

# **Nové technologie a materiály výroby modelů a forem**

Petra Tichá

---

Bakalářská práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petra TICHÁ**  
Osobní číslo: **T080142**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Studie - Nové technologie a materiály výroby modelů a forem**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Přehled konstrukčních materiálů v současné době používaných na výrobu modelů a forem
3. Přehled výrobních technologií používaných na výrobu modelů a forem
4. Nové konstrukční materiály k použití na výrobu modelů a forem
5. Přehled nových technologií používaných pro výrobu modelů a forem

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. KOCMAN, Karel. Speciální technologie. Obrábění. 1. vydání. Brno : Akademické nakladatelství CEMR, s.r.o. Brno, leden 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8.

2. PTÁČEK, L. a kol., Nauka o materiálu I a II, Akademické nakladatelství CERM,s.r.o, Brno, 2001, ISBN: 80-7204-193-2

DVOŘÁK, Z., elektronické podpory, <http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech>  
Literatura dle průzkumu.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



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



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: ..... *Tieha' Petra* .....

Obor: ..... *TZ* .....

## 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 *24.5.2011* .....

..... *Tieha'* .....

<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 nevýdělečně 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 vzdělávacímu 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 užit 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**

Cílem této práce je zmapovat škálu používaných materiálů a technologií na výrobu modelů a forem. Připomenou známé, běžně používané postupy a získat nové poznatky a přehled o vývoji, který současný rozvoj ve strojírenství nabízí.

Získáním přehledu rozvoje techniky a možnostmi dnes dostupných materiálů, můžeme docílit zvýšení přesnosti výroby a snížení nákladů.

Klíčová slova: Materiál, technologie, model, forma.

## **ABSTRACT**

The main aim of the thesis is to make an overview of the whole range of materials and technologies that are used for production of models and moulds. I will provide a description of processes commonly used and then I will try to get new pieces of knowledges concerning the recent development in today's mechanical engineering.

With the help of full-scale overview of the technical development and available materials we are able to increase the production preciseness and to decrease costs of the whole production process.

Key words: Material, technology, model, mould

Děkuji všem, kteří mi pomohli při psaní svými cennými radami. Především děkuji vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi Csc. Děkuji mu za čas, který mi věnoval, za odborné vedení a poskytnutí cenných rad a připomínek, které mi pomohli při vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 MATERIÁLY NA VÝROBU MODELŮ A FOREM</b> .....	<b>11</b>
1.1 VOLBA MATERIÁLŮ, VLASTNOSTI MATERIÁLŮ MODELŮ .....	11
1.1.1 Dřevo.....	13
1.1.2 Umělé dřevo .....	14
1.1.3 Kovy.....	15
1.1.4 Vosky .....	15
1.1.5 Pryskyřice.....	17
1.1.6 Silikony .....	25
1.2 FORMY .....	26
1.2.1 Základní rozdělení forem .....	26
1.2.2 Slévárenské formy.....	27
1.2.3 Lisovací a přetlačovací formy .....	32
1.2.4 Vstříkovací formy .....	35
<b>2 PŘEHLED VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ NA VÝROBU MODELŮ A FOREM</b> .....	<b>37</b>
2.1 VÝROBA SLÉVÁRENSKÝCH MODELŮ.....	37
2.1.1 Vytavitelný model.....	37
2.1.2 Spalitelný model.....	38
2.2 VÝROBA SLÉVÁRENSKÝCH FOREM .....	38
2.2.1 Formování nasyrovo.....	38
2.2.2 Výroba forem a jader ze směsí pojených vodním sklem .....	39
2.2.3 Skořepinové formování .....	40
2.2.4 Metoda horkého jaderníku .....	41
2.2.5 Výroba forem z cementových směsí .....	42
2.2.6 Lítí metodou vytavitelného modelu .....	42
2.2.7 Lítí metodou spalitelného modelu.....	43
2.2.8 Vakuové formování.....	43
2.2.9 Výroba forem ze silikonové pryže .....	44
2.3 VÝROBA LISOVACÍCH TVÁRNÍKŮ.....	45
2.4 GALVANOPLASTICKÁ VÝROBA FOREM .....	46
2.5 TECHNOLOGIE TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ .....	48
2.5.1 Soustružení .....	48
2.5.2 Frézování.....	49
2.5.3 Vrtání a vyvrtávání.....	49
2.5.4 Hoblování a obrážení .....	49
2.5.5 Broušení .....	50
2.5.6 Nekonveční metody obrábění (NMO) .....	50
<b>3 NOVÉ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY K POUŽITÍ NA VÝROBU MODELŮ A FOREM</b> .....	<b>52</b>



3.1	MODELOVACÍ HMOTA .....	52
3.2	POLYURETANOVÉ SYSTÉMY .....	53
3.2.1	Polyuretanová licí pryskyřice Gaform R30.....	53
<b>4</b>	<b>PŘEHLED NOVÝCH TECHNOLOGIÍ VYUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU MODELŮ A FOREM .....</b>	<b>55</b>
4.1	ADDITIVE FABRICATION (AF) .....	55
4.2	RAPID PROTOTYPING.....	55
4.2.1	SL – Stereolitografie .....	56
4.2.2	LS – Laser Sintering.....	57
4.2.3	FDM – Fused Deposition Modelling .....	58
4.2.4	Lom – Laminated Object Manufacturing.....	59
4.2.5	3DP – Three Dimensional Printing .....	60
4.3	VÝROBA SKOŘEPINOVÝCH MODELŮ A FOREM .....	61
4.3.1	Metalizace .....	61
4.3.2	Stabilizace tvarových částí skořepinových forem.....	63
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>70</b>

## ÚVOD

Materiály a technologie jsou hybnou silou rozvoje strojírenských i nestrojírenských oborů. Jejich využití a informace o nich často zapadne z podvědomí konstruktérů, přitom jejich využití mnohdy přinese technologické, energetické a ekonomické pozitiva. Spojení výhodných vlastností materiálů spolu s novými zpracovatelskými technikami je důležité.

Nutnost zhotovování forem, v různých jednoduchých podobách, provází člověka již z doby 2000 let před naším letopočtem, civilizacemi starověké Indie, Číny a Egypta. Značný rozvoj sledujeme v době železné kolem sedmého století před naším letopočtem. V počátcích se jednalo především o výrobu zbraní, což postavilo základy rozvoje pro potřeby různých oborů.

Cílem práce je prostudování problematiky konstrukčních materiálů a výrobních technologií, které jsou používány pro výrobu modelů a forem a zaměření na nové polymerní materiály, nové technologie zpracování těchto materiálů. Důležitá je zejména oblast nových technik a technologií výroby modelů a forem. Těmito technikami lze přímo vyrábět výrobky, které jsou zkoušeny v montážních sestavách pro posuzování např. z tvarových, technických a designérských požadavků.

## 1 MATERIÁLY NA VÝROBU MODELŮ A FOREM

Při výrobě modelů a forem může být použito materiálů různých vlastností mechanických a technologických. Např. dřevo, kov, polymerní materiály, kompozity, speciální stavební hmoty, sklo, keramiku, aj. Od modelů a forem se vyžaduje přesnost, rozměrovou stálost, trvanlivost, snadnou opracovatelnost a ekologickou nezávadnost. Při výrobě se využívá technologii obrábění, odlévání, nánosování, tvarování, aj. Formy vyžadují zejména volit vhodný materiál pro zvolenou výrobní technologii a zpracovávaný materiál.

### *Model*

Model, jeho řešení a rozměry jsou funkcí výrobku, zvoleného materiálu pro jeho zhotovení a následně technologie výroby modelu a výrobku. Pracovník, kterému je návrh modelu svěřen, musí bezpodmínečně znát předpokládané parametry a vlastnosti hotového výrobku. Volbu tvaru, technologických přídavek, případné dělicí roviny modelu a následně řešení formy ovlivňuje např. členitost výrobku, technické použití, náklady na výrobu atd. Je nutno si uvědomit jakou technologií bude výrobek vyroben, složitost, namáhání, podmínky fyzikální a chemické.

### *Forma*

Formy jsou funkcí výrobní technologie, zpracovávaného materiálu, a procesních podmínek. Jejich konkrétní řešení ovlivňuje celá řada faktorů (především druh zpracovávaného materiálu, zvolený výrobní postup a použité strojní zařízení) na základě kterých zavádíme hlediska třídění forem [7]. Rozměry dutiny formy bývají zvětšeny o smrštění zpracovávaného materiálu při zvolené výrobní technologii.

### 1.1 Volba materiálů, vlastnosti materiálů modelů

Materiálů na výrobu modelů je poměrně velká škála. Bylo již nastíněno, že na jeho výběru má nezanedbatelný vliv technologie, kterou se výrobek zhotovuje. Tím je samozřejmě a nevyhnutně i ovlivněn výběr materiálu na zhotovení forem. Je důležité mít stále na mysli, že funkce výrobku, jeho konstrukce, materiál a technologie vzájemně integrují. Vlastnosti materiálu ovlivňují možnost použitelnosti technologií. Nedá se opomenout, že nedílný podíl na výběru materiálů má i ekonomická náročnost. V posledních desetiletích se klade velký důraz na oblast životního prostředí. S tím je spojena problematika recyklace materiálů a jejich dopadu na životní prostředí.

Použití materiálu na výrobu nástrojů, zbraní, staveb a předmětů denní potřeby je spjato s celou inteligentní érou existence lidstva. Zpočátku se jednalo o materiály přírodní (dřevo, kámen, hlína, kosti, kůže), později byly vlastnosti těchto materiálů upravovány různými druhy zpracování a obrobení (štípané kamenné nástroje, pálená hlína – keramika, tkané textilie). Nejstarší nálezy keramiky jsou již tepelně zpracovány slinováním [9].

Objevení kovů a jejich zpracovatelských technologií přineslo lidstvu významný vývojový posun. Z kovů byly vyráběny nástroje, zbraně i ozdobné předměty. Výskyt prvních (bronzových) výrobků v Evropě se datuje do druhého tisíciletí před naším letopočtem [9].

Mimo bronzu byly známy ve středověku ještě další kovy. Zlato a stříbro, které bylo možno nalézt v případě v čistém, kovovém stavu, dále pak ještě olovo a cín, jejichž výroba a řemeslné zpracování byly známy v Indii, Číně a Egyptě již 2000 let před naším letopočtem [9].

Nejvýznamnější objev středověku byl objev výroby železa. Doba železná, která v různých oblastech světa začínala se značným posuvem, začíná ve středoevropské kulturní oblasti asi v sedmém století před naším letopočtem. Výskyt železných archeologických nálezů z období starověku je však velmi vzácný vzhledem k malé odolnosti tohoto kovu proti korozi [9].

Současné konstrukční materiály lze rozdělit do skupin: kovy, keramiky, skla, polymery, dřevo, kompozity atd. Z výše uvedených skupin materiálů jsou nejvíce používány kovy. Je to dáno jejich vysokými mechanickými, funkčními a fyzikálními vlastnostmi a v neposlední řadě dlouhodobou znalostí výrobních i zpracovatelských technologií [9]. Kovové materiály jsou houževnaté, tvrdé, mají dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, avšak nízkou odolnost proti korozi. Vlastnosti kovů a jejich slitin lze měnit tepelným zpracováním.

Keramické materiály mají vysoké moduly pružnosti, vysokou odolnost proti korozi a dobře snášejí i velmi vysoké teploty. Mají vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Keramiku nelze plasticky deformovat. Použití keramiky a skel pro strojní díly je limitováno jejich křehkostí [9].

Polymery jsou materiály specificky lehké, dobře tvárné s vysokou odolností proti korozi. Mechanické vlastnosti mají ve srovnání s kovy nízké a výrazně se mění s teplotou.

Vzhledem k nízkému modulu pružnosti vykazují konstrukce vyrobené z plastů nízkou tuhost [9].

Kompozitní materiály jsou konstruovány tak, aby propojily vlastnosti všech použitých složek. Finální výrobek pak má vynikající vlastnosti ve všech požadovaných směrech. Ve většině případů strojních dílů se jedná o matriční materiál kovový nebo plastový vyplněný posilujícími vlákny nebo částicemi. Za kompozitní materiály lze pokládat např. i kovové výrobky pokryté keramickými nebo plastovými povlaky pro zvýšení odolnosti proti korozi nebo ke zvýšení žáruvzdornosti [9].

### 1.1.1 Dřevo

Je nejdéle používaným materiálem pro výrobu modelů. Vyhledávaný díky své přijatelné ceně, relativně nízké hmotnosti, snadné obrobitelnosti a snadné spojovatelnosti. Ovšem při zpracování dřeva musíme brát v úvahu i některé jeho nevýhodné vlastnosti.

Dřevo, z něhož je model vyráběn nesmí vykazovat známky hniloby, trhlin nebo sukovitosti. Tyto vady zásadně ovlivňují obrobitelnost dřeva.

Vlhkost dřeva je druhým ze zásadních faktorů, které musíme zohlednit při výrobě modelu. Obsah vlhkosti ve dřevě má vliv na rozměrovou stálost, borcení a praskání. Tuto skutečnost překonáváme sušením dřeva před jeho použitím na model a dále povrchovou úpravou. Ta se volí podle technologie formování. Zásadou však je, aby odolávala vlhkosti formovacích směsí. Dřevo vykazuje malou odolnost vůči opotřebení. Jelikož se jedná o přírodní materiál, je šetrný k životnímu prostředí. Ovšem negativně mohou působit látky použité na povrchovou úpravu modelu.

V praxi se s dřevěnými modely setkáváme v různých odvětvích. Je to pro své vlastnosti a dostupnost velmi vyhledávaný materiál. Přestože se v posledních letech zásadně rozšířila tvorba modelů pomocí 3D programů, dřevěné modely stále hojně využívají především malé provozy, kde si 3D programy pro jejich značné pořizovací náklady nemohou dovolit.

[5, 11].

V praxi dřevo rozlišujeme:

- měkké: jehličnaté – smrk, jedle, borovice
- listnaté – topol, lípa, vrba, osika

- polotvrdé: jehličnaté – červený smrk  
listnaté - javor, olše, bříza, jasan
- tvrdé: listnaté – buk, dub, ořech

[5, 11]

### 1.1.2 Umělé dřevo

Umělé dřevo je vítanou alternativou ke dřevu přírodnímu. Nachází své uplatnění v různých oborech. Pro názornější představu si přiblížíme materiál pod obchodním názvem eblock<sup>®</sup>140, dodávaný společností KTK Blansko, spol s r.o. [8].

Jedná se o materiál s velmi nízkým koeficientem tepelné délkové roztažnosti, vysokou otěruvzdorností, dobrou obrobiteľnosť a jemným složením [8].

