

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2024

**VIKTOR
CIMPA**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**Trendy ve výrobě modelových zařízení pro
slévárství**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Cimpa Viktor

VEDOUcí PRÁCE: doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2342 Teoretický základ strojího inženýrství

STUDIJNÍ OBOR: N071TVIN Bez specializace

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Cimpa** Jméno: **Viktor** Osobní číslo: **501486**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Trendy ve výrobě modelových zařízení pro slévárenství

Název bakalářské práce anglicky:

Trends in production pattern equipments for foundry industrie

Pokyny pro vypracování:

1. Popis konstrukce modelových zařízení
2. Aditivní technologie využívané ve slévárenství
3. Srovnání nákladů a doby výroby nových modelových zařízení s využitím 3D tisku
4. Srovnání nákladů a doby oprav modelových zařízení s využitím 3D tisku
5. Zhodnocení výhodnosti využití aditivních technologií ve slévárenství

Seznam doporučené literatury:

Ritchey, J: Pattern making, Fb&c Limited 2015, ISBN 9781330436769

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **16.10.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **15.01.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2024**

doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Hermana, Ph.D., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Aleši Hermanovi, Ph.D., za jeho přínosné rady, konzultace a zprostředkování možnosti nahlédnout do samotné výroby modelů, a tedy hlubšímu porozumění problematice ve firmě ZPS – Slévárna, a.s.

Dále děkuji vedení, a všem zaměstnancům firmy ZPS – Slévárna, a.s., se kterými jsem přišel do kontaktu, a kteří mi poskytovali cenné informace. Zejména panu Michalovi Máčalovi, za veškerý čas a materiály, co mi věnoval.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá výrobou a opravou modelových zařízení. Porovnává technologii ruční výroby s technologiemi CNC a 3D tiskem. V první části seznamuje s problematikou modelových zařízení, jejich konstrukcí a využívaných materiálech. Dále představuje využití aditivních technologií ve slévárenství. Ve druhé části se zaměřuje na hlubší porozumění výroby, nutnosti oprav modelů a ekonomické zhodnocení problematiky výroby a oprav za použití rozdílných technologií.

Název diplomové práce:	Trendy ve výrobě modelových zařízení pro slévárenství
Autor práce:	Viktor Cimpa
Vedoucí práce:	doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.
Konzultant:	Michal Máčala
Akademický rok:	2023/2024
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Rozsah práce:	51 stránek, 3 tabulky, 31 obrázků
Klíčová slova:	Modelová zařízení, aditivní technologie, opravy slévárenských modelů, kalkulace

Annotation

This thesis deals with the production and repair of pattern devices used in foundry. It compares hand-made technology with CNC and 3D printing technologies. In the first part, the issue of pattern devices is introduced, construction and the materials used. Thesis also presents the use of additive technologies in foundry industry. In the second part, it focuses on a deeper understanding of production, the necessity of repairing pattern devices and the economic evaluation of the issue of production and repairs using different technologies.

Title of the final thesis:	Trends in production pattern equipments for foundry industries
Author:	Viktor Cimpa
Supervisor:	doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.
Consultant:	Michal Máčala
Academic year:	2023/2024
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
Extent:	51 pages, 3 tables, 31 pictures
Keywords:	Foundry pattern, additive technology, foundry pattern mending, calculation

Obsah

1. ÚVOD.....	10
1.1 Cíl práce.....	10
2. Popis konstrukce modelového zařízení.....	11
2.1 Technologický postup	11
2.2 Přídavky.....	12
2.2.1 Technologické přídavky	12
2.2.2 Tepelné uzly.....	13
2.2.3 Úkosy a rádiusy.....	14
2.2.4 Přídavky na obrábění.....	14
2.3 Materiály modelových zařízení.....	15
3. Aditivní technologie	19
3.1 Modely.....	19
3.2 Formy.....	20
3.2.1 Pojiva	22
3.2.2 Furanová pojiva	22
3.2.3 CHP pojiva.....	22
3.2.4 HHP pojiva	22
3.2.5 Anorganická pojiva	22
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	23
4.1 Zhutňování formovacích směsí.....	23
4.1.1 Pěchování	24
4.2 Problémové prvky modelu.....	26
4.3 Ekonomická rozvaha	38
5. ZÁVĚR	41

Seznam použité literatury	43
Seznam tabulek	45
Seznam obrázků.....	46
Přílohy.....	48

1. ÚVOD

Bez modelů si lze odlévání do písku jen těžko představit. Jedná se jednu z nejstarších metod zpracování kovových materiálů. Samotná modelová zařízení jsou po staletí vyráběna ručně, posledních několik dekad potom s využitím CNC. Nově se však v tomto odvětví začíná prosazovat technologie 3D tisku. Samotná modelová zařízení lze je chápat jako kopii vnějšího (případně i vnitřního – jaderníky) tvaru odlitku, ovšem s rozdílem ve velikosti, a s přídávky.

1.1 Cíl práce

Tato bakalářská práce seznamuje s konstrukcí modelových zařízení, představuje různé typy přídavek a zmiňuje druhy úkosů. Dále jsou uvedeny materiály pro výrobu modelů, zaměřuje se na dosud nejpoužívanější materiál, dřevo, a představuje jeho alternativu, hojně využívanou ve slévárenské praxi, umělé dřevo. Představuje aditivní technologie ve slévárenství, jak už dnes známou metodu FDM, tak zcela novou metodu tisku přímo pískových forem na speciálních 3D tiskárnách.

Experimentální část práce se soustředí na výrobu modelových zařízení v praxi. Porovnává ruční výrobu s výrobou na CNC s výrobou na 3D tiskárně. Seznamuje s výhodami a nevýhodami každé ze 3 technologií. Dále jsou zmíněné problémové prvky modelových zařízení, postup jejich oprav a implementace 3D tisku do této problematiky.

2. Popis konstrukce modelového zařízení

Konstrukce modelových zařízení se řídí zajištěným postupem modelárny. Při jeho výrobě se vychází z technologického postupu a platí pravidlo, že se snažíme vyrobit daný model co nejpevnější, a co možná nejlehčí.

Obvykle je model tvořen více jak jedním konstrukčním prvkem. Tyto prvky lze chápat jako jakási fundamentální rozčlenění na tvarové součásti. Jsou podstatně jednoduché a snadněji vyrobitelné. Těmito prvky jsou:

- Rámy
- Desky
- Modely z bloků
- Skříně
- Kroužky
- Kotouče a kruhové desky
- Dužinové rotační části
- Jaderníky

2.1 Technologický postup

Při jeho zpracování se vychází z výkresu odlitku a údajů v něm, jako například požadovaná přesnost či materiál. Na výkresu odlitku je také znázorněná dělicí rovina. Těch může být v závislosti na složitosti odlitku a počtu či poloze jader hned několik. Obecně však platí, čím méně, tím lépe, neboť s každou další dělicí rovinou je model mnohem složitější na výrobu.

Dalším důležitým údajem je požadovaný počet odlitků. V závislosti na tomto údaji výrobu nazýváme buďto kusová, sériová, velkosériová nebo hromadná.

Na základě těchto informací technolog určí, jakou technologií se bude dané modelové zařízení vyrábět. Hlavním faktorem jsou v dnešní době náklady na výrobu, co se materiálu i personálu týče, dále je také zásadní časová náročnost výroby.

2.2 Přídatky

2.2.1 Technologické přídatky

Technologické přídatky jsou používány pro rovnoměrnější tuhnutí kovu a z důvodu jeho smršťování při chladnutí (SHRINK). Obecně nelze vždy s přesností určit, jak moc se daný kov smrští, a tak se vychází ze zkušenosti a praxe. Je tedy nutné vytvořit model větší, aby byl odlitek po smrštění ve správné velikosti. Orientační procentuální hodnoty smršťování znázorňuje [Tabulka 1].

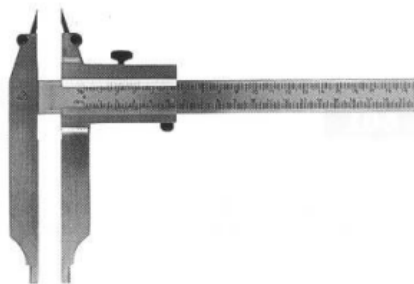
Tabulka 1: Hodnoty smrštění, převzato z lit. [7]

Obecné hodnoty délkového smrštění slitin	
Litina s lupínkovým grafitem	0,7 - 1,2 %
Litina s kuličkovým grafitem	0,5 - 1,0 %
Ocel na odlitky	2,0 %
Bronzy	1,0 - 2,5 %
Mosazi	1,5 - 2,0 %
Slitiny hliníku	0,8 - 1,5 %
Slitiny hořčíku	1,1 - 1,4 %

Protože model musí být větší v závislosti na použitém kovu je nutné provést přepočítání všech jeho rozměrů. Aby se rozměry modelu nemusely stále pracně přepočítávat, slouží pro tyto účely speciální modelářská pravítka. Ta mají pro každý materiál jinou podobu a jednotky uzpůsobené tak, aby odpovídaly smrštění. Respektive rozměr 30 mm na „klasickém“ pravítku bude menší, než 30 mm na modelářském, díky zahrnutému smrštění ve stupnici. Dále jsou využívána například posuvná měřítka [Obrázek 1]. [2]

595**Pattern maker's slide gauges No. 020**

of dull chrome-plated stainless steel accuracy in accordance with DIN 862 with exchangeable, hardened steel points, open slider, measuring faces hardened, graduated rail and measuring jaw of one piece, 1/20 mm vernier



Shrinkage graduation				Measuring range mm		
front		back		300	600	1000
bottom	top	bottom	top	Item No.		
mm	1,0 %	1,5 %	2,0 %	595.102	595.104	595.106
mm	1,0 %	1,25 %	2,0 %	595.103	595.105	595.107

Other shrinkage graduations upon request!

