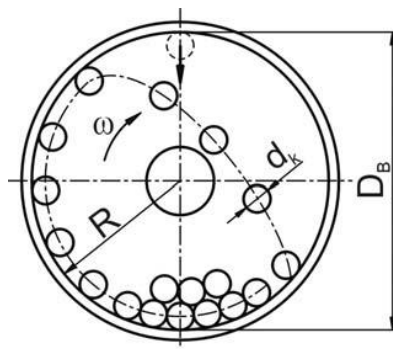


Obr.19 Schéma kladivového drtiče[11]

Mlýny s volně uloženými mlecími tělesy – kulové, vibrační, kuličkové (perličkové)

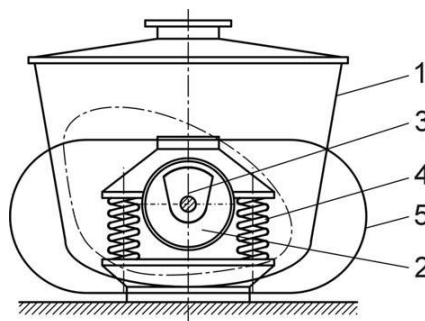
U kulových mlýnů ve válcové části, která je vyložena ošetrným materiálem se volně pohybují mlecí tělesa – koule. Válec se pomalu otáčí a unáší mlecí tělesa, která při pádu drtí a rozpojují materiál. K rozpojování dochází také vzájemným třením koulí mezi sebou a mezi vyloženíem válce. Pro správnou funkci mlýnu a maximální využití energie je důležité stanovení otáček bubnu, při kterém by koule vlivem odstředivé síly setrvaly na vnitřním povrchu bubnu, jak je znázorněno na Obr.20 [11,14]





Obr.20 Princip funkce kulového mlýnu[11]

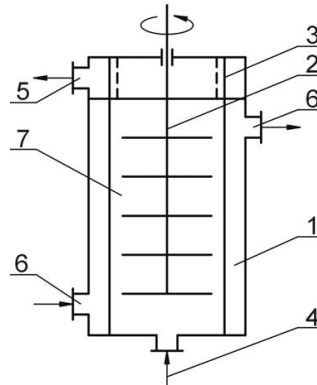
Vibrační mlýn je schematicky znázorněn na Obr. 21. Má tvar žlabu, který je zakryt víkem a obsahuje mlecí tělesa (koule) a rozpojovaný materiál. Těleso mlýna je uloženo na dvou soustavách pružin. Válcové pružiny zachycují vertikální síly a plochý pružinový rám zachycuje horizontální síly. Kmitavý pohyb je vyvozen excentricky uloženým závažím na rotujícím hřídeli. Vibrace vyvolávají krouživý pohyb náplně bubnu. Při pohybu náplně, jejíž tvar je na obrázku 21 znázorněn čerchovanou čarou, dochází k mletí částic rozbíjením mlecími tělesy a vlivem smykových sil je současně intenzivně promícháván zpracovaný materiál. Tento typ mlýnů se používá pro suché i mokré mletí a pro velmi jemné mletí – na velikost částic až 10  $\mu\text{m}$ . [11,14]



Obr.21 Schéma vibračního mlýna: 1 – žlab, 2 – hřídel, 3 – excentrická závaží,  
4 – válcové pružiny, 5 – plochý pružinový rám[11]

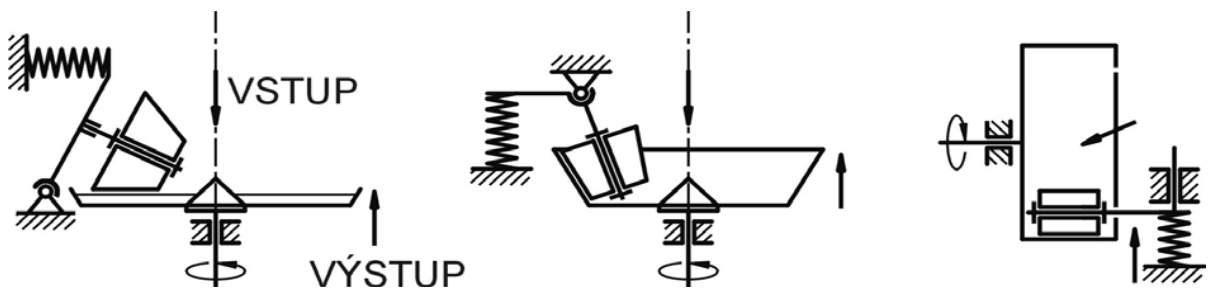
Kuličkové mlýny mají tvar vertikální válcové nádoby, kterou prochází rotující hřídel, na kterém jsou upevněny vhodně tvarované elementy (disky, lopatky a podobně), které udělají mlecím tělískům – kuličkám o průměru 1 – 10 mm potřebný pohyb, který je potřebný pro rozpojování. Jejich princip je znázorněn na obrázku 22. Zařízení se používají pro suché, ale nejčastěji pro mokré mletí, kdy částice jsou přiváděny do zařízení ve formě suspenze. Pracují jako vsádkové i jako kontinuální s průtokem suspenze mlýnem. S ohledem na

značnou disipaci energie bývají mokré perličkové mlýny opatřeny chladícím pláštěm, aby nedocházelo k ohřevu vsádky. Dosahovaná jemnost mletí je  $< 2 \mu\text{m}$ . [11]