Použití

- Slévárenské modely,
- jaderníky,
- formovací desky

Výrobek	Eblock <sup>®</sup> 140		
Barva	modrá		
Vlastnosti	Typ zkoušky	Jednotky	Hodnota
Hustota při 20 °C		g/cm <sup>3</sup>	1,38 ± 0,03
Pevnost v ohybu	EN ISO 178	MPa	109 ± 5
E.Modul (v ohybu)	EN ISO 178	MPa	4175 ± 100
Ohyb při prohnutí	EN ISO 178	%	3,8 ± 0,15
Pevnost v tahu	EN ISO 527	MPa	-
Prodloužení	EN ISO 527	%	-
Pevnost v tlaku	EN ISO 604	MPa	102 ± 5
Rázová houževnatost (Charpy)	EN ISO 179	kJ/m <sup>2</sup>	19,5 ± 2
Tepelná odolnost tvaru dle Martens	DIN 53458	°C	85 ± 3
Tvrdost Shore	DIN 53505	Shore D	85 ± 3
Koeficient délkové roztažnosti	DIN 53752	10-6K-1	Cca. 65
Otěr Taber Abraser H 18 Podklad 500g/500 ot.	Interní	mg	Cca. 62

Tab. 1 Vlastnosti umělého dřeva Eblock <sup>®</sup>140

### 1.1.3 Kovy

Kovové materiály se dělí podle základního kovu (kovu, který je ve slitině obsažen hlavním podílem):

železo – slitiny železa (oceli, litiny)

hliník – slitiny hliníku

měď – slitiny mědi (mosazi, bronzu aj.)

nikl – slitinu niklu

a další

Kovové modely se uplatňují zejména tam, kde se vyžaduje velká odolnost při zaformování výrobku a velmi dobré mechanické vlastnosti.

### 1.1.4 Vosky

Voskové modely se využívají u technologie přesného lití metodou vytavitelného modelu.

Protože samostatný vosk nesplňuje všechny požadavky kladené na modelovou hmotu, voskové modely se zhotovují z voskových směsí. Moderní voskové směsi jsou sloučeniny více komponentů. Existuje více variant takových sloučenin, které splňují požadavky; vlastnosti kladené na voskové směsi, jako je bod tavení, tvrdosti, viskozita, roztažnost/smrštění [1].

K výrobě voskových modelů existuje několik druhů voskových směsí lišících se použitelností a vlastnostmi:

- Vosky na modely
  - Čisté (neplněné)
  - Plněné
  - Emulgované
- Vosky na vtoky, vtokové soustavy
- Rekultivované vtoky
- Speciální vosky
  - Adhezní (lepivý)
  - Namáčecí
  - Opravný

- Vosky na jádra
- Rozpustné vosky

[1]

#### ***Neplněné modelové vosky***

Jsou komplexní sloučeniny více vosků a pryskyřičných komponentů. Povrch modelů z těchto vosků je obvykle více lesklý [1].

#### ***Emulgované modelové vosky***

Mají základní materiály jako výše uvedené vosky neplněné, ale jsou emulgovány vodou, obvykle mezi 7 až 12%. Povrch modelů je mimořádně hladký [1].

#### ***Plněné modelové vosky***

Mají základní materiál jako výše uvedené vosky, avšak do směsi je přidáno míchané práškové plnivo, nerozpustné v základním vosku. Plnivo zvyšuje stabilitu směsi a snižuje její kavitaci. Povrch modelů je oproti emulgovaným voskům nepatrně hrubší [1].

#### ***Vosky na vtoky***

Mají základní materiály podobné jako neplněné vosky, jsou smíšené pro zajištění požadavku na pevnost vtokové soustavy [1].

#### ***Rekultivované vosky***

Jedná se v podstatě o servis poskytovaný výrobcem vosků. Použité vosky ze slévárny jsou důkladně čištěny, míchány a uvedeny do původního stavu, poté vráceny zpět do slévárny a znovu používány na vtokové soustavy a modely [1].

#### ***Adhezni vosky***

Jsou lepivé vosky pro spojování modelů z podobných nebo nepodobných vosků. Primárně se používají pro spojování modelů a vtokových soustav [1].

#### ***Namáčecí vosky***

Jsou velmi tekuté, proto mají schopnost téct do hůře dostupných míst, kde zaplňují otevřené spoje [1].



### ***Opravné vosky***

Opravné vosky tvrdé a měkké se používají pro opravu modelů nebo pro utěsnění vtokové soustavy [1].

### ***Vosky na jádra***

Vosky na jádra se používají k utěšňování keramických jader vkládaných do modelu, zlepšují povrch a snižují možnost praskání [1].

### ***Vodou rozpustné vosky***

Vodou rozpustné vosky se používají pro vytvoření vnitřních tvarů tam, kde by bylo obtížné aplikovat jiné prostředky. Používají se jádra vkládána do dutiny formy před vstříknutím standardního vosku a následně (později) dojde k jeho rozpuštění, a tím dochází k dostatečnému zaplnění dutin [1].

## **1.1.5 Pryskyřice**

Firma Skolil Kompozit s. r. o. zahrnuje ve svém sortimentu licí pryskyřice vhodné na výrobu slévárenských modelů a jaderníků. Rozdělují licí pryskyřice na polyuretanové rychletvrdnoucí licí pryskyřice, polyuretanové licí systémy a epoxidové licí pryskyřice. Nyní se budeme jednotlivým skupinám věnovat [4].

### ***Polyuretanové rychletvrdnoucí licí pryskyřice***

Polyuretanové rychleschnoucí pryskyřice nám umožňují výběr z neplněných dvou komponentních licích systémů, které lze plnit. Určené pro slévárenské modely, jaderníky, negativy, formovací desky, kopírovací modely a jiné. Pro příklad je uveden jeden z materiálů dodávaný společností Skolil Komponent s.r.o.

RAKU-TOOL® PF-3700-1 (Polyol) / PH-3970-1 (Isocyanat) jedná se o rychletvrdnoucí licí pryskyřici, kterou můžeme plnit plnivem AC-9004. Materiál je neplněný, řídký, má ovšem vysoký stupeň plnění, dobře vytvrzovatelný s velmi vysokou pevností a teplotní tvarovou stálostí. Možnost použití ve slévárenském průmyslu na výrobu modelů, jaderníků, negativů a formovacích desek. Dále se používá pro kontrolní odlitky, na kopírování modelů, vakuové hlubokotažné formy a výrobu ořezových forem u prototypových dílů.

Tab. 2 obsahuje vlastnosti při zpracování materiálu RAKU-TOL® PF-3700-1

(Polyol) / PH-3970-1 (Isocyanat). Tab. 3 obsahuje mechanické vlastnosti po vytvrzení materiálu RAKU-TOL® PF-3700-1 (Polyol) / PH-3970-1 (Isocyanat) [4].

Vlastnosti při zpracování					
			PF-3700-1	PH-3970-1	AC-9004
Barva	opticky		běžová	světle žlutá	bílá
Směšovací poměr		hmotnostní díly	100	100	300
		objemové díly	100	86	-
Hustota	ISO 1183		0,95	1,10	-
Viskozita při 25°C	ISO 2555	mPa.s	80-90	70-80	-
			PF-3700-1/PH-3970-1	PF-3700-1/PH-3970-1 AC-9004	
Doba zpracování při 25°C	Min		2-3	4-5	
Max. Tloušťka stěny	mm		10	60	
Vyformování po	h		0,5 -1	1 - 2	

Tab. 2 Vlastnosti při zpracování materiálu RAKU-TOOL® PF-3700-1/

PH-3970-1

Po vytvrzení/ Mechanické vlastnosti				
Vytvrzení: 7 dní při pokojové teplotě nebo 14h při 40°C			PF-3700-1/PH-3970-1	PF-3700-1/PH-3970-1 AC-9004
Barva	opticky		Běžová	běžová
Hustota	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	11,1	1,61,7
Tvrdość Shore D	ISO 868		70-75	75-80
Teplotní tvarová stálost, HDT	ISO 75	°C	50-60	60-70
Pevnost v tlaku	ISO 604	MPa	40-50	50-60
E-Modul pevnost v tahu	ISO 604	MPa	1000-1100	3400-3500
Pevnost v ohybu	ISO 178	MPa	30-40	40-50
Lineární smrštění		mm/m	-	1,5

Tab. 3 Mechanické vlastnosti po vytvrzení materiálu RAKO-TOOL® PF-3702-1 /

PH-3972-1

Pro srovnání vlastností si z možné nabídky téhle řady pryskyřic uvedeme ještě dva. Dvou komponentní plněný rychleschnoucí polyuretan RAKU-TOOL® PF-3702-1 (Polyol)/ PH-3972-1 (Isocyanat) a 3 - komponentní systém FC 52A + FC 52B + plnivo (DT082 nebo microsil) [4].

RAKU-TOOL® PF-3702-1 (Polyol)/ PH-3972-1 (Isocyanat) je dobře odlévatelný, obsahuje jemné plnivo. Vyznačuje se rozměrovou přesností, rychlým vytvrzováním a univerzálním použitím například: slévárenské modely a jaderníky, snímací formy, negativy, kontrolní odlitky a prototypy [4].

Vlastnosti při zpracování			PF-3702-1	PH-3972-1
Barva	opticky		Bílá	světle na- žlutlá
Směšovací poměr		hmotnostní díly	100	20
		objemové díly	100	28
Hustota	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,78	1,2
Viskozita při 25 °C	ISO 2555	m Pa.s	3400-3600	30-50

PF-3702-1 / PH-3972-1			
Doba zpracování při 25 °C	1000 ml	Min	6-7
Max. tloušťka stěny		mm	20
Vyformování po		h	0,5-1

Tab. 4 Vlastnosti při zpracování RAKU-TOOL® PF-3702-1/ PH-3972-1

Po vytvrzení/ Mechanické vlastnosti			
Vytvrzení: 7 dní při pokojové teplotě nebo 14h při 40 °C			PF-3702-1 / PH-3972-1
Barva	opticky		Bílá
Hustota	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,6
Tvrdość Shore D	ISO 868		75-80
Teplotní tvarová stálost, HDT	ISO 75	°C	50-60
Pevnost v tlaku	ISO 604	MPa	40-50
E-Modul pevnost v tahu	ISO 604	MPa	2500-2700
Pevnost v ohybu	ISO 178	MPa	30-40
Lineární smrštění		mm/m	0,3

Tab. 5 Mechanické vlastnosti materiálu RAKU-TOOL® PF-3702-1 / PH-3972-1 po vytvrzení

Troj – komponentní systém vhodný pro rychlou výrobu menších forem a modelů pod označením FC 52A + FC52B + DT082 (nebo microsíl). Další použití na odlitky a jádra. Při tloušťce stěny nad 30 – 40 mm nutnost odlévání ve vrstvách. Technické parametry jsou uvedeny v tab. 6. FC 52A, FC 52B a plniv DT 082, microsíl. V tab. 7. jsou uvedeny vlastnosti troj komponentního systému po vytvrzení [4].

## Technické parametry

Vlastnosti	FC 52A - Isocyanat	FC 52B - Polyol
Vzhled	jantarová tekutina	běžová tekutina
Viskozita při 25°C	20 - 30 mPa.s	65-75 mPa.s
Hustota	1.12 g/cm <sup>3</sup>	0.98 g/cm <sup>3</sup>
Skladovatelnost	12 měsíců	12 měsíců

## Plniva

Vlastnosti	DT 082	microsíl
Barva	bílá	Bílá
Sypná hustota	1.3-1.4 g/cm <sup>3</sup>	1.1 g/cm <sup>3</sup>
Použití	obrobitelné plnivo na bázi Al <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> , obrobitelné, určené pro formy a odlitky	plnivo do licí směsi pro výrobu forem, jederníků, lze nahradit plnivem BITUMIT

Tab. 6 Technické vlastnosti FC 52A, FC 52B a plniv DT 082, microsíl.

Vlastnosti po vytvrzení - 7 dní při 25 °C	Jednotka	Plněný systém
Hustota	g/cm	1.6
Tvrdość	Shore D	75-80
Ohybová pevnost	N/mm	47
Pevnost v tlaku (ISO 604)	N/mm	47
E-modul (ISO 604)	N/mm	4350
Teplota skelného přechodu T <sub>g</sub>	°C	60-70**
Lineární smrštění*	%	1.3 – 1.5
* dle tloušťky stěny a množství plniva		
** po temperaci 14 hod/80 °C lze zvýšit hodnotu T <sub>g</sub> na 90 - 100 °C		

Tab. 7 Vlastnosti troj komponentního systému po vytvrzení

**Polyuretanové licí systémy**

Některé směsi polyuretanových licích systémů jsou vhodné i pro lití silné tloušťky. V některých případech až 1000 mm, s projevem nízké exotermie. Mezi jejich výhody patří vyso-

ké mechanické vlastnosti, dobrá přilnavost, možnost jednoduchých oprav aj. Možnost použití je např. modely, formy, nástroje pro tváření kovů, vakuové formy, RIM – formy, formovací desky aj. Podle zvolené směsi.

Pro příklad si uvedeme dvou komponentní polyuretanový licí systém RAKU-TOOL® PC-3403 (Polyol) / PH-3903 (Isocyanat) s plnivem AC-9004 [4].

Vlastnosti:

- Možnost odlévání velkých tloušťek a objemů,
- nízká exotermie při tloušťkách >600 – 1000 mm, při přímém lití (plněná) >250 mm do max. 350 mm,
- vysoké mechanické vlastnosti (plněná i neplněná),
- nepatrné smrštění,
- dobrá přilnavost,
- volitelná viskozita pomocí plniva,
- možné změny a opravy.

Použití:

- Nástroje pro tváření kovu,
- výroba poddimenzovaných jader pro slévárenské modely a jaderníky,
- vakuové formy,
- různé použití pro masivní a čelní odlitky.

V tab. 8. jsou uvedeny vlastnosti směsí při zpracování a v tab. 9 jsou shrnuty vlastnosti směsi po vytvrzení.

[4]

Vlastnosti při zpracování					
		PC-4303		PH-3903	AC-9004
Barva	opticky		běžová	nažloutlá	bílá
Směšovací poměr		hmot. díly	100	80	-
			100	80	380-400
Hustota	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,1	1,21	-
Viskozita při 25 °C	ISO 2555	m Pa . S	2000-2500	20-40	-
		PC-3403/PH-3903		PC-3403/PH-3903/AC-9004	
Doba zpracování při 25 °C	1000 ml	Min	30-40	60	
Max. tloušťka stěny		mm	20	300	
Vyfukování po		h	18	18	

Tab. 8 Vlastnosti při zpracování RAKU-TOOL® PC-3403 (Polyol) / PH-3903 (Isocyanat) s plnivem AC-9004.

Vlastnosti po vytvrzení - 7 dní při pokojové teplotě nebo 14h při 40°C		PC-3403/PH-3903	PC-3403/PH-3903/AC-9004
Barva	Opticky	běžová	běžová
Hustota (ISO 1183)	g/cm	1.2	1.6-1.7
Tvrdość	Shore D	75-80	85-90
Koeficient teplotní roztažnosti (ISO 11359)	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	90-95	45-50
Teplotní tvarová stálost, HDT (ISO 75)	°C	75-80	75-80
Pevnost v tlaku (ISO 604)	MPa	85-90	90-95
E-modul pevnost v tlaku (ISO 604)	MPa	2500-3000	9000-10000
Pevnost v ohybu (ISO 178)	MPa	85-95	55-65
E-modul pevnost v ohybu (ISO 178)	MPa	2500-3000	9500-10500
Lineární smrštění*	mm/m	1	0,6
Otěr (Taber)	mm/100 U	80	80
* měřeno při maximální tloušťce vrstvy, dle údajů v tabulce			

Tab. 9 Vlastnosti po vytvrzení RAKU-TOOL® PC-3403 (Polyol) / PH-3903 (Isocyanat) s plnivem AC-9004.

