

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta strojní – Ústav strojírenské technologie



bakalářská práce

## Prototypová výroba pískových forem ve slévárenství

The prototyping manufacturing of foundry sand mould

Studijní program: (B2342) Teoretický základ strojírenského inženýrství

Studijní obor: (2301R000) bez oboru

**AUTOR PRÁCE**  
**VEDOUCÍ PRÁCE**

**Dominik Schreier**  
**Ing. Aleš HERMAN, Ph.D.**

Praha 2016

## ABSTRAKT

Práce pojednává o významu prototypových forem. Jsou zmíněny nejčastější způsoby výroby prototypových forem, přičemž hlavním záměrem je představit divákovi technologii 3D tisku pískových forem.

### Klíčová slova

3D tisk, pískové formy, slévárenství, prototypová výroba

## ABSTRACT

Thesis discusses the importance of prototype moulds. The most common means of production are being mentioned. The main objective is to introduce the viewer to the production of 3D printed sand moulds.

### Key words

3D printing, sand mould, casting, prototyping

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SCHREIER, Dominik. *Prototypová výroba pískových forem ve slévárenství*. Praha 2016.

Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie. 34 s. 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Herman, Ph.D..

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Prototypová výroba pískových forem ve slévárenství* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

8. srpna 2016

-----  
Dominik Schreier

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Hermanovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Ing. Liboru Horáčkovi děkuji za umožnění natáčení v prostorách Modelárny Liaz spol. s r.o., poskytnutí rozhovoru a dodatečných informací k 3D tisku pískových forem. Radovanu Kissoczy děkuji za pomoc při zhotovení výukového videa.

## Obsah

<b>ABSTRAKT.....</b>	<b>4</b>
<b>PROHLÁŠENÍ.....</b>	<b>5</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ.....</b>	<b>6</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>Cíl .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Prototypové formy.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Potřeba použití prototypových forem.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Rapid prototyping.....</b>	<b>10</b>
1.2.1. Preprocessing .....	11
1.2.2. Processing .....	11
1.2.3. Postprocessing.....	11
<b>1.3 Typy formovacích materiálů .....</b>	<b>12</b>
1.3.1 Ostřiva.....	12
1.3.2 Druhy pojiv pro výrobu netrvalých prototypových forem.....	13
<b>2. Výroba pískových forem obráběním.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Způsoby výroby pískových forem.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Metoda full mould .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Obráběné pískové formy .....</b>	<b>16</b>
<b>3. Výroba pískových forem 3D tiskem.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 metoda 3D tisku .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Klady a zápory 3D tisku.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Výrobci tiskáren pro tisk pískových forem.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 Modely tiskáren ExOne .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5 Tiskárna S-Max.....</b>	<b>22</b>
<b>4. Výukové video na popsanou problematiku – scénář .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 ÚVOD .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 CAD .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3 TISK .....</b>	<b>26</b>

<b>5.4 LITÍ</b> .....	<b>28</b>
<b>5.5 (OBRÁBĚNÍ)</b> .....	<b>29</b>
<b>5.6 KLADY A ZÁPORY 3D TISKU (oproti konvenčním technologiím)</b> .....	<b>30</b>
<b>5.7 VOLBA STROJŮ, PRACOVNÍ PŘÍLEŽITOSTI, BUDOUCNOST</b> .....	<b>30</b>
<b>5.8 ZÁVĚR</b> .....	<b>31</b>
<b>5.9 PODĚKOVÁNÍ</b> .....	<b>31</b>
<b>Závěr</b> .....	<b>32</b>
<b>Bibliografie</b> .....	<b>32</b>

## Úvod

Prototypová výroba slévárenských forem v současnosti nabývá nových rozměrů. Rychlý rozvoj výpočetní techniky umožnil, aby takřka jakýkoliv návrh výrobku vznikl v CAD programu. Nové technologie této příležitosti využívají k zefektivnění výroby.

Trh si žádá univerzální, automatizované stroje, které zajistí nejvyšší možnou efektivitu produkce. Ve slévárenství se technologie, které spolupracují s CAD návrhy, využívají od návrhu, přes výrobu až po kontrolu produktu.

Přibližně před dvěma lety začala Modelárna Liaz spol. s.r.o. vyrábět pískové formy progresivní metodou 3D tisku. Jelikož tisk pískových forem prozatím není ve světě rozšířenou technologií, neexistuje k ní prozatím ani dostatečný počet informací, který by ji věrohodně představil. Tato práce by měla tento nedostatek odstranit.

## Cíl

Účelem této práce je odůvodnit potřebu použití prototypových forem, představit možné typy formovacích materiálů, objasnit výrobu obráběných pískových forem a prostřednictvím výukového videa divákovi představit technologii 3D tisku pískových forem.

## 1. Prototypové formy

### 1.1 Potřeba použití prototypových forem

Průmyslové výrobě předchází nutnost ověření technických vlastností výrobku. K tomuto účelu se vytváří prototyp. Prototypová forma je vhodná pro výrobu prototypů ze sériových materiálů. Umožňuje tak prověření vstřikovacího procesu, funkčnosti a mechanických vlastností odlitku.

(1)

Schopnost rychlé výroby prototypových odlitků je jedním z klíčových faktorů, ovlivňujících úspěšnost každé slévárny na světovém trhu s odlitky. V této oblasti se v poslední době rozvíjejí různé metody rychlého prototypování. (2)

### 1.2 Rapid prototyping

Jedná se o technologie, které automatizují výrobní proces 3D objektů. (3) Rapid Prototyping (RP) umožňuje výrazné zkrácení doby od zadání zakázky ke zhotovení prvního prototypového kusu. RP technologií je široká škála. Rozhodujícím kritériem při výběru RP technologie jsou: optimální rychlost, dosažitelná kvalita a ekonomické náklady.

Rapid prototyping umožňuje získat první prototyp v daleko lepším čase, než v případě konvenčních metod. Zkracují se tím dodací lhůty, je možné zpracovat větší počet zakázek, a tak si udržet konkurenceschopnost.

Využití moderních počítačů v průmyslu urychlilo vývoj mnoha odvětví s ním spojených. Rychlý vývoj lze sledovat u Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided Manufacturing (CAM) a Computer Numerical Control (CNC) strojů. Tyto technologie jsou pro Rapid Prototyping stěžejní.



