

# **Konstrukční řešení formy pro díl z PUR pěny**

Bc. Roman Michna

---

Diplomová práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman MICHNA**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**  
  
Téma práce: **Konstrukční řešení formy pro díl z PUR pěny**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární rešerši na dané téma
- 2) Navrhněte konstrukční řešení formy pro daný díl
- 3) Zhotovte výkresovou dokumentaci formy
- 4) Proveďte vyhodnocení výroby daného dílu

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Černý**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2010**

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením formy pro daný díl. Součástí diplomové práce je návrh, příprava a výroba formy včetně zhotovení výkresové dokumentace formy. Navržená forma byla zhotovena podle požadavku objednavatele a po zkušebním provozu byla uvedena do praxe. Díly zhotovené touto formou jsou součástí výsledného produktu uvedeného na trh. V závěru diplomové práce je vyhodnocení výroby daného dílu.

Klíčová slova:

Polyuretan, dural, třískové obrábění, forma, výkresová dokumentace.

## **ABSTRACT**

The Master thesis describe the construction solution of mold for given part. The part of the Master thesis is a project, preparation and production of mold including construction of drawing documentation's mold. The suggestion's mold was done according to the request of the customer and after the experimental operation was introduction to practise. The pieces was prepared this mold and are part of the final product put into market. In conclusion this Master thesis is evaluation production of given part.

Keywords:

Polyurethan, dural, cutting operation, mold, drawing documentation.



Chci poděkovat Ing. Jakubu Černému, vedoucímu mé diplomové práce, za metodické vedení, za cenné rady a připomínky, které mi pomohly v řešení dané problematiky. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Dolanskému, Ing. Martinu Humpolovi, Pavlu Geržovi a Ladovi Vymyslickému, kteří mi pomohli s přípravou a uskutečněním této diplomové práce. Zároveň děkuji i dalším pracovníkům UTB ve Zlíně. Nejvíce chci ovšem poděkovat mé manželce Zuzaně za její trpělivost po dobu mého studia i přípravy diplomové práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor. Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Zlín, 27.8.2010

.....

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 POLYMERY</b> .....	<b>11</b>
1.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	11
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	11
1.2.1 Podle aplikace a konstrukční složitosti vyráběných dílů.....	13
1.2.2 Podle nadmolekulární struktury (podle stupně uspořádanosti) .....	14
1.2.3 Podle druhu přísad.....	15
1.2.4 Podle polaritý .....	16
1.2.5 Podle původu.....	16
1.3 POLYURETAN - PUR.....	16
1.3.1 Vlastnosti polyuretanu.....	19
1.3.2 Technické parametry pur pěny .....	21
<b>2 KOVY</b> .....	<b>22</b>
2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	22
2.2 SLITINY HLINÍKU.....	23
2.2.1 Třídy hliníkových materiálů: .....	24
2.2.2 Nejpoužívanější slitiny na bázi hliníku .....	24
<b>3 OBRÁBĚNÍ KOVŮ</b> .....	<b>27</b>
3.1 ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ KOVŮ .....	27
3.2 TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ.....	27
3.2.1 Frézování.....	27
3.2.2 Soustružení .....	28
3.2.3 Vrtání.....	29
3.2.4 Broušení .....	30
3.2.5 Řezání.....	30
3.2.6 Další metody třískového obrábění.....	31
3.2.7 Jemné dokončovací metody .....	31
3.3 MODERNÍ ZAŘÍZENÍ PRO OBRÁBĚNÍ DÍLŮ .....	32
<b>4 FORMY PRO PUR</b> .....	<b>33</b>
4.1 KONSTRUKCE FOREM.....	33
4.1.1 Postup při konstrukci formy .....	34
4.1.2 Zaformování výrobku.....	35
4.1.3 Dimenzování tvarové dutiny .....	35
4.1.4 Násobnost formy .....	36
4.1.5 Smrštění výrobku .....	37
4.1.6 Odvzdušnění forem .....	37
4.1.7 Temperace forem.....	37

<b>5</b>	<b>VÝROBEK.....</b>	<b>39</b>
5.1	VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ.....	39
5.1.1	Vstřikování.....	39
5.1.2	Vstřikovací cyklus.....	39
5.2	FORMY NA ODLÉVÁNÍ.....	41
5.2.1	Technologie lití do uzavřených forem.....	41
5.2.2	Lití do meziprostoru – volné lití.....	42
<b>6</b>	<b>SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>44</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ PRO PRAKTICKOU ČÁST.....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>SPECIFIKACE VÝROBKU .....</b>	<b>47</b>
8.1	MATERIÁL PRO VÝROBEK .....	48
8.2	POŽADAVKY .....	49
8.3	PODKLADY .....	49
8.4	PRO/ENGINEER WILDFIRE 4.0.....	49
<b>9</b>	<b>NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ.....</b>	<b>50</b>
9.1	SMRŠTĚNÍ.....	50
9.2	DĚLÍCÍ ROVINA .....	50
9.3	VOLBA VTOKOVÉHO SYSTÉMU .....	54
9.4	KONCEPCE VYHAZOVÁNÍ, VYJMUTÍ VÝROBKU Z FORMY .....	54
9.5	NÁVRH RÁMU FORMY .....	54
9.6	NÁSOBNOST FORMY, POČET FOREM .....	54
9.7	TEMPERACE.....	55
9.8	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY .....	56
<b>10</b>	<b>ŘEŠENÍ.....</b>	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>KONEČNÝ NÁVRH FORMY.....</b>	<b>59</b>
11.1	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.....	60
<b>12</b>	<b>VÝROBA FORMY.....</b>	<b>61</b>
12.1	SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ.....	61
12.2	STROJNÍ VYBAVENÍ.....	61
12.3	MATERIÁL PRO ZHOTOVENÍ FORMY .....	61
12.4	POSTUP VÝROBY.....	62
<b>13</b>	<b>ZKUŠEBNÍ PROVOZ .....</b>	<b>70</b>

<b>14</b>	<b>VYHODNOCENÍ VÝROBY DANÉHO DÍLU .....</b>	<b>71</b>
14.1	VYSOKOTLAKÝ SMĚŠOVACÍ STROJ .....	71
14.2	ČASOVÁ NÁROČNOST .....	72
<b>15</b>	<b>SHRNUTÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI .....</b>	<b>77</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Polyuretan je polymer, který se vyrábí polyadicí diizokyanátů a dvoj- nebo vícesytných alkoholů za vzniku karbamátové (uretanové) vazby. Izokyanáty velmi snadno reagují se všemi sloučeninami, které obsahují aktivní uhlík (což je např. voda, alkoholy, fenoly, thioley, aminy, karboxylové kyseliny aj.) Hlavní růstová reakce je proto doprovázena řadou vedlejších reakcí, z nichž některé se cíleně využívají při výrobě určitých typů polyuretanů, např. při výrobě pěnového polyuretanu je důležité uvolňování CO<sub>2</sub> (díky reakci izokyanatové skupiny s vodou), protože působí jako nadouvadlo. Vlastnosti polyuretanu jsou lehkost a pevnost.

Tento základní popis, který je pro většinu veřejnosti naprosto nesrozumitelný, a díky kterému se vlastně téměř nic o polyuretanu nedozví, je však pro život téměř všech obyvatel planety nepostradatelný, neboť bez polyuretanu by byl svět ochuzen o velké množství levných, lehkých, měkkých, pohodlných a izolačních výrobků, které nám zjednodušují a usnadňují každodenní život.

Je více než samozřejmé, že dnešní svět je přímo závislý na výrobcích z polymerních materiálů. Kdy polymerní materiály, mezi něž patří plasty a kaučuky, představují nejvýznamnější segment výroby a spotřeby podle objemu mezi všemi technickými materiály. Tyto se v porovnání s materiály klasickými, především kovy prosadily snadnou zpracovatelností a výhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou.

Požadavkem koncového zákazníka je, aby za své peníze získal kvalitní, moderní a bezpečný výrobek, který mu bude dlouhodobě sloužit. A právě s touto vizí a tímto cílem byla vytvořena diplomové práce, kdy klient z důvodu modernizace, zadal požadavek na nový díl, který bude součástí jeho výsledného produktu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY

Polymery, známé také pod názvem plastické hmoty nebo pod ne zcela přesným (obecnějším) názvem „umělé hmoty“, označují řadu syntetických nebo polosyntetických polymerních materiálů. Často obsahují další látky ke zlepšení užitečných vlastností, např. odolnosti proti stárnutí, zvýšení houževnatosti, pružnosti apod. [8]

### 1.1 Základní informace

Polymery mohou být formovány do předmětů, filmů nebo vláken. Polymery nebo-li plasty jejichž název je odvozen z faktu, že mnohé jsou tvarovatelné - mají vlastnost zvanou plasticita. Polymery se vyznačují velkou variabilitou vlastností, jako je např. tepelná odolnost, tvrdost, pružnost. Mezi jejich výhody patří nízká hustota, chemická odolnost, jednoduše složení a struktury, a dobrá zpracovatelnost energeticky málo náročnými technologiemi vhodnými pro masovou výrobu (lisování, lisostřík, vstřikování, vyfukování, lití apod.). Díky tomu našly použití téměř ve všech průmyslových odvětvích i v domácnostech. [8]

### 1.2 Rozdělení polymerů

Polymery všeobecně rozlišuje na tři velké skupiny:

- termoplasty - jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání  $T_m$  (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku  $T_f$  (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. [2]
- reaktoplasty - jedná se o polymerní materiály, dříve nazývané termosety, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění

rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod. [2]

- kaučuky, pryže a elastomery - jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj. [2]



Příklady aplikací termoplastů

Příklady aplikací reaktoplastů



Příklady aplikací vulkanizovatelných a termoplastických elastomerů

Obr. 1: Praktické příklady termoplastů, reaktoplastů a elastomerů [2]



Polymery je dále možno klasifikovat podle různých hledisek:

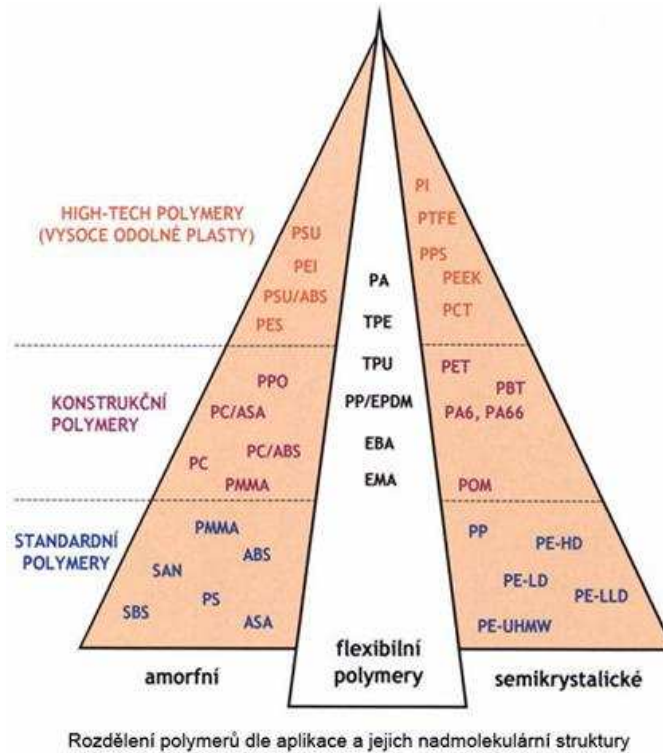
**1.2.1 Podle aplikace a konstrukční složitosti vyráběných dílů**

- polymery pro široké použití, mezi které patří polyolefiny (PE, PP), polystyrénové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), fenolformaldehydové (PF) a močovinoformaldehydové hmoty (UF) [2]
- polymery pro inženýrské aplikace, kam lze zařadit polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polyoximetylén (POM), polymetylmetakrylát (PMMA), terpolymer ABS, polyfenilénoxid (PPO), polyuretan (PU), epoxidové (EP) a polyesterové (UP) pryskyřice [2]
- polymery pro špičkové aplikace, do kterých lze zařadit polysulfon (PSU), polyfenylénsulfid (PPS), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI) a další. [2]

	držáky, klíčky	kostra palubní desky	palubní deska	součásti brzd	nárazník	systém chlazení	součásti karburátoru	přístrojová deska, prvky	vnější klíky	elektrické komponenty	palivová nádrž	přední maska	držák palivové nádrže	palivové potrubí	řadičí páka	mřížka	výplň sedaček	součásti zapalování	části potrubí	krky přístrojů	vnitřní vybavení	světla a jeho součásti	okoř volantu	zpětná zrcátka	přístrojová deska	sedadla	zvuková izolace	volant	prvky pod kapotou	těsnění	části vodního čerpadla	podběhy blatníky	mechanismus ovládání oken		
ASA							*									*																			
ABS			*				*									*						*													*
PA		*				*		*	*	*		*	*	*	*			*				*	*		*					*	*	*	*	*	*
PVC					*		*														*														
EP, PF					*																										*	*	*	*	*
POM	*					*	*	*	*	*		*	*	*	*			*				*	*		*					*	*	*	*	*	*
PBT	*						*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PC					*		*	*	*	*		*	*	*	*			*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PEI						*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PET							*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PE							*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PMMA						*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PFS						*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PPO						*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PPA						*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PTFE	*						*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PUR							*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PUR (pro RIM)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
UP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Ukázka volby druhu plastu pro vybrané aplikace v automobilech

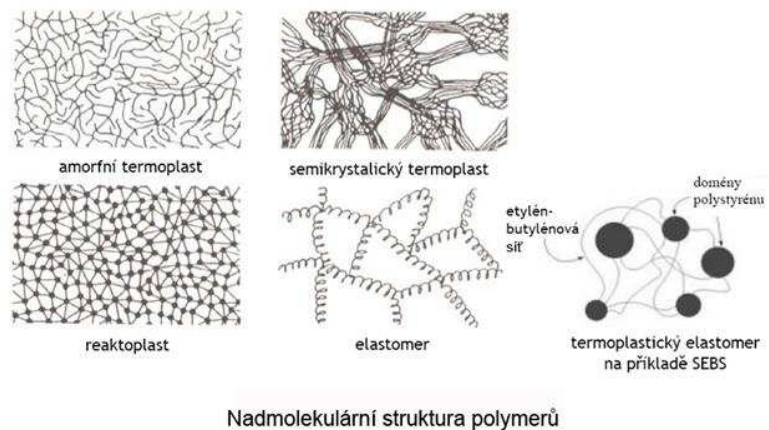
Obr. 2: Aplikace polymerů podle druhu [2]



Obr. 3: Rozdělení podle aplikace [2]

### 1.2.2 Podle nadmolekulární struktury (podle stupně uspořádanosti)

- amorfni plasty, kde makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) průhledné, resp. dle propustnosti světla čiré (92 % propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60 % propustnosti světla). Součinitel teplotní roztažnosti je menší, než u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfni polymerů je do teploty zeskenění  $T_g$  [2]
- krystalické (semikrystalické) plasty, které vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %) a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfni. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání  $T_m$  [2]



Obr. 4: Struktura polymerů [2]

### 1.2.3 Podle druhu přísad

- neplněné plasty - neplněný plast je takový plast, u kterého množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice [2]
- plněné plasty – plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření, apod. [2]

Plniva zlepšují buď mechanické vlastnosti materiálu, nebo chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě, jiné prostě jen hmotu zlevňují. Rozeznáváme vyztužující (skleněná, uhlíková, kovová či méně účinná bavlněná krátká nebo dlouhá vlákna, popř. textilní ústřižky do obsahu maximálně 50 %, neboť pro správnou funkci vyztužujícího plniva je důležité, aby bylo dokonale obaleno pojivem) a nevyztužující plniva ve formě prášku, které se přidávají většinou z důvodu snížení ceny materiálu (moučka z břidlice, kaolinu, křídly a dalších levných materiálů). [2]

Jiná plniva (např. grafit) zlepšují kluzné vlastnosti, práškové kovy zlepšují tepelnou vodivost. Přídavkem sazí (zejména u polyolefinů) se zvyšuje odolnost proti UV záření, atd. Obsah nevyztužujících plniv bývá až 70 %. Zvláštním typem plniva jsou skleněné nebo kovové kuličky, které zvyšují rozměrovou stabilitu a odolnost proti rázům, resp. vodivost. Stabilizátory (tepelné, světelné) jsou určeny k zpomalení degračních procesů a zvýšení životnosti součásti. Maziva (obsah do 1 %) usnadňují zpracování polymerů např. tím,