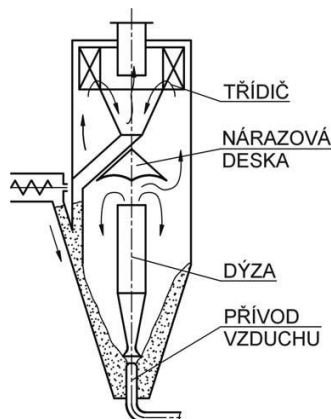
Obr.22 Vertikální vícediskový perličkový mlýn: 1 – chladící plášť, 2 – hřídel míchadla, 3 – oddělovač kuliček, 4 – vstup suspenze, 5 – výstup produktu, 6 – hrdla pro chlazení, 7 - náplň [11]

U kladkových mlýnů dochází k rozpojování materiálu převážně vlivem tlakového a smykového namáhání částice nacházející se mezi kladkou (kuličkou) a otáčejícím se talířem. V praxi existuje celá řada možných uspořádání mlecích elementů a otočných talířů. Materiál je obvykle přiváděn do středu talíře. Jeho otáčky jsou takové, aby byl materiál dopraven vlivem odstředivých sil k obvodu talíře, odkud je produkt dále pneumaticky dopravován například do třídícího a k výstupu ze mlýna. Na obrázku 23 jsou schematicky naznačena různá uspořádání pracovních elementů těchto mlýnů. [11]



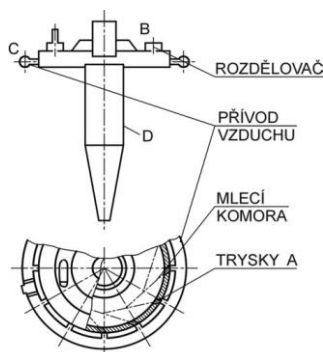
Obr.23 Schéma provedení kladkových mlýnů [11]

Nárazové a proudové mlýny nemají prakticky žádné pohyblivé části. Na Obr. 24 je znázorněn princip nárazového mlýnu. Materiál je do mlýnu dávkován podavačem a ve spodní části je nasáván ejektorem. Vystupuje z dýzy vysokou rychlostí, řádově 100 m/s. a směřuje proti nárazové desce, kde se rozbíjí. Mlecímu účinku pomáhá i expanze vzduchu, respektive páry v pórech při průchodu oblastí sníženého tlaku. Potřebnou energii dodává tlakový vzduch o vstupním tlaku 0,3 – 1,5 MPa nebo pára přehřátá až na 350 °C. [11]



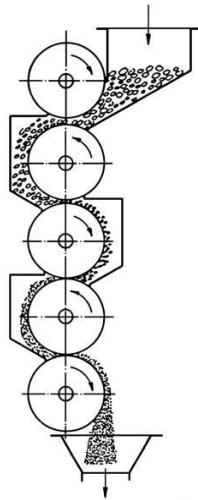
Obr.24 Princip nárazového mlýna[11]

Na Obr. 25 je znázorněn proudový mlýn, který využívá k mlecímu účinku výhradně tření. Mlecí prostor je kruhový a ústí do něj na obvodě několik expanzních trysek (A). Mírným odklonem horizontálních trysek od radiálního směru se vytvoří v mlecím prostoru rotující vzduchový proud, který postupuje spirálově k střední odtokové rouře (B). Do mlecího prostoru se přivádí zpracovávaný materiál tryskami (C). Velké částice se zpočátku zdržují u obvodu mlecího prostoru. S klesajícím rozměrem se přemisťují v rotujícím proudu ke středu a před výstupem z tohoto proudu jsou odloučeny v cyklónu (D). Hnacímediem může být vzduch i pára. Nevýhodou je velká spotřeba hnacího media, o tlaku 0,2 – 0,5 MPa. [11]



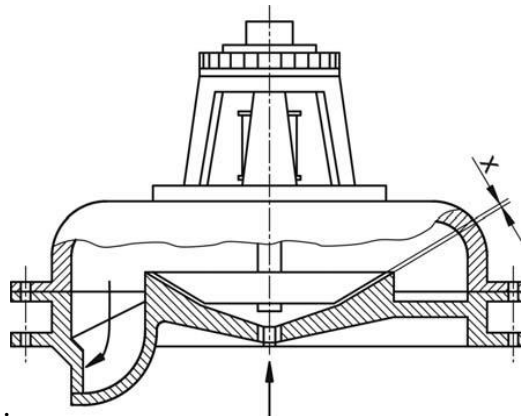
Obr.25 Princip proudového mlýna[11]

Válcové mlýny pracují na stejném principu jako válcové drtiče s tím rozdílem, že mezera mezi válci je podstatně menší. Jejich výhodou je hlavně poměrně stejnoměrné frakční složení produktu a krátká doba zdržení v mlecím prostoru. Disipace energie tak nezpůsobí tepelné znehodnocení produktu. Dvojice válců se obvykle proti sobě otáčejí různou obvodovou rychlostí a jejich povrch je jemně rýhován. Vzhledem k relativně malému stupni rozpojení se v technologické lince řadí několik párů válců za sebou. Na obrázku 26 je příklad sériového řazení válců. Poslední válce jsou hladké a mají větší rozdíly rychlostí. [11]