Measuring ranges and spares:

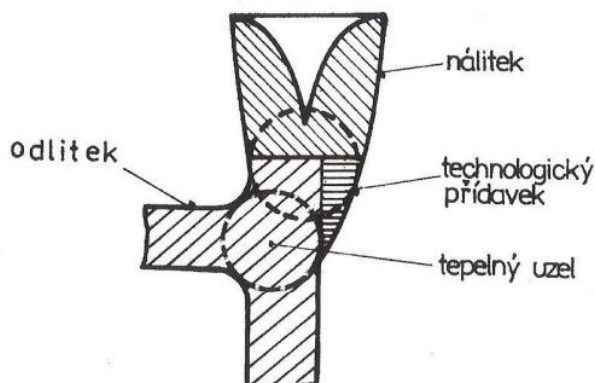
Measuring range	Jaw length	Jaw tip	Item No.			
			Tip dia.	Locking screw slider	Setscrew tips	Brass spring
300 mm	100 mm	10 mm	595.202 (∅ 3,0 mm)	595.212	595.222	595.232
600 mm	150 mm	20 mm	595.203 (∅ 3,5 mm)	595.213	595.223	595.233
1000 mm	200 mm	20 mm	595.204 (∅ 4,0 mm)	595.214	595.224	595.234

Obrázek 1: Posuvné měřítko s upravenou stupnicí, převzato z lit. [2]

Technologické přídatky dále plní funkci plynulejších přechodů mezi prvky modelu, aby při jeho vyjímání z formy nedošlo k borcení formovací směsi, nebo aby bylo model vůbec možné ze směsi vyjmout.

2.2.2 Tepelné uzly

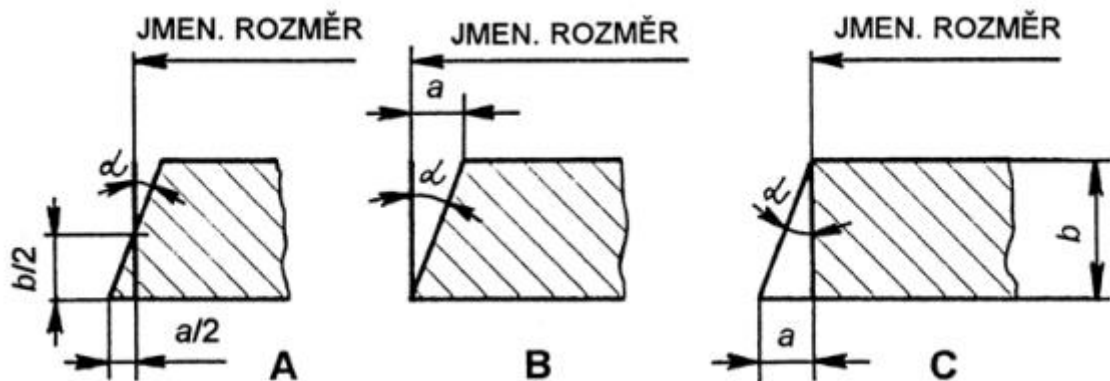
Jsou to místa, kde dochází k hromadění materiálu, a která tuhou déle než k nim přilehlé stěny odlitku a mohou se tak začít tvořit staženiny. Aby k nim nedocházelo, umístí se k tepelným uzlům nálitky, které plní funkci zásobárny taveniny. Jejich umístování se řídí principem vepsaných koulí [Obrázek 2]. Tato koule o velikosti tepelného uzle musí projít všemi částmi odlitku směrem do nálitku.



Obrázek 2: Metoda vepsaných koulí, převzato z lit. [11]

2.2.3 Úkosy a rádiusy

Aby bylo možné vysunout model z formovací směsi, je nutné model opatřit úkosy a rádiusy, jinak by mohlo dojít k borcení formy a vytvoření zmetku. Úkosy se také volí v závislosti na tom, bude-li docházet k následnému obrobení povrchu [Obrázek 3]. Jsou předepisovány v razítku postupového výkresu. Kótují se pak pouze úkosy s jinými údaji než na razítku. [1]



Obrázek 3: Úkosy dle normy ČSN 04 2021, převzato z lit. [14]

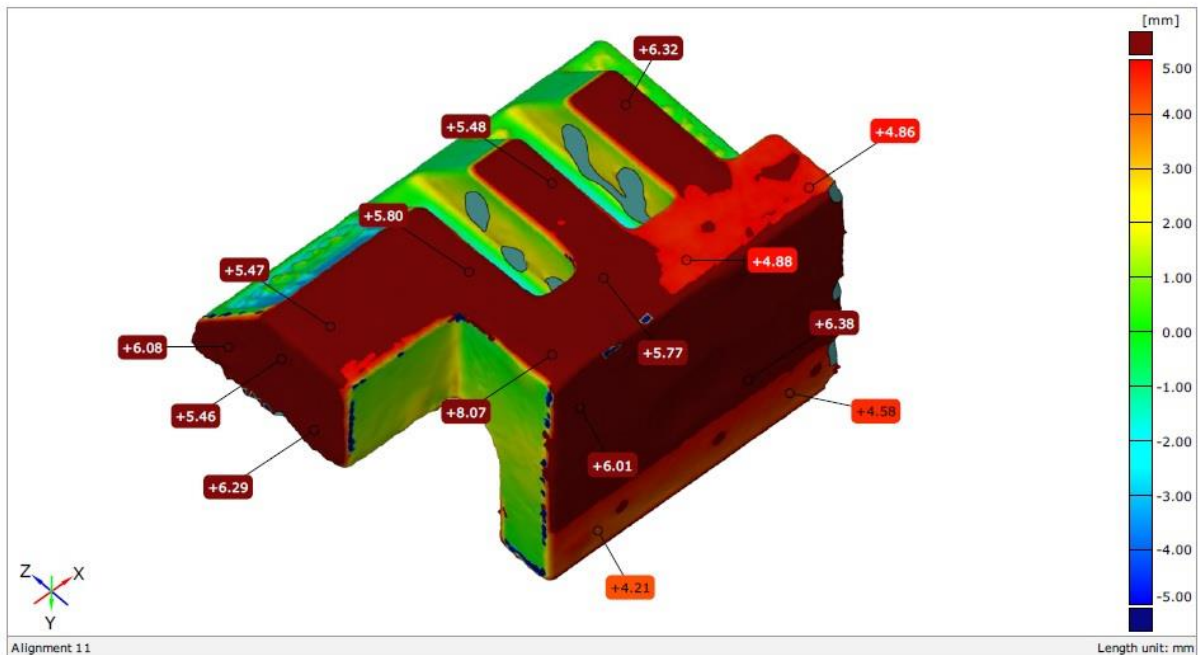
Úkos A: používá se pro plochy, které nebudou obráběny [14]

Úkos B: používá se pro plochy, které budou dále obráběny, je také vhodný ke snížení hmotnosti odlitku [14]

Úkos C: používá se pro plochy, které budou obráběny, nebo tam, kde rozměr odlitku nelze zmenšit [14]

2.2.4 Přídavky na obrábění

Jak název napovídá, tyto přídavky jsou využívány jako nadbytečný materiál, který se při obrábění odstraní. Obrábění odlitků se snažíme spíše vyhnout, a používá se hlavně na plochách [Obrázek 4], kde je třeba zaručit buď lepší drsnost povrchu, nebo docílit geometrických tolerancí (kolmost, rovinnost, ...).



Obrázek 4: Přidavky na obrábění u části modelového zařízení s označením 2229*

*Obrázek převzat od M. Máčali, ze ZPS-Slávárna

2.3 Materiály modelových zařízení

Odlévání patří mezi nejstarší výrobní postupy. Již 2000–2500 let př. n. l. se objevují záznamy o slévání, kdy lidstvo bylo schopno tavit kov, nebo případně jeho slitiny teplotou kolem 1000°C. Slitiny Cu-Sn-As a další tak daly tomuto období jeho název: doba bronzová. Stejně staré jako odlitky samy jsou i modely. Naši předkové používali různá dláta, aby byli zhotovili modelová zařízení z nejlépe zpracovatelného materiálu, ze dřeva. [1]

2.3.1 Dřevo

Dřevo je i dnes stále nejpoužívanějším materiálem na výrobu modelů. Používá se hlavně pro svou nízkou cenu, dobrou obrobiteľnost a jeho dostatek. Dělit ho můžeme podle druhu porostu na listnaté a jehličnaté, a podle tvrdosti [Tabulka 2]. [7]

Tabulka 2: Rozdělení dřeva dle tvrdosti, převzato z lit. [7]

Měkké	Polotvrdé	Tvrdé
Jedle	Ořech	Dub
Borovice	Olše	Hrušeň
Vrba	Jilm	Javor
Topol		Jasan
Modřín		Mahagon
		Palisandr

Dalším faktorem při volbě dřeva je vlhkost řeziva [Tabulka 3].

Tabulka 3: Vlhkost řeziva, převzato z lit. [7]

Druh dřeva	Obsah vody v % v poraženém stromu (% z váhy suchého dřeva)	Obsah vody v % v pokáceném dřevu (% z váhy suchého dřeva)		
		za 6 měsíců	za 12 měsíců	za 18 měsíců
Dub	50 - 70	48	39	27
Bříza	50 - 70	33	22	19
Osika	80 - 100	45	28	19
Olše	80 - 100	28	23	18
Jedle	140 - 150	41	20	18
Borovice	140 - 150	41	-	19

Z těchto hodnot [Tabulka 3] lze také vyvodit sesýchavost dřeva. Ta má vliv na celkové vlastnosti materiálu. Mezi dřeva málo sesýchaná řadíme například akát, olši, topol. Příkladem dřev středně sesýchaných je smrk, borovice, jedle, dub, javor. Poslední skupinou jsou dřeva hodně sesýchaná. Do této skupiny řadíme buk, břízu, lípu nebo modřín.