že snižují viskozitu polymeru nebo zabraňují lepení výrobku na stěnu formy. Mohou to být např. vosky, stearáty Zn či Ca, popřípadě méně používané oleje a tuky. Barviva (obsah do 10 %) dávají plastům požadovaný barevný odstín. Většinou se používají barevné pigmenty založené na anorganických sloučeninách kovu (oxidy železa popř. chrómu). Organická barviva (lihové roztoky) rozpustná v polymeru se použijí tehdy, má-li hmota po vybarvení zůstat průhledná. Změkčovadla zlepšují houževnatost, zpracovatelnost a ohebnost materiálu, ovšem na úkor mechanických vlastností. Tvrdividla způsobují vznik příčných vazeb mezi makromolekulami a tím vytvrzení. Iniciátory a urychlovače polyreakcí ovlivňují účinek tvrdidla. Retardéry hoření působí samozhášivě, zpomalují proces hoření plastů nebo vůbec nedovolí zapálení plastu. Nadouvadla jsou přidávána v malém množství (0,5 až 2 %) k základnímu materiálu a po zahřátí na zpracovatelskou teplotu se rozkládají v plynné látky, vytvářející lehčené plasty. [2]

#### 1.2.4 Podle polarity

- polární plasty – mají trvalý dipól a mezi polární plasty patří PA, některé pryskyřice, apod. [2]
- nepolární plasty – nemají trvalý dipól a patří sem PE, PP, PS, apod. [2]

#### 1.2.5 Podle původu

- přírodní – jsou založeny na přírodních makromolekulárních látkách, např. na bázi celulózy, latexu, kaseinu, atd. [2]
- syntetické – k výrobě je použita chemická cesta [2]

### 1.3 Polyuretan - PUR

Polyuretany (PUR) jsou speciální druhy plastů, které se vyrábějí chemickou reakcí. Základní suroviny moderních polyuretanů tvoří dvě složky: polyoly (vícesytné alkoholy) a izokyanáty (funkční skupiny atomů dusíku, uhlíku a kyslíku), jejichž smícháním dojde k napěnění. [3]

Polyoly lze primárně získat buď z ropy (polyéterové a polyesterové polyoly), nebo z rostlinného oleje (levnější a ekologičtější alternativa pro výrobu tvrdých polyuretanových pěn). Navíc je tu možnost získat polyoly recyklací z již vyrobených dílů PUR pěny.

Izokyanáty existují rovněž ve dvou formách (MDI, TDI), které se liší výrobním postupem, vlastnostmi i účelem použití. [3]

Podstatnými přísadami při chemické reakci jsou také nadouvadla (dnes již ne tvrdý freon R11), katalyzátory a retardéry hoření. Všechny složky se reakce účastní v kapalném stavu a postupnou chemickou reakcí se mění v pevnou, zcela netoxickou látku. [3]

Polyuretan může mít mnoho různých podob:

- studená pěna – sedáky dopravních prostředků, opěr, určené k dalšímu zpracování např. čalounění, výborná tvarová paměť [18]



Obr. 5: Výrobek ze studené pěny [18]

- studená nehořlavá pěna – používá se do vlaků, splňuje normu hořlavosti [18]



Obr. 6: Výrobky ze studené nehořlavé pěny [18]

- polotuhá pěna – většinou kombinace s výztuhou, používá se do interiérů vozidel [18]



Obr. 7: Výrobek z polotuhé pěny [18]

- integrální pěna – s povrchovou kůrou, madla, opěrky v hromadných prostředcích [18]
- tvrdá pěna – stavebnictví, např. zednická hladítka [18]
- izolační bloková pěna – výroba izolačních desek k zateplování fasád apod. [18]



- energii absorbující pěna – bezpečnostní sedačky, deformační zóny, vždy pro jedno použití [18]



Obr. 8: Výrobek z energií absorbující pěny [18]

### 1.3.1 Vlastnosti polyuretanu

- ze všech užívaných izolantů mají nejnižší součinitel tepelné vodivosti (jeho praktická hodnota se v čase mění, ovlivňuje ji mj. způsob aplikace – zda je výrobek uzavřen, opláštěván nebo volně přístupný okolnímu prostředí) [3]
- důležitý je tvar buněk pěny (kulovité buňky tvoří pěnu izotropní, jejíž vlastnosti jsou ve všech směrech shodné, nepravidelné buňky tvoří pěnu neizotropní, jejíž vlastnosti závisí na směru působení) [3]
- polyuretany nepropouštějí vodu, ale dovedou propouštět vodní páru, čímž zajistí „dýchání“ výrobku [3]
- polyuretanové výrobky jsou výrobně nenáročné a snadno zpracovatelné [3]

- polyuretan je po vytvrzení zdravotně nezávadný, nevylučuje žádné škodliviny a dá se použít i do prostorů s potravinami (není napadán plísněmi ani hmyzem, trvale odolává hnilobě) [3]
- odpad se dá použít pro izolační zásypy, do litých výrobků PUR i na další zpracování (lze uložit i na skládku komunálního odpadu, ovšem toto je neekonomické) [3]



Obr. 9: Po smíchání dvou tekutých složek – polyolu a izokyanátu - dojde k výraznému napěnění [3]

Například tvrdá až polotvrdá polyuretanová pěna s více jak 90% uzavřených buněk je výborný tepelně izolační materiál. Je to hmota prakticky nenasákavá a tudíž i hydroizolační, přesto má schopnost difúze vodních par. Ve výchozím stavu se jedná o systém dvou tekutých složek, jejichž míšením za definovaných podmínek vznikne hmota s mikroskopickou buněčnou strukturou. Její hlavní přednost spočívá v mimořádných tepelně izolačních vlastnostech. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v závislosti na jejich typu mezi 0,02 až 0,03  $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Tato hmota je odolná vůči agresivním prostředím, zředěným kyselinám a alkáliím, minerálním olejům a rozpouštědlům. Není napadána hlodavci ani jinou faunou. Je tvarově a rozměrově stálá, nesublimuje a její trvalá tepelná odolnost se pohybuje mezi  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $+140^{\circ}\text{C}$ . Její odolnost proti zahoření je závislá na formách retardace. Objemová hmotnost až do výše  $210 \text{ kg/m}^3$ , při dodržení tepelné stálosti do  $130^{\circ}\text{C}$ . [10]



V základním provedení je zařazena podle normy ČSN do skupiny materiálů lehce hořlavých, označených C3. Fyzikální a chemické vlastnosti jsou dány typem výchozího systému, způsobem zpracování a zajištěním potřebných technologických podmínek. V současnosti můžeme vyrobit dle požadavků hmotu i samozhášivou zařazenou do skupiny B2. [10]

### 1.3.2 Technické parametry pur pěny

Vlastnosti	Jednotka		Norma
Měrná hmotnost	kg/m <sup>3</sup>	60	DIN 53 420 - ČSN 645411
<b>MECHANICKÉ VLASTNOSTI</b>			
Pevnost v tlaku	N/mm <sup>2</sup>	0,40	DIN 53 421 - ČSN 645443
Pevnost v tahu	N/mm <sup>2</sup>	0,85	DIN 53 430
Pevnost v ohybu	N/mm <sup>2</sup>	0,70	DIN 53 423 - ČSN 645443
Pevnost ve střihu	N/mm <sup>2</sup>	0,30	DIN 53 422
E-modul	N/mm <sup>2</sup>	12	DIN 53 457
<b>TEPELNĚ TECHNICKÉ VLASTNOSTI</b>			
Součinitel tepelné vodivosti (lambda) (měřená hodnota)	W/m. K	0,024	DIN 53 612 - ČSN 727010
Lineární koeficient roztažnosti (pro měrnou hmotnost 30 až 60 kg/m <sup>3</sup> )	1/K	8 až 5.10-5	DIN 53 612 - ČSN 727010
Odpor difuze vodních par (pro měrnou hmotnost 30 až 100 kg/m <sup>3</sup> )	m	30 až 100	DIN 53 615 - ČSN 645425
Nasákavost (při 20 °C) po 24 hod. po 28 dnech	objem. % objem. %	do 2 max. 5 do 2 max. 5	DIN 53 433 - ISO 4590
Teplotní rozsah - krátkodobě	°C °C	-200 až +140 +250	
Hořlavost Specifické teplo	kj/kg. K kcal/kg. °C	B2 1,382 0,33	DIN 4102 - ČSN 730862

Tab. 1. Vlastnosti polyuretanu [15]

## 2 KOVY

Kovy v současnosti nejsou ve většině aplikací používány v čisté formě, ale spíše ve formě slitin s jinými prvky. Tyto slitiny se dělí na slitiny na bázi železa a na neželezné slitiny. Slitiny na bázi železa se dělí na oceli a litiny.

### 2.1 Základní informace

Slitiny obvykle dosahují lepších mechanických vlastností (vyšší tvrdost, pevnost v tahu, ořezuvzdornost) než čisté kovy. Mezi nepoužívanější slitiny patří slitiny železa, hliníku a mědi. Slitiny železa s uhlíkem, případně dalšími prvky se nazývají oceli a litiny. Oceli jsou slitiny železa obsahující méně než přibližně 2,1 hm. % uhlíku. Pokud je obsah uhlíku vyšší než tato hranice, mluvíme o litinách. Zatímco oceli jsou tvárné a je výhodné je zpracovávat tvářením za tepla (válcováním nebo kováním), litiny jsou křehké a mají velmi dobré slévárenské vlastnosti. [4]

Litiny se tudíž používají ve formě odlitků. Podle chemického složení se běžné konstrukční oceli dělí na oceli uhlíkové (bez dalších záměrných legujících prvků) a oceli legované s přísadou dalších prvků, například Cr, V, Ni, Mn. Kromě konstrukčních ocelí se používají rovněž korozivzdorné a nástrojové oceli. Korozivzdorné oceli se podle struktury a obsahu uhlíku a legujících prvků (Cr, Ni) dělí na feritické, martenzitické, austenitické a duplexní. Nástrojové oceli se vyznačují vysokým obsahem uhlíku a karbidotvorných prvků (W, V, Mo, Cr) a velmi dobrou odolností proti otěru. [4]

Slitiny hliníku lze rozdělit na slévárenské slitiny a slitiny vhodné ke tváření. Typickým zástupcem slévárenských slitin jsou tzv. siluminy – slitiny Al-Si. [4]

Nejznámějšími tvářenými slitinami hliníku jsou duraly (slitiny Al-Cu-Mg), které se využívají mimo jiné při výrobě sportovního náčiní (jízdní kola, tenisové rakety...). Mezi nejběžnější slitiny mědi patří mosazi a bronzy. Mosazi jsou slitiny mědi se zinkem (obvykle tvářené), zatímco bronzy jsou nejčastěji slitiny mědi s cínem a obvykle se

zpracovávají odléváním. Mosazi jsou běžně využívány například při výrobě vodovodních armatur, vložek do zámků a podobně, využití bronzů spadá spíše do umělecké sféry (sochy, plastiky, zvony). Kromě těchto materiálů je nutno zmínit slitiny niklu, jejichž uplatnění je především v leteckých motorech díky jejich výborné tepelné stabilitě, a slitiny titanu (například Ti-Al-V) využívané mimo jiné na kloubní náhrady. [4]

## 2.2 Slitiny hliníku

Jednou z nejznámějších slitin hliníku je dural. Dural nebo duraluminium (z lat., „tvrdý hliník“) je obchodní označení pro různé slitiny obvykle 90–96 % hliníku a 4–6 % mědi s menšími přísadami mědi, hořčíku, manganu aj. Oproti čistému hliníku (měrná hmotnost  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) je dural jen nepatrně těžší (typicky  $2,8 \text{ g/cm}^3$ ), ale až pětikrát pevnější v tahu i tvrdší. Pevnost i tvrdost se zvyšuje tepelným opracováním a zušlechťováním, podobně jako u ocelí. Dural se velmi snadno obrábí, spojuje se svařováním v ochranné atmosféře, pájením s pomocí speciálních tavidel, nýtováním nebo lepením. Dural je chemicky odolný a dá se velmi dobře povrchově upravovat a barvit (eloxování). Nedostatkem duralových slitin je malá schopnost tlumit otřesy a pohlcovat rázy, neboť mají malou anelasticitu neboli dopružování. [4]

Dural byl objeven v roce 1906 Alfredem Wilmem v Německu a hojně se používá hlavně v automobilovém průmyslu, při stavbě letadel a lodí, ve stavebnictví, při výrobě sportovních a zdravotnických potřeb i jinde. Vyrábějí se duralové plechy, dráty, tyče, trubky. Dural se využívá také k výrobě duralových šípů a odlehčených duralových luků, přesné a často velmi složité tažené profily (např. na okenní rámy) a z duralu se také odlévá. [4]

Obliba hliníkových materiálů a jejich slitin spočívá zejména v jejich vynikajících mechanických vlastnostech ve spojení s nízkou měrnou hmotností, která je téměř třikrát nižší než u oceli. Dobrou obrobiteľnosť, svařitelností, vysokou odolností vůči korozi a v neposlední řadě možnosti recyklace. Ve spojení se stále dokonalejší technologií při výrobě hliníku ve všech svých formách – plechy, ploché tyče, kruhové tyče plné a trubky atd. se stávají nenahraditelným výrobním materiálem ve většině průmyslových odvětví. [4]

### 2.2.1 Třídy hliníkových materiálů:

- 2000 – nesvařitelné, vytvrditelné za tepla, dobrá pevnost; použití na komponenty; duralové slitiny (AlCuMg)
- 3000 – slitiny AlMn
- 5000 – svařitelné, nevytvrditelné
- 6000 – svařitelné (musí se tepelně upravit), vytvrditelné za tepla. Slitiny AlMgSi
- 7000 – svařitelné, vytvrditelné za tepla; slitiny AlZnMg
- 7075 – nejpevnější hliníková slitina [4]

### 2.2.2 Nejpoužívanější slitiny na bázi hliníku

CERTAL AlZn5Mg3Cu – EN AW 7022, CERTAL SPC AlZn5Mg3Cu – EN AW 7022

Desky z tohoto materiálu se díky přesné receptuře výroby vyznačují rovnoměrnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi v celém průřezu. Jsou vynikajícím materiálem na výrobu forem – na plast, pěnové a gumové materiály, prototypové formy. Dále jsou vhodné v širokém strojírenství, základové desky střížných nástrojů, stavby jed noučelových strojů atd. Tento materiál je možné i svařovat s dobrou eloxovatelností a vynikající obrobiteľností, vhodný k erozivnímu obrábění s vynikající leštitelností a s vysokou pevností  $R_m$ . [5]

Eloxování neboli eloxace je druh povrchové úpravy. Spočívá ve vytvoření ochranné vrstvy oxidu hliníku na upravovaném povrchu. Tato vrstva již dále neoxiduje, a tím před oxidací chrání i samotný hliník. [5]

AlMg3 – EN AW 5754

Nejčastější uplatnění je ve strojírenství – stavba jed noučelových strojů, aut, lodí, prototypy automobilů, formy na pěnové a gumové materiály, jed nodušší svařované konstrukce. [5]

Tento materiál je velmi dobře svařitelný s vynikající eloxovatelností a dobrou obrobiteľností s odolností vůči korozi jak v normální atmosféře tak i v mořské vodě s pevností  $R_m$  205 MPa. Povrch válcovaný. [5]



Obr. 10: Bloky z hliníkové slitiny [5]

AlMg4,5Mn0,7 – EN AW 5083

Nejčastější uplatnění je ve strojírenství – stavba jednoúčelových strojů, aut, lodí, prototypy automobilů, formy na pěnové a gumové materiály, svařované konstrukce, prototypové formy, základové desky střížných nástrojů. Tento materiál je velmi dobře svařitelný s vynikající eloxovatelností a dobrou obrobiteľnosťou s odolnosťou vůči korozi jak v normální atmosféře tak i v mořské vodě s pevností  $R_m$  270 MPa. [5]

AlZn5,5MgCu – EN AW 7075

Použití je ve strojírenství, výroba vysoce namáhaných strojních součástí, obranný průmysl. Tento materiál je nesvařitelný s dobrou eloxovatelností kromě dekorativní. Velmi dobře se obrábí s podmíněnou odolností vůči korozi v normální atmosféře s kritickou odolností vůči mořské vodě s pevností 565MPa. [5]

AlCu4MgSi – EN AW 2017A

Použití ve strojírenství, výroba forem, obranný průmysl, letectví, komponenty pro statické a dynamické namáhání. Materiál je obtížně svařitelný s dobrou eloxovatelností, kde dekorativní eloxovatelnost je podmíněna, obrobiteľnosť dobrá, s podmíněnou odolností vůči korozi v normální atmosféře s kritickou odolností vůči mořské vodě s pevností  $R_m$  430 MPa. [5]

AlSi1MgMn – EN AW 6082

Použití ve strojírenství, stavba jednoúčelových strojů, lodí, jednodušší svařované konstrukce, transportní technika. Materiál je velmi dobře svařitelný s dobrou eloxovatelností a obrobitelností s dobrou odolností vůči korozi s pevností  $R_m$  350 MPa. [5]

### 3 OBRÁBĚNÍ KOVŮ

Obrábění kovů je technologický proces, kterým se vytváří požadovaný tvar obráběného předmětu (obrobku), v daných rozměrech a v daném stupni přesnosti.