Obr.26 Sériové řazení válců[11]

U koloidních mlýnů spočívá princip rozpojování částic v účinku působení smykových sil v kapalině s vysokým rychlostním gradientem. Tento účinek může být kombinován s rázovým rozpojováním. Na obrázku 27 je znázorněn princip koloidního mlýnu, který využívá třecí účinek. Rotor ve tvaru komolého kužele rotuje s vysokou obvodovou rychlostí (25 – 125 m/s) v kuželovitém statoru. Mezera X mezi rotorem a statorem je minimální a je nastavitelná mikrometrickým šroubem. Materiál je přiváděn do aparátu ve formě suspenze a při průtoku tenkou mezerou je podroben vysokým smykovým účinkům a dochází k jeho rozpojování.[11]



Obr.27 Princip koloidního mlýnu s kuželovým rotorem[11]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je navrhnout technologický postup pro výrobu zadaného dílce metodou vakuového lisování, navrhnout jeho možné zefektivnění a porovnat s metodou vstřikování.

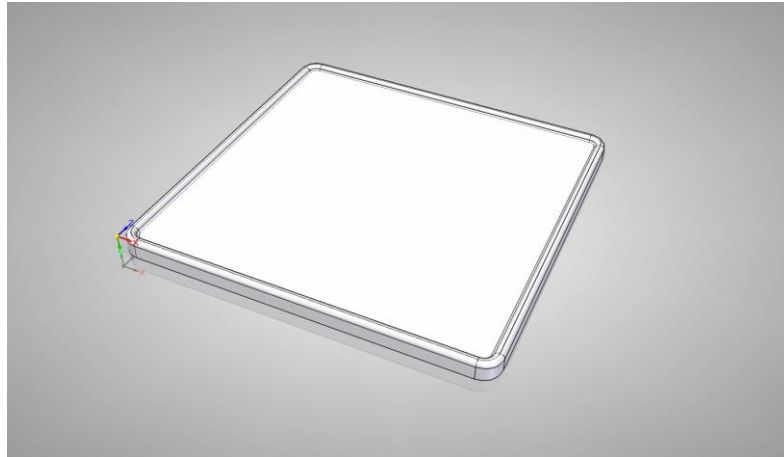
Hlavní cíle této bakalářské práce jsou definovány následovně:

- zadání dílce zákazníkem (požadovaný tvar, rozměry, barva, počet kusů, atd.)
- nastavení parametrů výroby
- finanční analýza návrhu + srovnání s jinými metodami
- zhodnocení návrhu postupu a závěry

## 6 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Úkolem je navrhnout technologický postup výroby dílce metodou vakuového lisování.

### 6.1 Zadání dílce zákazníkem



Obr.28 Zadaný dílec – kryt stolku

Kryt stolku o rozměrech 400 x 400 x 20 mm – technický výkres viz. Příloha I

Povrch: lesklý

Počet kusů: 5000 ks/rok

Barva: bílá

Materiál: Není zadáný

Dle dostupných dokumentů a praktických znalostí byl vybrán materiál ABS/PMMA, protože svrchní vrstva akrylátu (PMMA) zajistí dokonale hladký a lesklý povrch, odolnost proti oděru a stálobarevnost, zatímco ABS zajistí odolnost a pevnost.

Dle počtu kusů se volí metoda a to: - do 1000ks/rok - Laminování

- do 10 000ks/rok – Vakuové tvarování

- nad 10 000ks/rok – Vstřikování

Objednaný počet zákazníkem je 5 000ks/rok – volím metodu vakuové tvarování.

Dle praxe zavedené ve výrobních firmách se pro střední série pod 10 000ks používají formy z hliníku.

## 6.2 Nastavení parametrů výroby

### 6.2.1 Lisování

Technologický postup výroby dílce vakuovým tvarováním zahrnuje následující operace:

- příprava materiálu
- příprava stroje
- vakuové tvarování – náběh výroby - odladění nastavení parametrů
- kontrola výlisků

- **Příprava materiálu**

Materiál používaný pro vakuové tvarování z velké části podléhá znehodnocování vodou (ABS, ABS/PMMA, PC, ABS/PC). Výjimkou jsou materiály PS, PS-PE, PE. Proto je třeba dbát při otvírání balíků s materiálem na šetrné rozbalení, aby nedošlo ke zbytečnému potrhání obalu a po ukončení práce je nutné materiál opět pečlivě zabalit, aby nedošlo k pronikání vlhkosti k materiálu.

Je-li materiál již rozbalený, je poškozená fólie nebo je materiál starší než 4 měsíce, je třeba dát desky sušit. Desky jsou přednostně sušeny zavěšením v předehřívací peci. Při výpadku, či pokud není toto zařízení v provozu, jsou polotovary sušeny proložením kartonovými páskami v sušárně. Každý materiál má jinou teplotu sušení, a proto nesmí být nastavena vyšší teplota, aby nedošlo k poškození (deformaci) materiálu. Rozdíl jednotlivých sušících teplot je značný, například ABS 85°C nebo PC 110°C. Dále pak při manipulaci je třeba dbát zvýšené opatrnosti na poškození povrchu desky.