Dřevo je velmi všestranný materiál. Jeho nevýhodou je však jeho postupná degradace a tendence se bortit (kroutit se). „Borcení je provázáno tvořením drobných trhlin a může být způsobeno nerovnoměrným vysoušením a vadami dřeva. Je následkem bobtnání (zvětšování lineárních rozměrů, plochy nebo objemu) a sesychání (zmenšování lineárních rozměrů, plochy nebo objemu) dřeva.“

Borcení lze predikovat, víme-li z jaké části kmene je daný kus vyříznut [Obrázek 5]. [7], [10]

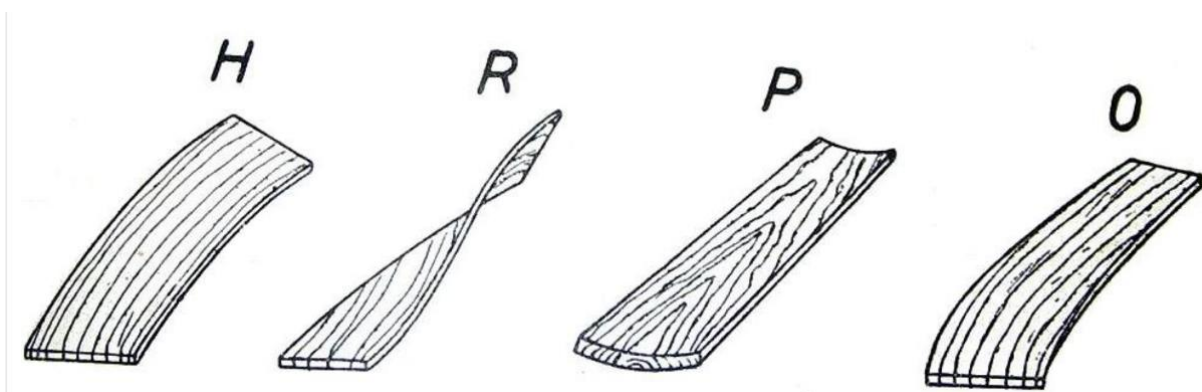


Obrázek 5: Dřevěné výřezky z částí kmene a jejich borcení, převzato z lit. [10]

Příčné borcení vzniká rozdílným radiálním a tangenciálním sesycháním, čím vzdálenější je od dřene, tím je větší.

Podélné borcení je následkem nerovnoměrným podélným sesycháním dřeva.

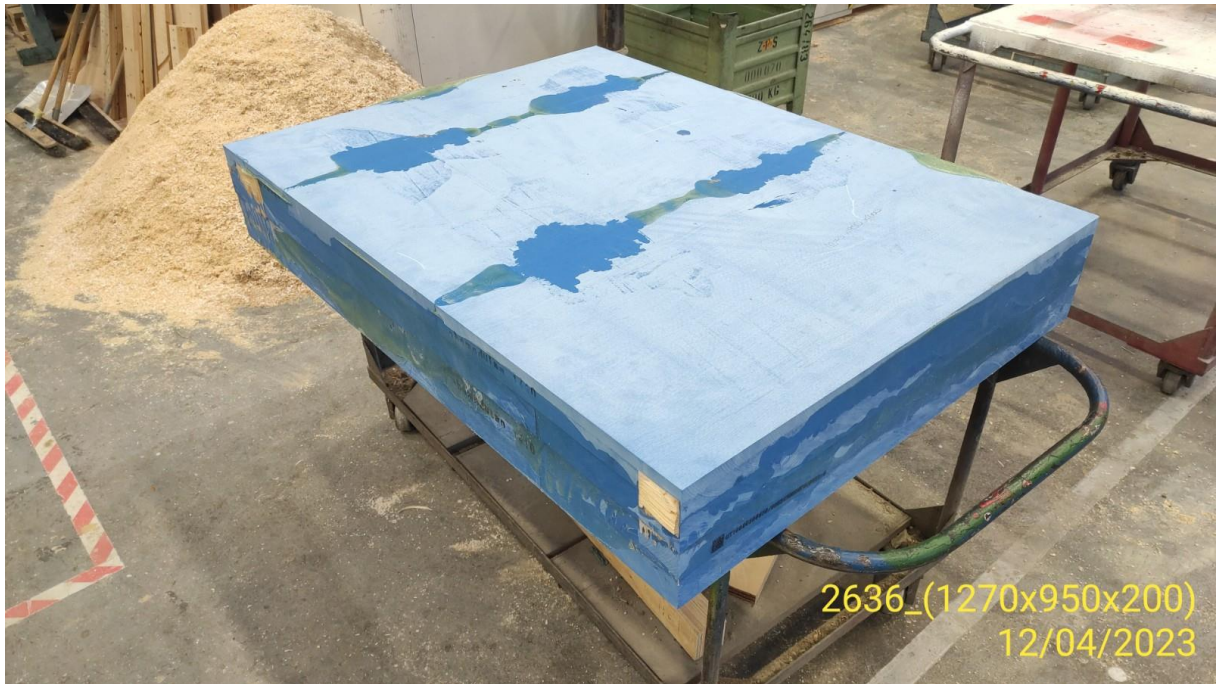
Příklady podélného borcení jsou vidět na [Obrázek 6]. [7], [10]



Obrázek 6: H – hákové, R – přes roh, P – normální, O – do oblouku, převzato z lit. [10]

2.3.2 Umělé dřevo

Nová doba přinesla i nové materiály jako např. URSUL. Jedná se o polyuretan, materiál také známý jako umělé dřevo [Obrázek 7]. Výhodou tohoto materiálu je, že se na něj nelepi formovací směs, a model tak lze vytáhnout z formy, aniž by došlo k jejímu borcení. Velkou výhodou materiálu je odpadající nutnost jeho lakování, na rozdíl od normálního dřeva, které se musí lakot vždy, jinak dojde k nasávání vody z formovací směsi a lepení písku. Další výhodou je dobrá obrobiteľnosť a nízky koeficient tepelné délkové roztažnosti. [12]



Obrázek 7: Polyuretanový blok s rozměry 1270x950x200 mm

Příklad takového materiálu viz [Příloha 1]. Nevýhodou bloků je, že jsou dodávány v určitých rozměrech, a tak pro výrobu větších modelů musí být lepeny na sebe. To je velmi časově neefektivní, navíc díky hladkému povrchu vyžadují speciální metodu lepení.

3. Aditivní technologie

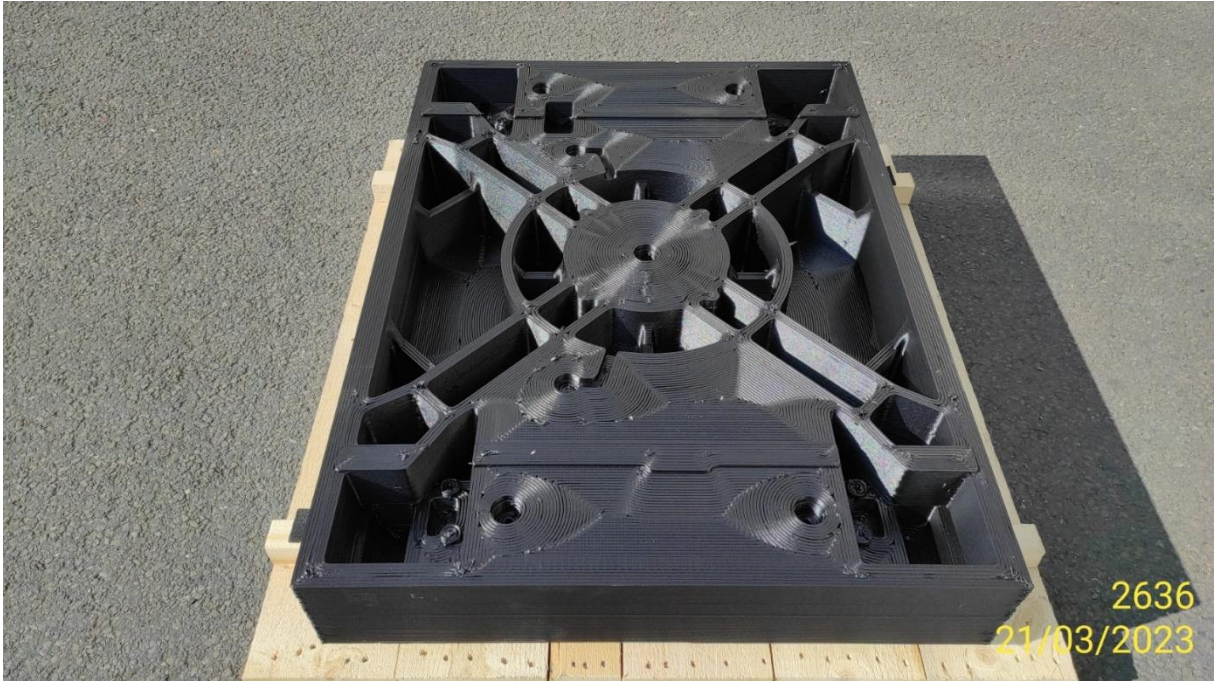
Aditivní technologie jsou v posledních letech víc a víc používané napříč výrobním odvětvím. Ať už se jedná o malé osobní tiskárny, které má dnes doma kde kdo, nebo o velké tiskárny s rozměry plochy tisku přesahující 2x2 m, tato technologie představuje budoucnost nejen ve slévárenství. Toto utvrzuje fakt, že mnoho výrobců strojů zakládá divize, speciálně vyvíjející velké 3D tiskárny pro průmyslové užití [Obrázek 8]. [6]



Obrázek 8: 3D tiskárna od firmy Hans WEBER s maximálními rozměry výtisku 1600x1200x1300 mm, převzato z lit. [6]

3.1 Modely

U použití konvenčních strojů a obráběcích center však zůstala podstatná věc, která vedla k vyšší ceně. Tyto metody totiž produkují značné množství odpadního materiálu. To dopomohlo myšlence použití 3D tisku modelů [Obrázek 9].