#### 3.1 Způsoby obrábění kovů

- konvenční - třískové mechanické obrábění  
- řezání
- nekonvenční - elektrickými výboji  
- chemické  
- světelnými paprsky - laserem

#### 3.2 Třískové obrábění

Základní vlastností je způsob obrábění, tedy břit nástroje vniká do materiálu, a odděluje od něj třísky. Tento relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem se jmenuje řezný pohyb.

##### 3.2.1 Frézování

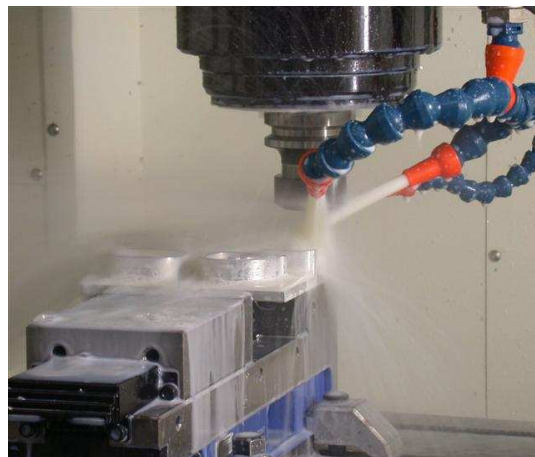
Nástroj – fréza rotuje a upnutý obrobek se posouvá k nástroji. Frézování rozdělujeme na sousledné (obrobek se pohybuje stejným směrem jako je směr otáčení frézy) a nesousledné (obrobek se pohybuje proti směru otáčení frézy) [17]

Frézky patří mezi nejuniverzálnější obráběcí stroje na výrobu drážek, ozubení, závitů, nepravidelných tvarů, rovinných, tvarových a rotačních ploch. Vyrábějí se z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů. Velikost frézek se určuje podle velikosti plochy pracovního stolu, vřeteníku, rozsahu otáček a výkonu elektromotoru. [17]

Frézy jsou několika břité rotační nástroje. Každý břit je jednoduchý soustružnický nůž, který je po určitou dobu ve styku s obráběným materiálem. Břity mohou být umístěny na kuželové, válcové nebo jiné tvarové ploše. [17]

Rozdělení:

- Dle způsobu výroby břitů se dělí na podsoustružené, podbroušené a vyfrézované
- Podle počtu zubů se dělí na jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé
- Dle směru otáčení na levořezné a pravořezné
- Podle použití na výrobu drážek, ozubení, závitů nebo na rovinné a tvarové plochy
- Podle způsobu upínání na frézy nástrčné a frézy se stopkou [17]



Obr. 11: Frézování

### 3.2.2 Soustružení

Při soustružení obrobek rotuje a nůž se k němu posouvá (strojním, nebo ručním posuvem). Soustružení je obráběcí metoda používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, většinou pomocí jednobřitých nástrojů různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. [14]



Na soustruzích lze obrábět vnější válcové, kuželové i tvarové plochy. Obrábět vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy a obrábět čelní rovinné plochy. Vyrábět zápichy (vnější, vnitřní, čelní), upichovat, vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, podsoustružovat hřbetní plochy tvarových fréz atd. [14]



Obr. 12: Soustružení

Soustruhy neboli soustružnické stroje představují největší podíl strojírenské obráběcí techniky. V obráběcích provozech strojírenských podniků se vyskytují ve velkém počtu typů a vykazují různý stupeň automatizace. Z konstrukčně technologického hlediska se rozlišují soustruhy hrotové, svislé, čelní, revolverové a speciální (např. podsoustružovací). Podle stupně automatizace se používají soustruhy ručně ovládané, poloautomatické a automatické. U poloautomatických a automatických soustruhů se aplikuje tvrdá automatizace nebo pružná automatizace pracovního cyklu. [14]

### 3.2.3 Vrtání

Nástroj – vrták rotuje a posouvá se k obrobku. Vrtat se dá i na soustruhu nebo frézce, kdy se vrták upne do koníku stroje. Vrtání patří mezi nejstarší a nejpoužívanější technologické operace. Základní pohyby při vrtání jsou rotace vrtáku a posuv vrtáku. Vrtáky se dělí na několik druhů např. šroubovitý vrták s válcovou nebo kuželovou stopkou, kopinatý vrták, dělový vrták, středící vrták nebo korunkový vrták. Hlavní částí šroubovitého vrtáku jsou:

tělo vrtáku, stopka, unašeč, krček, šroubovitě drážky, hrot, fazetka, jádro a žebro vrtáku. Materiál na výrobu vrtáků je uhlíková nástrojová ocel nebo rychlořezná ocel. [14]

Upínání vrtáků se stopkou válcovou - upíná se do sklíčidel přičemž stopka musí být ze 3/4 zasunuta ve sklíčidle a řádně přitažena. Upínání vrtáků se stopkou kuželovou - upínají se přímo nebo pomocí redukčních vložek do kužele ve vřetenu vrtačky. Vyrážení se provádí vyrážecím klínem. Upínání obrobků do ruční svěrky, do svěráku, do úpinky nebo do čelisti s prizmatickým vytvarováním. [14]

### 3.2.4 Broušení

Broušení na kulato se používá pro výrobu válcových součástí o vysoké přesnosti. Obrobek, většinou je upnut mezi hroty ve středících důlcích, se pomalu otáčí. K němu se přisouvá brusný kotouč o vysokých otáčkách. Brousí se předem osoustružené povrchy, při ponechání přídávku několik desetin mm. Patří sem i broušení otvorů. [14]

Broušení na plocho se používá pro výrobu rovných, někdy i tvarových ploch. Obrobek je upnut a vykonává pomalý přímočarý vratný pohyb. K němu se přisouvá brusný kotouč o vysokých otáčkách. [14]

### 3.2.5 Řezání

Ve strojírenské výrobě se řezání používá většinou při dělení dlouhých pásovin a kulatin na požadovaný rozměr (s ponecháním přídávku na další obrábění). Dnes se většinou používá pásová pila.

### 3.2.6 Další metody třískového obrábění

- Hoblování – obrábění ploch, obrobek je upnut a vykonává hlavní řezný pohyb, nůž vykonává posuv a přísvuv, v současnosti se používá jen ojediněle (např. upínací stoly některých obráběcích strojů se hoblují) [1]
- Obrážení – obrábění ploch, obrobek je upnut a hlavní řezný pohyb vykonává nástroj. Používá se například pro výrobu ozubených kol [1]

### 3.2.7 Jemné dokončovací metody

- Superfinašování – používá se pro dosažení co nejlepší drsnosti povrchu u rotačních součástí, za pomoci vibrujícího nástroje [1]
- Lapování – používá se při něm brusných lapovacích past, pro dosažení kvalitní drsnosti povrchu [1]
- Honování - dokončovací obrábění vnitřních nebo vnějších povrchů válcových součástí [1]

### 3.3 Moderní zařízení pro obrábění dílů

Pro výrobu formy bylo použito i obráběcí centrum. Obráběcí centrum na obrázku 13 (moderní verze použitého CNC) je představitelem klasického frézovacího centra s moderně řešenou konstrukcí s lineárními vedeními ve všech osách a digitálními pohony posuvů.

Je vybaveno souvisle řízenými osami, které umožňují frézovací, vrtací, vystružovací a zahlubovací operace včetně řezání závitů v obrobcích z oceli, ocelolitiny, litiny a slitiny lehkých i barevných kovů.

Obráběcí centra zajišťují vyšší automatizaci výroby, podle počtu řízených os se dělí na 2, 3, 4 nebo 5 osé centra. Centra se dále dělí na soustružnické, frézovací nebo kombinované.



Obr. 13: Obráběcí centrum

## 4 FORMY PRO PUR

Na konstrukci forem pro vypěňování PUR pěnou se kladou podobné požadavky jako pro konstruování formy pro vstřikování.

### 4.1 Konstrukce forem

Forma pro polyuretan oproti formě pro vstřikování má některé specifika a odlišnosti se kterými se při konstrukci formy musí počítat. Výroba dílu vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve formě v krátkém čase, za působení dostatečného tlaku, teploty a dalších nutných parametrů. Při práci s polyuretanem se pracuje na směšovacím stroji. Tyto stroje jsou konstruovány jako vysokotlaké či nízkotlaké. Po smíšení dvou základních látek je tato směs vylita do formy, forma je uzavřena a po uplynutí startovacího času dojde k vypěnění dutiny formy. Z toho vyplývají základní požadavky na stroj a formu, které spolu úzce souvisí. Při konstrukci formy pro pur se musí zohlednit např. zatečení směsi nebo jiné umístění dělicí roviny. Oproti formě pro vstřikování se na formě pro polyuretanové výrobky může objevit například negativní úhel. Jelikož polyuretan může být ve formě měkčené pěny a výsledný výrobek je z formy vyděláván ručně, negativní úhel nevádí při konstrukci formy.

U formy se vyžaduje:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů [9]
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celku, pro zachycení potřebných tlaků [9]
- vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování apod. [9]

Vyšší nároky na přesnost a jakost se projeví ve zvýšené pracnosti při jejich konstrukci i výrobě. Větší robustnost forem, kterou vyžadují použité tlaky, často svádí k méně citlivému zacházení. To bývá někdy příčinou jejich nedokonalé funkce, snížené přesnosti i životnosti. Proto je nutné respektovat zásady a směrnice při jejich konstrukci, výrobě i obsluze. [9]

#### 4.1.1 Postup při konstrukci formy

Výkres vyráběné součásti nebo digitálně zpracovaný 3D model, spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem. Vlastní konstrukce pak má následující postup:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměru a tvářecích podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, jejich tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny a lunkry. Nezanedbat ani úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny formy [9]
- určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoku a vyhazování z dutiny formy, případně jiný způsob vyjímání z dutiny formy [9]
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu, tvaru a velikosti vtokového systému včetně jeho jednotlivých částí toto se týká forem pro vstřikování [9]
- určení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvodu dutin formy [9]
- navržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet i rozmístění dutin, systém vyhazování i temperace formy [9]
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků [9]
- zkontrolování funkčních parametrů formy pro lití hmotnost a velikost odlitého dílu včetně tlaků při napětí (pro vstřikování hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj) [9]

Celá koncepce konstrukce formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků. Je vhodné s objednavatelem návrh formy konzultovat. U

externích zákazníků předložit objednavateli případné návrhy a doplňky výkresu součásti i návrhu konstrukčního řešení formy ke schválení před samotnou výrobou formy. [9]

#### 4.1.2 Zaformování výrobku

Správné zaformování výrobku a vhodná volba dělicí plochy náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výrobku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. [9]

Dělicí rovina bývá zpravidla rovina rovnoběžná s upínáním formy. Muže však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výrobku s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí roviny. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí rovině může způsobit nedovření formy. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů výrobku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělicí rovina umožnila snadné vyjímání výrobku z formy, byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná, dobře slícovatelná a probíhala v hranách výrobku. Dále aby byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a sousost výrobku, pokud je v obou polovinách formy. [9]

Pozitivní úlohu hraje dělicí rovina při odvzdušnění dutiny formy. [9]

#### 4.1.3 Dimenzování tvarové dutiny

Tvar a rozměry funkčních dílů, které jsou převážně umístěny v různých částech formy, tvoří po jejím uzavření tvarovou dutinu. Jejich dimenzování je důležitou etapou konstrukčního řešení. Chybně dimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměru výrobku. V případě, že se nejedná o rozměr s předepsanou tolerancí, lze tuto chybu někdy napravit úpravou technologických parametrů, někdy však jen nákladnou korekcí rozměru formy. [9]

Povrch i rozměry výrobku jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy, která je obvykle složena z tvárnice, tvárníku, jádra a tvarových vložek. Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a ovlivňují ji tři činitelé smrštění plastu (provozní), výrobní tolerance a opotřebení dutiny formy. [9]

Nejčastější příčinou chybného dimenzování rozměru je především nepřesný odhad smrštění daného rozměru v průběhu tváření plastu. Správný odhad velikosti smrštění pro konkrétní rozměry dílu, je někdy obtížné určit. Konstruktor je většinou odkázán na vlastní zkušenosti nebo může využít softwaru pracujícího na bázi konečných prvků. Konečně prvkový program dokáže vygenerovat na základě dostupných informací deformaci nebo smrštění výrobku po vyjmutí z formy. [9]

Velikost smrštění ovlivňuje tvar výstřiku (rozměry a tloušťka stěn), konstrukce formy pro vstřikování (temperace formy, vtokový systém, poloha ústí vtoku, velikost jeho průřezu) a technologie výroby (tlak ve formě, teplota). [9]

Způsob výroby formy, především dutiny určuje její přesnost i výrobní toleranci. Při opotřebení dutiny formy se odhaduje na 10 až 40 % z celkové tolerance výrobku. [9]

#### 4.1.4 Násobnost formy

Násobnost forem se obvykle hodnotí z několika hledisek:

- charakteru a přesnosti
- požadovaného množství výrobků
- požadovaného termínu dodávky
- ekonomiky výroby [8]



Součásti tvarově náročné, které vedou k formě, jako i velkorozměrové výrobky se většinou vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výrobku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. [8]

#### 4.1.5 Smrštění výrobku

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměry formy a skutečným rozměrem výrobku. Udává se v %. Smrštění výrobku může být pozitivní nebo negativní v závislosti na zvoleném materiálu. Smrštění se dělí na výrobní, které představuje až 90% celkového smrštění (měřené 24 hodin po výrobě výrobku) a dodatečné, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. Velikost smrštění není ve všech směrech stejná. Je ovlivněno prouděním směsi, směrem bobtnání směsi, orientací makromolekul, tvarem, teplotami apod. Není tedy jednoduché dimenzovat rozměry dutiny formy. [8]

#### 4.1.6 Odvzdušnění forem

Při plnění dutiny formy taveninou, případně při vypěňování formy polyuretanem je třeba zajistit únik zejména vzduchu, který je v ní obsažen na začátku při uzavření formy, jakož i dalších uvolňující se plynů. Vzduch z dutiny formy často uniká dělicími rovinami, vůlemi mezi pohyblivými částmi apod. V ostatních případech je třeba formu opatřit odvzdušňovacími kanály. Velikost mezer bývá až do 0,05 mm v závislosti na použitém polymeru. [7]

#### 4.1.7 Teplota forem

Teplota forem slouží k udržování formy na požadované teplotě, která je zpravidla vyšší než pokojová. Teplota forem má bezprostřední vliv na smrštění a tvarové rozměry, jakost povrchu a mechanické vlastnosti výrobku, jakož i zaplnění dutiny formy a též na délku cyklu. Před zahájením výroby se musí formy vyhřát na pracovní teplotu. [7]

Správnou temperací formy se dosáhne zvýšení její tepelné a tím i rozměrové stability, snížení nebezpečí deformace při vysokých tlacích a optimální dobu cyklu a hospodárnost provozu. Správně navržený temperační systém umožňuje optimální dobu cyklu a hospodárnost provozu. Dále umožňuje dosažení kvalitních výrobků při optimální struktuře (fyzikální vlastnosti, přesnost, vzhled) [7]

Na řešení temperačního systému mají vliv zejména druh použitého materiálu, velikost a tvar výrobku a požadavek na přesnost výrobku. Úkolem temperace je zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny (podle zpracovávaného plastu) a dále udržet teplotu formy tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku. Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, zvýší se její tepelná i rozměrová stabilita a sníží se nebezpečí deformace. [9]

Množství a rychlost odvodu tepla závisí na materiálu formy a jejich částí, na temperačním systému a médiu, které jim prochází. [7, 8]

## 5 VÝROBEK

Výrobek může být vyroben jedním z mnoha možných způsobů zpracování polymeru. Jedná se např. o vytlačování, vyfukování, vstřikování nebo např. tvářením.