- **Příprava stroje**

Pro vylisování zadaného dílce použijte automatický vakuový tvarovací stroj od firmy Geiss - typ DU 1200 x 800 x 600 U8.

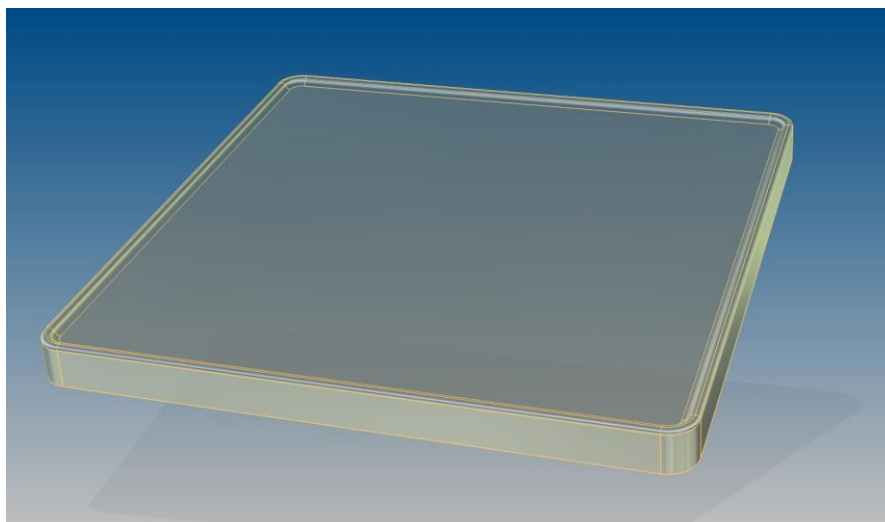
K hlavním rysům tohoto lisu patří robustní provedení upínacího rámu a možnost jeho plynulého přestavení. Dále plně elektronické řízení ohřívacího procesu (plynulým nastavením výkonu každého zářiče) a chladičeho systému.





*Obr.29 Vakuový tvarovací stroj Geiss*

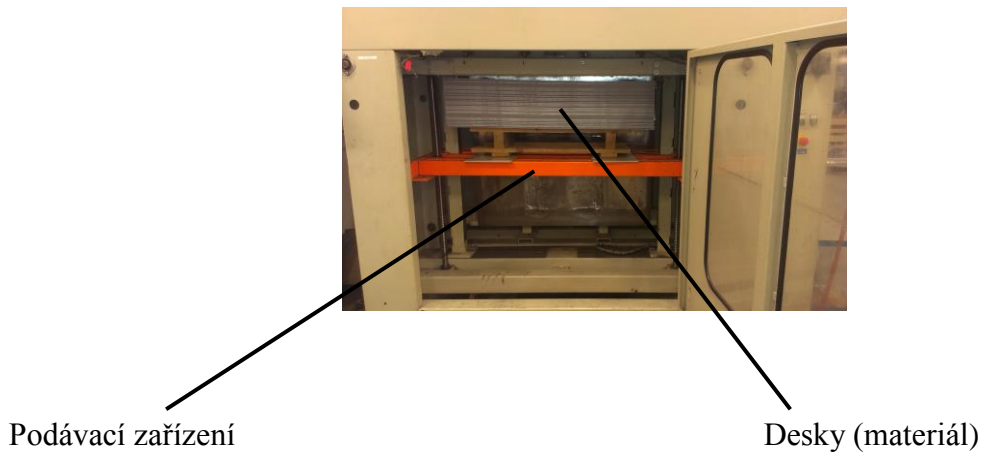
Příprava stroje začíná výměnou formy. Demontuje se forma z předchozího lisování a namontuje se forma, kterou budu používat k výrobě. Forma je zvětšena o smrštění 0,6%, takže v případě zadaného dílce bude mít rozměry 402,4 x 402,4 x 25 mm, protože smrštění u materiálu ABS/PMMA bývá u menších dílů 0,6% u větších dílů 0,8 – 1%.



*Obr.30 Forma zadaného dílce*

Po výměně formy se načte program daného dílce a podle programu se nastaví tvarovací rám a ostatní parametry (teplota formy, čas ohřevu, čas tvarování, čas chlazení, atd.).

Pokud je vakuový tvarovací stroj automat, to znamená, že obsahuje podávací zařízení, je potřeba desky vložit na paletě do tohoto zařízení a umístit na zdvihací stůl dle Obr.31.



*Obr.31 Podávací zařízení*

- **Vakuové tvarování**

Při náběhu výroby je nutno použít záznam technologických parametrů z předcházející výroby. V případě, že se jedná o nový výrobek, který se ještě nevyráběl, nastaví se parametry dle:

- materiálu výrobku
- typ, tloušťka
- výšky a složitosti formy

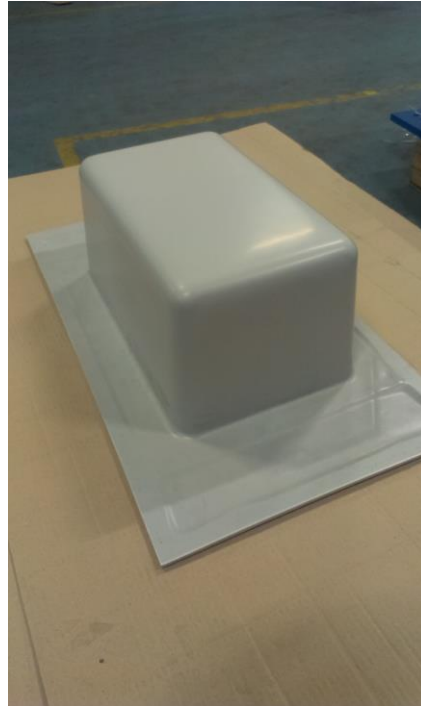
Po vylisování prvního kusu se parametry dle potřeby upraví.