### *Epoxidové licí pryskyřice*

Epoxidové licí pryskyřice se vyznačují variabilní dobou zpracování. Hlavním faktorem ovlivňující dobu zpracování je použité tužidlo. Mezi další vlastnosti patří tvrdý otěruvzdorný povrch, dobré mechanické vlastnosti, velmi dobrá tuhost a obrobiteľnosť, nepatrná sedimentace, dobrá chemická odolnosť. [4].

Své uplatnění našly v aplikacích pro formy a přípravky na tváření plechu, slévárenské a kopírovací modely, modely a formy větších rozměrů, formy pro výrobu betonových dílců, vyměňovací formy, formy na kov, všeobecné využití v modelárnách, pracovní modely pro keramický průmysl, modely pro galvanické pokovování, pěnové formy pro přesné lití aj.

Ze sortimentu společnosti Skolil Komponent s.r.o si blíže přiblížíme epoxidovou licí pryskyřici pod obchodním názvem RAKU-TOOL®EC-2401 / EH-2904-1, EH-2905-1, EH-2906-1. Jedná se o licí systém s minerálním plnivem a variabilní dobou vytvrzení [4].

Vlastnosti:

- Snížený potenciál nebezpečí,
- univerzální použití,
- minimální sedimentace,
- velmi dobrá tekutost,
- variabilní doba vytvrzení podle použitého tužidla,
- velmi dobrá obrobiteľnosť,
- vysoká kopírovací schopnosť.

Použití:

- Slévárenské modely,
- kopírovací modely,
- přímé odlévání (negativy),
- měrky a pomocné přípravky,
- pracovní modely pro keramický průmysl,
- modely pro galvanické pokovování.

## Vlastnosti při zpracování

			EC-2401	EH-2904-1	EH-2905-1	EH-2906-1
Barva	opticky		slonovina	průzračná	průzračná	průzračná
Směšovací poměr		hmot. díly	100	20		
			100		20	
			100			20
Hustota	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,75	1,00	1,01	1,01
Viskozita při 25 °C	ISO 2555	m Pa.s	90.000-120.000	90-130	80-120	80-120
			EC-2401 EH-2904-1	EC-2401 EH-2905-1	EC-2401 EH-2906-1	
Viskozita směsi při 25 °C	ISO 2555	m Pa.s	2800-3800	2500-3500	2500-3500	
Doba zpracování při 25 °C	1000 ml	Min	45	90	180	
Max. tloušťka stěny		mm	10	20	80	
Vyfukování po		h	12	16	18	

Tab. 10 Vlastnosti při zpracování materiálu RAKU-TOOL®EC-2401/EH-2904-1, EH-2905-1, EH-2906-1.

Vlastnosti po vytvrzení - 7 dní při pokojové teplotě nebo 14h při 40°C			EC-2401 EH-2904-1	EC-2401 EH-2905-1	EC-2401 EH-2906-1
Barva	opticky		slonovina	slonovina	slonovina
Hustota	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,6	1,6	1,6
Tvrdość Shore D	ISO 868		85-90	85-90	85-90
Koeficient teplotní roztažnosti	ISO 11359	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	50-55	50-55	50-55
Teplotní tvarová stálost, HDT	ISO 75	°C	53-58	43-48	38-43
Teplota skelného přechodu, Tg	DSC	°C	53-58	45-50	38-43
Pevnost v tlaku	ISO 604	MPa	108-113	103-108	90-95
E-modul pevnost v tlaku	ISO 604	MPa	6300-6800	5800-6300	5300-5800
Pevnost v ohybu	ISO 178	MPa	83-88	78-83	73-78
E-modul pevnost v ohybu	ISO 178	MPa	6000-6500	5800-6300	5300-5800
Lineární smrštění*	mm/m	mm/m	0,2	1,0	0,4
* měřeno při maximální tloušťce vrstvy, dle údajů v tabulce					

Tab. 11 Vlastnosti po vytvrzení materiálu RAKU-TOOL®EC-2401/EH-2904-1, EH-2905-1, EH-2906-1.



### 1.1.6 Silikony

Silikonové kaučuky dodávané společností Lučební závody Kolín.

Lukopren N jsou silikonové dvousložkové kaučuky tzv. kondenzačního typu. Po smíchání pasty s katalyzátorem dochází k vulkanizaci v celé hmotě během několika hodin za tvorby silikonové pryže, která nemá adhezi k podkladu. Dávkování Lukopren Katalyzátorů se běžně pohybuje v rozmezí 1,5 – 2,5 hmotnostních procent podle použitého katalyzátoru.

Sortiment byl rozšířen o tzv. osmičkovou řadu uvedením Lukoprenu N 8100 na trh v roce 2006. Ke konci roku 2007 byla tato řada doplněna o Lukopren N 8200, který se od Lukopren N 8100 odlišuje nižší viskozitou a tím lepší zpracovatelností a velmi dobrou zatékavostí. [10].

Vlastnosti vulkanizátu:

Lukopren N 8200 je dvousložkový silikonový kaučuk tzv. kondenzačního typu. Po smíchání pasty s Lukopren Katalyzátorem 8A dochází k vulkanizaci v celém objemu směsi za vzniku silikonové pryže.

Vlastnosti vulkanizátu

Ve srovnání s tzv. nízkopevnostními kaučuky vykazuje Lukopren N 8200 zejména vyšší

- pevnost v tahu,
- tažnost,
- odolnost vůči natržení,
- odolnost při odlévání organických pryskyřic,
- životnost vyrobených forem.

Ve srovnání s Lukoprenem N 8100 vykazuje Lukopren N 8200 nižší viskozitou a tím tedy lepší zatékavost pasty, její snadnější zpracovatelnost a rychlejší odchod vzduchových bublin.

Použití:

Lukopren N 8200 je snadno zpracovatelná kaučuková pasta s velmi dobrou zatékavostí, Smísením Lukoprenu N 8200 se 3 hm.%, resp. 4 hm.%, Lukopren Katalyzátoru 8A vzniká silikonová pryž s vyšší pevností a zvýšenou odolností vůči natržení. Lukopren N 8200

je vhodný k výrobě náročných výrobků ze silikonové pryže, kde je vyžadována vyšší odolnost vůči mechanickému a chemickému poškození [10].

## 1.2 Formy

Technologie (z řeckého techné = dovednost, logos = nauka) je vědní obor, zabývající se výrobními procesy, kterými se vlivem účinků mechanické a tepelné energie mění suroviny, případně konstrukční materiály na polotovary a hotové výrobky. Je to jedna z nejmladších vědních disciplín, protože její začátky spadají teprve do konce 19. století. Její široké uplatnění ve výrobě však nastalo až v poslední době, kdy přešla od popisu empirických znalostí k využívání vědeckých poznatků a tak dosáhla velké výkonnosti nástrojů i strojů a tím i vysoké produktivity práce.

Podle technologické zpracovatelnosti materiálů známe různé způsoby výroby součástí. Snahou je docílit efektivní výroby s co nejnižšími náklady. Proto je vyžadována úzká spolupráce konstruktéra a technologa. Podle zadaných parametrů se navrhne vhodná technologie výroby. S tím je úzce spjat i výběr vhodného materiálu pro zhotovení formy a stanovení vhodných podmínek výrobní technologie.

Například technologií lisování můžeme zhotovovat polotovary a výrobky jak z kovů tak z eleastomerů. Je samozřejmé, že u jednotlivých materiálů se musí zajistit odlišné technologické postupy. [5, 13]

### 1.2.1 Základní rozdělení forem

Vlastnosti, které od forem při jejich používání jsou vyžadovány, závisí zejména na zpracovávaném materiálu.

Dělení podle zpracovávaného materiálu:

- Výrobky z kovových materiálů
- Výrobky z plastových materiálů
- Výrobky z kompozitních materiálů

Dělení plastových materiálů podle chování za tepla:

- termoplasty
- reaktoplasty

- elastomery

Další dělení formy podle použité technologie:

- slévání
- lisování
- přetlačování
- vstřikování

### 1.2.2 Slévárenské formy

Slévání patří mezi nejstarší výrobní postupy, které lidé ovládli již před mnoha tisíci lety. Ještě před začátkem našeho letopočtu dokázaly vyspělé civilizace odlévat jak mnohatunové sochy, tak i drobné složité tvarové dekorativní předměty. Z původního, především uměleckého řemesla, se slévání přeměnilo v průmyslové odvětví v 19. století.

Současná světová slévárenská produkce se pohybuje v rozmezí 60 – 80 mil. tun za rok především v závislosti na vzestupu či poklesu výroby automobilů. České slévárství má bohaté tradice a vždy se řadilo ke světové špičce, i když v posledních desetiletích technicky zaostávalo. V současnosti se naše slévárství zaměřuje především na přizpůsobení jakosti odlitků požadavkům náročných zahraničních trhů. Druhým závažným úkolem je snižování dopadů slévárenské výroby na životní prostředí a zlepšování hygieny práce ve slévárenských provozech [6].

K hlavním výhodám odlévání patří především:

- možnost zhotovit díly od hmotnosti několika gramů od desítek tun,
- možnost dosažení poměrně jednoduchými postupy velmi složitých tvarů,
- hospodárnost v kusové i velkosériové výrobě,
- možnost odlévání většiny kovů a slitin.

Nevýhody slévání:

- pomalé chladnutí silnostěnných výrobků vede ke vzniku hrubozrnné struktury
- rozdíly v tloušťce stěn odlitků vedou k nerovnoměrnému chladnutí, které způsobuje rozdíly ve struktuře a vlastnostech jednotlivých částí, vznik prnutí, deformací a poruch souvislostí,

- pro odstranění nedostatků lící struktury vyžaduje řada odlitků tepelné zpracování
- nákladné informace
- energetická náročnost
- nákladné řešení ekologických a hygienických dopadů slévárenské výroby
- aj.

Slévárenské materiály:

- Slitiny železa – nejpoužívanější materiály pro výrobu odlitků v pískových formách. Nejčastěji jde o litiny s různou formou grafitu (lupínkový, červíkový, kuličkový) a rovněž o oceli na odlitky (v poslední době je ocelolitina nahrazována litinou s kuličkovým grafitem)
- Slitiny hliníku – především slitiny Al – Si (siluminy)
- Slitiny mědi (mosaz, bronz)
- Slitiny hořčíku a zinku

### ***Pískové formy***

Výrobou forem se rozumí souhrn více operací zvané také jako formování, které je třeba provést, abychom vyhotovili formu, do níž je možno nalít tekutý kov a získat po ztuhnutí odlitek:

- a) příprava k formování – model, formovací rám, formovací materiál, modelová deska (při strojním formování),
- b) plnění formovacího rámu, v němž je vložen model, nebo jeho část, formovacím materiálem (formovacím pískem),
- c) pěchování formovacího materiálu v rámu kolem modelu,
- d) vyjímání modelu z formy,
- e) úprava lící formy
- f) sušení, skládání rámu, zatížení složené formy úkladem.

Podle druhu modelového zařízení rozlišujeme formování:

- modelem

- šablonou
- modelem i šablonou.

Podle způsobu vývinu síly při pěchování, vkládání a vyjímání modelu rozlišujeme formování:

- ruční
- strojní.

Podle počtu odlitků, které lze odlít z jedné formy rozlišujeme:

- formy netrvalé (pískové)
- formy polotrvalé (keramické)
- formy trvalé (zpravidla kovové)

Formovací materiály určují svými vlastnostmi pevnost, objemovou stálost, prodyšnost, žáruvzdornost, chemickou odolnost, rozpadavost – hlavně u jader. Ve značné míře mají vliv nejen na kvalitu forem, ale i odlitku [5].

Podle původu rozlišujeme formovací materiály na:

- přirozené (získané v přírodě těžním, slévárenské písky)
- syntetické (uměle připravené, které se získávají z nevázného křemičitého písku, přidáváním vhodných množství pojiv.)

Hlavní podstatu přírodních formovacích směsí tvoří:

- ostřivo - zajišťuje odolnost vůči vysokým teplotám roztavených kovů a slitin. U přírodních formovacích směsí je to hlavně křemičitý písek o zrnitosti 0,3 až 0,75 mm, velmi jemný magnezit, chromit, šamot aj. Vyžaduje se minimální tepelná roztažnost, dobrá chemická odolnost vůči roztavenému kovu a strusce. Zvláštní ostřiva zirkon, korund, karbid křemíku. Na výrobu jader se používá jádrový písek, jádro je velmi tepelně namáháno, proto musí mít písek velmi dobré pevnosti a tepelné vlastnosti. Na výrobu forem se používají dva druhy písku:
  - modelový písek – nový písek, pěchuje se přímo na model,
  - výplňový písek – regenerovaný starý písek, slouží k vyplnění zbytku formy.

- pojivo – činí formovací směs soudržnou, vaznou, takže drží forma zachovává svůj tvar jak při formování, tak po vytažení modelu a hlavně v průběhu plnění dutiny tekutým kovem a jeho tuhnutí. Hlavní druhy přirozených pojiv jsou:
  - kaolinitové jíly – kaolíny se pro svou nízkou vaznost nehodí pro slévárenské účely.
  - illinitové jíly – většinou železité uplity.
  - montmorillonitické jíly – vyznačují se poměrně vysokou vazností při poměrně nízké vlhkosti.
  - vodní sklo – alkalické křemičitany sodné, nebo draselné, jsou hlavní součástí tzv. chemicky tvrzené písky.
  - organická pojiva – nejvíce používaná na přípravu formovacích směsí na výrobu jader. Vyznačují se vysokou pevností až po vysušení a stykem s tekutým kovem se rozpadají. Jsou to především tuky, oleje, pryskyřice, sacharidy (melasa, dextrin, sulfitové výluhy, škrob). [5,14]
- pomocné formovací látky – nejčastěji se používají k úpravě povrchu forem jako dělicí látky (velmi jemné křemičité písky, grafit).

### ***Bentonit***

Pojivem formovacích směsí nasyrovo jsou jíly, tj. zeminy obsahující nejméně 50 % částic menších než 0,002 mm. Pro přípravu formovacích směsí je nejvhodnějším jílem bentonit. Jedná se o jíl obsahující alespoň 80 % minerálu montmorillonitu  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$ . Proti jiným jílům dává směsím nejvyšší vaznost (= pevnost za syrova) již při nízkém obsahu vody ve směsi [6].

Nejvhodnější pro slévárenské účely jsou bentonity sodné. Proto se bentonity aktivují (natrifikují) uhličitanem sodným. Tím se zvýší pevnost směsí za syrova a sníží sklon k tvorbě zá lupů [6].

Další přísady do formovacích směsí slouží ke zlepšení povrchu odlitků (černouhelná moučka) a zlepšení pevnosti a technologických vlastností směsí (sulfitový výluh, dextrin, soda, škrob aj.) [6].

Pevnost směsí je závislá především na velikosti a tvaru zrn písku, obsahu jílu a vody. Nejvyšší vaznost dosahují při určité vlhkosti závislé na druhu a množství jílu. Při této vlhkosti

však jsou směsi špatně formovatelné a drolivé. Nejlépe zpracovatelné jsou směsi s vlhkostí o něco vyšší, odpovídající maximum prodyšnosti směsí [6].