Po manuálním a virtuálním prototypování představuje Rapid prototyping třetí fázi vývoje výroby prototypové součásti. Jedná se o nejmodernější postupy a technologie, které umožňují tvorbu modelu přímo z 3D dat vytvořených v CAD/CAM systémech. Často se jedná o aditivní technologie. Výsledný model vzniká ve vrstvách, což zajišťuje úsporu materiálu oproti konvenčnímu obrábění.

Rapid prototyping se dělí do tří fází. Jedná se o preprocessing (příprava), processing (stavba) a postprocessing. (4)

### 1.2.1. Preprocessing

Preprocessing zastupuje přípravu pro tvorbu součásti. Do této kategorie spadá převod CAD/CAM nebo jiného formátu na formát STL, který tiskárny nejčastěji podporují. V případě, kdy je tištěno několik výrobků současně, jsou tyto výrobky seřazeny tak, aby došlo efektivnímu využití výrobního prostoru. Dále se provádí návrh potřebných podpůrných struktur a generují se dráhy pro nástroj. U některých struktur se dbá i na vhodné natočení modelu při tisku, jelikož i tento faktor dokáže ovlivnit konečnou kvalitu výrobku. (4)

### 1.2.2. Processing

Processing zahrnuje výrobu součásti. U většiny RP technologií je tento proces plně zautomatizovaný, a tudíž není nutné na něj dohlížet. Doba zhotovení součásti se odvíjí od charakteristik produktu a parametrů výrobního stroje. (4)

### 1.2.3. Postprocessing

Postprocessing je závěrečným článkem výrobního řetězce. V této fázi se provádí dokončovací operace. Mezi ně patří odstranění podpůrných struktur a přebytečného materiálu (např. písek odsátím). Forma může být dále upravována pro zajištění požadovaných charakteristik obrobku (např. žáruvzdorným nátěrem). (4)

### 1.3 Typy formovacích materiálů

Formovací směsi se dělí podle způsobu, kterým se získávají. Přírodní slévárenské písky spadají do kategorie přirozených formovací směsí. Uměle vytvořené formovací směsi patří do kategorie směsí syntetických.

Formovací materiály zásadně ovlivňují kvalitu odlitků. Z tohoto důvodu je na ně kladena řada požadavků.

- Formovatelnost – schopnost co nejpřesněji kopírovat tvar modelu
- Žáruvzdornost – odolnost proti destrukci při kontaktu s taveninou
- Objemová stálost – zajišťuje přesnost odlitků, působí proti působení teplotních změn
- Mechanické vlastnosti – manipulační pevnost formy, otěruvzdornost, odolnost proti erozi, odolnost proti namáhání při lití
- Prodyšnost – umožňuje odvod plynů z formy
- Rozpadavost – ovlivňuje náročnost uvolňování a čištění odlitků
- Životnost – doba, po kterou si forma zachová své vlastnosti
- Vaznost – soudržnost formovací směsi (adhezní přimknutí pojiva a ostřiva a kohezní pevnost pojiva)

Základními složkami formovací směsi jsou ostřivo a pojivo. Do hmoty je možné vmístit přísady pro zlepšení vlastností formy.

Ostřivem je zrnitý materiál větší 2  $\mu\text{m}$  a tvoří 75-98% směsi. Pojivo vytváří vazbu mezi jednotlivými zrny ostřiva. Pojivo je účinné buď bezprostředně po vytvoření směsi, nebo až po fyzikálním, či chemickém zásahu zvenčí. (5)

#### 1.3.1 Ostřiva

Ostřiva formovacích směsí se rozlišují podle chemické povahy na ostřiva kyselého, zásaditého a neutrálního charakteru. Existují i ostřiva speciální. (5)

### 1.3.11 Ostřiva kyselého charakteru

Základní složkou formovacích hmot je oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ). Jedná se o nejrozšířenější přírodní minerál. Jeho teplota tání je  $1715^\circ\text{C}$ . Je vhodný k odlévání ocelí i všech slitin, včetně neželezných kovů.

Křemen je polymorfní. Znamená to, že dokáže zaujmout několik krystalografických modifikací. Přeměny jsou závislé na teplotě a doprovázeny změnami objemu. Přeměny uvnitř modifikací, jsou vratné, zatímco přeměny mezi nimi jsou nevratné.

Použité ostřivo obsahuje nečistoty i zrna různých rozměrů. To je i jeden z důvodů, proč je nutné písek před znovupoužitím recyklovat. (5)

## 1.3.2 Druhy pojiv pro výrobu netrvalých prototypových forem

### 1.3.21 Furanové pryskyřice

Skládají se z derivátu furanu – furalu. Fural se vytváří z dřevin a rostlinných látek. Furanové pryskyřice jsou charakteristické svou vytvrditelností za studena v kyselém prostředí. Běžně se aplikují jako pojivo pro samovolně tuhnoucí směsi. Charakteristickou vlastností je jejich krátká životnost po smíchání s katalyzátorem. Formy z furanových směsí se často používají k výrobě jader pro odlitky z šedé litiny a oceli. Modelárna Liaz uvádí tento druh pryskyřice při tisku pískových forem jako nejpoužívanější. (5)

### 1.3.22 Fenolické pryskyřice

Fenolformaldehydové pryskyřice jsou vyráběné polykondenzací fenolu s formaldehydem. Charakteristickou vlastností je vysoká tepelná odolnost a vysoká odolnost proti ohni.

Další polykondenzací vznikají buď teplem vytvrditelné pryskyřice – rezoly, nebo nevytvrditelné – novolaky. Rezoly se používají k výrobě jader metodou horkých jaderníků. Novolaky je možné převést na teplem vytavitelnou pryskyřici (přísadou hexametyléntetraminu). Novolaky se v této podobě používají pro výrobu skořepinových forem a jader. (5)

### 1.3.23 Silikáty na bázi vodního skla

Jedná se o vodní roztok křemičitanu sodného. Jeho vlastnosti zásadně ovlivňuje poměr  $\text{SiO}_2$  :  $\text{Na}_2\text{O}$  (modul vodního skla). K vytvrzení formovací směsi s vodním sklem je možné dospět těmito způsoby:

#### a) Dehydratací

Směs je vysoušena na vzduchu. Do směsi je nezbytné přimístit bentonite. Formy jsou velmi pevné, mají však nízkou rozpadavost.

#### b) Samotuhnoucí směsí

Přísady způsobí rozklad vodního skla a vznik gelového hydrátu  $\text{SiO}_2$  :  $\text{H}_2\text{O}$ .