Důležitou částí výrobního procesu je chlazení. Je důležité nepoužívat vodní mlhu ihned na začátku chlazení. Materiál je tvárný a po prudkém zchlazení vodou dochází k jeho smrštění. Výsledkem jsou „pupínky“ na povrchu výrobku. Je třeba povrch výrobku nejdříve zchladit pouze stlačeným vzduchem a to po dobu asi 10 s, pak teprve použít vodní mlhu.

Při používání zejména opravovaných či vícedílných forem je nutné dát pozor na povrchové vady výrobku, způsobené rozdílnou tepelnou roztažností použitých materiálů. Jedná se zejména o mapy, fleky a tečky v případě tmelených či nýtovaných ploch, nebo vystouplé linie u vícedílných forem. Formy je nutné při provozu udržovat na doporučené teplotě.

V případě výroby z desek v metalických odstínech (stříbrná barva), je nutné dbát na směr extruze. Důvodem je jiný vzhledový vjem při seskládání dílů s odlišnými směry extruze do sestavy (kapota, blatník, víko koše). V praxi to znamená lisovat stále se stejným směrem extruze. Směr extruze bývá šipkou vyznačen na spodní straně desky.

Formáty materiálů se odvíjí od výšky formy a požadované cílové tloušťky výrobku. Obecně se přidává 50 mm pro uchycení + 50 mm pro technologii. To znamená, že výrobek o rozměrech 400 x 400 mm bude mít formát 500 x 500 mm. V případě, že je forma vysoká, jako na Obr.32 přidává se i víc.



*Obr.32 Výlisek*

Parametry zadaného výrobku:

- materiál ABS/PMMA bílá, 500 x 500 x 3,0 mm
- formát do stroje: 500 x 500 mm
- ohřev desky: 60s
- tvarování: 20s
- chlazení: 120s
- teplota formy: 80°C
- teplota materiálu ABS/PMMA: 160°C
- tvářecí síla: 6 bar = 600 000 Pa

Síla vakua pro kvalitní tváření by se měla pohybovat v rozmezí 0,7 – 1,1 bar

Teplota těles ve stroji se pohybuje kolem 500°C, ale záleží na typu těles.

- **Kontrola výlisků**

Při kontrole pracovníci používají různé metody k ověření jakosti výlisku. Hlavně musí kontrolovat vzhled výlisku a tloušťku výlisku. K ověřování tlouštěk výlisků se používá ultrazvukový přístroj TT 100 na Obr.32.



Obr.33 Tloušťkoměr TT 100

Měření tloušťky materiálu – princip metody – ultrazvukové vlny jsou do měřeného objektu vysílány ze sondy, která je přiložena na jeho povrch. Vlny se šíří objektem a při dosažení rozhraní se odráží a putují zpět k sondě. Z tohoto důvodu je velmi důležitá rovnoběžnost měřících ploch. Tloušťka se potom určuje na základě velmi přesného měření času, které ultrazvukové vlny potřebovaly k uražení měřené vzdálenosti v měřeném objektu.

Při náběhu výrobku vakuovým tvarováním může vzniknout několik vad. Některé z těchto vad jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.1).

Tab.1 Možné vady výlisků

Vada	Příčiny	Odstranění
Bubliny, puchýře	1) Přehřátí / příliš rychlý ohřev 2) Přílišná vlhkost	Snížit teplotu topných těles nebo zvýšit vzdálenost těles od desky Předsušit nebo předežhřát desku
Díl jde špatně sundat z formy	1) Díl či forma příliš horké 2) Nekvalitní povrch formy	Prodloužit chlazení, snížit teplotu formy Zlepšit povrch formy

Deska spálená	Horní či spodní povrch příliš horký	Zkrátit dobu ohřevu nebo snížit teplotu ohřevu
Nedotažení výlisku	1) Deska je studená  2) Nedostatečné vakuum  3) Vakuum nenabíhá dostatečně rychle	Prodloužit dobu ohřevu, zvýšit teplotu těles, přiblížit tělesa blíž k desce Zkontrolovat zapnutí vývěvy, přidat počet odsávacích děr do stolu nebo zvětšit průměr Zkontrolovat těsnost vakuov. systému Zvětšit velikost vakuových děr Zvýšit kapacitu vývěvy
Deformace výlisku	1) Díl je vyjímán příliš horký 2) Nekvalitní konstrukce formy 3) Nerovnoměrné chlazení výlisku 4) Nekvalitní distribuce materiálu	Prodloužit chlazení, použít temperované formy Překonstruovat formu  Snížit teplotu formy  Ověřit rovnoměrnost ohřevu desky  Zvýšit teplotu formy