Složení	%	Dávka [kg]
Písek 0,36 (0,32)	92,35	675
Bentonit	6,5 - 7,5	47 - 65
Soda	0,28	1,4 - 1,9
Dextrin	0,2	1,5
Voda	dle potřeby	
Postup míchání:	písek + bentonit + soda + dextrin + voda 8 - 10 min	
Technologické vlastnosti:	vlhkost	3,1 - 3,6 %
	vaznost	53 - 65 kPa (dextrin)
	prodyšnost	250 - 500 n. j. p.
Použití	Formy pro odlitky o váze do 300 kg vyráběné ručně, nebo na pískové lince tvrdost límce formy 80 - 90 GF.	
Povrchová úprava	Postřík 4,5 S a D min. 1 hod. stálí na vzduchu.	
Odlévání	Do 12 hodin po složení formy.	
Poznámka	Pro přípravu směsí používat kombinaci suchého a mokrého písku tak, aby výsledná vlhkost odpovídala technologické hodnotě.	

Tab. 12 Směs písku formy

Složení	%	Dávka [kg]
Písek 0,36 (0,32)	91,1	900
Bentonit 750	2,5 - 3,5	25 - 36
NaOH (40%)	0 - 0,2	0 - 2
Vodní sklo 50 - 52 Be	5,6 - 6,2	36 - 41
Voda	dle potřeby	
Postup míchání:	písek + bentonit + soda + dextrin 2 min. + vodní sklo 8 - 10 min	
Technologické vlast- nosti:	vlhkost	3,5 - 4,0 %
	vaznost	20 - 25 kPa (dextrin)
	prodyšnost	200 - 500 n. j. p.
	pevnost (CO <sub>2</sub> )	1,2 Mpa
Použití	Formy eventuálně jádra pro odlitky o váze do 100 - 300 kg.	
Povrchová úprava	Postřík 4,6 (4,5), nátěr (4,9 - 4,1).	
Odlévání	Do 12 hodin po složení formy.	
Poznámka	Směs nutno po namíchání nechat 2 - 4 hod. odležet.	

Tab. 13 Směs písku na jádra

[5, 6, 14]

**Trvalé formy**

Jsou to kovové formy (kokily) mohou být dělené s horizontální nebo vertikální dělicí rovinou a nedělené. Využívají se u gravitačního způsobu odlévání, kde kov se nalévá stejným způsobem jako do pískových forem. Do kovových forem lze vyrábět i duté odlitky. V tomto případě se do formy zakládají buď písková jádra, nebo jednoduchých dutin jádra kovová.

**1.2.3 Lisovací a přetlačovací formy**

Při lisování je lisovaná hmota (látka) vložena do dutiny formy, působením tepla a tlaku je roztavena a vzápětí je tvářena do tvaru vylisku. Technologie lisování se uplatňuje na výrobu součástí z kovů, plastů (např. reaktoplasty, skelné lamináty) i elastomerů.

Při přetlačování je lisovaná hmota vložena do vyhřáté přetlačovací komory lisovací formy, zde je převedena do plastického stavu a působením pístu je přetlačena rozváděcími kanály do dutiny formy, kde získává konečný tvar.



### ***Lisování práškových kovů***

Výrobou a zpracováním práškových kovů se zabývá prášková metalurgie. Vhodně upravené prášky se zpravidla lisují do požadovaného tvaru a získané těleso se obvykle zpracovává spékáním, aby dosáhlo potřebných fyzikálních a mechanických vlastností. Existují zde tři proměnné veličiny technologického procesu (chemické složení práškové směsi, vytváření soudržného tělesa, spékání), jejichž variacemi je možno ovlivňovat výsledné vlastnosti výrobků v širokých mezích a vytvářet materiály i s nekonvečními vlastnostmi.

### ***Lisování a přetlačování reaktoplastů***

Přímé lisování – teplem vytvrditelná hmota ve formě prášku, granulí nebo tablet se vloží v předepsaném množství do tvarové dutiny formy a tlakem tvárníku se lisuje. Forma i tvárník jsou temperovány elektrickými tělesy na teplotu 140 až 180 °C. Vlivem tlaku a tepla vyplní hmota viskozním tečením dutinu formy.

Přetlačování – do vyhřáté přetlačovací komory, která je součástí stroje se vloží dávka zpracovávané hmoty. Působícím teplem je hmota převedena do plastického stavu a tlakem hydraulicky ovládaného válce, převedena plnicími kanály do tvarové dutiny formy, kde se vytvrdí.

Z technologických parametrů lisovacího i přetlačovacího procesu jasně vyplívají požadované vlastnosti tvarové dutiny formy. Na zhotovení tvarové dutiny se používají nástrojové a speciální oceli. Některé vybrané materiály jsou uvedeny v tab. 14.

značení	Ocel	Použití
19 312	Manganová	Rozměrová stálost při kování, lisování všech druhů, vrtací šablony pouzdra, formy na lisování plastických hmot.
19 356	Vanadová	Nože ke strojním nůžkám, nástroje k lisování a ražení, vyžadující velkou tvrdost a houževnatost.
19 426	Chrómvanadová	Kalitelná vodou, velké matrice k lisování za studena, velké lisovací hlavy a ryté razící nástroje.
19 430	Chrómvanadové	Formy a jádra pro tlakové lití slitin olova, zinku a cínu, malé a středně velké formy pro lisování plastických hmot.
19 434	Chrómová	Formy pro lití pod tlakem.
19 435	Chrómová	Formy pro plastické hmoty.
19 486	Manganchrómová	Formy na plastické hmoty.
19 487	Manganchrómová	Formy na plastické hmoty.
19 520	chlómmanganmolybdenová	Zápustky ke kování, lisování a ostříhování za tepla, velké zápustky kalitelné vzduchem.
19 531	chlómmanganmolybdenová	Cementované formy na plastické hmoty. Ocel je vhodná k lisování dutin za studena a je kalitelná vzduchem.
19 541	chrómmolybdenvanadová	Formy pro lití pod tlakem. Tvářecí nástroje za tepla pro postupné kování automaty. Formy pro lití pod tlakem.
19522	chrómmolybdenvanadová	Formy k tlakovému lití neželezných kovů pro vysoké výkony při lití hliníku a slitin hliníku, nástroje k průtlačníku lisování neželezných kovů namáhané nástroje pro práci za tepla, strojní součásti velké pevnosti.
19 555	chrómmolybdenvanadová	Nástroje pro práci za tepla, formy pro lití pod tlakem.
19 581	chrómmolybdenvanadová	Pro velmi tvrdé a opotřebením odolné nástroje jako stříhadla, malé formy na plastické hmoty apod.
19 642	Chrómniklwolframová	Zápustky všech velikostí a druhů s velkou trvanlivostí pro všechny druhy bucharů, lisů a kovacích strojů.

Tab. 14 Vybrané oceli a jejich použití

[5, 6, 12, 15]

#### 1.2.4 Vstříkovací formy

Formy pro vstříkování, ale i lisování a přetlačování jsou vystaveny silnému namáhání, které vyplývá z použití vysokých tlaků a teplot. Navíc je povrch tvářecí dutiny obrušován např. hmotami a minerálními plnivými a též i chemicky napadán. [12]

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiku se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. [16]

Pro výrobu forem se používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí a rozměrů. Všeobecně se dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitných vlastností. Takové druhy představují: [16]

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al...),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé...). [16]

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost. [16]

Od použitých materiálů na formy se vyžaduje především:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobitelnost. [16]

Konstrukční části forem (upínací desky, kotevní desky, tepné desky, rozpěrky, vytazovací desky, apod.) se zhotovují z konstrukčních ocelí. [12]

Tvářecí části forem (tvárníky, tvárnice, jádra), přetlačování písty a komory, vtokové vložky, vyhazovače, vodící sloupky a pouzdra, dorazy apod. vyžadují speciální oceli. [12]

Jsou používány převážně cementační legované oceli s tvrdým leštitelným povrchem a houževnatým jádrem. Kalené oceli se používají pro ploché litiny a pro díly forem silně namáhané otěrem. Zušlechtěné oceli se uplatňují pro velké formy, které by se mohli při kalení

deformovat. Formy z nitrídačních ocelí splňují nejvyšší požadavky na rozměrovou stálost. Tenké tvrdé okraje jsou však citlivé na nevhodné zacházení. Korozivzdorné oceli s velkým obsahem chromu jsou nezbytné pro zpracování polymerů, jako je PVC, acetátcelulosa apod. Jsou doporučovány i při intenzivně chlazených formách, kdy voda kondenzující na povrchu může vyvolat korozi. Tvářecí části forem mohou být kvůli větší chemické odolnosti tvrdě chromovány. [12]

Převážnou část spotřeby ocelí pro výrobu forem tvoří oceli konstrukční třídy 11 dle ČSN. Vyrábí se z nich méně namáhané díly, jako jsou desky forem. Jsou to především oceli 11 500, 11 600 a 11 700. Z třídy 12 jsou to především oceli 12 050, 12 060, 12 061, ty se používají pro desky forem s větší pevností a životností. Zušlechťující se na tvrdost 55 HRC. Pro části forem, jako jsou tvarové vložky, vtokové vložky a vodící prvky se používají oceli 14 220, 15 260, 19 015, 19 436, 19 437, 19 486, 19 550, 19 552, 19 786. Tyto materiály se používají ve stavu přírodním nebo zušlechtěném. Jako antikorozi ocel se nejčastěji používají 17 029 s výslednou tvrdostí po kalení 51 HRC. [16]

## 2 PŘEHLED VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ NA VÝROBU MODELŮ A FOREM

- I. generace: Formovací směsi s jílovými pojivy (bentonit, ilitické jíly) zpevňované pēchováním, střásáním, lisováním, metáním (v poslední době výbuchem). U velkých forem a jader se přidávají další přísady pro zvýšení pevnosti (vodní sklo, cukernaté látky, škroby) a po zaformování následuje povrchové přisoušení nebo úplné vysoušení.
- II. generace: Formovací směs vytvrzená chemickou cestou. Formy a jádra musí být upēchovány, ale vytvrzení se dosáhne chemickou reakcí způsobující ztvrdnutí pojiva.
- III. generace: Formovací směsi pojené fyzikálně. Zaformování je nahrazeno vibrací a zpevnění se dosáhne odpařením těkavé složky pojiva, účinkem magnetického pole, vakua nebo zmrazením.

[6]

### 2.1 Výroba slévárenských modelů

#### 2.1.1 Vytavitelný model

Při použití metody lití vytavitelného modelu se používají modelová zařízení se snadno vytavitelného materiálu. Ty se zhotovují vstřikováním roztavených voskových směsí do formy, které je možno vyrobit:

- obráběním,
- zaléváním kovového matečního modelu do nízkotavitelných slitin,
- zaléváním kovového matečního modelu plasty nebo silikonovým kaučukem,
- galvanoplasticky,
- metalizací.

K hotovým modelům se připojuje voskový model vtokové soustavy, případně i nálitků. Drobné modely se připojí lepením či pájením ke společné vtokové soustavě do “stromečku” tak, aby později při vytavování mohl vosk snadno z formy vytéci. [6]

### 2.1.2 Spalitelný model

Model se zhotovuje z pěnových plastů, nejčastěji z pěnového polystyrenu. Při kusové výrobě se model u hmoty vyřeže, případně slepí z více dílů, v sériové výrobě k výrobě modelů užívají speciální formy. Původně se spalitelné modely zaformovaly klasickým způsobem. Nověji se na model nanáší vrstvička žáruvzdorného nátěru, po jehož zaschnutí se model v rámu zasype suchým pískem. [6]

## 2.2 Výroba slévárenských forem

### 2.2.1 Formování nasyrovo

Formování nasyrovo stojí trvale na prvním místě mezi všemi metodami výroby forem.

Výhody:

- jednoduchost postupu,
- dobrá pevnost forem,
- nízká cena směsi,
- snadná možnost regenerace směsi.

Pevnost směsi je dostatečná pro výrobu forem do hmotnosti 150 výjimečně až 500 kg, nepostačuje však pro výrobu většiny jader a velmi složitých forem. Přesnost metody bývá  $\pm 1$  až 2 mm. [6]

### *Bezrámové formování*

Pro zvýšení přesnosti a tvarové složitosti odlitků formovaných nasyrovo lze užít lisování forem vyššími tlaky, kterými se stejnoměrně upěchují i vysoké formy.

Příklad postupu výroby bezrámových forem se svislou dělicí rovinnou metodou. Formovací směs se vstřeluje stlačeným vzduchem shora do čtyřhranné formovací komory uzavřené dvěma svislými modelovými deskami, z nichž jedna dolisuje směs pohybem proti druhé. Obě desky při tom vibrují. Po té se přední modelová deska odsune a vyklopí vzhůru a zadní modelová deska vysune formu z komory až k řadě dříve vyrobených forem, která se celá posune o tloušťku jedné formy. Dutinu formy tvoří vždy prostor mezi pravým a levým čelem dvou po sobě následujících forem. Jádra se zakládají speciálními zakladači, z nichž jsou jádra držena pod tlakem, který se změní na přetlak v okamžiku, kdy je jádro v určené

poloze. Nakonec se modelové desky vrátí do výchozí polohy. Dále bývá zařízení doplněno automatickým licím zařízením a vytloukacím roštem.

Formovací linky tohoto typu dosahují díky vysokému stupni automatizace nejvyššího výkonu 400 až 1000 forem za hodinu. Další výhodou je nízká hlučnost, malé nároky na výrobní plochu a odpadnutí manipulace s rámy.

Nevýhodou je omezená velikost odlitků (do 1 x 1 m), nutnost speciálního řešení vtokových soustav a nálitků, menší využitelnost objemu formy. Tato metoda je vhodná jen pro odlitky určitých tvarů, např. pro žebrované válce, bloky motorů, tělesa kompresorů apod. [6]

### ***Impulsní formování***

Tato metoda využívá ke zhutnění formovací směsi v rámu expanzi plynů. Protože nejvyššího zhutnění se dosáhne u modelové desky, mají formy vysokou přesnost při dobré prodýšnosti. Potřebná tlaková vlna se vytvoří:

- 1) Zážehem směsi hořlavého plynu se vzduchem v komoře nad formovacím rámem.
- 2) Expanzí stlačeného vzduchu v komoře nad formovacím rámem, kam je přiveden velmi rychlým otevřením speciálního ventilu. [6]

### **2.2.2 Výroba forem a jader ze směsí pojených vodním sklem**

Směsi pojené vodním sklem je možno zpevňovat třemi způsoby:

1. vysoušením,
2. tvrdidly přidávanými do směsi,
3. profukováním oxidem uhličitým.

Nejvýznamnější z nich se stala metoda tzv. CT směsi. Tato metoda otvírající novou éru výroby forem a jader je založena na vytvrzování vodního skla profukováním suchým CO<sub>2</sub>.

Vytvrzování profukováním CO<sub>2</sub> vyžaduje vhodnou konstrukci modelového zařízení, aby byl plyn co nejlépe využit.

K hlavním výhodám této metody patří vysoká pevnost forem a jader, rychlost vytvrzení, nízká plynatost a dobrá hygiena práce.

Nevýhodou je špatná rozpadavost a sklon k chemickému zapékání .