Vytvrzovací jsou buď estery organických kyselin, nebo odpadní struska

#### c) Vytvrzování pomocí $\text{CO}_2$

Vytvrzování probíhá na základě chemických a fyzikálních reakcí při působení  $\text{CO}_2$  na vodní sklo. (5)

	Furan Binder	Phenol Binder	Silicate Binder
<b>General information</b>			
Build dimension	1800 x 1000 x 700 mm	800 x 500 x 400 mm	1800 x 1000 x 600 mm
Layer thickness	0,28 - 0,50 mm	0,20 - 0,28 mm	0,20 - 0,50 mm
Grain size	0,14 - 0,25 mm	0,09 - 0,14 mm	0,14 - 0,25 mm
Bending strength (standard test)	120 - 450 N/cm <sup>2</sup>	350 - 1150 N/cm <sup>2</sup>	190 - 450 N/cm <sup>2</sup>
Loss of ignition (depending on desired resistance)	1,3 - 2,0%	1,6% - 2,4%	<1%
<b>Casting material</b>			
Cast iron	X	X	X
Aluminium alloys	X	X	X
Non-ferrous heavy metal	X	X	X
Steel alloys	Limited	X	X
<b>Technical properties</b> (Direct comparison of the binder systems)			
Thermal stability	✦	✦✦✦	✦✦✦
Cold bending strength	✦✦	✦✦✦	✦✦
Shake-out properties	✦✦✦	✦	✦
Gas pressure	✦	✦✦	✦✦
Storage stability	✦✦	✦✦✦	✦
Hygroscopic properties	✦	✦✦✦	✦
Sharpness of edges	✦✦✦	✦✦✦	✦✦✦
Abrasion resistance	✦✦	✦✦✦	✦✦✦
Legend:	✦ Less suitable / moderate	✦✦ Suitable / good	✦✦✦ Very well suited / very good
<b>Special sands</b>	<b>Silica, Aluminoxid</b>	<b>Silica, Synthetic</b>	<b>Silica, Synthetic</b>
<b>Application areas</b>	Automotive industry, large castings, aerospace, faucet, pump industry etc.	Hydraulic castings, delicate channel cores	Automotive industry, large castings, aerospace, faucet, pump industry, hydraulic etc.

Obr. 1.3 Obecné informace k pojivům určených pro 3D tisk (6)

## 2. Výroba pískových forem obráběním

### 2.1 Způsoby výroby pískových forem

V tradičním procesu výroby odlitku je model zhotoven nejčastěji ze dřeva či umělých materiálů, zaformován a následně z formy vytažen. Do vzniklé dutiny se dle složitosti konstrukce odlitku vkládají písková jádra. Jádra tvoří v budoucím odlitku dutiny či plochy, které není z technologického hlediska možné zhotovit jako součást modelu.

Při výrobě odlitku pomocí vypařitelného modelu je model odlitku ze slévárenského pěnového polystyrenu (EPS - expanded polystyrene). Polystyrenový model se zaformuje do klasické formovací směsi, či do písku bez pojiv. Při lití kovu do formy dochází k odpaření polystyrenové pěny. Tavenina vyplňuje prostor spáleného modelu. Tak vzniká konečný tvar odlitku. (7)

Obráběné pískové formy v současnosti vznikají i metodou frézování pískového bloku. Formovací směs je volena dle parametrů obráběcího nástroje a požadavků na vlastnosti formy. Běžně se používají formovací materiály zmíněné v sekci 1.3.

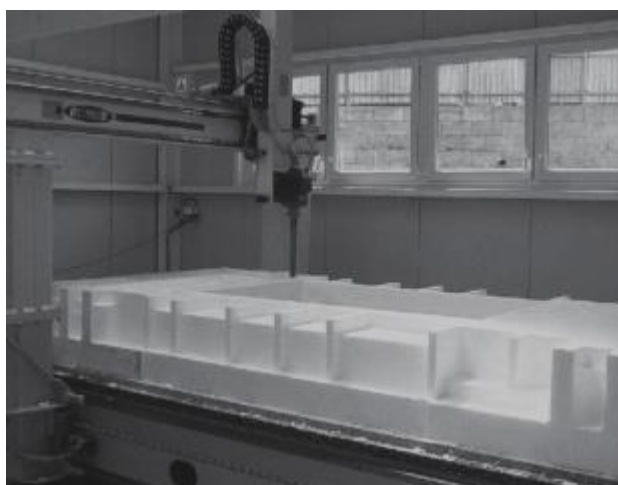
### 2.2 Metoda full mould

První patent na výrobu odlitků pomocí vypařitelného modelu vzniknul v roce 1956. K rozsáhlému využití této technologie docházelo na konci 80. let, kdy se vypařitelné modely začaly využívat při hromadné výrobě odlitků s vysokou přesností a tvarovou složitostí. Významný pokrok představuje použití spalitelného modelu a čistého písku bez pojiva.

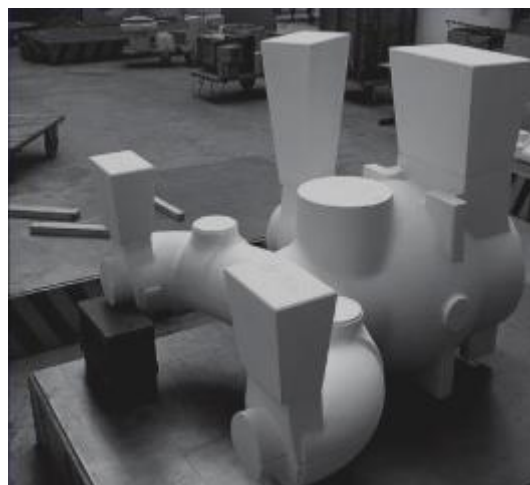
V případě prototypové výroby bývají polystyrenové formy obrobena CNC strojem (obr. 2.2a). Jednotlivé části modelu a vtokové soustavy se slepují dohromady (obr. 2.2b). Model je opatřen vrstvou žáruvzdorného nátěru. Po zaschnutí se umístí do nádoby, ve které je zasypan čistým křemičitým pískem. Písek se zhutňuje vibracemi.

Tekutý kov při odlévání postupně nahrazuje spalovaný model. Po zaschnutí je odlitek vyjmut z písku a očištěn. Písek je při tomto procesu snadno recyklovatelný.