### 6.2.2 Dokončování vakuově tvarovaných dílů

Technologický postup dokončování vakuově tvarovaných dílů zahrnuje tyto operace:

- skladování dílů (rozpracovaná výroba)
- CNC obrábění – příprava stroje, příprava výlisku, náběh obrábění, odladění ořezu
- dokončování dílu
- expediční balení

- **Skladování dílů (rozpracovaná výroba)**

Manipulace s výrobky se musí provádět s ohledem na vyloučení poškození (prach, mráz, slunce, náraz při přemísťování apod.). Obzvláště důležité je neskladovat výrobky na přímém slunci, zejména v letních měsících. Dále je také doporučováno používat systém FIFO (*first in, first out* – první dovnitř, první ven) a přednostně využívat stohovatelné kontejnery pro balení. Jedná-li se o výrobky nízké je obzvláště vhodné použít nižší kontejner anebo kontejner s vloženým mezipatrem.

Do průvodky nedokončené výroby je nutno vyplnit typ materiálu, ze kterého je výlisek vyroben (např. ABS, ABS/PMMA, PS/PE, PC), kvůli pozdějšímu přesnému určení odpadu.

- **CNC obrábění**

Před započítím obrábění je nutné připravit stroj CNC ( 5-osá frézka Geiss). Parametry nastavení jsou součástí CNC programu každého výrobku.

Nejdůležitější je správný výběr (nahrání) programu pro daný výrobek a upevnění obráběcího přípravku (kopyta) na příslušný stůl CNC frézky. Dále se musí upevnit hadice na přívod vakua k obráběcímu přípravku a nastavit dle CNC programu obráběcí nástroje do příslušných nádstavců vřetene.

Před začátkem výroby, zejména v zimních měsících, je nutné navést výlisky a obráběcí přípravky (kopyta) na dílnu s časovým předstihem tak, aby u nich došlo ke srovnání teploty na stejnou úroveň.

Předřez na pneufrézce nebo pásové pile se musí provádět s ohledem na vyloučení poškození (poškrábání) výlisku.

Při náběhu obrábění se nejdříve zkušebně projede kopyto. Je nutné sledovat případné odchylky, zafrézování do kopyta nebo frézování mimo kopyto. V případě zjištění odchylek je nutné provést kontrolu umístění kopyta v CNC programu či provést kontrolu os CNC. V případě, že se jedná o nový výrobek, který se ještě nevyrobil, je nutné projíždět kopyto obzvlášť opatrně, protože při tvorbě CNC programu mohlo dojít k chybnému nastavení parametrů a při neopatrném projíždění by mohlo dojít ke kolizi frézovací hlavy s kopytem.

Parametry nastavení zadaného výrobku:

Nástroj: Pilka  $d = 60$  mm, vyložení 65 mm, otáčky 15 000 otáček/min

Čas obrábění: 60s

Čas výměny: 30s

Pracovní postup pro obrábění na CNC:

- očištění kopyta
- usazení dílu
- spuštění vakua
- kontrola usazení
- spuštění CNC
- sundání dílu a zbytku ořezu

Dílec se dokončuje sražením hrany noga nožem, které je nutné provádět pouze v nezbytné míře, přehnané ojehlení je na závadu. U některých dílů se některé kontury vůbec neojehlují (vyznačení nejehlených míst je na provozním referenčním vzorku).

Důležitou součástí výrobního cyklu je balení a expedice k zákazníkovi. Balení má za úkol ochránit výrobek před vnějšími vlivy až do doby použití zákazníkem, a proto je součástí technologického postupu každého dílce. Součástí balení je expediční průvodka a uvolnění výstupní kontroly. Je nutné používat pouze nepoškozené obaly.

## 7 FINANČNÍ ANALÝZA NÁVRHU + SROVNÁNÍ S JINÝMI METODAMI

### 7.1 Finanční analýza zadaného výrobku

Cena materiálu ABS/PMMA je 3,3 EUR/kg, což je po přepočtu 89 Kč/kg. Hustota ABS/PMMA dle materiálového listu je  $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$ .

Výpočet hmotnosti 1 ks desky:  $m = \rho \cdot V$

$$V = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,003 \text{ m}^3 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 1100 \cdot 7,5 \cdot 10^{-4} = 0,825 \text{ kg}$$

Cena 1 kusu desky:  $0,825 \cdot 89 = 73,4 \text{ Kč}$

Cena hodiny práce lisu + cena lisaře:

$$25 + 12 \text{ EUR/hodina} = 37 \text{ EUR/hodina} = 1000 \text{ Kč/hodina}$$

Cena hodiny práce CNC + cena obsluhy:

$$28 + 12 \text{ EUR/hodina} = 40 \text{ EUR/hodina} = 1080 \text{ Kč/hodina}$$

Cena hodiny pracovníce dokončování:

$$10 \text{ EUR/hodina} = 270 \text{ Kč/hodina}$$

Čas vylisování 1 kusu: Ohřev desky 60s

Tvarování 20s

Chlazení 120s

Počet kusů za hodinu – lisování:  $3600 : 200 = 18 \text{ ks/hodina}$

Cena vylisování 1 kusu:  $1000 : 18 = 56 \text{ Kč}$

Čas obrobení 1 kusu: Obrábění 60s

Výměna dílu 30s

Počet kusů za hodinu – obrábění CNC:  $3600 : 90 = 40 \text{ ks/hodina}$

Cena obrábění 1 kusu  $1080 : 40 = 27 \text{ Kč/kus}$



Čas dokončování – jehlení + balení:  $45s + 15s = 60s$

Počet kusů za hodinu – dokončování:  $3600 : 60 = 60 \text{ ks/hodina}$

Cena dokončování 1 kusu:  $270 : 60 = 4,5 \text{ Kč/kus}$

Balení – objem 1 zabaleného výrobku:  $V_1 = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,02 = 0,0032 \text{ m}^3$