### 5.1 Vstřikování polymerů

Vstřikováním polymerů se označuje takový způsob tváření polymerních materiálů, při němž se materiál roztaví v tavící komoře vstřikovacího stroje a vstřikuje se pod tlakem do uzavřené formy a tam je ochlazen ve tvaru vyráběné součásti.

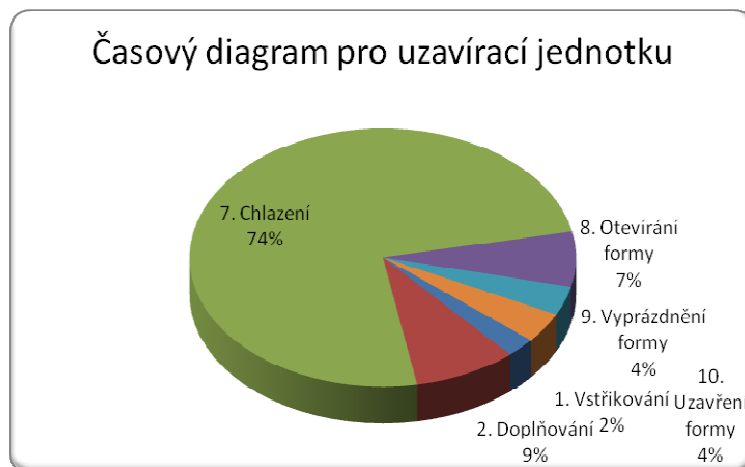
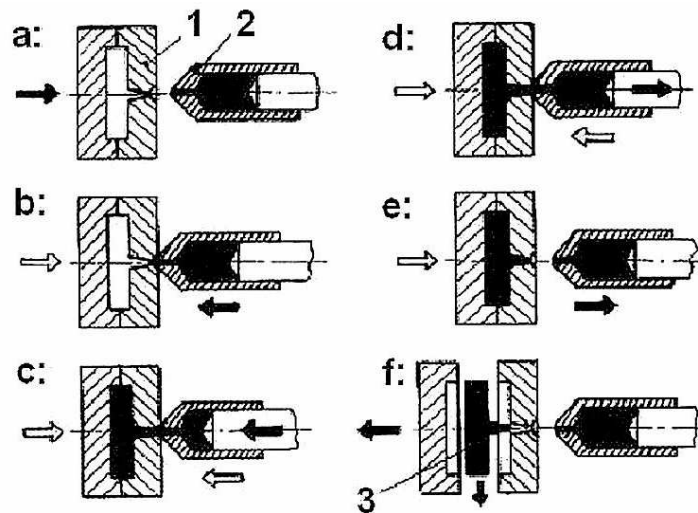
#### 5.1.1 Vstřikování

Technologie vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů z plastů či kaučukových směsí. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. Je to velmi produktivní způsob výroby, při kterém je součást vyrobena nejčastěji za jednu pracovní operaci v konečném stavu. Lze tímto způsobem vyrábět výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikování je charakteristické rychlým pracovním cyklem, malou náročností na obsluhu a značnou možností automatizace. [6, 9]

#### 5.1.2 Vstřikovací cyklus

Tavenina se připraví v tavící komoře vstřikovací jednotky a je vstříknuta do formy, kde zatuhne (event. zesítuje). Vstřikovací cyklus je znázorněn na obr. 14. Nejdříve dojde k uzavření vstřikovací formy 1 (a), vstřikovací jednotka 2 je ve výchozí poloze. Vstřikovací jednotka se poté přisune a dosedne na uzavřenou formu (b). Po dosednutí nastává vstřikování taveniny (c). Po naplnění dutiny formy taveniny nastává její tuhnutí, po čase pak postupné doplňování formy (d). Ve formě pokračuje tuhnutí bez tlaku. Následuje odsun vstřikovací jednotky do výchozí polohy (e). Po zatuhnutí nastává otevření formy (f) a vyhození výstřiku 3. Ve vstřikovací jednotce mezitím probíhá příprava taveniny. Forma i vstřikovací jednotka jsou ve výchozí poloze a celý cyklus se může

opakovat. Při vstřikování kaučukových směsí proběhne ve formě i vulkanizace, aby měl výrobek po vyjmutí finální vlastnosti. [6]



Obr. 14: Vstřikovací cyklus [8]

## 5.2 Formy na odlévání

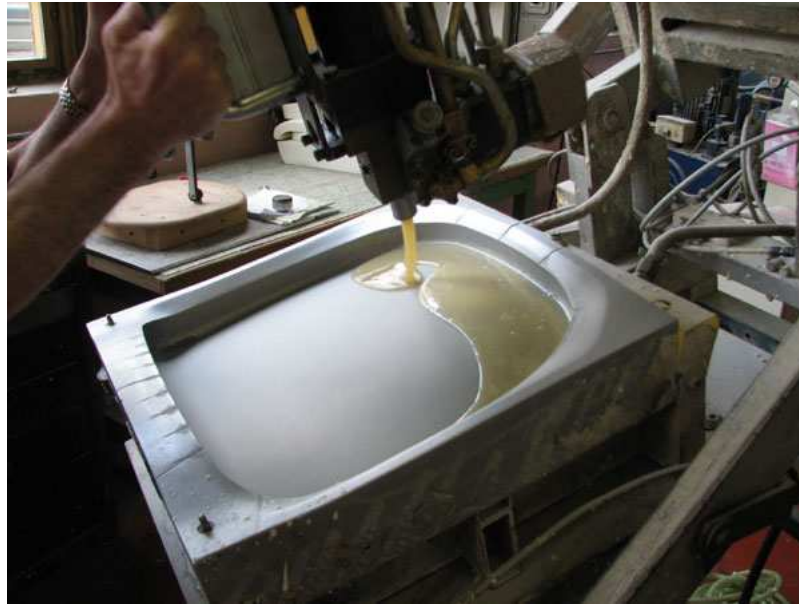
Technologie zpracování polyuretanových pěn je ovšem poněkud odlišná od technologie vstřikování polymerů pod tlakem do formy. Práce s polyuretanovou pěnou se rozděluje přibližně na dva odlišné způsoby:

- Technologie lití do uzavřených forem
- Lití do meziprostoru – volné lití [16]

### 5.2.1 Technologie lití do uzavřených forem

Tento způsob se uplatňuje především při sériové výrobě izolačních prvků, u kterých se požaduje přesný rozměr a vysoká kvalita povrchu, spolu s dobrými mechanickými vlastnostmi. K lití se používají systémy PUR pěny o objemové hustotě 30-250 kg/m<sup>3</sup>. Použité nadouvadlo je nejčastěji na bázi CO<sub>2</sub>. Nejrozšířenější uplatnění této technologie je ve výrobě izolačních panelů sendvičové konstrukce ve stavebním a automobilovém průmyslu. Pro lití se používají nejčastěji kovové formy, pro menší série formy plastové, popřípadě dřevěné. Jsou obvykle dělené na dvě části s otvorem pro lití a pro odvodu vzduchu. Povrch dutiny pro odlévání musí být hladký, nejlépe leštěný. Formy pro větší objemy musí být velmi pevné, protože vypěňovací tlak může dosahovat až 0,4 MPa. [16]

Formy pro výrobu sendvičových prvků (např. panely s jádrem z PUR pěny) musí umožňovat vkládání a upevnění vnějšího a vnitřního pláště sendviče. [16]



Obr. 15: Lití do forem

Postup: Vnitřní povrch formy se nejprve vyčistí a opatří vrstvou separátoru (separační vosky a emulze, polypropylenové popř. teflonové vrstvy aj.) a forma se uzavře. Pro dosažení kvalitního povrchu a stabilního rozměru výrobku je třeba formu temperovat na teplotu cca 40 °C . Do uzavřené formy se nadávkuje přesně stanovené množství systému PUR. Případně se PUR nejdříve nalije a následně se forma uzavře. [16]

Dávkování musí proběhnout ve velmi krátkém čase, obvykle během několika sekund, aby ještě v průběhu tzv. startovací doby došlo k rovnoměrnému rozliti nadávkovaného systému ve formě. Celková doba vypěnění a vyzrání PUR pěny ve formě je určena reaktivitou použitého systému a pohybuje se obvykle v rozmezí 15-30 minut. U větších sérií je při lití do forem prováděno odsávání exhalací MDI vznikajících při procesu vypěňování. [16]

### 5.2.2 Lití do meziprostoru – volné lití

Tohoto způsobu se používá především u velkoprostorových izolací jako jsou zásobníky, nádrže, energetické kanály a jiné mezistěnové izolace. Nejčastěji se provádí jako lití po vrstvách tak, aby nedošlo k deformacím vnějšího nebo vnitřního pláště nebo k poškození PUR pěny vysokou koncentrací reakčního tepla. U této technologie se používají systémy obvykle s nižší objemovou hustotou cca 30-40 kg/m<sup>3</sup>. Při provádění je nutno respektovat

obdobné zásady jako u lití do forem tj., aby dávka licího systému PUR měla dostatečný čas se rozprostít na předchozí vypěněné vrstvě, která musí mít již ukončený proces tuhnutí. Např. u kruhových zásobníků se vylévání meziprostoru obvykle provádí tak, že do vnějšího pláště se po obvodu vyvrtají malé licí otvory s roztečí 0,5 -1 m (podle tloušťky izolace). Další skupina otvorů se vyvrtá stejným způsobem nad těmito otvory výše o předpokládanou tloušťku licí vrstvy. Tímto postupem se vytvoří otvory po celém obvodu a výšce pláště. Jiným postupem je lití do meziprostoru shora, kdy obvodový plášť je postupně montován na konstrukci nádrže. [16]

Případně se může systém PUR stříkat na nečistot zbavené plochy, nejlépe v několika vrstvách pro dostatečnou izolaci. [16]



Obr. 16: Varianta nástřiku PUR

## **6 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI**

V teoretické části diplomové práce byla probrána problematika polymerů a jejich rozdělení. Byl zde podrobně popsán polyuretan. Následně byla popsána taktěž problematika kovů, s podrobným popisem slitin na bázi hliníku. Byly probrány nejčastěji používané metody třískového obrábění včetně jemných dokončovacích metod. V závěru teoretické části byla probrána konstrukce forem a taktěž následná výroba výsledných výrobků z forem.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 STANOVENÍ CÍLŮ PRO PRAKTICKOU ČÁST

Byly určeny tyto cíle diplomové práce:

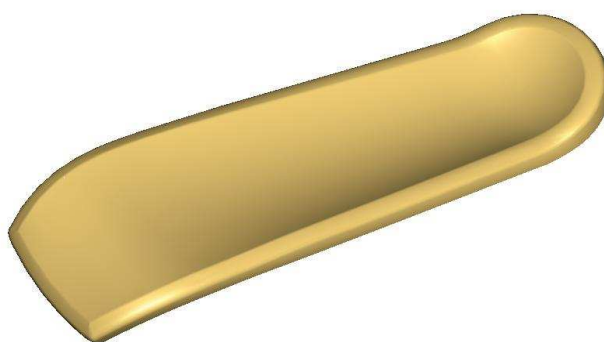
- 1) Vypracovat literární rešerši na dané téma
- 2) Navrhnout konstrukční řešení formy pro daný díl
- 3) Zhotovit výkresovou dokumentaci formy
- 4) Provést vyhodnocení výroby daného dílu

V praktické části diplomové práce byly využity informace a znalosti z oblasti zpracování kovových materiálů, přípravy polotovarů pomocí třískového obrábění ve strojírenském podniku. Veškeré činnosti spojené s konstrukcí, výrobou a odzkoušením formy před předáním objednavateli (dále jen „zákazník“), byly provedeny ve společnosti Pronext, a.s. se sídlem ve Zlíně. Zákazníkem byla společnost MEDIA MIX, s.r.o. se sídlem ve Slavičíně, kde se po předání odzkoušené formy pokračovalo v diplomové práci pro vyhodnocení výroby daného dílu.

Bylo navrženo konstrukční řešení formy pro daný díl, kdy pomocí softwaru Pro/ENGINEER a AutoCAD byla vyhotovena výkresová dokumentace formy. Součástí praktické části je taktéž konkrétní zpracování objednávky na výrobu formy, kdy bylo dojednáno několik detailů zakázky. Zakázka je v diplomové práci prodiskutována od samotného počátku, kdy se objevil požadavek na výrobu formy, přes zpracování této objednávky, zkušební provoz až po předání zákazníkovi.

## 8 SPECIFIKACE VÝROBKU

Diplomová práce je směřována s cílem navrhnout konstrukční řešení formy pro díl z PUR pěny (dále jen „výrobek“). Tímto výrobkem je součást pro gynekologické křeslo koncového klienta, který pro nový model svého produktu požaduje zcela nový výrobek, který je označen GKB 80202.



Obr. 17: Výsledný výrobek – horní pohledová strana



Obr. 18: Výsledný výrobek – spodní upínací strana

## 8.1 Materiál pro výrobek

Jako materiál pro výrobek, tedy pro díl z navržené formy, byla navržena studená polyuretanová pěna. Polyuretan je druh plastu, který se vyrábí chemickou reakcí. Základní suroviny polyuretanu tvoří dvě složky, polyoly a izokyanáty, jejichž smícháním dojde k napěnění. Rozhodující pro vlastnosti výsledného výrobku je právě poměr těchto dvou látek. Rozdílný poměr ovlivňuje především tvrdost výsledného výrobku. Dodavatelem těchto složek je společnost Bayer, kdy vlastnosti výsledného výrobku se dají během životnosti formy měnit nezávisle na konstrukci formy. Teplota obou základních složek v zásobnících je mezi 15 až 30°C. Složky pro výrobu polyuretanu i jeho poměrové míšení si objednává a navrhuje zákazník sám podle aktuálních požadavků.

Jedná se tedy o polyuretanový polotovár, který bude následně potažen koženkou pro snadnou údržbu spojenou s dezinfekcí a následně bude připevněn na základní rám křesla. Jelikož se jedná o jednoduchý výrobek bez nároků na zvýšené teplotní nebo chemické odolnosti, bylo přistoupeno k poměrně jednoduché konstrukci formy s co nejjednodušší obsluhou při výrobě výrobku i následném potažení tohoto výrobku koženkou.



Obr. 19: Výsledný produkt – gynekologické křeslo s vyznačením dílu

## 8.2 Požadavky

Zákazník, společnost MEDIA MIX, s.r.o., dlouhodobě spolupracuje se společností zabývající se výrobou forem, společností Pronext, a.s.. Vzájemná spolupráce je výhodná pro obě strany zvláště s přihlédnutím na znalost strojového vybavení společností a s přihlédnutím na nový výrobek. Hlavním požadavkem zákazníka bylo využít maximálně těchto znalostí a novou formu zkonstruovat tak, aby odpovídala svými rozměry a vahou nosičům forem, které jsou u něj ve společnosti používány. Tyto nosiče slouží k pevnému uchycení formy pro budoucí výrobu polyuretanových dílů. Dalším požadavkem bylo dodržení podmínek pro vhodné temperování formy, bez nutnosti měnit temperační vybavení zákazníka.