Obrázek 9: Prototyp modelového zařízení 2636 (2635) vyrobeného na 3D tiskárně WEBER

3.2 Formy

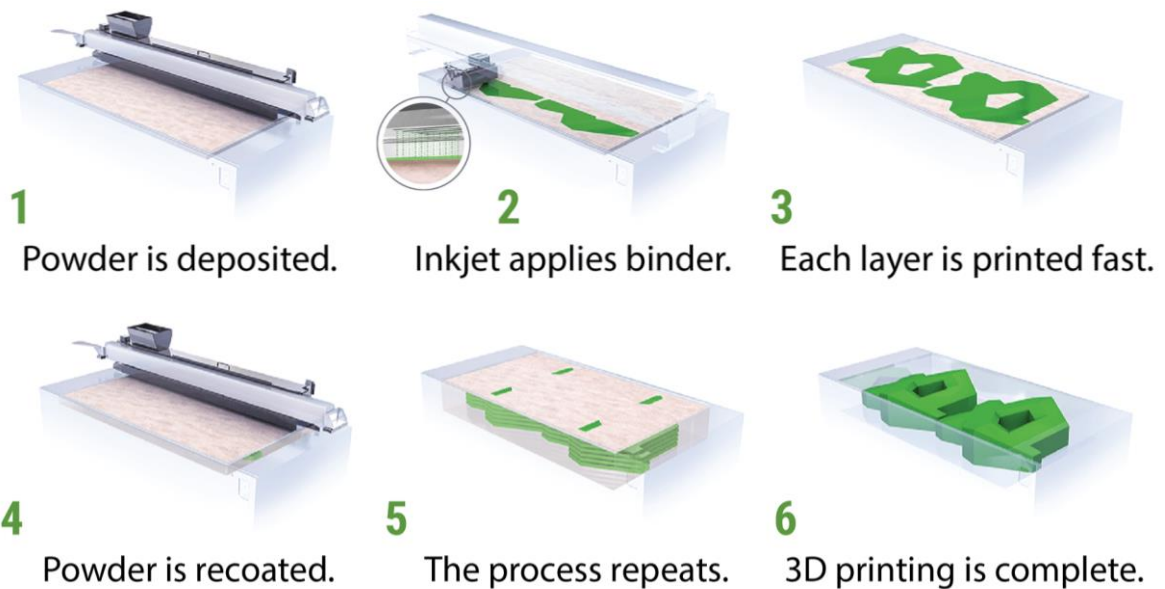
Metodou 3D tisku však nemusí být vytištěn samotný model. Průkopníky tohoto směru jsou firmy ExOne [Obrázek 10] a Voxeljet. Jejich novinkou je tisk pouze pískových forem a jader na speciálních tiskárnách. Při jejich použití tedy odpadá celá výroba modelového zařízení. Tyto tiskárny fungují na principu nanášení tenké vrstvy prášku (písku) a následné aplikace pojiva na místa formy [Obrázek 11]. Tato metoda není nová, (existují 3D tiskárny, které používají pro tisk metalurgický prášek, který je taven laserem) ovšem její použití ve slévárenství může být revolucí v oboru a dalším krokem pro odstranění člověka z výroby. [3], [4], [9]



Obrázek 10: Tiskárna ExOne S-Max Pro, převzato z lit. [4]

Binder Jet 3D Printing

Liquid binder is selectively applied to a thin layer of powder, layer by layer, to form high-value parts and tooling



Obrázek 11: Proces výroby pískové formy pomocí 3D tisku, převzato z lit. [4]

Nejprve je nanесena vrstva písku, potom hlava 3D tiskárny nanесе pojivo na místa, která budou součástí pískové formy. Dále je nanесena další vrstva písku a proces se opakuje, dokud není forma vytištěna. Na závěr se odstraní písek bez pojiva a forma je připravena na proces lití.

3.2.1 Pojiva

Druhy pojiv pokrývají širokou škálu materiálů. Od hliníkových a hořčíkových slitin, až po litinovou ocel. Firma ExOne nabízí zákazníkům možnost mixu těchto pojiv pro dosažení požadované drsnosti povrchu i pevnosti odlitků. [4]

3.2.2 Furanová pojiva

Jejich základní složkou je furfurylalkohol a furfural, ze kterých se za pomoci kyselin vyrobí furalová pryskyřice. Jedná se o nejpoužívanější pojivo firmy ExOne a jednou z jeho výhod je také fakt, že furan je vyráběn z obnovitelných zdrojů jako například kukuřičné a rýžové slupky, či cukrové třtiny. Toto pojivo se hodí pro výrobu pevných jader i forem z křemičitých písků a cerabeadsu (uměle vytvořené ostřívo). [4], [8]

3.2.3 CHP pojiva

Zkratka CHP (Cold-Hardening Phenol) prozrazuje, že se jedná o pojivo na bázi fenolu. Esterově vytvrzené alkalické fenolické rezolové pojivo pak vyžaduje dodatečné vytvrzování při zvýšených teplotách. Používá se pro jádra a formy s komplikovanou geometrií. [4]

3.2.4 HHP pojiva

Na rozdíl od CHP pojiv, (Hot-Hardening Phenol) se používá hlavně pro výrobu jader, která mají odolávat vysokým teplotám. Používají se v kombinaci s křemičitými písky, anebo jemným či hrubým carebeadsem. [4]

3.2.5 Anorganická pojiva

Toto alkalickosilikátové pojivo na bázi vody taktéž vyžaduje dodatečné vytvrzování při vyšších teplotách. Používá se pro jádra i formy, a také při vysokoteplotním lití. Výhodou pojiva na bázi křemičitanu sodného je také šetrnost k životnímu prostředí. [4]

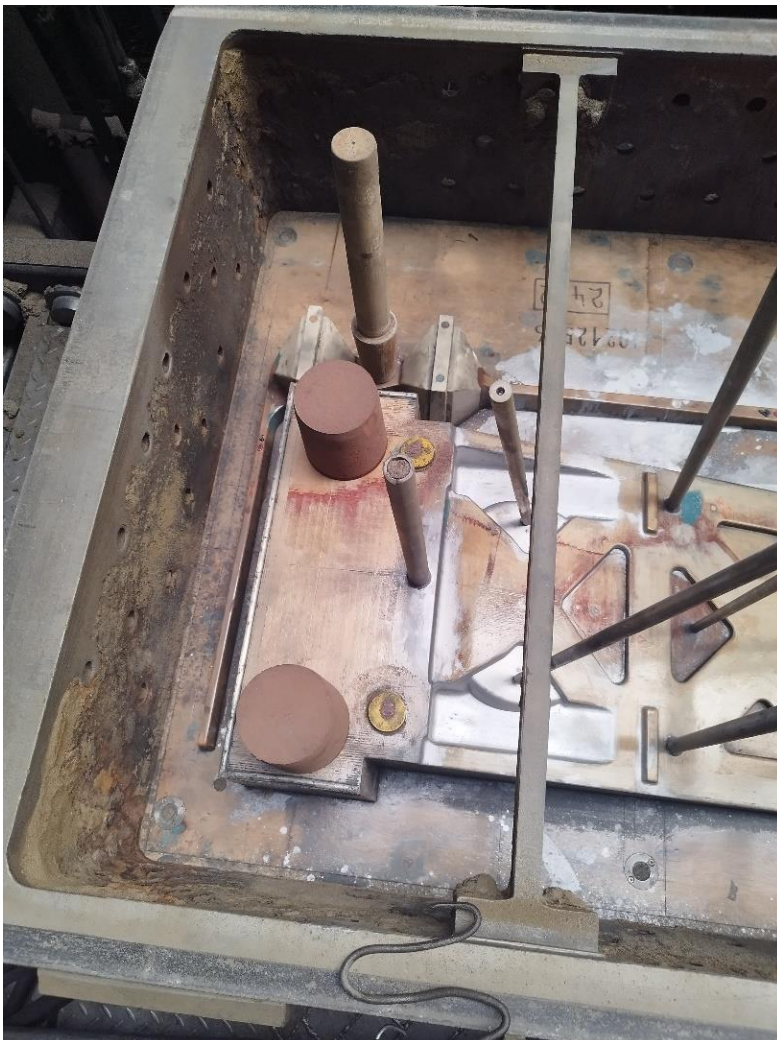
Dalším faktorem předurčujícím tuto metodu k úspěchu je široké spektrum prášků (písků) které lze na tisk použít. Mimo výše zmíněné i recyklovaný materiál jako například: drcený beton, piliny či voňavější materiál, kávová sedlina. [4]

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Zhutňování formovacích směsí

Potom, co je model upevněn na desku, která odděluje vrchní a spodní část a lze jí chápat jako dělicí rovinu. V závislosti na složitosti odlitku se model běžně začíná vyrábět přímo na desce. Dále následují dokončovací operace. Především se jedná o lakování dřevěných modelů, kytování nerovností povrchu, například nanášení tmelu do prasklin ve dřevě, nebo do hlav vrutů.

Hotový model je následně vložen do formy. Spolu s ním se do formy umístí také nálitky, chladítka, vtoková soustava a výfuky [Obrázek 12].