Jelikož při lití dochází ke ztrátě PS modelu, je tato metoda vhodná zejména pro prototypovou a kusovou výrobu, nebo naopak pro velkosériovou výrobu, kdy jsou pro hromadnou výrobu PS modelů zhotovovány kovové zpevňovací formy. (5) (8)



*Obr. 2.2a Frézování PS modelu*



*Obr. 2.2b PS slepený model (9)*

### 2.3 Obráběné pískové formy

Obrábění pískového bloku pomocí CNC je tolerančně přesná a v mnoha případech i časově úsporná metoda výroby slévárenských forem a jader (obr. 2.3a). Společnost Clinkenbeard uvádí, že metodou Toolingless Process se snižuje časová náročnost výroby pískových forem až o 90%, a tím se znatelně minimalizují náklady spojené s vývojem konečného produktu.

Běžný zákazník firmy Clinkenbeard využívá tuto technologii k rychlému zhotovení odlitku. Orientačně lhůta pro vytvoření nového komplexního odlitku se pohybuje mezi 4 až 6ti týdny. Při využití metody Toolingless process není nutná výroba modelu, což zkracuje dobu nutnou k realizaci přibližně na polovinu (oproti tradičnímu procesu). Dílčí části formy a jádra jsou obrobena z pevných pískových bloků obsahujících pojivo. Kompozice směsi písku a pojiva

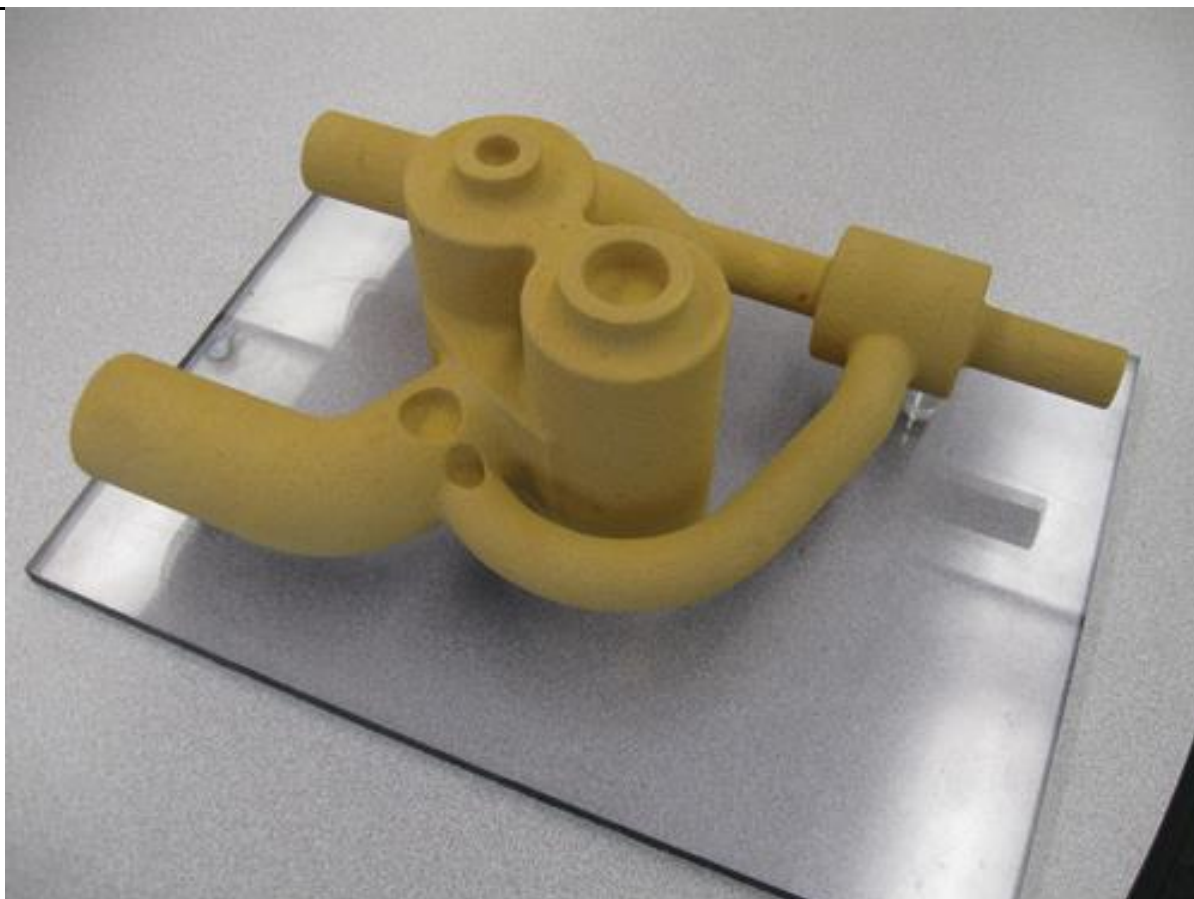
odpovídá předepsaným parametrům produkčního lití. Proces výroby odlitku dál nijak neliší od konvenčního slévárenství.

S obráběním pískových forem jsou spjata jistá úskalí. Namísto toho, aby se písek odštěpoval jako kovové třísky a opouštěl obráběcí nástroj, písek odpadá a zanáší obráběcí nástroj. Z tohoto důvodu se při frézování používá vysavač, který uvolněné části odstraňuje (obr. 2.3b).

Písek má rovněž negativní vliv na výrobní stroj. Obráběcí centra určená k tomuto procesu jsou náchylná k zadírání ložisek, která je nutno měnit v pravidelných intervalech. V případě stanovení nároků na kvalitu písku je nutné brát v potaz nejen kvalitu povrchu obrobene formy, ale také životnost nástroje, kterou kvalita písku bezpochybně ovlivňuje.