## 8.3 Podklady

Pro návrh konstrukce formy bylo nutno zajistit vzor či model požadovaného výrobku. Tato informace byla předána zákazníkem jako datový soubor 3D modelu. Další důležitou informací pro řešení konstrukce formy je násobnost formy, či počet totožných kusů forem požadovaných pro dokončení zakázky. Pro dokončení zakázky bylo stanoveno i časové omezení. Dle objednávky jsou na zhotovení a předání odzkoušené formy 4 týdny.

## 8.4 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0

Při návrhu formy bude využit software Pro/ENGINEER, který je základním konstrukčním řešením systému Product Development System od společnosti PTC. Dokáže navrhnout formu, vlastnosti a funkce výrobků. V systému Pro/ENGINEER mají vysoce kvalitní modely plnou asociativitu, takže změny provedené v kterékoliv fázi vývoje se automaticky promítají do všech výskytů výrobku. To je třeba k dosažení přesného digitálního výrobku.

## 9 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

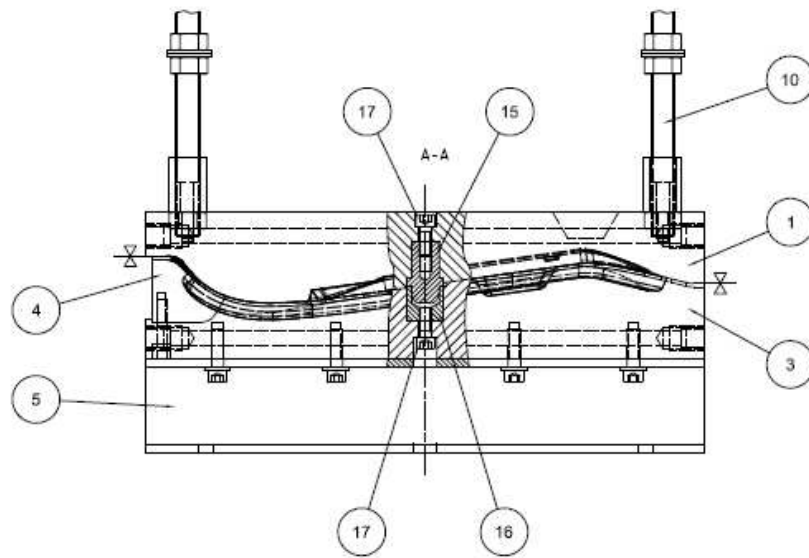
Pro návrh konstrukčního řešení formy je k zakázce přiložen datový soubor 3D modelu výsledného dílu, tedy výrobku. Tento 3D datový soubor je dostačujícím podkladem pro konstrukční řešení formy pro daný výrobek.

### 9.1 Smrštění

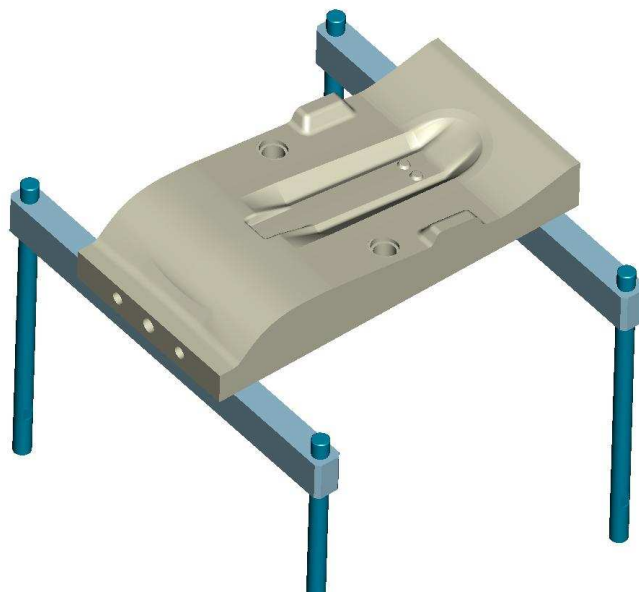
Tvar a rozměry výsledného dílu, tvoří při uzavření formy tvarová dutina. Povrch i rozměry jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy. Při chladnutí polyuretanu dochází v tomto případě ke smrštění, kdy se výrobek při chladnutí ve formě zmenší. Velikost tohoto smrštění ovlivňuje mnoho faktorů. Ze zkušeností bylo dáno, že skutečná velikost smrštění se pohybuje mezi 1,5 – 2 %. Navržené rozměry se tedy upravily podle předpokládaného smrštění, proto bylo rozhodnuto upravit velikost dutiny formy o 1,5 % ve všech osách stejně. V případě velkých nepoměrů mezi jednotlivými velikostmi rozměrů výrobku se pro výpočet smrštění může využít i systém úpravy velikosti dutiny v jednotlivých osách x,y,z o různé stupně smrštění. Návrh dutiny formy tedy odpovídá požadavkům na výslednou velikost výrobku.

### 9.2 Dělicí rovina

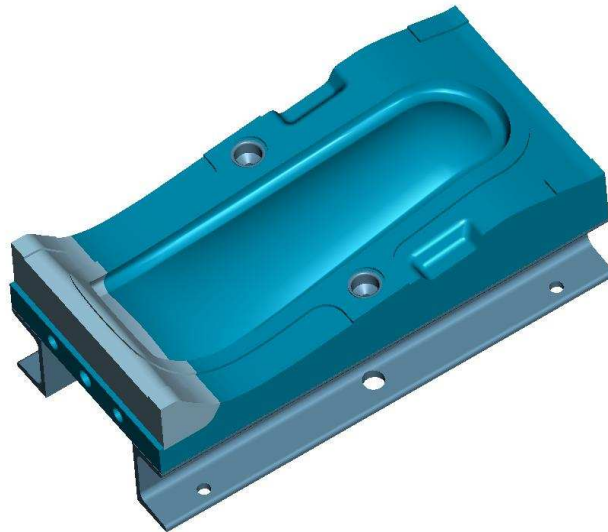
Dělicí rovina byla určena dle způsobu zaformování s ohledem na funkci a vzhled výrobku. Byl respektován směr a velikost potřebných úkosů. Bylo počítáno se systémem lití směsi do formy, kdy tato směs je nalita do otevřené formy, tato forma je následně zavřena a uvnitř zavřené formy dochází k vypěnění.



Obr. 20: Forma s vyznačenou dělicí rovinou



Obr. 21: Horní díl formy včetně příček- dělicí rovina

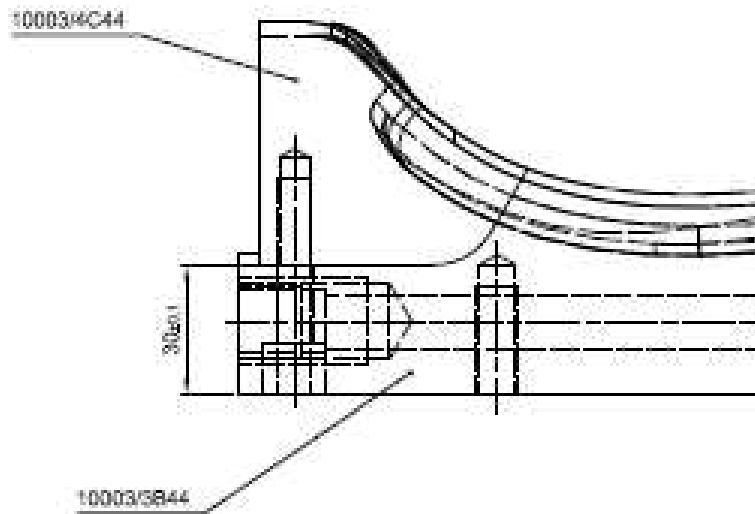


Obr. 22: Spodní díl formy – dělicí rovina

Důležitým počátečním prvkem je zaploňování 3D modelu do formy. Byla navržena dělicí rovina, kdy v tomto případě se jako nejvhodnější jevila horní hrana výrobku. Pro osazení na nosič a vlastní vypěňování bylo navrženo umístit pohledovou stranu polyuretanového výrobku směrem dolů, kdy vlivem narůstání polyuretanu ve formě směrem nahoru je s ohledem na kvalitu plochy nejvýhodnější navrhnout dutinu formy s pohledovou stranou směrem dolů.

Komplikací návrhu dělicí roviny byl negativní úhel špice formy. Tento problém by byl odstraněn, případně by nevznikl, v momentě jiného strojního vybavení výrobní společnosti. Negativní úhel by zvládla obrobit pětiosá frézka, či pětiosé obráběcí centrum. Jelikož společnost takové zařízení nevlastní, musela se při návrhu konstrukčního řešení vyhledat taková varianta, aby se současným strojním vybavením, bylo možno formu pro daný díl vyrobit.





Obr. 23: Detail negativního úhlu formy

Byly navrženy dva způsoby řešení. První poměrně komplikovaný a finančně nákladný návrh by znamenal vyrobit přípravek pro upevnění duralové kostky pod takovým úhlem, aby obráběcí centrum mohlo původně negativní úhel obrobit. Toto řešení ovšem nebylo příliš vhodné, jelikož vyrobený přípravek by musel být velmi přesný, a značně by proto formu prodražil.

Jako nejvhodnější řešení se jeví rozdělání spodní části formy na dvě části viz obrázek 23. Po samostatném opracování obou částí byly tyto části k sobě připevněny a místo dotyku obou částí bylo při dokončovacích operacích přebroušeno a zaleštěno. Toto řešení je velmi dobře vidět na přiložené výkresové dokumentaci i fotodokumentaci. Negativní úhel byl úspěšně vyřešen a nic tedy nebrání pokračování návrhu formy. Návrh dělicí roviny tedy odpovídá potřebám na výsledný výrobek.

### 9.3 Volba vtokového systému

Jelikož se bude směs lít přímo do otevřené formy, bylo nutno s tímto při návrhu formy počítat a forma byla navržena tak, že nalitá směs do formy zůstane v nejnižším bodě formy a forma následně bude uzavřena a bylo počítáno s vypěněním formy z nejnižšího místa dutiny formy. Návrh odpovídá požadavkům.

### 9.4 Koncepce vyhazování, vyjmutí výrobku z formy

Vypěněná forma po uplynutí určeného času bude otevřena a výrobek bude vyjmut manuálně obsluhujícím pracovníkem. Jelikož je ve špici formy negativní úhel, pracovník výrobek vyjímá se zvýšenou opatrností. Jiný vyhazovací systém není použit. Návrh vyjímání výrobku odpovídá požadavkům.

### 9.5 Návrh rámu formy

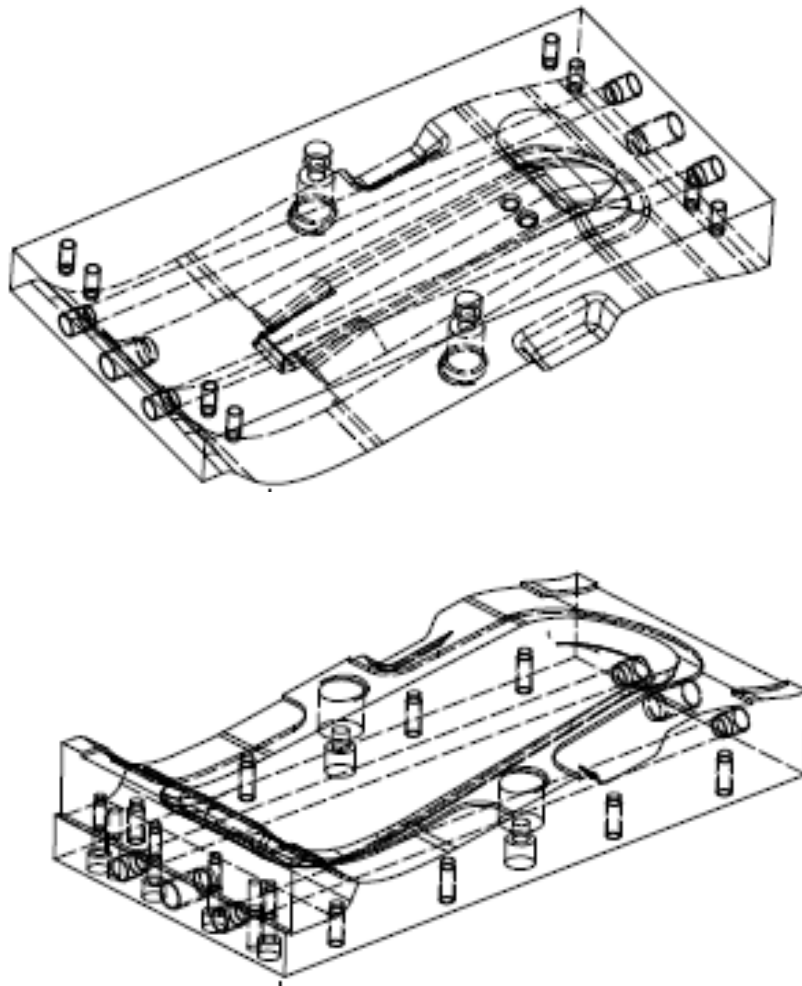
Jelikož je forma poměrně úzká, vyřešilo se upnutí do nosiče formy pomocí příček pro rozšíření. Upnutí do nosiče se navrhlo pro horní i spodní díl formy. Na spodní díl formy se navrhly nosníky tvaru U. Na horní polovinu formy se navrhly příčky pro rozšíření. Rám formy odpovídá požadavkům.

### 9.6 Násobnost formy, počet forem

Jelikož se jedná o malosériovou výrobu, počítá se s výrobou přibližně 1000 kusů polyuretanových dílů ročně, tedy necelých 100 kusů měsíčně, bylo rozhodnuto vyrobit jednu jednonásobnou formu. Při předpokládaném čase na výrobu jednoho výrobku 10 minut, je tedy možno za osmihodinovou směnu vyrobit přibližně 48 výrobků. Forma v tomto případě bude zařazena do výroby přibližně 2 směny v měsíci. Jeden kus jednonásobné formy je tedy dostatečný pro uspokojení předpokládaného ročního objemu.

## 9.7 Temperace

Na základě požadavku byl navržen temperační systém tak, aby vyhovoval vybavení dílny zákazníka. Průměr temperačních kanálů byl navržen a následně i odsouhlasen na  $\varnothing 12$  mm. V případě menší formy by dostačoval i  $\varnothing 10$  mm. Temperační kapalina bude formu vyhřívat na teplotu  $50^{\circ}\text{C}$ . Návrh směru temperačních kanálů byl zvolen dle vybavení zákazníka podélně s tvarem formy. Duralová forma má výbornou tepelnou vodivost, z tohoto důvodu je navržený temperační systém dostatečný a plně odpovídá požadavkům.



Obr. 24: Vyznačené temperační kanály v obou polovinách formy

## 9.8 Odvzdušnění formy

První ze dvou komplikací při návrhu formy bylo navrhnout dostatečné odvzdušnění formy. Již při návrhu konstrukčního řešení bylo třeba naddimenzovat odvod případného nahromaděného uzavřeného vzduchu z formy. Při správně zvolené poloze formy, kdy dochází k vypěnění do radiusu se předpokládá hromadění vzduchu v nejvyšším místě formy. U forem na polyuretanové výrobky se předpokládá odvod vzduchu netěsnostmi v dělicí rovině, vůlemi mezi pohyblivými částmi, případně se pro odvod vzduchu z formy vytvoří odvzdušňovací kanály. Zůstatek uzavřeného vzduchu by měl na výrobek velký vliv. Nedopěněním polyuretanu by na výrobku vznikly deformace, zúžení či prohlubně, a výrobek by se tak stal nepoužitelným tedy zmetkem. Již při návrhu formy bylo počítáno s plochou, v nejvyšším místě formy, na které by se při hromadění vzduchu ve formě vyhloubily případně vyvrtaly odvzdušňovací kanály. Tyto se ovšem vyhloubí až v případě skutečného hromadění vzduchu ve formě. Toto bude zjištěno a případně provedeno při zkušebním provozu. Navržené odvzdušnění plně odpovídá požadavkům zákazníka.

## 10 ŘEŠENÍ

Pro zaformování 3D modelu, obdrženém od zákazníka, se využilo programové vybavení společnosti Pronext, a.s. Společnost sice nabízí možnost vlastního zhotovení 3D modelu modulací, ale pro zadaný díl z PUR pěny byl 3D model dodán zákazníkem.