Obrázek 12: Model a vtoková soustava před zasypáním

Takto připravený model je zasypán formovací směsí, přičemž platí, že v kontaktu s modelem bývá zpravidla tzv. modelářská směs (běžně nejjemnější struktura, není-li požadováno jinak),

kteřá je pouříváná vřdy jen jednou, neboř při vyjmutí odlitku z formy se pomířhá se směší výplňovou. Ona výplňová směš může být pouřívána opakovaně, je nanášena na vrstvu modelářské směši a jak název napovídá, vyplňuje zbytek formy. Po zasypání a upěřhování formovací směši je forma otočena a model vyjmut. Horní a dolní formy se spojí a vře je připraveno na proces lití.

Samotný proces zhuťňování (pěřhování) směši může být proveden následovně:

- Pěřhováním
- Lisováním
- Střásáním
- Metáním
- Výbuchem, expanzí plynu

4.1.1 Pěřhování

Pneumatická pěřhovačka [Obrázek 13] je s trořhou nadsázky největším nepřítelem modelu. Jelikoř obsluha, jenř s ní manipuluje je řlověk, kteřý se během dne unavuje, je jasné, že se během jeho pracovní směny úřhop bude úřhop měnit. Dále nelze zaruřit stejný proces pěřhování u každého z řady modelů, a tak se běžně stává, že náchylnější řásti modelu (řebra, drobnější prvky apod.) se nenávratně poškodí.



Obrázek 13: Pneumatická pěřhovačka

V takovém případě se po vyjmutí odlitku rozhodne, zda se jedná o zmetek, nebo se ještě opraví. V každém případě se poškozený model vrátí zpět na modelárnu, kde se musí opravit. Naštěstí lze poměrně snadno takováto místa predikovat [Obrázek 14].

4.2 Problémové prvky modelu



Obrázek 14: Modelové zařízení 9487

Na první pohled lze s jistotou konstatovat, že malé prvky po obvodu modelu budou velmi náchylné na proces pěchování. Postupem času se opotřebují [Obrázek 15].



Obrázek 15: Opotřebované prvky modelu 9487

Dříve totiž platilo, že se model musel ze skladu ve slévárně převézt na modelárnu, kde musel modelář odstranit celý prvek, následně zhotovit ze dřeva prvek nový. Ten musel být pomocí drážek umístěn na model, a na závěr se musel provést dlouhý proces dokončovacích operací. Co se dokončovacích operací týče, jsou dřevěné modely nejnáročnější. Dřevěné bloky nebo části se napouštějí pryskyřicí. Jedná se o dvousložkovou směs, zpravidla používanou ve velkém množství (60 litrů). Obě složky je třeba smíchat v určitém poměru, tak aby se v ní netvořily bublinky, které by při následném opracování tvořily další nerovnosti v povrchu. Jelikož míchání 60 litrů není jednoduchý proces, tu a tam se bublinky utvoří. Na některých místech, například uvnitř, to nevadí, ale na povrchu představují problém. Reakční doba, po kterou směs zasychá je běžně kolem 30 minut. Dřevo se dále musí lakovat. Z pravidla se používá epoxidový dvou složkový lak, který se nanáší ručně, nebo polyuretan, který je svou konzistencí mnohem řidší. Protože by po složitých stěnách modelu stékal, využívá se na rovné plochy a nastříkuje se lakovací pistolí.

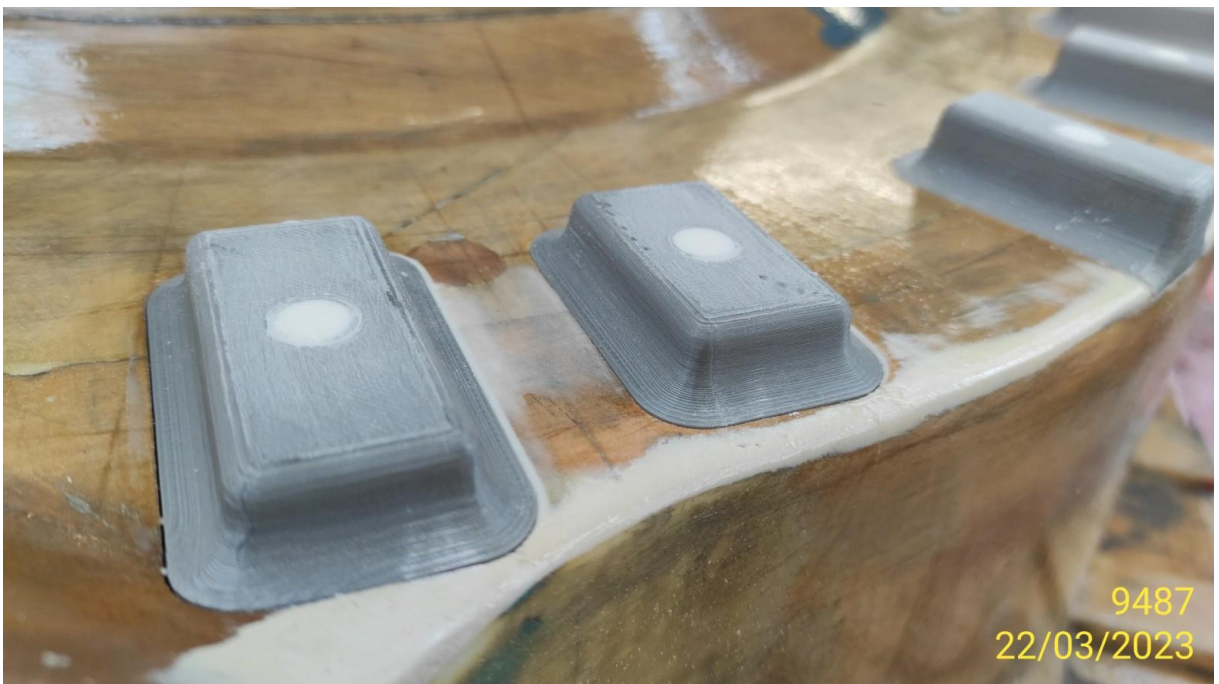
Zde je velmi výhodné jak z časového, tak finančního hlediska využít metodu 3D tisku. Rozměry prvků sice nejsou u všech stejné, a nelze tak aplikovat jeden druh na kteroukoli pozici. Ovšem čas, který je věnován na tvorbu prvku ve 3D programu (pro tyto části, a mnoho dalších byl použit program CREO) je v porovnání s výrobou nového dřevěného prvku zanedbatelný. Navíc tiskárna pro svůj chod nepotřebuje obsluhu, a tak se může modelář věnovat dalším modelům na modelárně a tisk jen občas zkontrolovat. Při tisku menších prvků se navíc vyplatí tisknout více těchto prvků do zásoby na jeden výtisk.

Vytisknuté prvky na modelové zařízení [Obrázek 16] mohou být vyměněny velmi rychle. Odpadá tedy nutnost transportu modelu ze skladu na modelárnu. Modelář jednoduše může s vytištěnými prvky přijít do skladu modelových zařízení, vyšroubovat vruty, prvky vyměnit, upevnit a zakytovat rychleschnoucím tmelem přímo.



Obrázek 16: Model 9487 po výměně opotřebovaných dřevěných prvků za prvky z PLA

Pro upevnění vytištěných částí se nejčastěji použije vrut. Ten je potřeba zatmelit, aby ve formě nevznikaly nerovnosti [Obrázek 17].



Obrázek 17: Detailní pohled na prvky modelového zařízení 9487 zhotovené na 3D tiskárně Prusa

Detailní pohled na opotřebované a nové součásti vyrobené metodou 3D tisku [Obrázek 18].

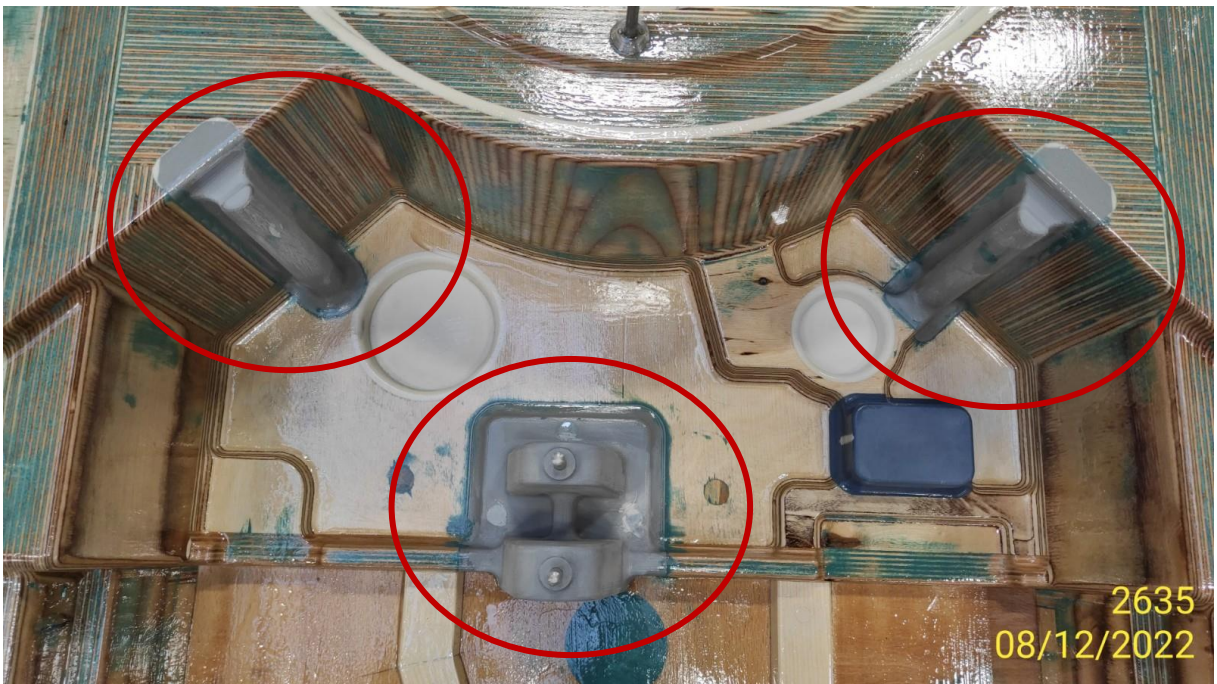


Obrázek 18: Prvky modelového zařízení 9487, nahoře nově vytištěné, dole poškozené

Další problémové prvky modelu 2635 [Obrázek 19], [Obrázek 20].