Hlavní předností výroby pískových forem obráběním je výrazné zkrácení doby výrobního procesu. Z ekonomického pohledu má tato technologie význam zejména při nízkoobjemové výrobě. Při výrobě se nepoužívá žádných nových technologií, pro které by bylo třeba zaměstnance requalifikovat. Zařazení této metody do výroby je proto efektivní. Za zmínku stojí podotknout, že zhotovené formy lze touto technologií dodatečně upravit (obr. 2.3c). (10) (11)





Obr. 2.3a Součást jádra obrobeného z písku



Obr. 2.3b – Proces odsávání  
uvolněných zrn písku



Obr. 2.3c - Doplnkové úpravy formy jsou  
vyznačeny červeně (11)

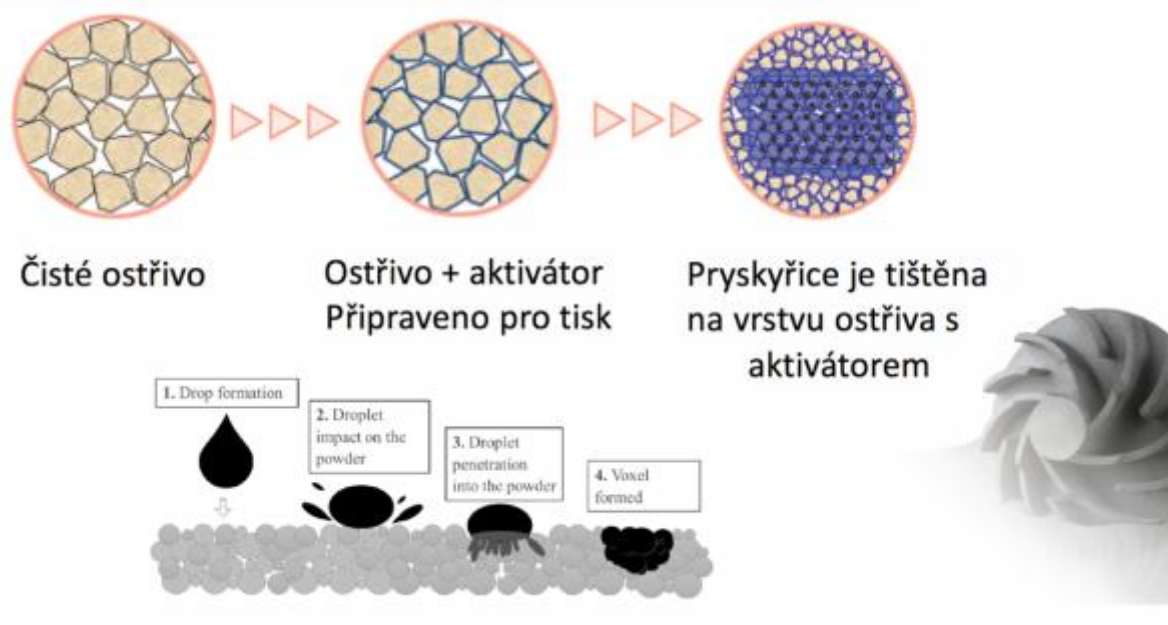


### 3. Výroba pískových forem 3D tiskem

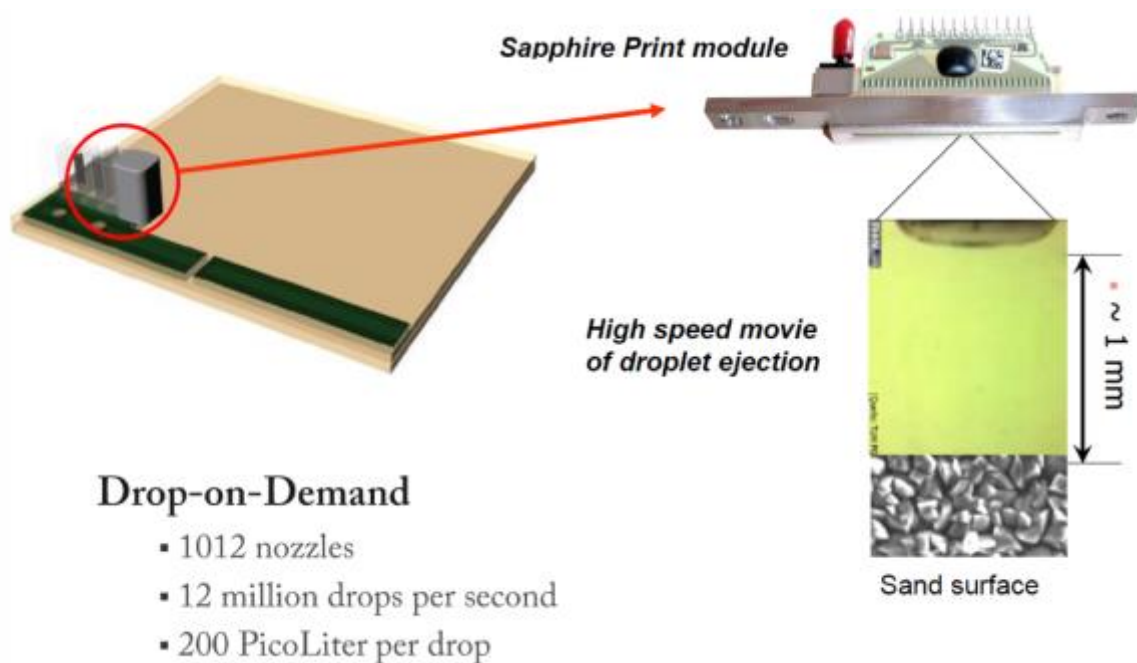
#### 3.1 metoda 3D tisku

Aditivní metodou tisku je materiál systematicky vrstven až do konečné podoby formy. Proces nanášení vrstev vychází přímo z CAD návrhu, a tudíž není nutná výroba modelového zařízení.