Metoda je využívána především k výrobě drobných a středních jader jednodušších tvarů. V poslední době jsou tyto směsi nahrazovány směsmi s organickými pojivy, které mají lepší rozpadavost a přizpůsobivost požadavků sléváren. [6]

### 2.2.3 Skořepinové formování

U metody skořepinového formování se můžeme setkat i s označením jako metoda C. Kovová modelová deska nebo jaderník se ohřeje na teplotu 200 - 280 °C. Po nanesení dělicího prostředku se na modelovou desku (do jaderníku) nasype formovací směs tvořená jemným pískem fenolformaldehydovou pryskyřicí a tužidlem. Nověji se používají tzv. obalové směsi, u nichž jsou zrna písku předem obalena vrstvičkou pryskyřice. Teplem modelového zařízení se pojivo začne natavovat a po několika desítkách sekund slepí vrstvu písku tloušťky 5 – 12 mm. Nespojená směs je sesype otočením modelového zařízení o 180°. Nakonec se skořepina vytvrzuje několik minut při teplotách 280 – 500 °C a po vyjmutí z pece se uvolní z modelového zařízení.

Forma se skládá zpravidla ze dvou skořepin, při čemž se do ní dle potřeby ukládají jádra. Jednotlivé díly se spojují z pravidla lepením. Před litím se skořepinová forma zasype pískem nebo ustaví v přípravku. [6]

K hlavním výhodám metody patří:

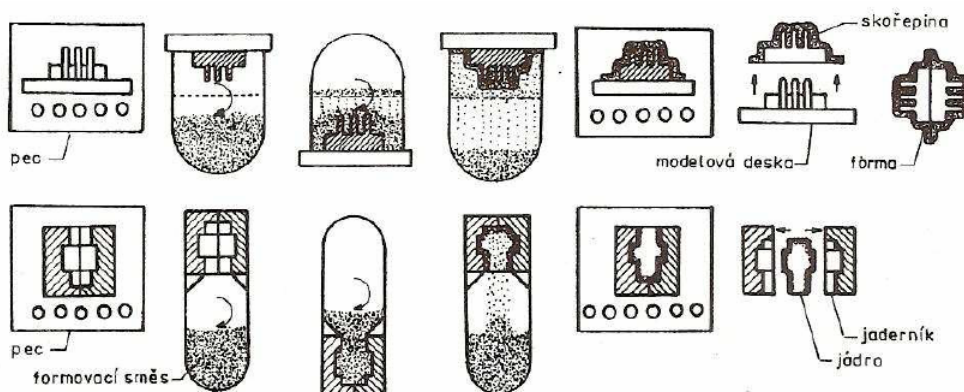
- nízká spotřeba formovací směsi,
- vysoká rozměrová přesnost odlitků,
- hladký povrch odlitků,
- možnost lit složitě tvary, tenká žebra s malými úkosy apod.,
- jednoduchost zařízení,
- dobrá rozpadavost forem usnadňující čištění odlitku.

K nevýhodám skořepinového formování patří především:

- vysoké náklady na výrobu modelového zařízení,
- vysoká cena formovací směsi,
- zhoršená hygiena při přípravě směsi a při lití (vyhořívání pryskyřice),
- možnost užití pouze pro odlitky do hmotnosti zhruba 50 kg. [6]



Na obr. 1 je znázorněno schéma výroby skořepinových forem a jader.



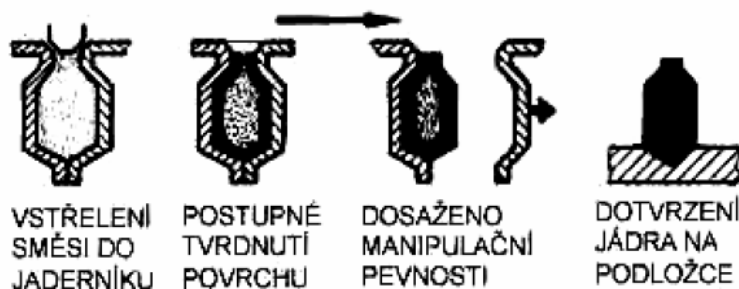
Obr. 1 Výroba skořepinových forem a jader

#### 2.2.4 Metoda horkého jaderníku

Metoda horkého jaderníku je podobná metodě C. Užívají se však levnější tekuté fenolické, furanové a močovinnové pryskyřice i jejich kombinace vyžadující dobré upěchování směsy. Ta se vstřeluje do vyhřátého kovového jaderníku vtlačeným vzduchem ze vstřelovací hlavy. Ta má uvnitř vložku opatřenou otvory, které umožňují vznik vzduchového polštáře usnadňujícího pohyb směsi z hlavy trysky do jaderníku. Ten musí mít odvzdušňovací filtry umožňující únik vzduchu a rovnoměrné upěchování.

Ve styku s ohřátým jaderníkem cca 220 °C směs tvrdne do určité hloubky, závislé na typu pojiva, teplotě a době vytvrzování.

Metoda má široké uplatnění v sériové výrobě drobných i středních jader složitějších tvarů. Umožňuje dosažení jakostního povrchu a přesností až 0,1 mm. Ve srovnání se skořepinovým formováním má tato metoda vyšší produktivitu, vyžaduje však složitější zařízení. [6]



Obr. 2 Postup vytvrzení jádra

### 2.2.5 Výroba forem z cementových směsí

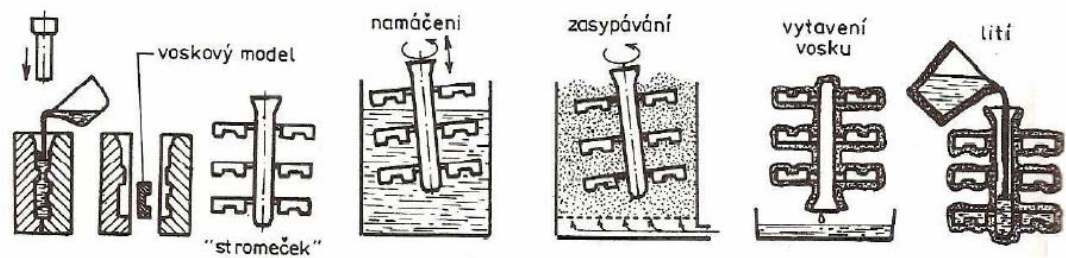
Cement je anorganické pojivo s hydraulickými vlastnostmi. Tvoří směsi zasyrova dobře tekuté a po ztuhnutí velmi pevné. Cementové směsi patří k nejstarším syntetickým směsím. Jejich nevýhodou je poměrně dlouhá doba tuhnutí, kterou je možno zkrátit přísadou solí alkajických kovů, některými hydroxidy nebo vodním sklem. Nejčastěji se tuhnutí cementových směsí urychluje chloridem vápenatým. Směsi mají poměrně dobrou rozpadavost a lze je regenerovat. Metoda je vhodná pro lití těžkých odlitek v menších sériích. [6]

### 2.2.6 Lití metodou vytavitelného modelu

Pro výrobu forem se používají speciální formovací materiály s vysokou žáruvzdorností (pevnost formy), malou teplotní roztažností (praskání formy) a netečností vůči odlévaným slitinám (zapékání). Křemen s teplotou tavení 1560 °C má omezené použití vzhledem k velké teplotní roztažnosti. Vhodnější je umělý korund, baddeleyit, mullit, spinel, zirkon, silimanit, aj. Pojivem jsou koloidní roztoky v alkoholu nebo ve vodě.

Forma se zhotoví několikanásobným (3 – 10 x) namáčením modelu do keramické směsi, fluidním zasypáním jemným ostřivem a sušením. Pak se modely vytaví horkým vzduchem nebo ve vroucí vodě. Při následujícím vypalování v peci při teplotách 800 – 1100 °C vyhoří zbytky vosku a ihned po vyjmutí z pece se formy odlíjí. Vzhledem k pomalému tuhnutí je možno odlévat odlitky s nejmenší tloušťkou stěny až 2 mm.

Do skořepinových forem se líjí především odlitky o hmotnosti 5 – 1000 g, výjimečně až do 20 kg. Protože se jedná o poměrně složitou a nákladnou metodu, užívá se především tam, kde umožní výrazně snížit náklady na obrábění tvarově složitých ploch. Uplatňuje se v mnoha odvětvích, např. při výrobě turbínových lopatek, Oběžných kol turbín a kompresorů, součástí armatur, převodovek, čerpadel a zbraní, pro nářadí, nástroje a umělecké odlitky. [6]

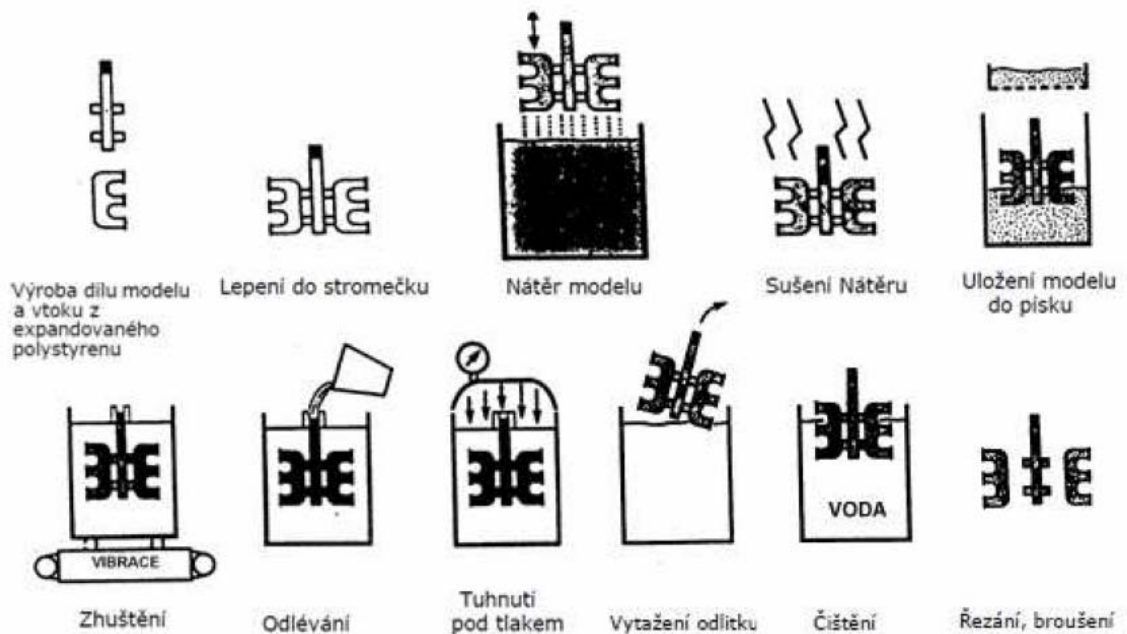


Obr. 3 Postup lití metodou vytavitelného modelu

### 2.2.7 Lití metodou spalitelného modelu

Dokonalé vyplnění formovacího rámu při tom usnadňují vibrace. Během lití se plast vypařuje před postupujícím žhavým kovem, který pak vyplňuje vznikající dutinu. Uvolňované plyny při tom unikají díky dobré prodyšnosti pískové výplně. [6]

Metoda umožňuje lití tvarově složitých dílů bez nutnosti vyjímání modelu. Opadá tedy potřeba úkosů, úprav dělicí roviny, vnějších jader a komplikovaného formování. [6]



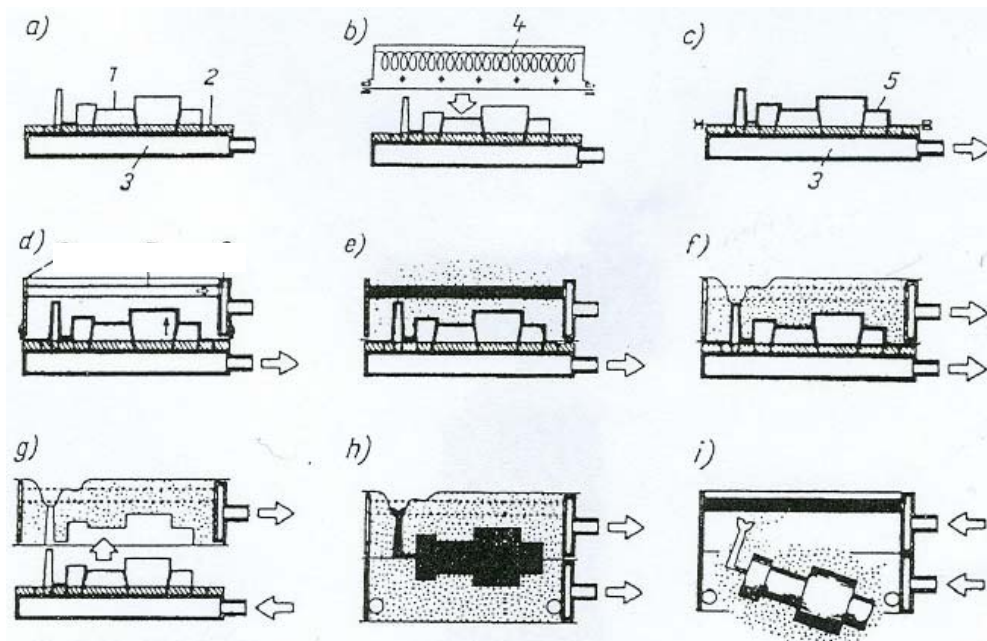
Obr. 4 Lití metodou spalitelného modelu

### 2.2.8 Vakuové formování

Na modelovou desku s drobnými odsávacími otvory se nejprve přiloží nahřátá tenká fólie z plastu. Odsáním vzduchu pod modelovou deskou se folie přisaje na model a velmi přesně

kopíruje jeho tvar. Pak se na modelovou desku usadí speciální formovací rám, který se vyplní pískem bez pojiva. Po ztuhnutí písku vibrací a vytvoření licí jímky (při formování horní poloviny formy) se rám překryje plastovou fólií a z prostoru rámu se odsaje vzduch. Zrušením podtlaku pod modelovou deskou se rám uvolní a zaformovaná část formy je držena pohromadě pod tlakem v rámu. Obdobně se zhotoví i druhá polovina formy. Složená forma se odlévá při zapnutém odsávání. Po jeho odpojení se forma rozpadne.

K hlavním výhodám metody patří dobrá přesnost a kvalitní povrch odlitků, minimální úkosy, nízké nároky na formovací směs, snadné uvolnění a čištění odlitku a dobrá hygiena práce. Nevýhodou je potřeba speciálních formovacích rámců, náklady na vytváření a rozvod vakua a problémy s likvidací zbytků folie. [6]



Obr. 5 Vakuové formování (1 – model; 2 – dělicí rovina; 3 – modelová deska; 4 – rám; 5 – folie)

### 2.2.9 Výroba forem ze silikonové pryže

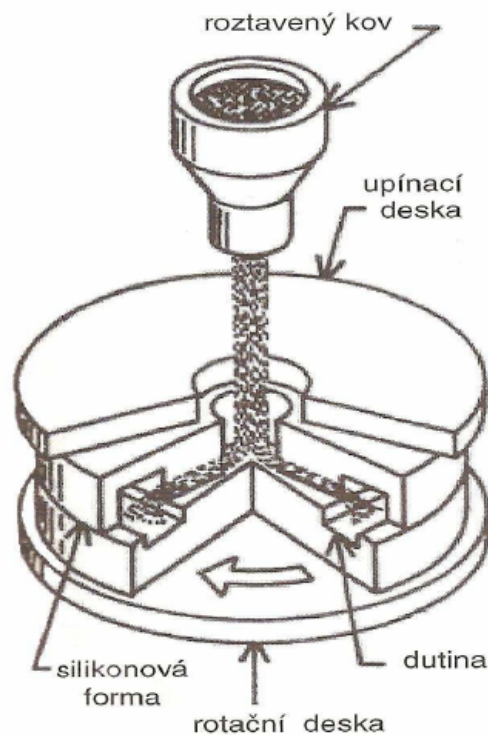
Speciální silikonové pryže jsou schopny mnohonásobně snášet licí teploty slitin s nízkými teplotami tavení, a proto začínají být využívány pro zhotovení slévárenských forem určených k výrobě odlitků ze slitin zinku, cínu, olova a dokonce i drobných dílů ze slitin hliníku.