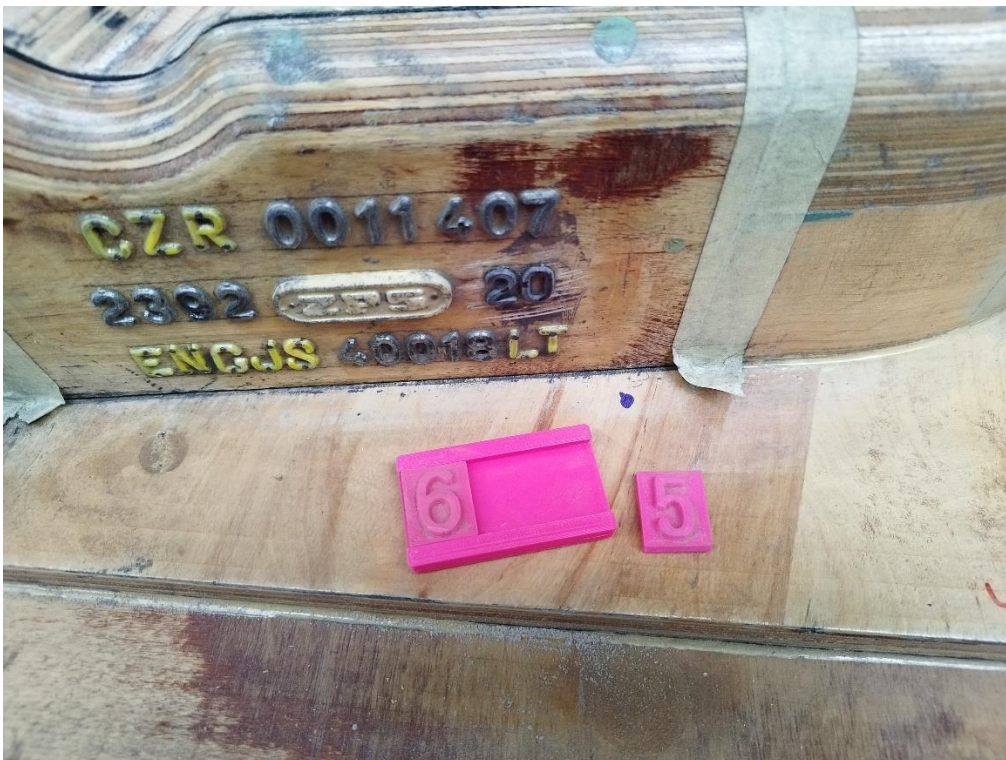


Obrázek 19: Problémové prvky modelu 2635 vytisknuté na 3D tiskárně



Obrázek 20: Pohled na model 2635 s šedými problémovými prvky vyhotovenými na 3D tiskárně

Nejen žebra a prvky jim podobné jsou vystavovány surovým podmínkám slévárny. Při manipulaci s modely může dojít k uražení i částí, jako jsou kódová označení modelu, či různé nápisy zákazníka. I zde je obzvláště výhodné použít metodu 3D tisku, a to nejen na opotřebované části, ale i pro označování modelů. Dříve se všechna označení vyhotovovala ze dřeva přímo na model a případná oprava zabírala spoustu času. Tomuto lze předejít použitím jednoduchých drážek zhotovených na 3D tiskárně, které se přilepí do drážky v modelu. Navíc je lze použít opakovaně, snadno měnit a při jejich zničení rychle nahradit jinými [Obrázek 21]. To platí i o číslech a písmenech.



Obrázek 21: Staré značení modelu a nové drážky pro vyměnitelné značení modelu

K poškození těchto míst dojde dříve či později, a tak jejich se namísto jejich výroby z velmi drahých tuhých materiálů volí alternativa značně levnější. Ukazuje se, že zde je obzvláště výhodné uplatnit metodu 3D tisku. Neboť materiál je přidáván pouze na místa, kde je ho třeba. Další výhodou je to, že není nutné tyto části tisknout zcela vyplněné tiskacím materiálem. Pevnost vytištěného dílu lze totiž zajistit pomocí vnitřní podpůrné konstrukce různých tvarů, tzv. voštiny. Je to přínosné i z hlediska nákladů, neboť je spotřebováno mnohem méně materiálu pro tisk, a také se výrazně zkrátí doba tisku. Ruční modelování těchto voštin v softwaru by bylo zbytečně časově náročné. Naštěstí programy pro 3D tiskárny jako je PrusaSlicer pro tiskárny Prusa umožňují vybrat z několika předdefinovaných tvarů voštin.

Jejich parametry lze navíc měnit pro dosažení optimálního poměru pevnosti a hmotnosti tištěné součásti.

Snaha o zamezení opotřebování náchylných prvků vedla nejprve k výrobě modelu z umělého dřeva. Ovšem jeho dodávání v blocích [Obrázek 7] se při výrobě slévárenských modelových zařízení jeví jako velmi neefektivní, a finančně nevýhodné. Například pro modelové zařízení s označením 2635 bylo při obrábění bloku na CNC [Obrázek 22] přeměněno 53% hmotnosti na nepoužitelný odpad ve formě třísek. Hotová část modelu po obrobení [Obrázek 23]. Navíc opravy prvků z tohoto materiálu jsou mnohem náročnější na výrobu a opět produkují spoustu nevyužitelného odpadu. K tomu všemu materiál poměrně značně tupí nástroje CNC.



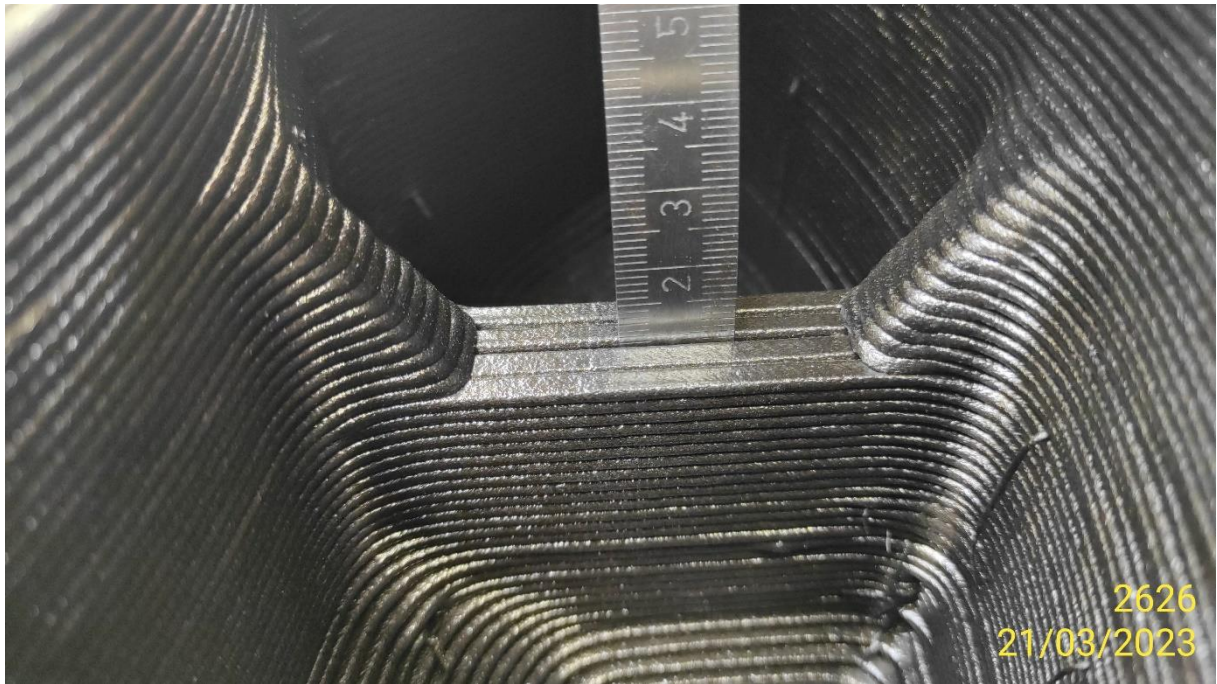
Obrázek 22: Proces obrábění bloku umělého dřeva, modelové zařízení 2635