Krabice rozměr 800x600x600 mm - vnější rozměr

780x570x570 mm - vnitřní rozměr

Vnitřní objem krabice:  $V = 0,245 \text{ m}^3$

Počet kusů v krabici:  $0,245 \text{ m}^3 : 0,0032 \text{ m}^3 = 75 \text{ kusů}$

Cena krabice 1 krabice: 90 Kč

Cena balení 1 kusu :  $90 : 75 = 1,2 \text{ Kč/kus}$

Výrobní cena 1 kusu:

$73,4 + 56 + 27 + 4,5 + 1,2 = 162 \text{ Kč}$

Prodejní cena 1 kusu:

$162 + 30\% = 162 + 48 = 210 \text{ Kč}$

Výrobní cena 5 000 kusů:

$5\,000 \cdot 162 = 834\,000 \text{ Kč}$

Prodejní cena 5000 kusů:

$5\,000 \cdot 210 = 1\,050\,000 \text{ Kč}$

Cena obráběné hliníkové formy: 20 000 Kč

Cena obráběného ořezového přípravku z MDF: 6 000 Kč

Zisk:  $1\,050\,000 - 834\,000 - 20\,000 - 6\,000 = 190\,000 \text{ Kč}$

## 7.2 Návrh na zefektivnění výroby

Ve výrobním procesu zadaného výrobku jsou činnosti, které lze zefektivnit (= snížit cenu).

Největší položkou je cena materiálu. Cena materiálu se nedá příliš ovlivnit, protože je přibližně stejná u všech výrobců. Jediná možnost, jak snížit cenu materiálu je zpracovávat

odpad. Odpad, který vznikne při obrábění na CNC lze drtit a drcený granulát dodávat zpět k výrobcí, který z ní opět vyrobí desky.

Druhou největší položkou je hodinová cena strojů. Cena stroje se nedá snížit, ale dá se za stejný čas vylisovat více výlisků, nebo obrobit více kusů. To znamená, že když se vyrobí dvě shodné formy, tak se za stejný čas vylisuje dvakrát víc výlisků. Formát do stroje bude 1000x500 mm a obě formy namontované vedle sebe. Za 1 hodinu bude vylisováno místo 18 ks 36ks. Cena vylisování jednoho kusu se sníží o polovinu na 28 Kč/ks. Stejnou úpravu je možno provést u obrábění na CNC, které má dva pracovní stoly. Když budu mít dvě kopyta a každé se namontuje na jeden stůl odpadne čas na výměnu dílce, protože zatímco se bude obrábět kus na levém pracovním stole, budu na pravém pracovním stole měnit kus.

- **Srovnání vakuového tvarování se vstřikováním**

Každá z těchto dvou výrobních metod má své výhody a nevýhody. V teoretické části této bakalářské práce byl princip těchto metod vysvětlen, takže se zde tímto již nebudem zabývat. Zaměříme se pouze na srovnání těchto dvou metod dle našeho zadaného dílce.

Výhody vakuového tvarování:

- velmi kvalitní povrch dílu
- levné výrobní nářadí (forma, obráběcí přípravek)
- velká rychlost náběhu sériové výroby (rychlejší výroba formy)
- velmi dobrá reprodukovatelnost
- energeticky méně náročné než vstřikování
- snadná a levná úprava formy

Výhody vstřikování:

- kratší cyklus lisování
- výrazně se zkracuje celý výrobní cyklus
- odpadají dodatečné operace
- granulát levnější než desky pro vakuové tvarování
- míň odpadu než při vakuovém tvarování

Finanční srovnání vstupních nákladů u těchto dvou metod dle zadaného dílce:

Cena formy: Vakuové tvarování 20 000 Kč

Vstřikování 600 000 Kč

Cena materiálu: Vakuové tvarování 3,3 EUR/kg

Vstřikování 2,1 EUR/kg

Počet vylisovaných dílů za 1 hodinu: Vakuové tvarování 36 ks

Vstřikování 150 ks

Výrobní cena dílce u vakuového tvarování po navrženém zefektivnění by byla 134 Kč.

Výrobní cena dílce se u vstřikování mění podle počtu vyrobených kusů. Při objednávce 5 000 ks by cena vstřikovaného výrobku byla vyšší než u vakuového tvarování, protože vstupní náklady jsou několikanásobně vyšší. Ale již při objednávce 15 000 Kč by cena dílce byla nižší. Výpočet ceny dílce u vstřikování se tedy udává dle počtu kusů, například 31 Kč/ks při výrobním množství 1 000 000 ks.

## 8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout technologický postup výrobku pomocí technologie vakuového lisování.