Nevytvrzená pryž má konzistenci jílu, je měkká a tvárná. Proto je snadné do ní vtlačit modely a upravit dělicí rovnu. Při následující vulkanizaci v peci se forma vytvrdí, ale uchová

si pružnost umožňující vyjmutí modelu. Vtoková soustava a průduchy se vyřezou nebo vyvrtají. Pro zajištění dobrého zaběhnutí se formy odlévají odstředivě. Proto se do jedné formy vkládá zpravidla více odlitků rozložené po kružnici kolem společného vtoku. Po ztuhnutí se odlitky vyjmou a forma se složí pro další použití. U drobných dílů se dosahuje produktivity až 60 cyklů za hodinu. Životnost formy činí několik stovek odlití.

Výhodou metody jsou nízké výrobní náklady a pohotovost. Proto je vhodná pro výrobu prototypů.

Použití nachází pryžové formy především při lití drobných složitých součástí pro strojírenství a elektrotechniku, např. úchytek, klik, kování k nábytku, odznaků, plaket a dalších dekoračních odlitků, nejčastěji ze slitin typu Zn – Al. [6]



Obr. 6 Odstředivé lití do pryžové formy

### 2.3 Výroba lisovacích tvárníků

Výroba lisovacích forem je jednou z nejnáročnějších prací ve strojírenské výrobě jak co do přesnosti, tak co do obtížnosti výroby. Rovněž návrh správně konstruované vysoce výkonné složité formy je obtížným úkolem a vyžaduje specialisty s dlouholetou zkušeností. [12]

Vezme-li se v úvahu obtížnost výroby forem, je přirozené, že lisovny hledají hospodárnější způsob výroby forem, především tvárnic. Jedním z nejčastěji používaných způsobů je výroba tvárnic zatlačováním za studena. [12]

Metoda spočívá v tom, že zakalený a dokonale vyleštěný tvárník z oceli o vynikající pevnosti, houževnatosti a tvrdosti je zatlačen tlakem hydraulického lisu do měkce vyžíhaného materiálu tvárnice. Jako materiál pro tvárnici se používá ocel, která se po zatlačení cementuje a kalí. Při menších nárocích lze k přípravě tvárnic použít i vyžíhanou měď. Lisovací tlaky se pohybují mezi 1500 – 2500 MPa a je nutné použít speciální vysoce výkonné lisy. Výhodou zatlačování za studena je, že jedním tlačným trnem můžeme vyrobít větší množství přesně stejných tvárnic, což je významné zvláště pro drobné výlisky lisované ve velkých sériích. Tvárník, vzhledem k přístupnosti k obráběcím strojům, se vyrábí daleko snadněji než příslušný negativní tvar tvárnice. Při navrhování této metody se musí dbát na to aby tvárník neměl jemné výběžky, ostré hrany apod., které by se při tlačení lámaly nebo které by zatěžovali lisovací proces. [12]

## 2.4 Galvanoplastická výroba forem

Balvaní plastická výroba forem není příliš známou technologií, ale je to metoda, která umožňuje vyrábět formy nevyrobitelné ani nejnovějšími technologiemi spojující progresivní metody 3D konstruováním a modelování s návazným CNC obráběním. [13]

Galvanoplastika umožňuje dokonalé kopírování modelů vyrobených z nejrůznějších obecně dostupných materiálů, jako je ocel, nerezová ocel, dural, zinkové slitiny, měď, mosaz, vosky a celá škála plastových materiálů včetně tzv. umělých dřev. Vynikající reprodukční schopnost galvanoplastiky umožňuje kopírování dezénů usně, jemně gravitovaných nápisů, struktury dřeva, ale i zrcadlově leštěných povrchů. Jedinou podmínkou je, aby model měl takový tvar, který je možno z hotové skořepiny vyjmout. S výhodou se používá modelů vyrobených ze speciálních vosků, které se z hotové formy vytaví v parní nebo elektrické peci. [13]



Obr. 7 Forma pejska

Nejčastěji používanými materiály při galvanoplastice jsou měď a nikl, popřípadě jejich kombinace. Fyzikálně mechanické vlastnosti měděných forem nejsou nejlepší, ale v těch případech, kdy se nepožaduje především zvýšená tepelná odolnost forem, dává galvanoplastika mědi uspokojivé výsledky. [13]

Nejpoužívanějším materiálem v galvanoplastice je nikl, který má velmi dobré mechanicko-fyzikální vlastnosti a formy velmi dobře odolávají i cyklickému tepelnému namáhání. Což upřednostňuje takto vyrobené formy pro rotační odlévání PVC nebo rotační spékání práškových termoplastů. [13]

Běžně se vyrábí formy o tloušťce stěny 0,8 – 4 mm. Nejčastěji používaným elektrolytem je tzv. Wattsův elektrolyt, jehož základní složkou je síran nikelnatý. Běžně se používají rovněž sulfamátové elektrolyty, nově tak např. koncentrované niklkobaltové elektrolyty.

Galvanoplastická výroba forem není rozhodně jednoduchou technologií. Spojuje v sobě náročnou výrobu a přípravu modelů, jejich povrchovou úpravu, zvodivování, dále pak složitý elektrolytický proces náročný na kontrolu a hlídání řady parametrů, jako je pH, teplota lázně, proudová hustota a čistota elektrolytů a nakonec často náročné dokončování forem. [13]

## 2.5 Technologie třískového obrábění

Obrábění je technologie, kterou se vyrábějí modely i formy. Jedná se o nepostradatelnou oblast strojírenského průmyslu. Uplatnění nachází při obrábění dřeva a kovů při výrobě modelů i kovových forem.

### 2.5.1 Soustružení

Je to třískové obrábění nástrojem s jedním ostřím. Hlavní pohyb provádí většinou obrobek (otáčivý pohyb), vedlejší pohyb vykonává nástroj – soustružnický nůž.

#### *Způsob soustružení*

Podle směru posuvu

- Podélné: posuv nože je rovnoběžný s osou otáčení obrobku
- Příčné: posuv nože je kolmý na osu otáčení obrobku

Podle místa obrábění:

- vnější,
- vnitřní,
- čelní,
- válcové. [18]

#### *Základní práce na soustruh:*

- soustružení vnitřních a vnějších ploch,
- soustružení kuželových ploch,
- soustružení tvarových ploch,
- zarovnávání čel,
- zapichování a upichování,
- řezání závitů očkem, závitníky, nožem,
- vrtání,
- soustružení na trnech. [18]



### ***Základní druhy soustruhů***

- revolverové,
- soustružnické automaty,
- poloautomaty,
- speciální. [18]

### **2.5.2 Frézování**

Frézování je jedním z nejpoužívanějších způsobů strojního třískového obrábění. Frézováním je možno obrábět jednoduché rovinné plochy, různé složité nepravidelné tvary i rotační plochy. Lze frézovat ozubená kola a hřebeny, závity, mohou se vrtat otvory v přesných roztečích, souřadnicích nebo na roztečné kružnici. [18]

### **2.5.3 Vrtání a vyvrtávání**

Díry se vrtají do plného materiálu. Vyvrtáváním se předvrtané díry zvětšují. Patří sem i vyhrubování, vystružování a zahlubování. Vystružování je zvláštní dokončovací způsob vyvrtaných děr. Zahlubováním se zarovnávají čelní plochy, zkosují hrany a zahlubují díry např. pro válcové stěny šroubů. [18]

### **2.5.4 Hoblování a obrážení**

Je to druh třískového obrábění. Používá se pro obrábění vnějších, případně vnitřních rovinných nebo přímkových ploch jednobřítým nástrojem. Nástroj je velice podobný soustružnickému noži. [18]

Tento typ obrábění je v moderní době nahrazován produktivnějším a to především frézováním. Ovšem někdy je, z ekonomických nebo jiných důvodů, lepší použít hoblování (popřípadě obrážení). Hlavní pohyb je přímočarý vratný a vedlejší pohyb je posuv. Posuv je přerušovaný a kolmý na hlavní pohyb. Posuv se koná v době, kdy se nástroj nedotýká obrobku. Nástroj je namáhán rázem, protože nástroj zabírá do plného průřezu třísky. Aby nástroj nenarážel do materiálu svou špičkou, bývá úhel ostří záporný. [18]

### 2.5.5 Broušení

Broušení jednak dosahujeme konečné přednosti obrobků a upravujeme zároveň jejich povrch, jednak ostříme nástroje. Používáme k tomu brusných látek – prášků nebo různých kotoučů a tyčinek. [18]

Oddělování třísek při broušení je podobné jako při frézování. Na rozdíl od frézky jsou břitvy brousícího kotouče tvořeny zrný brusiva, nepravidelně rozmístěné po obvodu nástroje a mají nestejnou geometrii břitu. Řezný odpor při broušení je větší než při frézování, neboť průřezy odebíraných třísek jsou malé. [18]

### 2.5.6 Nekonvenční metody obrábění (NMO)

Jednotlivé nekonvenční metody obrábění se odlišují zejména dle fyzikálních účinků použitých pro obrábění. [17]

NMO s elektro–tepelným principem využívají převážně teplo pro řízené odtavování materiálu. Elektrochemické obrábění kovů je založeno na intenzivní elektrolýze známé z galvanických procesů. S ohledem na přímé působení elektrického proudu na úběr materiálu zahrnuje elektroerozivní a elektrochemické obrábění pod společným názvem elektrické metody obrábění. [17]

Podstatou NMO s chemickým principem je přímé využití chemických reakcí pro obrábění (chemické obrábění a termické obrábění otřepů). [17]

Mechanické (abrazivní) metody obrábění jsou založeny na stimulaci abrazivních nebo erozivních účinků vhodných látek, např. brusiv a kapalin. [17]

Rozdělení nekonvenčních metod obrábění podle využívaného fyzikálního principu: [17]

- elektricko – tepelné principy
  - elektro erozivní obrábění
  - obrábění paprsky koncentrované energie
    - obrábění paprskem laseru
    - obrábění elektronovým paprskem
    - obrábění iontovým paprskem
    - obrábění paprskem plasmu

- elektro - chemický princip
- chemický princip
- mechanické (abrazivní) principy
  - obráběním ultrazvukem
  - obráběním kapalinovým paprskem
  - obrábění proudem brusiva. [17]

### 3 NOVÉ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY K POUŽITÍ NA VÝROBU MODELŮ A FOREM

Zásadní změnu při navrhování a následné výrobě modelů a forem přinesl CAD/CAM systém. CAD systém zajišťuje rychlou tvorbu modelu v libovolném 3D modeláři jako je např. Catia, ProEngineer, Inventor, SolidWorks, 3D MAX Studio atd., nebo pomocí reverzního inženýrství. Jedná se o proces, který vytvoří z fyzického modelu kopii v podobě 3D digitálního geometrického modelu. Obě metody jsou využívány zejména technologií Rapid Prototyping, které bude níže věnována kapitola.

[19]

#### 3.1 Modelovací hmota

Modelovací hmota Marsclay je speciální profesionální modelína, jejíž složení se skládá z vosků, olejů, plniva a pigmentů a je určena pro výrobu forem a modelů. Tato plastelína velmi dobře splňuje zejména specifické potřeby návrhů v automobilovém průmyslu. Z 2D návrh se transformuje do 3D modelu právě pomocí této hmoty, přičemž praktická realizace se provádí ručním modelováním nebo strojním obráběním. Model je možné vyrábět i v měřítku 1:1. Vynikající a konstantní kvalita modelíny Marsclay je oceňována modeláři a designery v celém světě.

Modelovací hmota udržuje i jemné okraje a umožňuje proto modelování i velmi přesných detailů, nepraská, nestárne a je prakticky bez zápachu. Dále má velmi dobrou adhezi k základním materiálům jako je dřevo, pevná pěna či kov. Nespornou výhodou je, že modelovací hmota nevysychá a nesmršťuje se a je možno ji na model přidávat dokonce i po letech.



Obr. 8 Modelovací hmota Marsclay

Dle potřeby se modelína může postupně přidávat po jednotlivých překrývajících se vrstvách. Přičemž první vrstva modelíny musí být tenká a musí být nanášena tak energicky, aby pod materiálem nezůstávaly vzduchové bubliny, které by se mohly později v materiálu objevit. Ideální pracovní teplota se pohybuje v rozmezí mezi 15 °C až 25 °C. Je jí potřeba měkká a vláčná hmota získá se ohřevem v sušárně na teplotu až 60 °C. Malé množství může být ohříváno v horké vodě. Bez nebezpečí degradace je možno modelínu opakovaně ohřívat do teploty 55 °C až 60 °C, kdy se hmota stává měkkou a vláčnou. Teplota však nesmí překročit teplotu 70 °C. Se základním materiálem (např. dřevo, polyuretan či tvrdá pěna) se ohřátá modelovací hmota spojí bez lepidla. Jsou-li upravovány hmotnější modely, doporučuje se pro získání optimální adheze předeřtí základní vrstvy. Po vychladnutí modelíny modeláři povrch upravují kovovými škrabkami do konečného tvaru a ve finále může být povrch doupraven pružnými ocelovými nožíky a vyleštěn bavlněným hadříkem a vodou. Změkčování povrchu modelíny a tedy snížení odolnosti proti poškozování poškrábáním může nastat působením horka či přímého slunečního světla. Z vyrobeného modelu je možno vyrobít formu ze sádry nebo silikonu. Ovšem před odléváním je nutno naseparovat šelakem.

[13]

## 3.2 Polyuretanové systémy

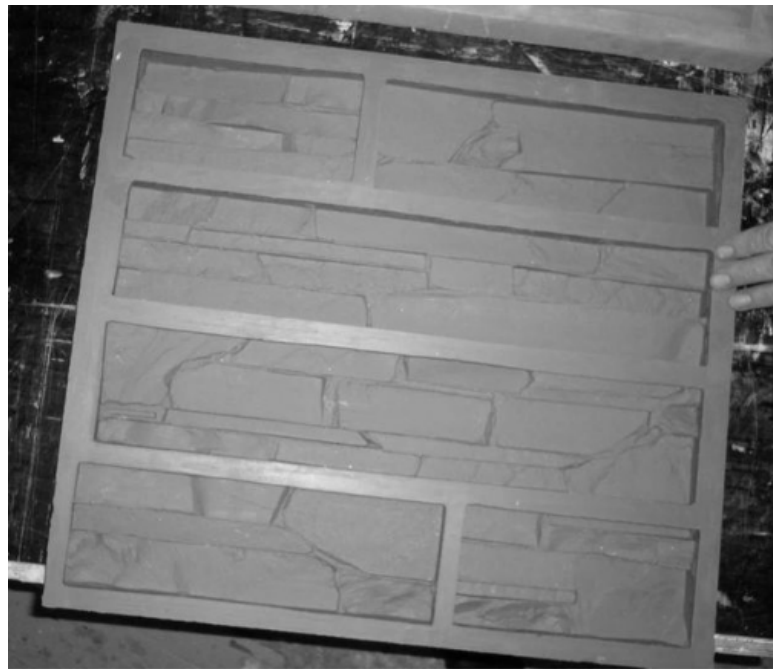
V současné době se na trhu objevují polyuretanové licí systémy, které zásadně zkracují dobu přípravy a zhotovení formy. Například firma Davex Chemical zahrnuje ve svém sortimentu polyuretanovou licí pryskyřici pod obchodním názvem Gaform R30, která je blíže představena v následující podkapitole.