Software Pro/ENGINEER má mnoho přídatných modulů, jejichž pomocí se usnadní samotné zaformování 3D modelu do formy. Pomocí modulu Mul design se na 3D model jakoby přiložil duralový polotovar ve tvaru kvádrů, určila se dělicí rovina a program zhotovil ideální návrh formy. Při návrhu formy se spodní díl formy rozdělil na dvě části z důvodu negativního úhlu ve špici dutiny. S návrhem formy se dále pracovalo pro doplnění mnoha detailů formy. Při návrhu formy se neopomenula žádná součást formy. Bylo důležité vypořádat se s upínacími otvory polotovaru formy pro upevnění do obráběcího centra, navrhnout vhodné a přesné odvodušnění. Dále navádění pro zavírání formy, případné zámky formy, temperace formy a jiné technologické prvky. Ze zkušeností se určily přesahy formy pro vysokou tuhost formy.

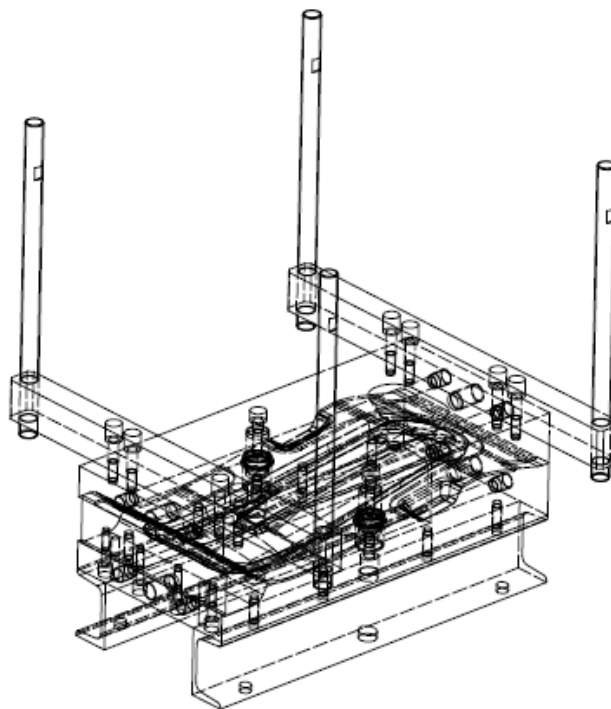
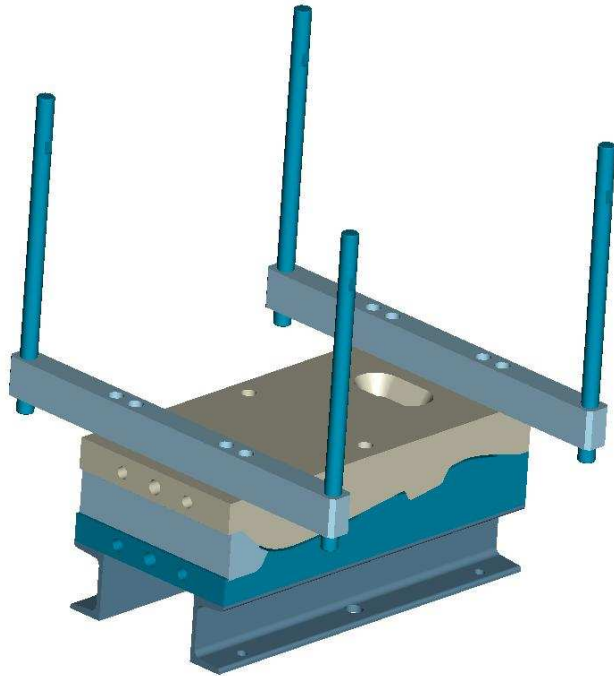
Při návrhu konstrukčního řešení formy se navrhl systém upevnění formy do nosiče. Jelikož je forma poměrně úzká, vyřešilo se upnutí do nosiče formy pomocí příček pro rozšíření. Upnutí do nosiče se navrhlo pro horní i spodní díl formy. Na spodní díl formy se navrhly nosníky tvaru U z důvodu pevnosti, a taktéž s přihlédnutím na izolaci formy ze spodní strany. Nebylo by vhodné, aby se forma dotýkala celou plochu rámu nosiče, nastaly by zbytečné ztráty tepla, rám by odebíral potřebné teplo z formy. Na horní díl formy se navrhly příčky pro rozšíření. Současně proběhla úprava návrhu osy otevírání pro otvírač, který je součástí nosiče formy. Do návrhu se dále zapracovala příprava pro případné odvodušňovací otvory v nejvyšším bodě dutiny formy.

Po zaformování 3D modelu byla následně vyhotovena výkresová dokumentace pro dílnu pomocí programu AutoCAD. Výkresová dokumentace byla provedena podle zvyklostí na dílně, kdy pro zkušené pracovníky výrobní strojírenské společnosti je výhodnější použít „zjednodušenou“ verzi výkresů, bez zbytečných detailů. Velký důraz je kladen především

na přehlednost výkresů a jejich jednoduchou čtivost všemi pracovníky společnosti. Navrženou formu si dále převzal programátor společnosti pro přípravu programu pro CNC obráběcí centrum. Programátor připravil program pro CNC obráběcí centrum a taktéž připravil technologický postup výroby. Programátor pracoval taktéž s programem Pro/ENGINEER, ovšem s modulem pro obrábění. Vytvořený program byl upraven pro použití v konkrétním obráběcím centru, určil se počátek souřadného systému x,y,z. Výroba formy byla plně připravena.

## 11 KONEČNÝ NÁVRH FORMY

Návrh formy byl proveden s ohledem na praktické zkušenosti a ekonomiku výroby.



Obr. 25: Kompletní uzavřená forma včetně příček a nosníků formy

Dle zkušeností je šířka materiálu formy v nejužším místě 30 mm, na bocích však minimálně 50 mm pro dostatečnou tuhost formy. Byla navržena vhodná temperace formy, možnosti připevnění a upnutí formy do nosiče. Pro navádění dovírání byly navrženy a použity kalené čepy a kalené pouzdra. Veškeré úpravy byly řešeny operativně se zákazníkem, tyto od něj byly schváleny a mohly být tedy zhotoveny na formě.

### **11.1 Výkresová dokumentace**

Výkresová dokumentace byla zhotovena v programu AutoCAD. Kompletní výkresová dokumentace je uložena na přiloženém CD. Sestava formy je přiložena jako Příloha číslo III diplomové práce. Na přiloženém CD je samostatně vyhotoveno 10 položek formy, které se vyhotovily samostatně. Tyto nejsou dány normou, případně v přímém prodeji.



## 12 VÝROBA FORMY

Pro samotnou výrobu formy jsou důležité dvě skupiny vybavení – softwarové a strojní.

### 12.1 Softwarové vybavení

- Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 – zaformování, programování pro CNC obráběcí centrum
- AutoCAD 2006 – výkresová dokumentace
- CAD/CAE/CAM Software pro řídicí systém SELCA – pro CNC obráběcí centrum
- 3D digitalizace, modelování – případná digitalizace 3D modelu

### 12.2 Strojní vybavení

- NC horizontální a vertikální frézky - TOS Varnsdorf W100A, TOS Kuřim – zúhlování polotovaru, upevnění, temperační kanály
- CNC vertikální centrum s řídicím systémem Selca- MCFV 100 a MCFV 125 výrobce ZPS Zlín – tvorba obrobků vysoké přesnosti
- soustruhy
- vrtačky
- ruční dokončování - leštění, krepování, pískování

### 12.3 Materiál pro zhotovení formy

Základním požadavkem na materiál pro výrobu formy patří minimální deformace pod tlakem, dobrá tvarová stálost a dobrá obrobiteľnosť. Pro zhotovení formy byl navržen vysoce kvalitní litý dural od dodavatele společnosti Gleich aluminium s.r.o. označení CERTAL SPC AlZn5Mg3Cu – EN AW 7022. Tento materiál je volen i z důvodu dobrých zkušeností z minulosti a jeho příznivé ceny. Dural se volí taktéž z důvodu ideální tepelné vodivosti a dlouhé životnosti. Forma je navržena s dostatečnou rezervou pro případné

úpravy nebo například změnu vlastností polyuretanového výrobku např. změnu poměru složek a tím i změnu smrštění. Materiál pro výrobu formy plně odpovídá požadavku zákazníka.



Obr. 26: Materiál k výrobě formy včetně výkresové dokumentace

## 12.4 Postup výroby

Přesný postup výroby formy je dán dokumentem zvaným technologický postup výroby. Jsou zde popsány jednotlivé operace výroby a jejich návaznosti. Po vyhotovení technické a výkresové dokumentace, a vypracování technologického postupu výroby, se začalo se samotnou výrobou formy pro daný výrobek.

Základní postup výroby:

- 1) frézka vertikální – základní rozměry, zúhlování
- 2) frézka horizontální – chladicí otvory, temperace, upevňovací místa, úchyty
- 3) CNC obráběcí centrum – obrobení dutiny formy, příprava pro odvodušňovací kanály
- 4) kompletace – ruční slícování dělicí roviny, broušení, osazení na nosič

Prvním úkonem bylo základní opracování objednaných duralových bloků na základní rozměry. Tyto kostky se zúhlovaly pro další úkony. Tento úkon byl proveden na frézce.



Obr. 27: Vertikální frézka –zúhlování bloků

Po úpravě polotovarů se kostky přesunuly na horizontální frézku, kde došlo k vyvrtání chladicích otvorů, zhotovení přichytek a navrtání dalších otvorů dle technologického postupu výroby. Takto předpřipravené kostky se již přesunuly do CNC obráběcího centra.



Společnost vlastní dvě obráběcí centra. Na výrobu formy bylo použito centrum od výrobce ZPS Zlín.

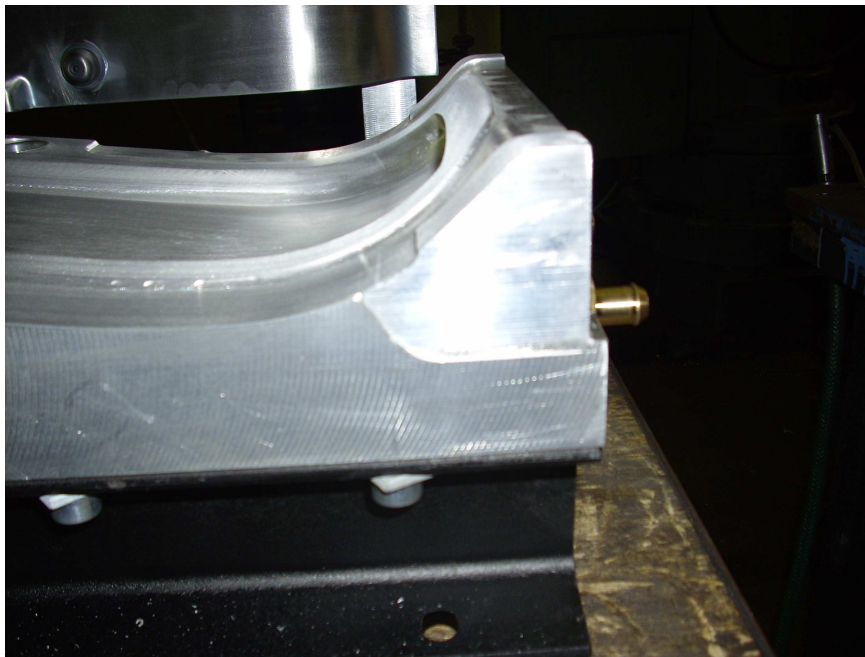


Obr. 28: Obráběcí centrum

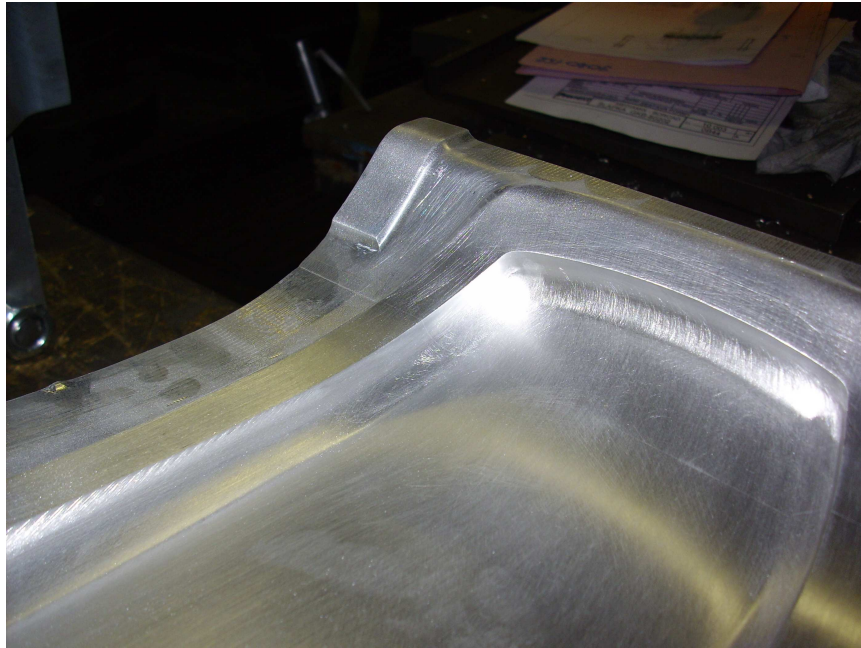


Obr. 29: Část spodního dílu formy v obráběcím centru

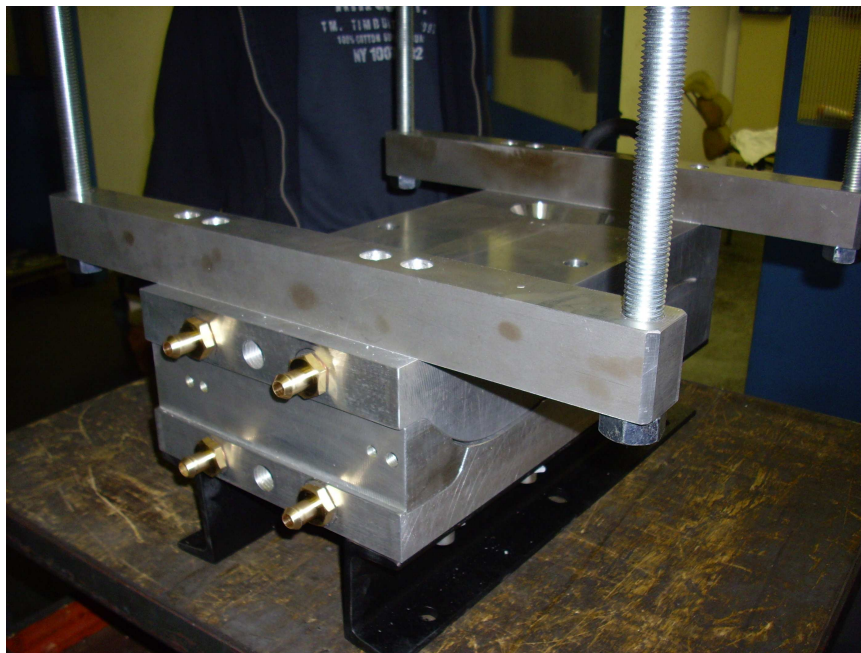
Po opracování kostek na CNC obráběcím centru se již téměř hotové poloviny formy přesunuly na kompletaci. Při kompletaci pracovník ručně slícoval dělicí rovinu, zabrousil ostré hrany a osadil formu na nosič. Tento pracovník, zvaný formíř, zahladil stopy po nástrojích, dosekal detaily, dobrousil do potřebných ostrých hran a dosadil obě poloviny formy tzv. na barvu, tedy na celoobvodový dotek formy při zavření. Případná netěsnost v dotekové ploše by zapříčinila vytékání polyuretanu z formy a tím tedy defekty výrobku.