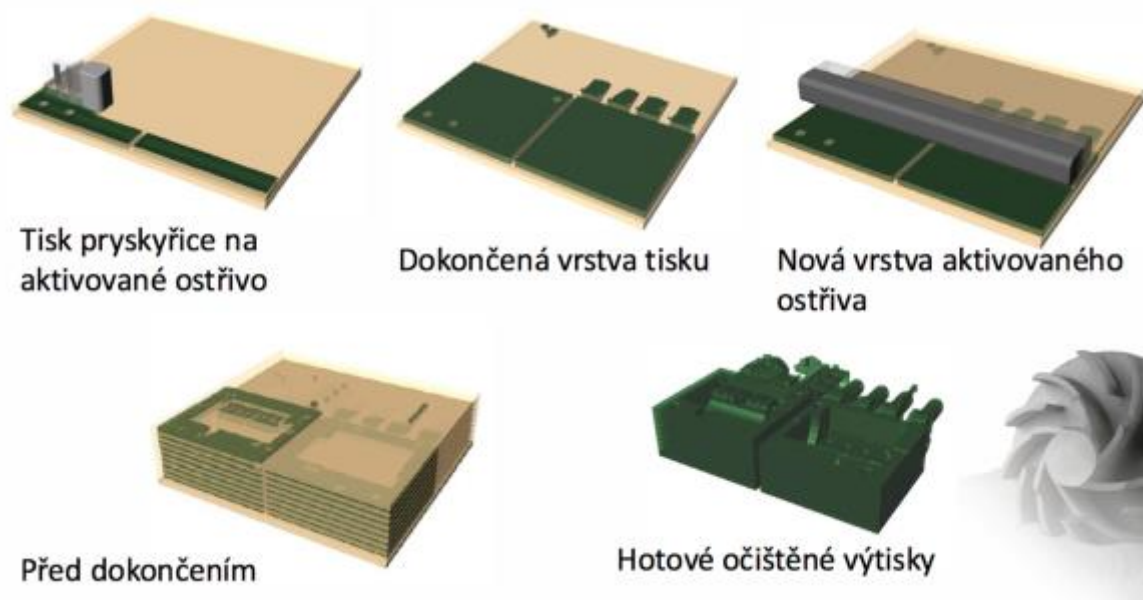
Tisk probíhá v kovovém boxu, ve kterém se nanášení jednotlivé vrstvy aktivovaného ostřiva (křemíku) a následně je na tuto nanesenou plochu tištěna pryskyřice. Pryskyřice proniká skrz nanesenou vrstvu písku a spojuje se s předcházející vrstvou. Tento proces se opakuje, dokud nedojde k vytištění celého objektu. Poté se výtisk očistí.



Obr. 3a Aplikace pryskyřice



*Obr. 3b Tiskový modul*



*Obr. 3c Tisk pískové formy (6)*

### 3.2 Klady a zápory 3D tisku

Výhodou této metody je vysoká rychlost zhotovení forem (firma Voxeljet uvádí až 75% časovou úsporu v porovnání s klasickou výrobou), dosažená přesnost rozměrů forem je vysoká, nejsou zapotřebí modelová zařízení (a s nimi spojené náklady jako jsou kvalifikovaní modeláři), dokonce energeticky se jedná o úspornou technologii, která je šetrná k životnímu prostředí.

Podstatnou bariéru metodě 3D tisku pískových forem kladou vyšší náklady na pořízení strojního vybavení, vyšší cena výroby forem jednoduchých tvarů (oproti konvenčním technologiím), nízká výrobní kapacita pro sériovou a hromadnou výrobu. Jelikož se jedná o novou technologii, neexistuje prozatím ani dostatek kvalifikovaných specialistů. (12) (6)

### 3.3 Výrobci tiskáren pro tisk pískových forem

Voxeljet – Friedberg, Německo

Firma byla založena v roce 1999 v Německu v návaznosti na úspěšný výzkum 3D tisku pískových forem provedenou Technickou univerzitou Mnichov. V současnosti spadá mezi elitní výrobce průmyslových systémů 3D tisku pro výrobu forem pro slévárství. Zastoupení má firma v těchto zemích: Německo, USA, Spojené království, Indie, Čína. (13)

ExOne - North Huntingdon, PA, USA

Společnost ExOne byla založena v roce 2005 korporací Extrude Hone Corporation, globálním zásobitelem a vývojářem netradičního obrábění a automatizovaných systémů.

Firma je zastoupena v těchto zemích: USA, Německo, Švédsko, Itálie a Japonsko.

### 3.4 Modely tiskáren ExOne

Tab. 1 Pískové tiskárny

název	S-Print	S-Max	Exerial
váha [kg]	3500	<b>6500</b>	12000
rozměry výrobku [mm]	800 x 500 x 400	<b>1800 x 1000 x 700</b>	(2200 x 1200 x 700)x 2
max rozliš. tisku X/Y/Z [ $\mu\text{m}$ ]	100/100/100	<b>100/100/100</b>	100/100/100
tloušťka vrstvy [ $\mu\text{m}$ ]	280–500	280–500	280–500
rychlost tisku [l/h] (dle materiálu)	16–36	60–85	300-400

Tab. 2 Podporovaná pojiva

Druh pojiva	Furanové pryskyřice	Fenolové pryskyřice	Silikáty na bázi vodního skla
Označení tiskárny	<a href="#">S-Print™ Furan</a>	<a href="#">S-Print™ Phenol</a>	<a href="#">S-Print™ Silicate</a>
	<a href="#">S-Max™ Furan</a>	<a href="#">S-Max+ Phenol</a>	
	<a href="#">Exerial® Furan</a>		

(14)

### 3.5 Tiskárna S-Max

Modelárna Liaz používá tiskárnu S-Max (furanové pojivo)

- Modelárna přijímá CAD data ve všech formátech
- Zhotovuje formy dle 3D dat včetně smrštění a vtokové a výfukové soustavy
- Samotná tiskárna umožňuje modifikovat data ve všech osách (smrštění, měřítko, zrcadlení)
- Nabízí dodatečné popisování forem
- Dodání formy včetně měrového protokolu



Obr. 3.5 Tiskárna ExOne S-Max

**Technické parametry:**

- Rozměry 1800 x 1000 x 700 mm, možno lepit do větších rozměrů
- Velmi komplikované tvary
- Přesnost formy  $\pm 0,3\text{mm}$
- Zrnitost písku 0,19 mm
- Pevnost písku v ohybu 180-22 N/cm<sup>2</sup>
- Prodyšnost 180-300 GP (normální jednotka prodyšnosti) resp. 300-500 SI

**Do tištěných pískových forem je možné odlévat:**

- Lehké neželezné kovy
- Těžké neželezné kovy
- Litina
- Ocel do teploty lití 1500 °C (15)

## 4. Výukové video na popsanou problematiku – scénář

### 4.1 ÚVOD

#### *PROJEV NA KAMERU*

Dobrý den, jmenuji se Dominik Schreier a toto video vzniklo jako součást bakalářské práce.

STŘIH

#### *TITULEK*

Prototypová výroba slévárenských forem 3D tiskem

#### **ČVUT Fakulta strojní**

#### *PROJEV NA KAMERU*

Zájem o progresivní technologie mě dovedl do Liberce. Místní modelárna Liaz disponuje technologií Sandprint, kterou uplatňuje při výrobě slévárenských forem a jader.