### 3.2.1 Polyuretanová licí pryskyřice Gaform R30

Jedná se o rychle tvrdnoucí PUR pryskyřici s velmi dobrou zabíhavostí, tekutostí a plnitelností. Zpracovatelnost je 3 – 4 minuty. Vyjmutí z formy je možno po 20 – 30 min podle odlévaného množství a tloušťky vrstvy. Vyznačuje se dobrou opracovatelností. Její využití se nachází především pro drobné odlitky a velké série. Ovšem skýtá i možnost využití pro výrobu kompaktních bloků pro následné obrábění na CNC strojích. Při opracování nepráší, táhne šponu. [20]

Gaform R30			
mísící poměr	100 dílů pryskyřice na 100 dílů tvrdidla		
doba zpracovatelnosti	3 - 4 minuty		
vytvrzení	20 - 30 minut při teplotě 20 °C a množství 200 g		
tvrdost	83 Shore D		
barva	složka A	bílá	
	složka B	hnědá	
Vlastnosti		Norma	teplota při zpracování [°C]
viskozita složky A	285 mPa.s	DIN 53211	20
hustota složky A	1,05 g/cm <sup>3</sup>	DIN 51757	20
viskozita složky B	150 mPa.s	DIN 53019	20
hustota složky B	1,126 g/cm <sup>3</sup>	DIN 51757	20

Tab. 15 Vlastnosti a popis materiálu Gaform R30



Obr. 9 Pružná forma pro výrobu umělého kamene

## 4 PŘEHLED NOVÝCH TECHNOLOGIÍ VYUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU MODELŮ A FOREM

Pod názvem Rapid Prototyping (RP) se skrývá oblast technologií, které převratně změnily princip výroby modelů a prototypových dílů. V podstatě se jedná o obrácený postup technologie obrábění. Zatímco u klasického třískového obrábění se z obrobku postupně materiál odebrává, technologie RP naopak vytváří prototypovou součást tak že postupně přidává jednotlivé vrstvy materiálu na již nanesenou vrstvu. Technologií RP je zajištěna velmi rychlá a flexibilní výroby, což přináší i značné finanční úspory.

### 4.1 Additive Fabrication (AF)

V současné době se pod Additive Fabrication slučují technologie:

- Rapid Prototyping (RP)
- Rapid Manufacturing (RM)
- Rapid Tooling (RT)

Princip těchto technologií spočívá v tom, že materiál se postupně nanáší na již vytvořenou vrstvu. Rapid Prototyping se zabývá rychlou výrobou modelu nebo prototypu. Technologie Rapid Manufacturing a Rapid Tooling vycházejí z RP. RM se zabývá výrobou součástí jako funkčních dílů koncové soustavy a RT se zabývá výrobou nástrojů (formy, kovové modely, opravy nástrojů, apod.)

[19]

### 4.2 Rapid Prototyping

Na trh byla uvedena v osmdesátých letech a stala se základnou pro rozvoj nových technologií a metod založených na stejném principu. Tedy na postupném přidávání materiálu po vrstvách. Součástí RP je rychlé budování prototypů a modelů pro účely testování funkčnosti, koncepce, výkonů. Při zjištění nevyhovujících parametrů je možná okamžitá zpětná vazba, což vede k následnému snížení nákladů.

Všechny technologie spadající pod RP plně využívají podpory CAD systémů. Model je vytvořen ve 3D modeláři nebo je využito reverzního inženýrství, kdy s fyzického modelu je pomocí snímání vytvořen digitální 3D model. [19]

Při výrobě modelu rozdělujeme 3 základní fáze. V první (Preprocessing) je nutné data s 3D modeláře nutno převést do formátu STL (Stereolithography file). V druhé (Processing) se jedná o samotnou výrobu modelu. Model je možné vyrobit pěti základními technologiemi.

- SL – Stereolitografie
- LS – Laser Sintering
- FDM – Fused Deposition Modelling
- LOM – Laminated Object Manufacturing
- 3DP – Three Dimensional Printing

V současné době jsou známy další dvě technologie odvozené z RP, ale jejich využití se uplatňuje zejména v oblasti Rapid Tooling. Názvy těchto technologií nejsou jednotné. Liší se obchodními názvy jednotlivých firem.

- Power Bed systémy založené na LS (Selective Laser Sintering, Direkt Metal Laser Sintering, atd.)
- Power Deposition systémy založené na FDM (Direkt Metal Deposition, Laser Engineering Net Shaping, atd.)

V poslední fázi (Postprocessing) jsou zahrnuty dokončovací práce. Postprocessing je nedílnou součástí výroby a ovlivňuje konečnou cenu a čas výroby prototypu.

[19]

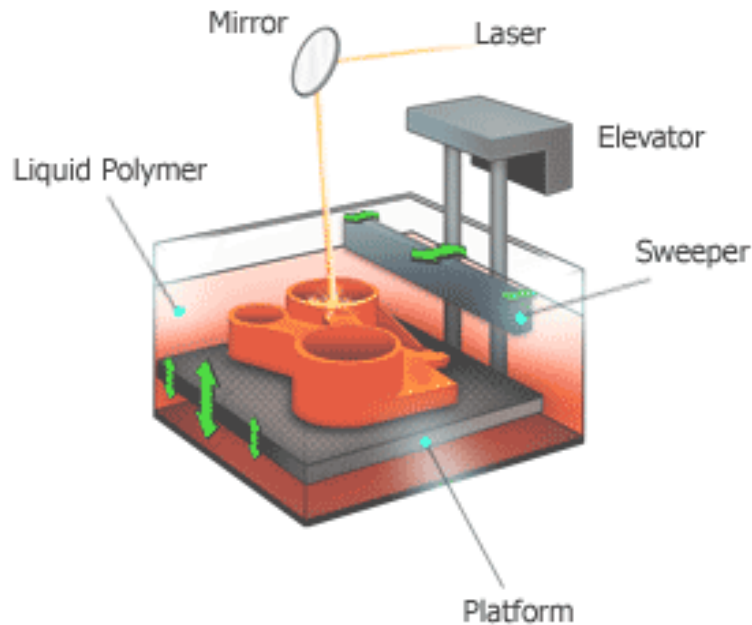
#### 4.2.1 SL – Stereolitografie

Jedná se o nejstarší z technologií Rapid Prototyping. Byla vyvinuta firmou 3D Systéme. Principem této metody je postupné vytvrzování tekutého fotopolymeru pomocí laseru. Vrstva modelu, která se zrovna tvoří, je vždy u hladiny tekutého polymeru. Když je vrstva hotova, posune elevátor model dolů o hodnotu tloušťky vrstvy.

Tato metoda je nejpřesnější, umožňuje tvorby detailů a velmi dobrý povrch. Tato technologie umožňuje použití velkého množství materiálů.



Nevýhodou této technologie je, že při dokončovacích je nutné čištění a pomalé tvrzení polymeru. Model se vyznačuje menší tepelnou a mechanickou odolností. Při výrobě je nutná stavba podpor a následně jejich mechanické odstranění.



Obr. 10 Princip Stereolitografie

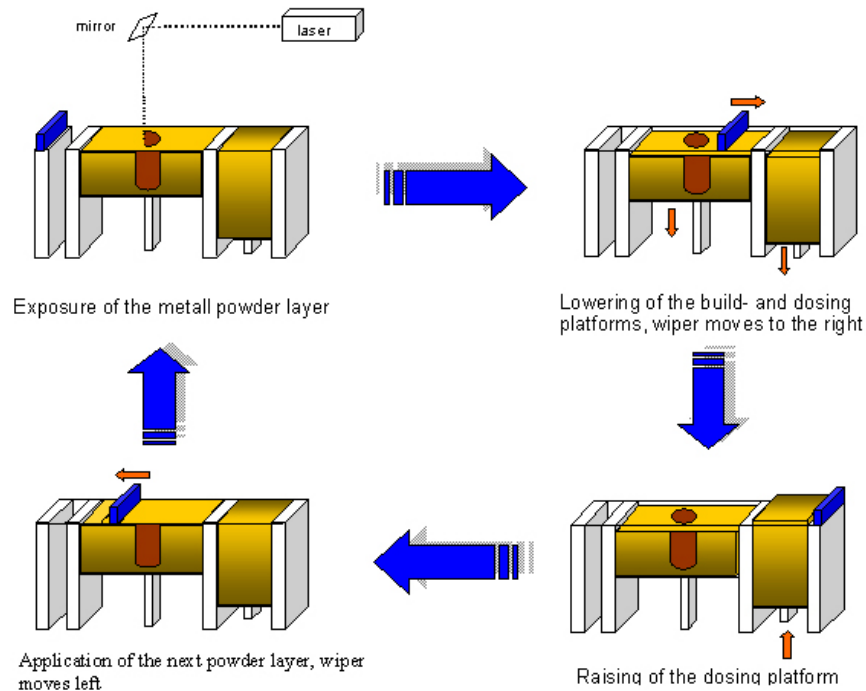
[19]

#### 4.2.2 LS – Laser Sintering

Tento systém byl vyvinut na texaské univerzitě v Austinu. Principem technologie je postupné spékání jednotlivých vrstev pomocí laseru. Materiál v této metodě je v podobě prášku (plastový, kovový nebo slévárenský písek).

Výhodou je, že model vyrobený touto metodou je pevnější než u SL. Při výrobě převislých částí není nutná stavba podpor. je možné použít velkou škálu materiálů (termoplasty, polystyren, slitiny niklového bronzu, kovové materiály, pískové směsi). Kovových materiálů se používá v Rapid Tooling.

Nelze pracovat na jednom zařízení s různými materiály, protože jsou potřeba různé vytvrzovací podmínky. Konečné úpravy zahrnují očištění modelu od prášku a pro zlepšení mechanických vlastností se model napouští tužidly.



Obr. 11 Princip Laser Sintering

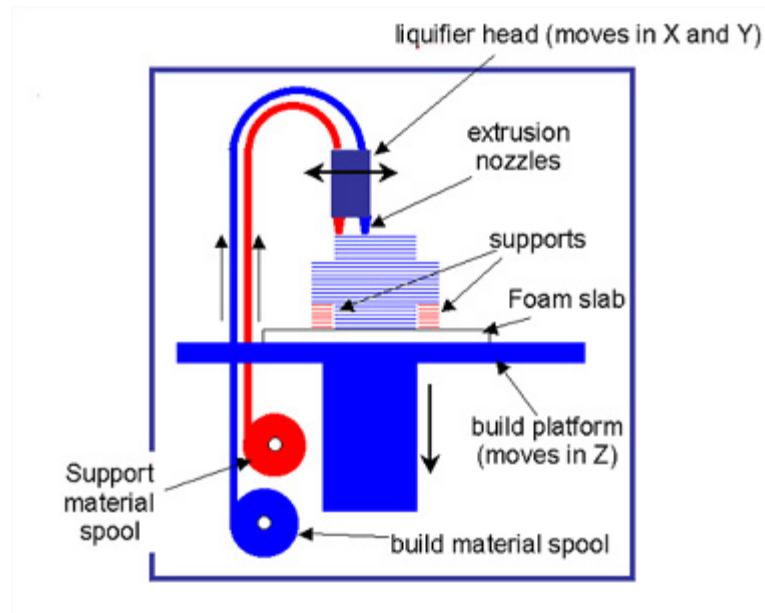
[19]

### 4.2.3 FDM – Fused Deposition Modelling

Tato metoda byla vyvinuta firmou Stratasys. Jako jediná spolu s 3DP nepoužívá laser. Materiál je přiváděn tenkým vláknem z termoplastu do vyhřívané trysky. Tryska ohřívá vlákno na teplotu o 1 °C vyšší než je teplota tání materiálu. Tryska nanáší požadovanou vrstvu modelu. Materiál při styku s již zhotovenou částí modelu rychle tuhne a dochází k pevnému spojení.

Materiály mají velmi dobré mechanické vlastnosti. Technologie umožňuje využít více druhů materiálů na jednom modelu. Pro převislé části jsou nutné podpory, při jejich odstraňování se s výhodou využívá odplavování v roztoku hydroxidu sodného. Což je jediná dokončovací operace. Další výhodou je nízká cena.

Jak již bylo zmíněno technologie FDM vyžaduje stavbu podpor. Další nevýhodou je horší kvalita povrchu než u laserových technologií a taky nižší přesnost.



Obr. 12 Princip Fused Deposition Modelling

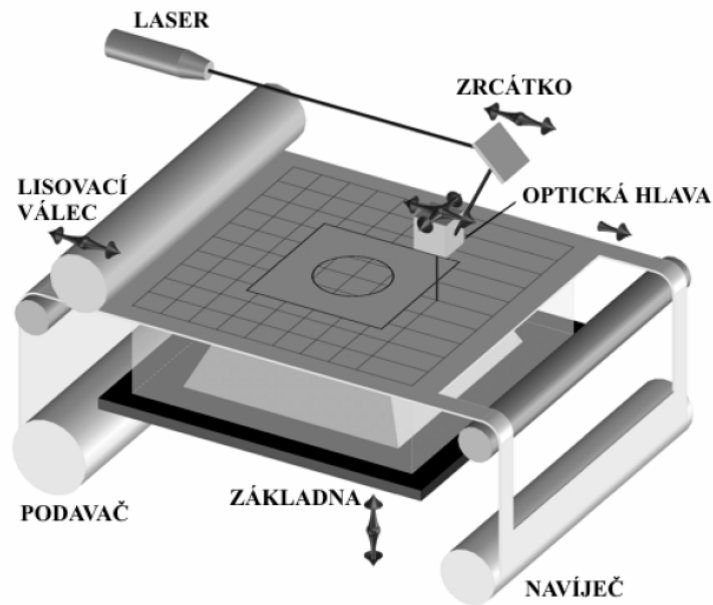
[19]

#### 4.2.4 Lom – Laminated Object Manufacturing

Lom byl vyvinut americkou firmou Helisys. Model je tvořen na svisle se pohybující podložce. Celý proces modelování probíhá tak, že se na nanosenou a vyřezanou vrstvu natáhne papírová folie opatřená vrstvou polyetylenu, která se poté přitlačí soustavou vyhřívaných válců, čímž dojde ke slepení obou vrstev. Paprskem laseru je vyřezán požadovaný obrys vytvářené vrstvy. Přebytečná odřezaná folie je laserem rozdělena na čtverce a později odstraněna. Po vytvoření vrstvy se podložka sníží o tloušťku folie a postup se opakuje.