Teoretická část je rozdělena do čtyř částí. První část popisuje technologie zpracování plastů, jejich princip a využití v praxi. V druhé části jsou vypsány materiály pro vakuové lisování plastů, jejich vlastnosti a možnost využití. Třetí část se zabývá stroji pro vakuové lisování plastů. A poslední část ukazuje, jakým způsobem lze zpracovávat plastové odpady.

V praktické části byl navržen technologický postup zadaného výrobku. Byla provedena finanční analýza s úvahou nad zefektivněním výrobního procesu. Bylo provedeno srovnání metody vakuového tvarování a vstřikování pro zadaný dílec.

Bylo zjištěno, že pro zadaný výrobek a jeho objednané množství (5000 ks) je finančně výhodnější použít metodu vakuového lisování, protože vstupní náklady (cena formy, obráběcího přípravku, atd.) jsou několikanásobně nižší než u vstřikování. Také rychlost náběhu výroby bude u metody vakuového lisování kratší než u metody vstřikování a v případě, že by během výroby zákazník chtěl upravit tvar výrobku, tak úprava formy u vakuového lisování je jednodušší a finančně méně nákladná.

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, P., et al. *Katedra tváření kovů a plastů : Skripta* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/>>
- [2] ŘEHULKA, Z. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON s.r.o., 226 s. ISBN 80-86604-28-4.
- [3] Koplast spol. s.r.o.. [online]. [cit. 2013-20-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.koplast.cz/>>.
- [4] R&M spol. s.r.o.. *R&M plast : Vakuové tváření plastů* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.rmplast.cz/>>.
- [5] Plastic systems s.r.o.. [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.plastic systems.cz/>>.
- [6] Formech International Ltd. *Formech forming to perfection* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.formech.com>>
- [7] DUCHÁČEK, V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [8] KRÁLOVÁ, A., KLIMÁNEK, L. *Zpracování polymerů*. Nakladatelství technické literatury, 272 s. L16-C2.IV-31/65123
- [9] Seco GROUP a.s. [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z WWW: <[http:// www. seco-traktory.cz/](http://www.seco-traktory.cz/)>
- [10] JVP Praha a.s. [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z WWW: <[http:// www.jvp.cz](http://www.jvp.cz)>
- [11] RIEGER, F., NOVÁK, V., JIROUT, T. *Hydromechanické procesy I*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. 209 s. ISBN 80 – 01 – 03283 - 8
- [12] Robe show lighting s.r.o. [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.robe.cz/>>
- [13] CalderaSpas [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.calderaspas.cz>>
- [14] MAŇAS, M., STANĚK, M., MAŇAS, D. *Výrobní stroje a zařízení I*. 1. vyd. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2007. ISBN 978 – 80 – 7318 – 596 - 1

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PS	Polystyren
HDPE	Polyethylen vysokohustotní
LDPE	Polyethylen nízkohustotní
PP	Polypropylen
PMMA	Polymethylmetakrylát
PC	Polykarbonát
PET	Polyethylentereftalát
PVC	Polyvinylchlorid

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr.1. Vstřikovací cyklus.....	13
Obr.2. Mechanické tvarování.....	14
Obr.3. Pozitivní tvarování.....	15
Obr.4. Traktůrek.....	16
Obr.5. Osvětlovací technika.....	16
Obr.6. Princip negativního podtlakového tvarování.....	17
Obr.7. Vířivka.....	17
Obr.8. Princip negativního podtlakového tvarování s mechanickým předtvarováním...	18
Obr.9. Vícenásobná forma pro negativní tvarování.....	19
Obr.10. Princip pozitivního podtlakového tvarování s pneumatickým předtvarováním	20
Obr.11. Princip negativního podtlakového tvarování s pneumatickým předtvarováním	21
Obr.12. Manuální tvářecí stroj Formech – Compac mini.....	28
Obr.13. Poloautomatický tvářecí stroj Formech – 1372.....	29
Obr.14. Automatický tvářecí stroj Formech – HD series.....	30
Obr.15. Kinematické schéma pohonu čelistí drtiče klikovým mechanismem .....	31
Obr.16. Čelist'ové drtiče s uspořádáním pohonu dle obrázku 15.....	31
Obr.17. Schéma konstrukce kuželových drtičů.....	32
Obr.18. Schéma konstrukce válcových drtičů.....	32
Obr.19. Schéma kladivového drtiče.....	33
Obr.20. Princip funkce kulového mlýnu.....	33
Obr.21. Schéma vibračního mlýna.....	34
Obr.22. Vertikální vícediskový perličkový mlýn.....	34
Obr.23. Schéma provedení kladkových mlýnů.....	35
Obr.24. Princip nárazového mlýna.....	35
Obr.25. Princip proudového mlýna.....	36
Obr.26. Sériové řazení válců.....	36
Obr.27. Princip koloidního mlýnu s kuželovým rotorem.....	37
Obr.28. Zadaný dílec.....	39
Obr.29. Vakuový tvarovací stroj Geiss.....	41
Obr.30. Forma zadaného dílce.....	41
Obr.31. Podávací zařízení.....	42
Obr.32. Výlisek.....	43

---

Obr.33 Tloušťkoměr.....44



## SEZNAM TABULEK

Tab.1 Možné vady výlisků.....	44
-------------------------------	----

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I Technický výkres zadané součásti