STŘIH

#### *SCHÉMATA DOPROVÁZENÁ ZVUKOVOU STOPOU*

Vývoj prototypové výroby  
období vzniku a charakteristika **těchto technologií:**

- spalitelný model
- **obrábění forem**
- 3D tisk

STŘIH

#### *ILUSTRAČNÍ ZÁBĚRY, ZVUKOVÝ PROJEV*

Poměrně nová technologie (počátek – firma Generis, Augsburg 1999 / *od kdy se používá ve světě / Čechách*)

Potenciál se rozrůstat – prototypy, maloobjemová výroba

V současnosti technologie Sandprint v některých oblastech překonává konvenční způsoby výroby pískových forem a stává se hodnotnou náhradou.

Samozřejmě má jak své výhody, tak i úskalí, o kterých se veřejně dostupné zdroje zmiňují jen povrchně.

Proto jsem tady, abych si vytvořil představu, co tisk pískových forem skutečně obnáší a zjistil, jakou perspektivu do budoucnosti můžeme od této technologie očekávat.

STŘIH

## 4.2 CAD

### **ILUSTRACNÍ ZÁBĚRY, ZVUKOVÝ PROJEV**

První krok ke vzniku formy – návrh odlitku (*formy*) v CADu, který modelárna obdrží od zákazníka

STŘIH

#### TEXT

Formát CAD souborů např. STL, CATIA, PRO/Engineer, STEP

### **ILUSTRACNÍ ZÁBĚRY, SCÉMATA, ZVUKOVÝ PROJEV**

- Zákazník: Automobilový průmysl, Letectví, Energetický průmysl, Design, architektura a umění
- příklady výrobků

STŘIH

### **ILUSTRACNÍ VIDEO**

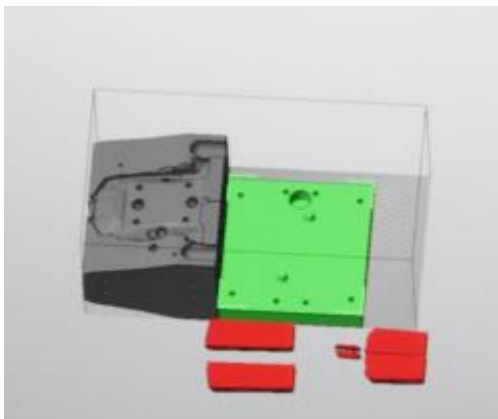
Představení specifického výrobku (ideálně tvarově komplikovaný s nutností lepení forem do větších rozměrů)

### **ZÁBĚRY**

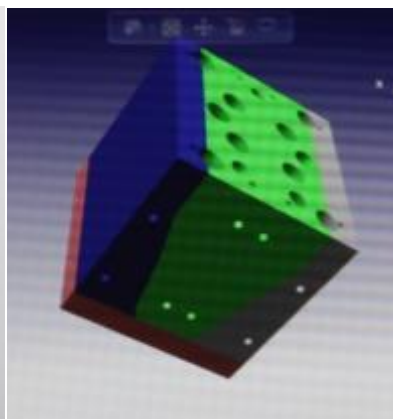
příprava formy:

- jádro
- vtoková soustava (vymodelování díry)
- (kritéria na odlitek (tvarová omezení))
- (smrštění, vtoková a výfuková soustava (program?))
  
- rozdělení formy na slepitelné součásti
- rozmístění pro tisk

STŘIH



Obr. 4.2a Rozložení formy do tisknoucího boxu



Obr. 4.2b Složená forma

### 5.3 TISK

#### SCÉMATA, ZVUKOVÝ PROJEV

**představení dostupných tiskáren** – obecné parametry - srovnání

- VoxelJet
- ExOne

STŘIH

#### ZÁBĚRY

**Popis konkrétních částí tiskárny**

- nastavení tiskárny
- **zásobníky: ostřívo (křemičitý písek) a pojivo (pryskyřice)**
- (teorie – porovnání pojiv)
- (manipulace s **pryskyřicí**)
- tiskový modul

STŘIH

#### SCÉMATA, ILUSTRACNÍ ZÁBĚRY, ZVUKOVÝ PROJEV

**průběh 3D tisku**

- **ostřívo + aktivátor + pryskyřice**
- intervaly vrstvení – propojení vrstev

STŘIH

#### SCÉMATA, ILUSTRACNÍ ZÁBĚRY, ZVUKOVÝ PROJEV

**tiskový modul**

(názorná ilustrace / slow motion video, technické parametry)

STŘIH

- tolerovaná odchylka tisku
- vibrace – **izolace od země**
- **co se děje v případě poruchy (příčina, důsledky, předejít)**
- automatické zastavení tisku? – jakými senzory disponuje?
- **dokáže navázat na přerušný tisk? (ve kterých případech)**
- zmetkovost

STŘIH





Obr. 5.3 Hotový výtisk před očištěním

### ZÁBĚRY

- Výtisk před dokončením
- Čištění a hotový výtisk
- sestavení formy (lepení)

STŘIH

### DOTAZY

- regulace teploty a vlhkosti
- srovnatelné vlastnosti pro odlévání? (tištěná forma oproti konvenční)

STŘIH



## 5.4 LITÍ

### SCÉMATA, ZVUKOVÝ PROJEV

Do tištěných pískových forem je možné odlévat:

- Lehké neželezné kovy
- Těžké neželezné kovy
- Litina
- Ocel do teploty lití 1500 °C



Obr. 5.4a Slévárna

### DOTAZY

- V modelárně se odlévají pouze hliníkové odlitky
- Export – napojení na slévárny?
- jak často si zhotovuje odlitek sám zákazník? (profil zákazníka)

STŘIH

### ZÁBĚRY

- příprava formy
- vtoková soustava (simulace?)
- odlévání
- očištění odlitku
- recyklace směsi



Obr. 5.4b Nálitek

#### TEORIE

- udržování vlhkosti formy?
- prodyšnost – odvod plynů?
- zmetkovost odlitků
- ekologie – energetická náročnost, některá ze směsí škodlivější?
- proces odlévání (vývoj technologie – porovnání úspěšnosti se staršími typy sléváren)

**STŘIH**

#### 5.5 (OBRÁBĚNÍ)

##### VIDEO

- ilustrační záběry
- popisy úkonů

**STŘIH**

## 5.6 KLADY A ZÁPORY 3D TISKU (oproti konvenčním technologiím)

### SCÉMATA, ILUSTRACNÍ ZÁBĚRY, ZVUKOVÝ PROJEV

#### Výhody

- modelová zařízení nejsou potřeba
- Vysoká rychlost zhotovení tisků - S-Max (60–85 L/h) (cm/h?)
- Nejsou zapotřebí úkopy – upřesnit (ilustrace)

#### Vysoká přesnost tisku – S-Max (100 μm ve všech osách)

- Klasická slévárenská ostřiva a pojiva - S-Max (Furanová pryskyřice)
- možnost použití nátěrů (?) (nejčastější a jejich vlastnosti)
- Není zapotřebí skladovat modely
- Nejsou zapotřebí kvalifikovaní modeláři
- Úspora energií, šetrné k životnímu prostředí (v kterých ohledech?)