Obr. 30: Kompletace spodní poloviny formy



Obr. 31: Zaleštění formy (negativní úhel) při kompletaci formy



Obr. 32: Kompletace formy – příprava temperačních výstupů

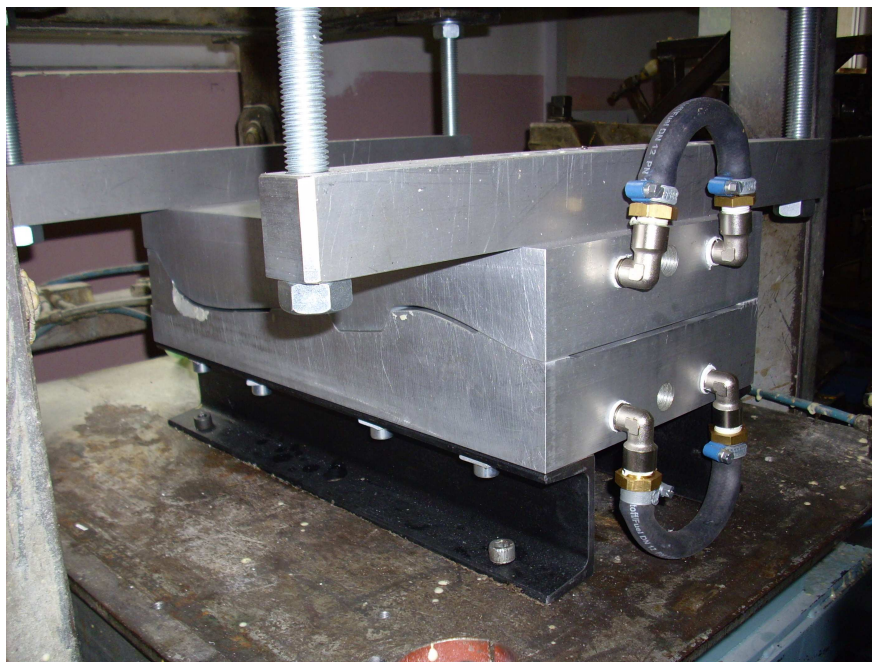
Na obě poloviny formy byly postupně připevněny všechny součásti formy, středící čepy, pouzdra, příčníky, výstupy temperace.





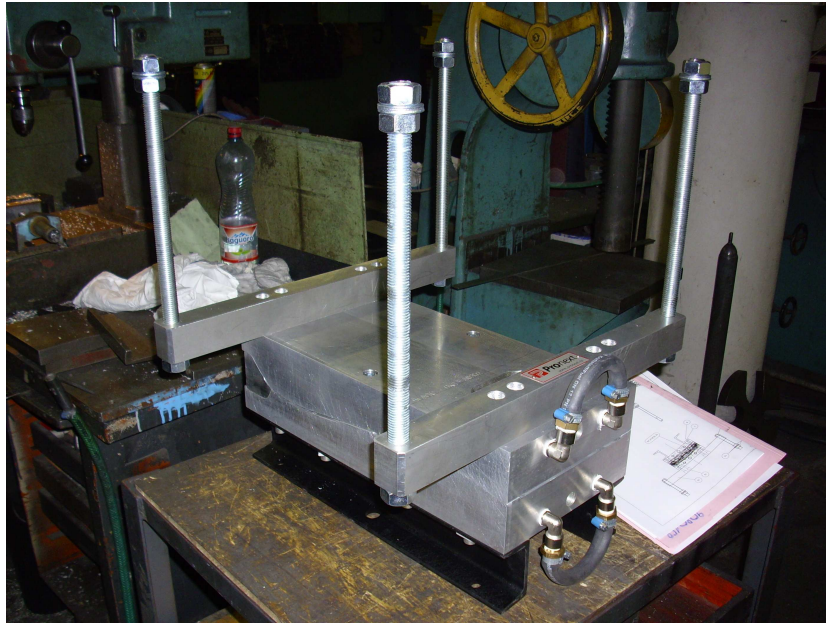
Obr. 33: Forma při kompletaci

Pokračování kompletace formy – temperační okruh.

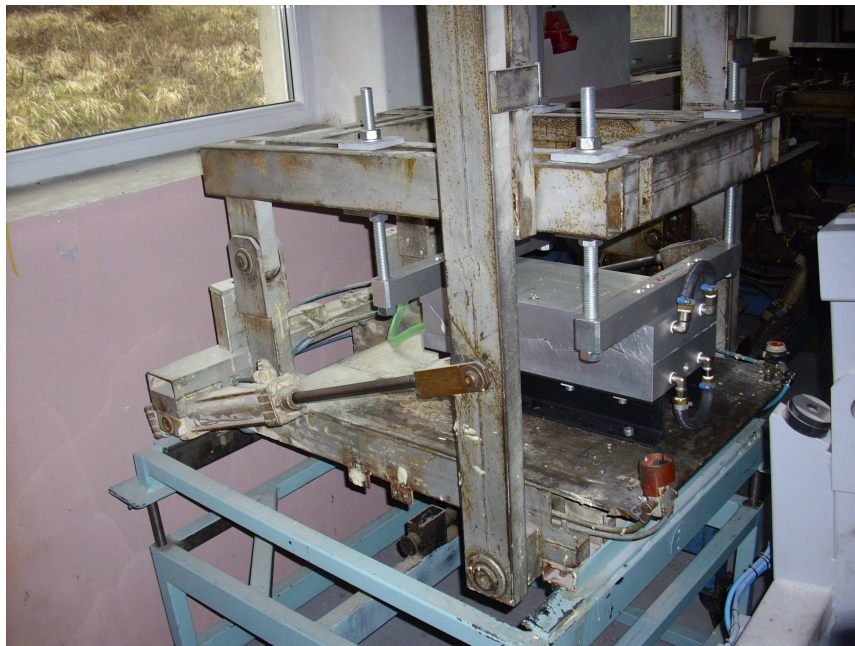


Obr. 34: Temperační okruh

Forma byla kompletně složena formířem včetně vodících čepů, přípravy pro temperaci, upevňovacích příčniců a nosníků.



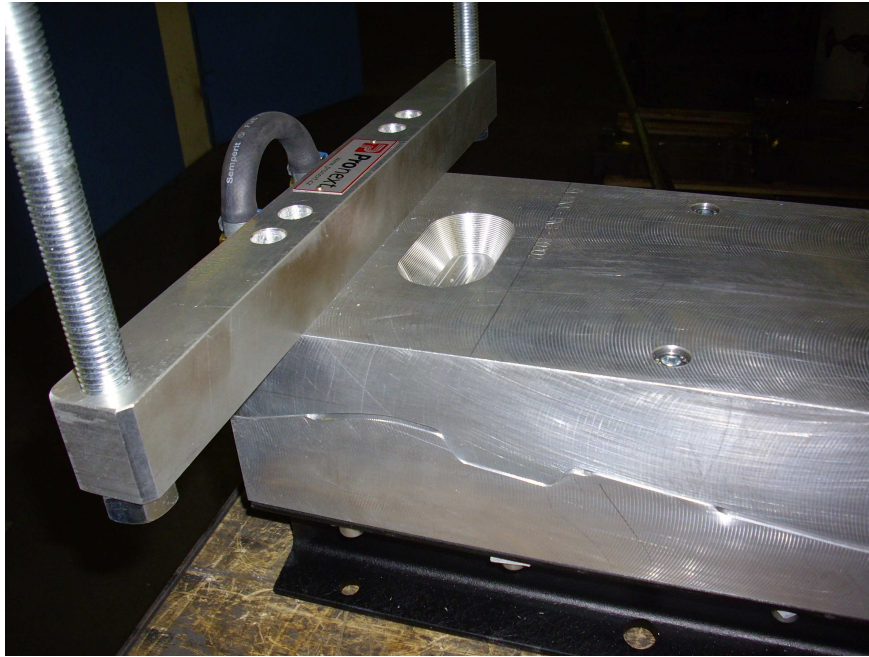
Obr. 35: Složená forma



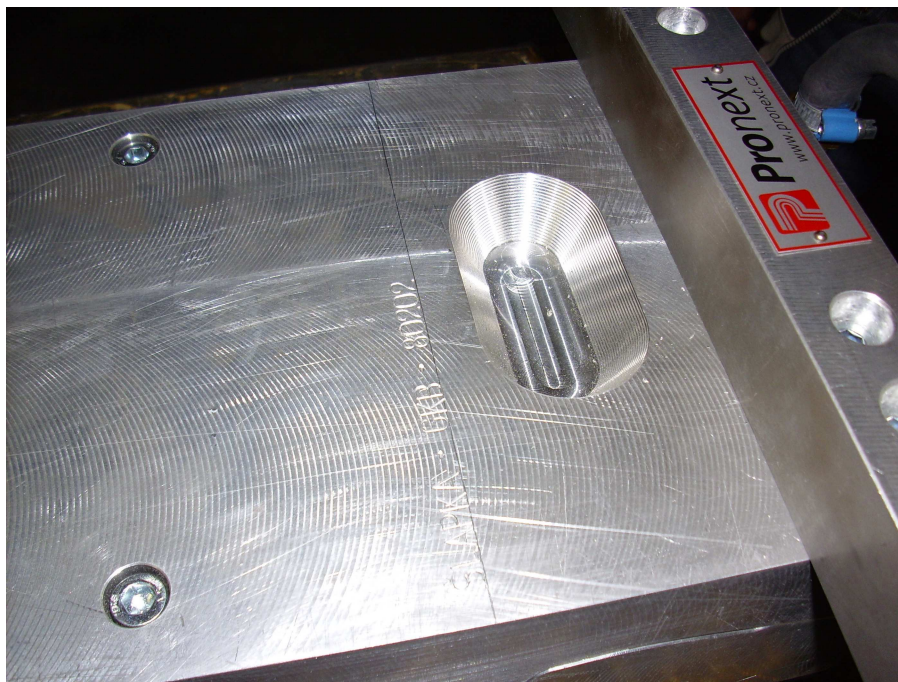
Obr. 36: Složená forma připevněná na nosiči forem

Forma byla připevněna na nosič a byla nachystána pro provedení zkušebních polyuretanových dílů při zkušebním provozu. V případě nedostatečného odvzdušňování formy bylo připraveno řešení pro zhotovení odvzdušňovacích kanálů.





Obr. 37: Příprava pro odvzdušnění formy



Obr. 38: Příprava odvzdušnění formy - detail

### 13 ZKUŠEBNÍ PROVOZ

Před samotným předáním hotové a složené formy zákazníkem došlo v dílně výrobní společnosti ke zkušebnímu provozu této formy pro zjištění netěsností, chyb případně nedostatečného odvzdušnění formy. Veškeré nedostatky se tak mohly odstranit na místě a zákazník dostal plně funkční a odzkoušenou formu.

Při zkušebním provozu byla využita tzv. kelímková metoda, tedy polyuretan byl smíchán přímo na dílně v kelímcích. Toto je ve společnosti Pronext, a.s. nejčastěji využívaná metoda, jelikož by bylo značně časově náročné a neekonomické s každou vyrobenou formou dojíždět do společnosti zákazníka a formu u něj zkoušet přímo na výrobní lince.

Při zkušebním provozu byla zjištěna mírná netěsnost způsobená nedokonalým opracováním dotykové hrany, tato netěsnost byla následně operativně upravena. Při další zkoušce již proběhl celý proces vypěnění dle požadavků.

Při zkušebním provozu bylo zjištěno, že navržené temperování i odvzdušnění formy je plně dostačující. Výsledný díl z formy je velmi kvalitní, bez deformací, prohlubní či nedopěněných míst. Navržená forma, její konstrukční řešení včetně upevnění do nosiče, plně odpovídá zadaným požadavkům. Výsledný díl plně odpovídá zadání.

## 14 VYHODNOCENÍ VÝROBY DANÉHO DÍLU

Po úspěšném absolvování zkušebního provozu byla forma předána zákazníkovi.

### 14.1 Vysokotlaký směšovací stroj

Ve výrobní společnosti MEDIA MIX, s.r.o. je v provozu několik směšovacích strojů. Pro výrobu daného výrobku bude použit vysokotlaký směšovací stroj Krauss Maffei RimStar – E 40/16. Jedná se o kvalitní vysokotlaký stroj pro dávku až 56kg/min. Jedná se o systém s vysokotlakými zásobníky na 500 kg systémů (250 kg polyol + 250 kg izokianát).

Technologie byla zvolena dle velikosti výrobku, počtu požadovaných kusů a podle možnosti vhodně zapojit tuto formu mezi jiné formy, ovšem se stejným typem materiálu. Jak jde vidět na obrázku 39, u jednoho stroje je vždy několik různých forem. Tyto mohou být různé velikosti, ovšem musí je spojovat stejný typ materiálu. Hmotnostní množství směsi a procentuální poměr směsi lze regulovat pomocí zubového čerpadla a pomocí směšovací hlavy, které jsou programovatelné.



Obr. 39: Vysokotlaký směšovací stroj

U společnosti jsou používány pneumatické nosiče forem technologie Krauss Maffei RimStar.



Obr. 40: Pneumatický nosič formy

Na zvoleném stroji se vyrábí i jiné výrobky ze „studené“ pěny např. sezení pro dopravní prostředky, sluneční clony, tvarovky sedáků, opěr, hlavových loketních opěr, určených k dalšímu zpracování např. čalounění. Součástí dílny výrobní společnosti jsou i jiné stroje různých velikostí a systémů, aby bylo možno vyrábět co nejširší škálu velikostí výrobků od několika gramů po kilogramy, včetně stroje schopného přidávat k základním složkám například i další plniva.

## 14.2 Časová náročnost

Obsluha směšovacího stroje patří spíše mezi méně náročné činnosti. Pracovník obsluhující směšovací stroj musí být velmi dobře proškolen, neboť zameškání povinností by



znamenal prodražení výroby, případně i vyšší ekonomické ztráty v podobě poškození formy či stroje. Z důvodu teplotních změn a pnutí se pracuje v nepřetržitém provozu. Každá forma zapojená do výroby je napojena na temperační médium a je u ní udržována konstantní teplota.

Každý vyrobený díl z formy má svou časovou náročnost. Obsluha stroje nejdříve formu očistí od zbytků po předchozím použití formy. Dále tuto formu vystříká separátorem (prostředek proti přilepení výrobku k formě např. na olejové bázi). Formu osuší vzduchem a následně stříkne (vylije) do formy naprogramované množství směsi.



Obr. 41: Stříkání separátoru na stěny formy

Po nalití přesné hmotnostní dávky do formy se forma hydraulicky uzavře, a po 15 sekundách startovacího času, kdy se čeká na reakci, nastane 60 sekund síťovacího času tzv. buňkování.



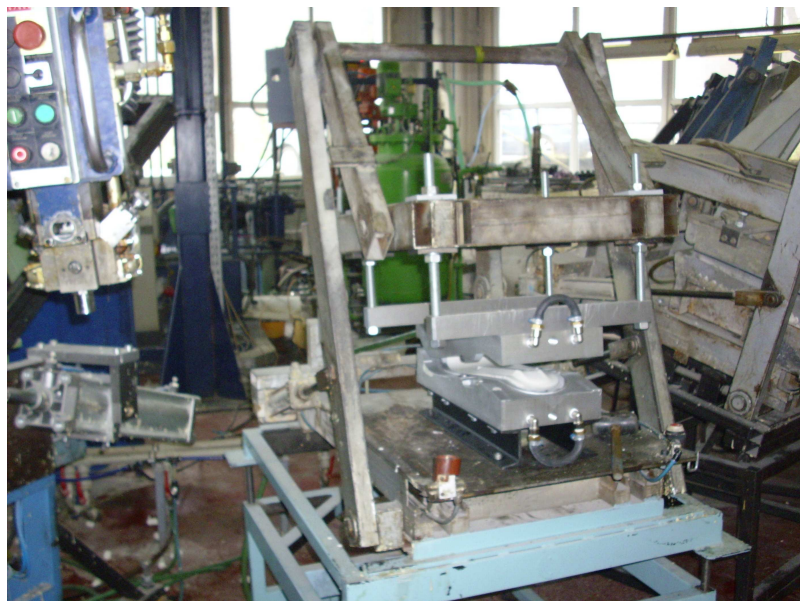
Obr. 42: Nalévání dávky směsi do formy



Obr. 43: Směs nalitá do spodní části formy

Odformovací čas je v našem případě 5 minut. Obsluha následně formu hydraulicky otevře, vyjme hotový díl.





Obr. 44: Otevírání formy – odformování

Na rozdíl od vstřikování plastů se v našem případě nevyužívá žádný mechanický vyhazovací systém pro vyjmutí dílu z formy. Výrobek se vyjímá ručně, s vyšší opatrností, z důvodu negativního úhlu ve špici formy.