Obrázek 23: Obrobená část modelu z umělého dřeva, modelové zařízení 2635

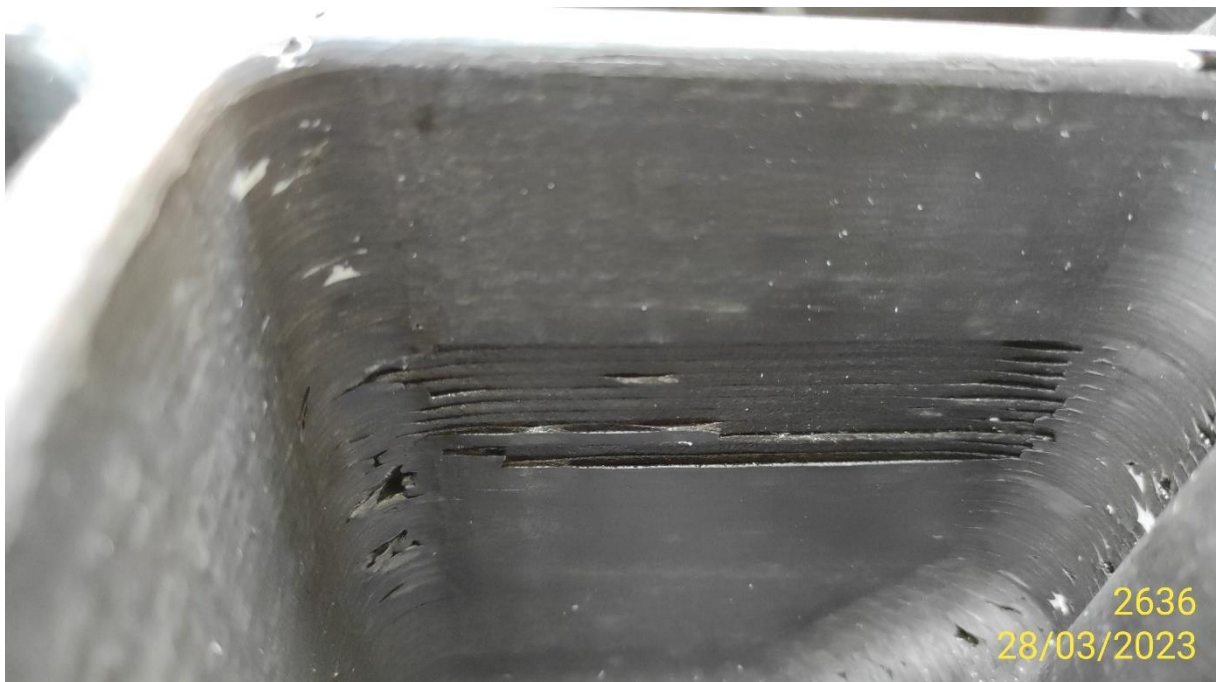
Dalším pokusem o vytvoření modelového zařízení za použití jednoho materiálu byl pokus o vytištění modelu na 3D tiskárně. Modelová zařízení však nebývají malá, a tak je potřeba velkých 3D tiskáren pro jejich výrobu. Samozřejmě že rozhodnutí slévárny pustit se do výroby pouze tištěných modelů by znamenalo obrovské náklady pro celý podnik, nemluvě o velkém risku při přechodu na novou technologii výroby. Z toho důvodu se volí jako nejrozumnější možnost nechat si model vytisknout na zakázku jako prototyp. Na něm se ukázalo, že použití 3D tiskáren zatím není aplikovatelné na celý model.

U zkušebních výtisků [Obrázek 24] se totiž ukázalo hned několik vážných problémů. Prvním problémem byla již z dálky patrná struktura tisku. Jednotlivé vrstvy tisku mezi sebou často měly volný prostor. Dále sousedící „cestičky“ od trysky tiskárny měly mezi sebou ještě mnohem větší mezery. To mělo za následek to, že se stěny modelu na některých místech prohýbaly, a při formování by tak zapříčinily výrobu zmetku. Tento problém se snažila slévárna řešit zalitím děr pryskyřicí. Počet takovýchto děr byl však mnohem větší, než se předpokládalo. Navíc se na PET materiál téměř nepřichytila, a tak vytékala všemi štěrbinami ven, a ani nestačila zaschnout.

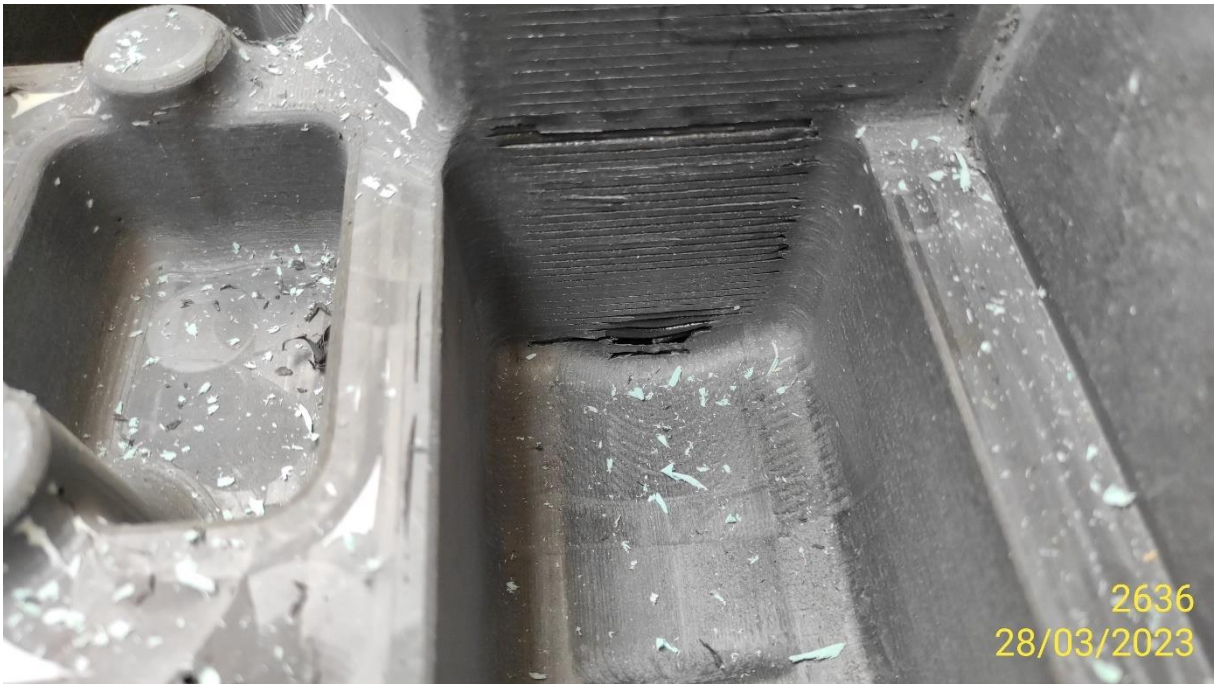


Obrázek 24: Mezery ve stěnách modelu 2636

Obrábění samotného modelu pro vyhlazení vnitřní struktury pak všechny nedostatky jen umocnilo. Stěny se od nástroje probořily [Obrázek 25], [Obrázek 26] a na některých místech otřepily [Obrázek 27].



Obrázek 25: Probořené stěny na modelu z 3D tiskárny, 2636



Obrázek 26: Deformace stěny a dna na modelu z 3D tiskárny, 2636



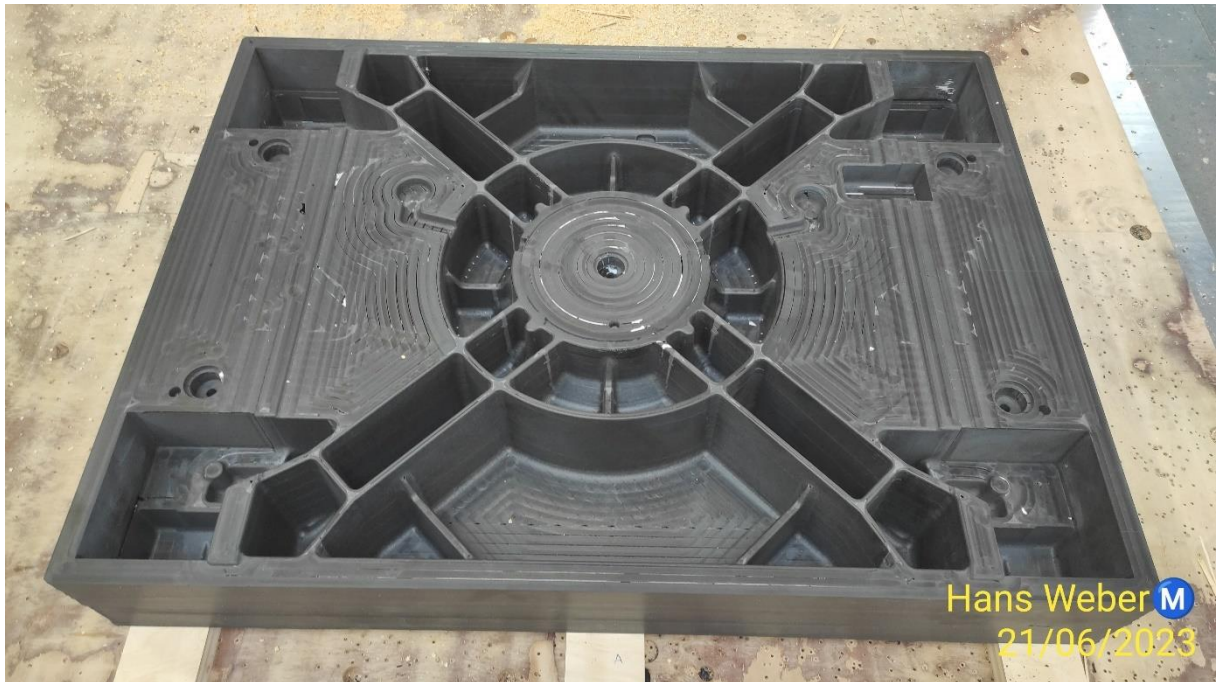
Obrázek 27: Otřep sektoru v 5E od frézy na modelu z 3D tiskárny, 2636

Ruční kytování těchto míst bylo samozřejmě časově velmi náročné [Obrázek 28].