STŘIH

#### Nevýhody

- Vyšší náklady na pořízení strojního vybavení - S-Max cca.
- Vyšší cena tisku – porovnat s S-Max
- Nízká výrobní kapacita pro sériovou a hromadnou výrobu – porovnat
- Nízký počet specialistů pro CAD a slévárenskou technologii

STŘIH

## 5.7 VOLBA STROJŮ, PRACOVNÍ PŘÍLEŽITOSTI, BUDOUCNOST

### DOTAZY

- proč Exone a ne VoxelJet
- konkurence na trhu
- vytíženost kapacity
- (počet strojů pro 3D tisk pískových forem na světě, v Čechách)
- kolik let se stroj odepisuje
- poptávka po ostatních službách

STŘIH

### DOTAZY

- profil zaměstnance (vzdělání, zkušenosti, školení)
- směny
- bezpečnost pracovního prostředí - rizika

STŘIH

### DOTAZY

- plány zařadit do výroby nové technologie – pojiva / materiály
- perspektiva do budoucnosti – cíle

STŘIH

## 5.8 ZÁVĚR

### SHRNUTÍ

- výroba součásti (doba zhotovení, cena)
- poznatky z natáčení

STŘIH

### ZÁVĚR

- Vývoj slévárenství – časová osa – (3D tisk ve vesmíru?)

STŘIH

## 5.9 PODĚKOVÁNÍ

### TITULEK

#### **MODELÁRNA LIAZ**

ing. Libor Horáček, Project manager 3D tisku forem

### ČVUT

Ing. Aleš Herman, Ph.D.

STŘIH

## Závěr

Prototypové formy jsou vhodné k výrobě prototypu přímo ze sériových materiálů. Umožňují provést kontrolu vstřikovacího procesu a ověřit funkčnost a mechanické vlastnosti odlitku.

U obrobených i tištěných pískových forem se používají podobné formovací směsi. Jako ostřívo slouží zpravidla oxid křemičitý. Jako pojivo se často používají furanové pryskyřice, případně fenolové pryskyřice, či silikáty na bázi vodního skla.

Výroba pískových forem obráběním má v případě vypařitelného modelu poměrně dlouhou tradici. Polystyrenové formy se v současnosti obrábí na CNC stroji. Obrobený model se umístí do nádoby a je zasypán čistým křemičitým pískem. Tekutý kov při odlévání postupně nahrazuje spalovaný model. Metoda spáleného modelu umožňuje prototypovou výrobu odlitků složitých tvarů.

Obráběné pískové formy je možné také získat metodou frézování pískového bloku. Tato metoda zajistí rychlou výrobu pískové formy jednodušších tvarů.

Hlavní výhodou tištěných pískových forem je tvarová komplexita, které je možné dosáhnout. V této oblasti nastavil 3D tisk novou laťku. Donedávna nebylo možné vyrobit natolik tvarově složitě a při tom rozměrově přesné formy. Přestože se jedná o zcela novou technologii, tak v rámci výroby prototypových slévárenských pískových forem v mnoha ohledech překonává dříve zmíněné způsoby výroby. Je jen otázkou času, kdy se 3D tisk stane nedílnou součástí slévárenství.



## Bibliografie

1. Innomia a.s. Prototypové a malosériové formy. *Innomia*. [Online] [Citace: 12. 5 2016.] <http://www.innomia.cz/sluzby/prototypove-formy>.
2. *TRADICE, SOUČASNOST A PERSPEKTIVY SLÉVÁRENSTVÍ: Podíl autora na rozvoji slévárenského oboru*. Horáček, Milan. Brno : VUTIUM, 2007. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně: Edice Habilitační a inaugurační spisy. stránky 9-22.
3. *Přehled technik využívaných při Rapid Prototyping: učební text*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2012. Katedra výrobních systémů. str. 8.
4. Vašek, Vojtěch. *Možnosti uplatnění moderních metod při výrobě prototypových odlitků*. Vysoké učení technické v Brně. Brno : Fakulta strojního inženýrství, 2015.
5. Bernášek, Vladimír a Horejš, Jan. *Technologie slévání*. místo neznámé : Západočeská univerzita v Plzni, 2006.
6. ŠLAJS, Radek. 3D tisk pískových forem a jader: 71. zasedání Odborné komise pro litinu s kuličkovým grafitem, Praha, 20.05.2015. místo neznámé : METOS v.o.s. Tovární 290 Chrudim.
7. Slovák, Vojtěch. *Zavedení výroby odlitku na spalitelný model v podmínkách ZPS Slévárna, a. s.* Vysoké učení technické v Brně. Brno : autor neznámý, 2014. Diplomová práce.
8. Prototypové a malosériové formy. *Innomia*. [Online] 2012. <http://www.innomia.cz/sluzby/prototypove-formy>.
9. Katedra strojírenské technologie, Technická univerzita v Liberci. Výroba forem.
10. Clinkenbeard: an M2M company. [Online] 2016. <http://www.clinkenbeard.com/>.
11. *Straight to Sand*. Zelinski, Peter. Cincinnati, OH, USA : Gardner Business Media, Inc., 2009. Modern Machine Shop.
12. 3D PRINTING SAVES UP TO 75% IN SAND CASTING COSTS. *voxeljet*. [Online] <http://www.voxeljet.de/en/case-studies/case-studies/3d-printing-saves-up-to-75-in-costs/>.

13. Voxeljet - Your partner for digital production. *Voxeljet*. [Online]

<http://www.voxeljet.de/en/company/profile/>.

14. 3D tisk pískových forem a jader: Furanové pryskyřice, Fenolové pryskyřice, Silikáty na bázi vodního skla. *METOS v. o. s.: metalurgický technicko obchodní servis*. [Online] 2010.

<http://www.metos.cz/3d.html>.

15. Technologie SANDPRINT: 3D tisk písku. *Modelárna Liaz spol. s r. o.* [Online] 2013.

<http://www.modelarna-liaz.cz/technologie/44-sandprint-3d-tisk-pisku/>.