Výhodou metody je rychlá tvorba modelu a možnost výroby velkých modelů.

Nevýhodou je hodně odpadu a horší kvalita povrchu. Je nutné ruční opracování.



Obr. 13 Princip Laminated Object Manufacturing

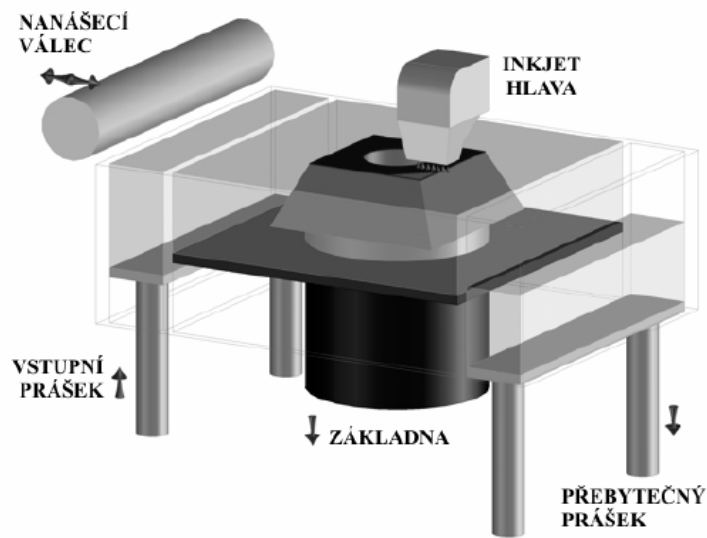
[19]

#### 4.2.5 3DP – Three Dimensional Printing

Technologie byla vyvinuta v Massachusetts Institute of Technology. Vrstva prášku je nanášena válcem přes stavěcí prostor a zpevněna pojivem, které je aplikováno tryskou z nanášecí hlavy. Princip nanášení pojiva je obdobný jako u inkoustového tisku.

Výhodou je velmi dobrá produktivita stavby. Není třeba stavba podpor. Plnobarevný tisk a vysoké rozlišení (u Z510 nastavení tloušťky vrstvy 0,089 – 0,203 mm). Prášek je možno opakovaně používat. Škála použitelných materiálů je velmi široká s velkým spektrem materiálových vlastností. Nezanedbatelné nízké náklady na modely

Nevýhodou je nutnost dokončovacích operací – napouštění tužidlem pro zvýšení mechanické tuhosti.



Obr. 14 Princip Three Dimensional Printing

### 4.3 Výroba skořepinových modelů a forem

Velmi důležitou součástí výrobou modelů a forem jsou technologie, které se vyvinuly s technologií používaných pro povrchové úpravy. Cílem je vytvoření funkční vrstvy takových vlastností, aby odpovídaly budoucímu výrobku, včetně jeho fyzikálních vlastností, které jinou metodou nelze za obdobných ekonomických podmínek zhotovit. Výhodou této techniky je výroba rozměrných forem o ploše několika m<sup>2</sup>. Jejich využití je významné u modelových forem pro výrobu kompozitů, nízkotlakového vstřikování a pod. Technologie, jak bylo uvedeno výše, je obdobná technologii metalizace, přičemž se vytváří vrstvy o tloušťce více jak 1mm.

#### 4.3.1 Metalizace

Jedná se o nanášení kovů žárovým nástřikem. Je určena především k povrchové ochraně oceli a jiných kovů před korozi. Vytvořená vrstva kovu brání k přístupu vlhkosti a vzduchu, čímž je možno až několika násobně prodloužit životnost celků. Stříkaný povrch musí být předpřipraven tryskáním či pískováním.

Technologie nanášení:

Metalizací neboli žárovým nástřikem rozumíme technologii, kde na povrch součásti je nanášen stříkáním roztavený materiál v podobě drobných kapiček, které ulpívají na povrchu dané součásti a vytváření souvislý povlak.

Zdrojem tepelné energie, nutné k natavení přídavného materiálů, může být buď spalovací proces, nebo elektrické energie. Podle konstrukce zařízení a použitého zdroje lze rozlišit:

- nástřik plamenem
- nástřik elektrickým obloukem
- plazmovým nástřikem

Typy nástřiku:

Pro roztavení příslušného materiálu je využíván elektrický oblouk nebo jako zdroj tepla lze použít energii vznikající hořením běžně dostupných plynů.

Například firma EST má ve svém sortimentu speciální metalizační pistole, které aplikovaný kov roztaví směsí plynů kyslík – acetylen nebo kyslík – propan-butan a proudem vzduchu vrhají na aplikovaný předmět. Aplikovaný kov je do pistole dodáván ve formě drátu.

Aplikované materiály:

- hliník,
- zinek,
- zinakor [slitina zinku (cca 80 %) a hliníku],
- stříbro,
- měď,
- molybden.

[21, 22]



Obr. 15 Stříkací pistole EST 257[22]

#### 4.3.2 Stabilizace tvarových částí skořepinových forem

Pokud je vyrobená skořepina určená k výrobě tvarových částí forem, je nutno provést její stabilizaci. Stabilizace tvarových částí forem a jader forem je řešeno řadou technik a technologií. Základní rozdíl mezi použitými způsoby je závislý na druhu zpracovávaného materiálu, suroviny, výrobní technologii a potřebné přesnosti vyráběných výrobků.

Mezi techniky v současné době pro výrobu forem na zpracování polymerů jsou techniky zaformování do kovových materiálů, jiných polymerů, nebo polymerních kompozitů. Často je možné se setkat s využitím i materiálů keramických, betonů speciálních vysokopecných, polymerbetonů, skla, nebo kompozitních materiálů s využitím matric z uvedených. Tyto techniky jsou využívány zejména při výrobě velkorozměrových forem, forem pro zpracování a výrobu výrobků z reaktoplastů, kompozitů s reaktoplastovými matricemi apod.

Nevýhodou materiálů těchto forem je nízká tepelná vodivost, často i jejich vyšší tepelná kapacita. Naopak se otvírá možnost využití k ohřevu zejména frekvenčního a dielektrického ohřevu, který vykazuje proti konvenčním ohřevům vysokou účinnost při využití energie.

## ZÁVĚR

Po celou dobu technické praxe se při výrobě vyžaduje rychlá realizace, flexibilní oprava případných vad a nesrovnalostí, při minimalizaci nákladů. Rovněž požadavky kladené na vlastnosti materiálů, přesnost a kvalitu povrchu součástí, jsou omezujícími faktory. Snahou je vyvinout takovou technologii a takové materiály, které splní všechny požadavky.

Ekonomické hledisko hraje při výběru technologie výroby velký význam. Základní myšlenkou je vyrobit co nejvyšší produkt za přispění co nejnižších nákladů. Tento předpoklad může značně ovlivnit inovaci technologických postupů, a to z důvodu nemalých pořizovací náklady.

V práci byla věnována pozornost běžně používaným materiálům pro výrobu modelů a forem jako jsou pryskyřice, vosky, silikony, dřeva, kovy apod. Dále základnímu dělení forem a rozdělení podle oblasti použití např. slévárenské, lisovací či vstřikovací formy.

Byly nastíněny technologie výroby vytavitelných a spalitelných modelů či metody zaformování jako je formování nasyrovo, skořepinové formování atd. Nezanedbatelnou stránkou výroby forem je i celá široká oblast třískového obrábění.

Dále byly popsány klasické materiály, jako je modelovací hmota nebo poly-uretanové licí pryskyřice, které byli inovovány a nyní se vyznačují velmi kvalitními zpracovatelskými vlastnostmi. Uvedeny byly i neznámé, ale dnes ještě málo rozšířené technologie skrývající se pod názvem Rapid Prototyping, které umožňují výrobu prototypových dílů přímo zkoušených především na rozměrové požadavky.

Především z důvodu vyžadované rychlosti výroby, přesnosti, tvarové složitosti a jiných hledisek vyžadují nové technologie značnou ne-li úplnou počítačovou podporu konstrukce i výroby. Tyto předpoklady právě splňují technologie Rapid Prototyping. Další výhodou rozšíření počítačové konstrukce je ukládání dat v počítačovém formátu. A tedy i jejich snadné archivování, případně rychlý návrat k uloženým datům a práce s nimi.

Další cennou technologií je výroba skořepinových forem pomocí žárového nástřiku. V tomto případě se nejedná o technologii počítačově podporovanou, ale stejně dobře umožňuje kopírování detailů dílu. Nevýhodou ovšem je, že toto technologií nevznikají celé prototypové díly, k okamžitému užití, ale je nutné vzniklé skořepiny nejprve stabilizovat, tím vytvořit formu a až ta slouží k výrobě vlastní součásti.



Cílem práce nebylo prostudovat celou škálu nových technologií, ale zaměřit se zejména na nové technologie v oblasti zpracování polymerů.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Herman, A.: *Přesné lití na vytavitelný model*, [online] Dostupné z WWW: <<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20liti%20na%20vytavitelny%20model.pdf>>
- [2] Michalík, L.: Kompozity [online] Dostupné z WWW: <<http://www.kompozity-michalik.cz/?cube=text&c=10>>
- [3] Škrobák, A., *Konstrukce vstřikovacích forem pro vstřikování elastomerů*. Zlín, 2010. 111 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z WWW: <[http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/12246/%C5%A1krob%C3%A1k\\_2010\\_dp.pdf?sequence=1](http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/12246/%C5%A1krob%C3%A1k_2010_dp.pdf?sequence=1)>.
- [4] Firma Skolil Kompozit s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.skolil.cz/blokove-materialy/32-lici-pryskyice-pro-slevarensky-prmysl>>.
- [5] Kašťánek, O., *Strojírenské materiály a technologie*. první. Brno : Rektorát Vysoké učení technické v Brně, leden 1980. 308 s
- [6] Novotný, J., et al. *Technologie I. : (Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. druhé. Praha : ČVUT, květen 2006. 227 s. ISBN 80-01-02351-6
- [7] Dvořák, Z., *Základy výrobních procesů. : (Konstrukce gumárenských výrobků a forem pro jejich výrobu)*. Zlín 2007 [online], dostupné z WWW: <<http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech/index.htm>>
- [8] *KTK Blansko* [online], dostupné z WWW: <<http://www.ebalta.cz/>>.
- [9] Ptáček, L., et al. *Nauka materiálu II.*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 505 s. ISBN 80-7204-193-2.
- [10] *Lučební závod a. s. Kolín* [online], dostupné z WWW: <<http://lucebni.cz/>>
- [11] Pecina, P., *Materiály a technologie – dřevo*. první. Brno: MZLU v Brně, 2006. 131 s. ISBN 80-210-4013-0.
- [12] Štěpek, J., *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. SNTL v Praze, 1989. 638 s. 04-602-89
- [13] *MM Průmyslové centrum*: [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/>>.

- [14] Odstrčík, P., *Technologie gravitačního lití do pískových forem*. Zlín, 2010. 69 s. Bachelářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: [online] Dostupné z WWW: <<http://dspace.knihovna.utb.cz/>>
- [15] *Tuhlík kovo* [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tumlikovo.cz/>>
- [16] Škrobák, A., *Konstrukce vstřikovací formy pro vstřikování eleastomerů*. Zlín, 2010. 111 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně: [online] Dostupné z WWW: <<http://dspace.knihovna.utb.cz/>>
- [17] Morávek, R., *Nekonvenční metody obrábění*. druhé. Plzeň, 1999, 102 s. ISBN 80-7082-518-9
- [18] Dvořák, Z., *Základy výrobních procesů: (Výrobní technologie zpracování kovů)*. Zlín 2007 [online], dostupné z WWW: <<http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech/index.htm>>
- [19] Roupec, J., *Zařízení pro vakuové lití do silikonových forem*. Brno 2007 [online], dostupné z WWW: <[http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=363](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=363)>
- [20] Davex Chemical [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.dawex.cz/userFiles/technickelisty/licihmoty/polyuretanovemodelarske/gaform-r30-1-1.pdf>>
- [21] PEKR METAX [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.pekrmetax.cz/metalizace-sopovani.html>>
- [22] EST [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.estplus.cz/katalogy>>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Seznam použitých zkratk

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor (Three Dimensional)
CAD	Počítačová podpora konstrukce (Computer – aided design)
CAM	Počítačová podpora výroby (Computer aided manufacturing)
CNC	Computer Numerical Control
AF	Additive Fabrication
RP	Rapid Prototyping
RM	Rapid Manufacturing
RT	Rapid Tooling
SL	Stereolitografie
LS	Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modelling
LOM	Laminated Object Manufacturing
3DP	Three Dimensional Printing
NMO	Nekonvekční metody obrábění
HRC	Tvrдость podle Rockwella
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Výroba skořepinových forem a jader .....	41
Obr. 2 Postup vytvrzení jádra .....	41
Obr. 3 Postup lití metodou vytavitelného modelu .....	43
Obr. 4 Lití metodou spalitelného modelu .....	43
Obr. 5 Vakuové formování (1 – model; 2 – dělicí rovina; 3 – modelová deska; .....	44
Obr. 6 Odstředivé lití do pryžové formy.....	45
Obr. 7 Forma pejska.....	47
Obr. 8 Modelovací hmota Marsclay .....	52
Obr. 9 Pružná forma pro výrobu umělého kamene.....	54
Obr. 10 Princip Stereolitografie.....	57
Obr. 11 Princip Laser Sintering .....	58
Obr. 12 Princip Fused Deposition Modelling.....	59
Obr. 13 Princip Laminated Object Manufacturing .....	60
Obr. 14 Princip Three Dimensional Printing .....	61
Obr. 15 Stříkáč píštěle EST 257[22] .....	63

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Vlastnosti umělého dřeva Ebablock ®140 .....	14
Tab. 2 Vlastnosti při zpravování materiálu RAKU-TOOL® PF-3700-1/ .....	18
Tab. 3 Mechanické vlastnosti po vytvrzení materiálu RAKO-TOOL® PF-3702-1 / .....	18
Tab. 4 Vlastnosti při zpracování RAKU-TOOL® PF-3702-1/ PH-3972-1.....	19
Tab. 5 Mechanické vlastnosti materiálu RAKU-TOOL® PF-3702-1 / PH-3972-1 po vytvrzení .....	19
Tab. 6 Technické vlastnosti FC 52A, FC 52B a plniv DT 082,.....	20
Tab. 7 Vlastnosti troj komponentního systému po vytvrzení .....	20
Tab. 8 Vlastnosti při zpracování RAKU-TOOL® PC-3403 (Polyol) / PH-3903 (Isocyanat) s plnivem AC-9004. ....	22
Tab. 9 Vlastnosti po vytvrzení RAKU-TOOL® PC-3403 (Polyol) / PH-3903 (Isocyanat) s plnivem AC-9004. ....	22
Tab. 10 Vlastnosti při zpracování materiálu RAKU-TOOL®EC-2401/EH-2904-1, EH-2905-1, EH-2906-1. ....	24
Tab. 11 Vlastnosti po vytvrzení materiálu RAKU-TOOL®EC-2401/EH-2904-1, EH- 2905-1, EH-2906-1.....	24
Tab. 12 Směs písku formy .....	31
Tab. 13 Směs písku na jádra .....	32
Tab. 14 Vybrané oceli a jejich použití.....	34
Tab. 15 Vlastnosti a popis materiálu Gaform R30 .....	54