Obr. 45: Vyjímání PUR dílu z formy

Po vyjmutí dílu z formy obsluha tento díl zkontroluje zda neobsahuje výrobní vady. Obsluha odstraní přetoky či otřepy. Obsluha musí při práci používat předepsané ochranné

pomůcky. Následně se výrobek s vysokou opatrností uloží do připravených zásobníků, z důvodu možného oležení, omačkání rožků apod. Následně se pokračuje opět od počátku cyklu.



## 15 SHRNU TÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Navržená forma a její konstrukční řešení byla plně odpovídající zadání. Forma plní požadavky na temperaci, kvalitu plochy, velikost smrštění a odvzdušnění. Navržená příprava pro odvzdušnění dutiny formy nebyla dodatečně využita. Výrobky z této formy jsou vysoce kvalitní a přesné. Forma má minimální zmetkovost a nároky na následné opracování dílu. Daný díl vyrobený formou splňuje požadavky a tudíž je i navržená forma dle požadavků zákazníka.

Navržená forma plně vyhovuje objednavce.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout konstrukční řešení formy pro daný díl. Tento cíl byl plně uskutečněn. Objednavatel společnost MEDIA MIX, s.r.o. získal plně funkční a trvanlivou formu pro polyuretanový výrobek, který je součástí výsledného produktu.

V teoretické části je popsána problematika polymerů, jejich rozdělení s podrobným popsáním polyuretanu. Je popsána problematika kovů, se zaměřením na slitiny hliníku a jejich opracování metodou třískového obrábění. Taktéž je popsána problematika forem, jejich konstrukce a následná výroba výrobků z forem.

V praktické části diplomové práce jsou tyto teoretické informace využity v praxi. Jsou popsány požadavky jak na formu, tak i na výsledný výrobek. Bylo zde prodiskutováno strojní i softwarové vybavení společností a byla vypracována výkresová dokumentace. Následně byla tato navržená forma vyrobena.

Byly popsány taktéž podmínky výroby u zákazníka včetně závěrečného vyhodnocení výroby daného dílu. Cíl diplomové práce byl plně naplněn.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Přednášky z předmětů Strojírenská technologie
- [2] LENFELD, P. Technologie zpracování plastů. Technická univerzita Liberec, [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp)
- [3] Polyuretanová budoucnost [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: [http://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/polyuretanova-budoucnost\\_19944.html](http://www.dumabyt.cz/rubriky/dum/materialy-a-technologie/polyuretanova-budoucnost_19944.html)
- [4] Laboratorní práce. Identifikace kovů. VŠCHT v Praze, [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_identifikace\\_kovu/index.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_identifikace_kovu/index.htm)
- [5] Vizuální podklady [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: <http://www.valsteel.cz/dural.htm>
- [6] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. Výrobní stroje a zařízení: Gumárenská a plastikářské stroje II. Editační středisko VUT Brno, 1990. ISBN 80-214-0213.
- [7] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef. Formy a přípravky. SNTL – Nakladatelství technické, Praha, 1985.
- [8] Přednášky z předmětu Konstrukce forem
- [9] BOBČÍK, Ladislav a kolektiv. Formy pro zpracování plastů: I.díl –Vstřikování termoplastů. Uniplast Brno, v říjnu 1999 jako 2. upravené vydání.
- [10] Vizuální podklady [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: <http://www.zod-brum.cz/vyrobkytpp.html>
- [11] B. Raphael and I.F.C. Smith. Fundamentals of computer aided engineering. John Wiley, 2003. ISBN 978-0-471-48715-9
- [12] Fuh, J. Y. H., et al. Computer-aided mold design and manufacture. New York: Mar-cel Dekker, 2004. ISBN 0-8247-5314-3
- [13] Vizuální podklady [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: <http://www.gleich.de/cz/>
- [14] AB Sandvik Coromant, technická redakce. Technologie obrábění Technická příručka. Elanders Sweden 2010
- [15] Vizuální podklady [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: <http://www.fase-sro.cz/index.php?id=hardfoam>

- [16] Vizuální podklady [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: <http://pur.asociace.sweb.cz/lititp.htm>
- [17] Sandvik Coromant, technická redakce. Kniha pro praktiky Příručka obrábění.  
Scientia, s.r.o. 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6
- [18] Vizuální podklady [online] [cit. 2010-08-22]  
Dostupný z www: <http://www.media-mix.cz/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

%	Procento
°C	Stupeň Celsia
3D	Prostor
a.s.	Akciová společnost
ABS	ABS plast
aj.	A jiné
Al	Hliník
atd.	A tak dále
Ca	Vápník
cm	Centimetr
CNC	Číslicově řízené centrum
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
Cr	Chrom
Cu	Měď
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
EP	Epoxidová pryskyřice
g	Gram
GPa	Gigapaskal
J	Joule
K	Kelvín
kg	Kilogram
m	Metr
MDI	Typ izokyanátu

---

Mg	Hořčík
mm	Milimetr
Mn	Mangan
Mo	Molybden
MPa	Megapaskal
např.	Například
Ni	Nikl
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylén
PF	Fenolformaldehyd
PI	Polyimid
PMMA	Polymethylmetakrylát
POM	Polyoximetylén
PP	Polypropylen
PPO	Polyfenilénoxid
PPS	Polyfenylénsulfid
PS	Polystyren
PSU	Polysulfon
PTFE	Polytetrafluoretylén
PU	Polyuretan
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
Rm	Pevnost
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným

---

Si	Křemík
TDI	Typ izokyanátu
$T_f$	Teplota viskózního toku
$T_g$	Teplota zesklnění
Ti	Titan
$T_m$	Teplota tání
UF	Močovinoformaldehyd
UP	Polyesterová pryskyřice
UV	Ultrafialové záření
V	Vanad
W	Watt
W	Wolfram
Zn	Zinek

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Praktické příklady termoplastů, reaktoplastů a elastomerů

Obr. 2: Aplikace plastů podle druhu

Obr. 3: Rozdělení podle aplikace

Obr. 4: Struktura polymerů

Obr. 5: Výrobek ze studené pěny

Obr. 6: Výrobky ze studené nehořlavé pěny

Obr. 7: Výrobek z polotuhé pěny

Obr. 8: Výrobek z energií absorbující pěny

Obr. 9: Po smíchání dvou tekutých složek – polyolu a izokyanátu - dojde k výraznému napěnění

Obr. 10: Bloky z hliníkové slitiny

Obr. 11: Frézování

Obr. 12: Soustružení

Obr. 13: Obráběcí centrum

Obr. 14: Vstřikovací cyklus

Obr. 15: Lití do forem

Obr. 16: Varianta nástřiku PUR

Obr. 17: Výsledný výrobek – horní pohledová strana

Obr. 18: Výsledný výrobek – spodní upínací strana

Obr. 19: Výsledný produkt – gynekologické křeslo s vyznačením dílu

Obr. 20: Forma s vyznačenou dělicí rovinou

Obr. 21: Horní díl formy včetně příček- dělicí rovina

Obr. 22: Spodní díl formy – dělicí rovina

Obr. 23: Detail negativního úhlu formy



- Obr. 24: Vyznačené temperační kanály v obou polovinách formy
- Obr. 25: Kompletní uzavřená forma včetně příček a nosníků formy
- Obr. 26: Materiál k výrobě formy včetně výkresové dokumentace
- Obr. 27: Vertikální frézka –zúhlování bloků
- Obr. 28: Obráběcí centrum
- Obr. 29: Část spodního dílu formy v obráběcím centru
- Obr. 30: Kompletace spodní poloviny formy
- Obr. 31: Zaleštění formy (negativní úhel) při kompletaci formy
- Obr. 32: Kompletace formy – příprava temperačních výstupů
- Obr. 33: Forma při kompletaci
- Obr. 34: Temperační okruh
- Obr. 35: Složená forma
- Obr. 36: Složená forma připevněná na nosiči forem
- Obr. 37: Příprava pro odvzdušnění formy
- Obr. 38: Příprava odvzdušnění formy - detail
- Obr. 39: Vysokotlaký směšovací stroj
- Obr. 40: Pneumatický nosič formy
- Obr. 41: Stříkání separátoru na stěny formy
- Obr. 42: Nalévání dávky směsi do formy
- Obr. 43: Směs nalitá do spodní části formy
- Obr. 44: Otevírání formy – odformování
- Obr. 45: Vyjímání PUR dílu z formy

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti polyuretanu

## SEZNAM PŘÍLOH

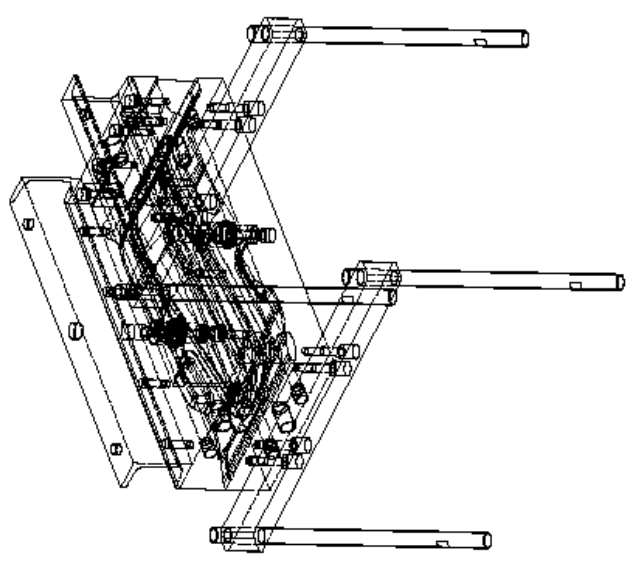
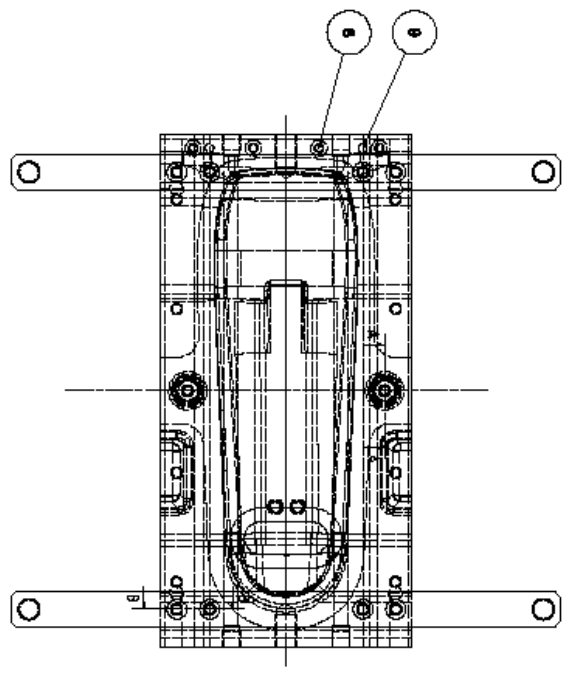
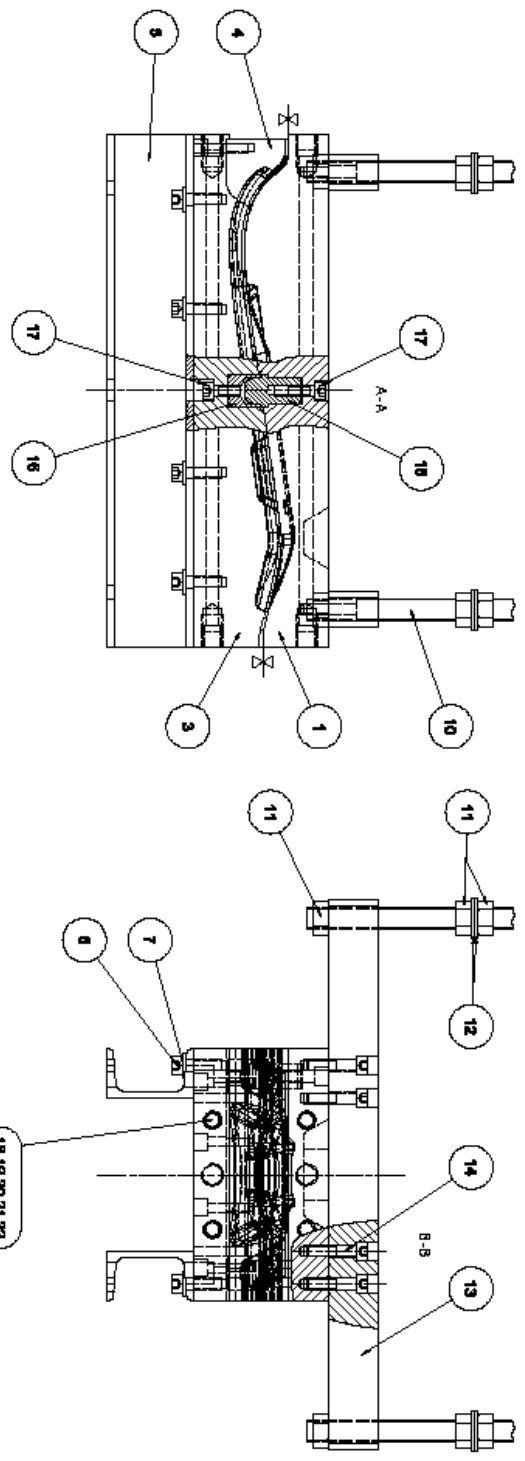
P I 1 x přiloženo CD

P II 1 x výkresová dokumentace na přiloženém CD

P III 1 x sestava formy

## **PŘÍLOHA P III:**

Sestava formy – výkresová dokumentace



№	ИЗМЕНЕНИЯ	№	ИЗМЕНЕНИЯ	№	ИЗМЕНЕНИЯ
1	ИЗМЕНЕНИЯ	1	ИЗМЕНЕНИЯ	1	ИЗМЕНЕНИЯ
2	ИЗМЕНЕНИЯ	2	ИЗМЕНЕНИЯ	2	ИЗМЕНЕНИЯ
3	ИЗМЕНЕНИЯ	3	ИЗМЕНЕНИЯ	3	ИЗМЕНЕНИЯ
4	ИЗМЕНЕНИЯ	4	ИЗМЕНЕНИЯ	4	ИЗМЕНЕНИЯ
5	ИЗМЕНЕНИЯ	5	ИЗМЕНЕНИЯ	5	ИЗМЕНЕНИЯ
6	ИЗМЕНЕНИЯ	6	ИЗМЕНЕНИЯ	6	ИЗМЕНЕНИЯ
7	ИЗМЕНЕНИЯ	7	ИЗМЕНЕНИЯ	7	ИЗМЕНЕНИЯ
8	ИЗМЕНЕНИЯ	8	ИЗМЕНЕНИЯ	8	ИЗМЕНЕНИЯ
9	ИЗМЕНЕНИЯ	9	ИЗМЕНЕНИЯ	9	ИЗМЕНЕНИЯ
10	ИЗМЕНЕНИЯ	10	ИЗМЕНЕНИЯ	10	ИЗМЕНЕНИЯ
11	ИЗМЕНЕНИЯ	11	ИЗМЕНЕНИЯ	11	ИЗМЕНЕНИЯ
12	ИЗМЕНЕНИЯ	12	ИЗМЕНЕНИЯ	12	ИЗМЕНЕНИЯ
13	ИЗМЕНЕНИЯ	13	ИЗМЕНЕНИЯ	13	ИЗМЕНЕНИЯ
14	ИЗМЕНЕНИЯ	14	ИЗМЕНЕНИЯ	14	ИЗМЕНЕНИЯ
15	ИЗМЕНЕНИЯ	15	ИЗМЕНЕНИЯ	15	ИЗМЕНЕНИЯ
16	ИЗМЕНЕНИЯ	16	ИЗМЕНЕНИЯ	16	ИЗМЕНЕНИЯ
17	ИЗМЕНЕНИЯ	17	ИЗМЕНЕНИЯ	17	ИЗМЕНЕНИЯ
18	ИЗМЕНЕНИЯ	18	ИЗМЕНЕНИЯ	18	ИЗМЕНЕНИЯ

Проект: **Медиа-Борд** № **10.003**  
 Проект: **БЛПКА ОКБ-80002** № **0844**