Obrázek 28: Model z 3D tiskárny po ručním kytování, 2636

Špatný výtisk zapříčinilo nesprávné nastavení parametrů pro tisk. I když výrobci tiskáren a filamentu, či poskytovatelé 3D tištěných částí poskytnou informace o tom, jak daný model z daného materiálu tisknout, jedná se vesměs o obecné informace, které v praxi nemusí fungovat. Zde byla jedna z chyb dávkování extrudovaného materiálu. Obecně lze však konstatovat, že při optimalizaci výroby závisí na podnikovém know-how. Na základě zpětné vazby bylo učiněno přenastavení parametrů tisku, a druhý výtisk byl mnohonásobně kvalitnější. I tak zde bylo za potřebí drobného kytování, tentokrát však o poznání méně, než u prvního výtisku [Obrázek 29].



Obrázek 29: Druhý výtisk modelového zařízení tiskárně WEBER po obrobení, 2636

Některým zákazníkům vadí povrch na odlitku kopírující vrstvy tisku na modelu. Toto představuje další limitaci v používání modelů vytištěných na 3D tiskárně, neboť povrch musí být následně opracován, což je opět finančně a časově náročné.

Co se materiálu pro tisk malých problémových prvků metodou FDM týče, nejpoužívanějšími jsou PLA a ABS. Cena těchto materiálů je podobná, odlišují se ovšem ve vlastnostech a způsobu tisku. Zatím co PLA není teplotně náchylné při tisku i chladnutí, ABS má při tuhnutí tendenci kroutit se. Proto jsou tiskárny většinou vybavené vyhřívanou komorou, která zpomaluje proces chladnutí na pokojovou teplotu. ABS se proto tak často tiskne na uzavřených tiskárnách. ABS má však oproti PLA lepší mechanické vlastnosti. Povrch PLA po vytištění je z hlediska využití na modelových zařízeních dostatečný. Při zhutňování slévárenské směsi navíc písek působí jako abrazivo, takže může, ale nemusí být broušen. Na ABS lze aplikovat aceton, a docílit tak lepšího povrchu. Jelikož drsnost povrchu při použití PLA je přijatelná, upřednostňuje se před ABS. Hlavně z hlediska časové náročnosti a nutnosti použití tepelné komory pro ABS.

4.3 Ekonomická rozvaha

Jak je patrné z tabulky [Tabulka 4], po vizuální stránce [Obrázek 30], [Obrázek 31] se použití vytištěného modelu od modelu zhotoveného z bloku umělého dřeva na CNC moc neodlišuje. Zatím co ruční výroba je jednoznačně levnější. Nicméně je třeba se podívat na důležitý faktor, kterým je celková doba výroby modelu. Zde vychází nejlépe 3D tisk, a i přes to, že proces výroby na CNC není o moc pomalejší, je důležité zmínit třetí nejdůležitější faktor. Tím je to, že po celou dobu obrábění je třeba platit obsluhu stroje. Na rozdíl od 3D tisku, kde obsluha dohlédne na spuštění procesu, a poté se postará o vyjmutí hotového modelu. Mezi tím může pracovat na jiném modelu na modelárně, nebo třeba vyměnit ve skladu modelů poškozené prvky. Toto je naprosto klíčový faktor, který ani jedna ze zbylých možností výroby nemá. V neposlední řadě je pak důležité zmínit, že u varianty z umělého dřeva vznikne 200 kg nerecyklovatelného odpadu, zatím co u 3D tisku pouze 14 kg, a ještě ho lze recyklovat.

Dalším faktorem, který ovlivňuje cenu modelů, je hodinová sazba. Sem lze zařadit licence na SW nutný pro modelování 3D modelu, licence pro CNC program, odpisy 3D tiskárny, CNC nebo konvenčních strojů, údržba modelárny, její vytápění, spotřeba vody a energie, režijní náklady a zisk podniku.

Položky, jako jsou vruty, lepidla, pryskyřice, laky a tmely jsou v tabulce spíše jako odhad. Jedná se totiž o spotřební materiál, který se nakupuje pro celou modelárnu ve velkých množstvích. Na rozdíl od toho kování je na všech modelech stejné. Je na desce modelu (dělicí rovině) viz. kapitola 4.1, a slouží pro ochranu velkoplošného materiálu před poškozením při manipulaci na formovně.

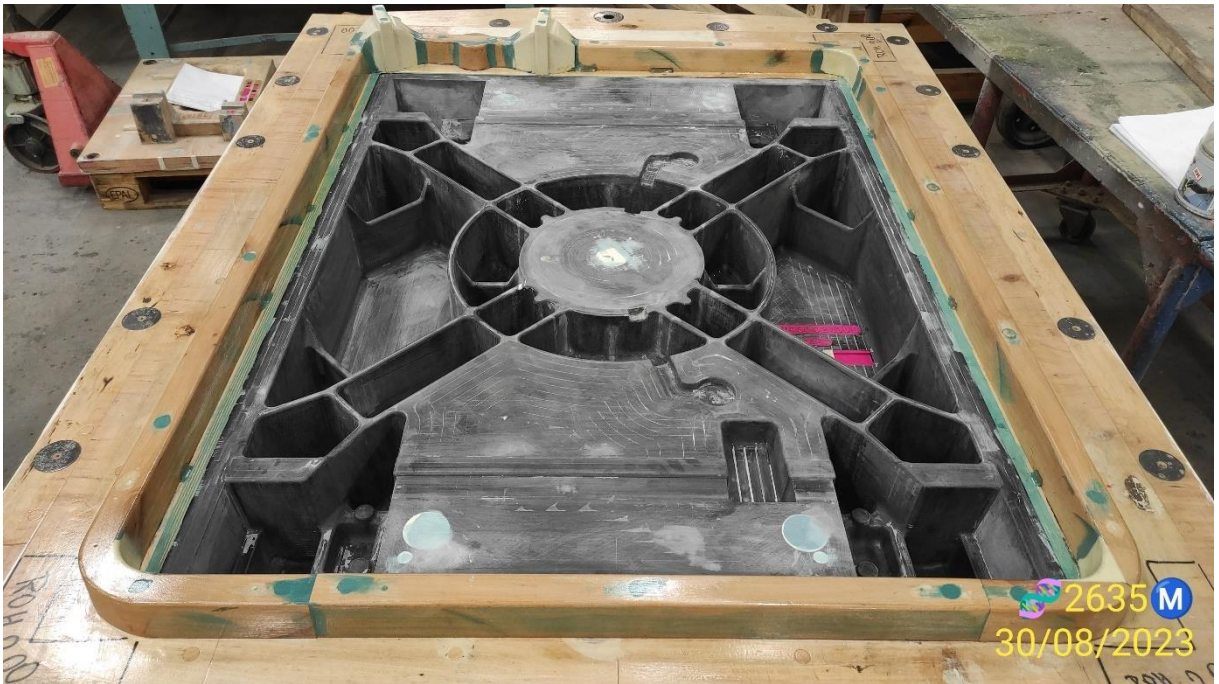
Pro opravy problémových prvků je pak zcela určitě nejvýhodnější využití 3D tisku [Tabulka 5] pro jeho minimální odpadní materiál, poloviční finanční náklady oproti využití CNC, odpadající nutnosti neustálé obsluhy výrobního zařízení a možností rychlé výměny dílu přímo ve skladu modelů.

Tabulka 4: Náklady na výrobu nového modelu 2635, v plné velikosti v příloze 2

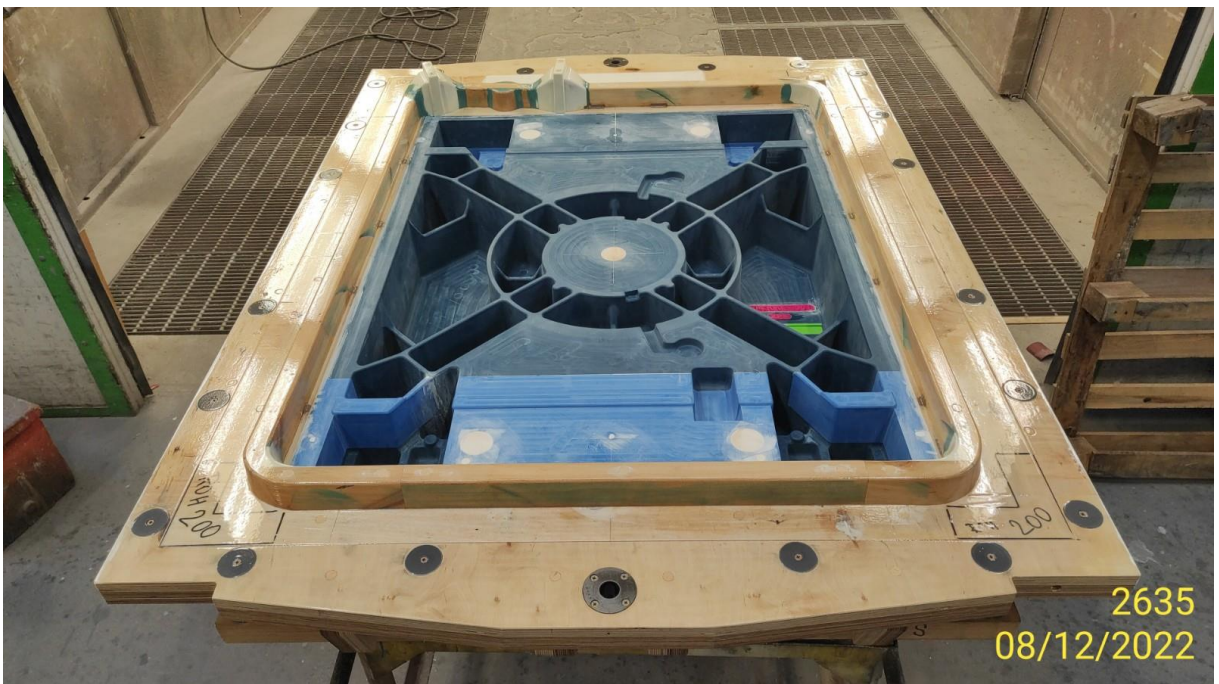
	Výroba														Dokončovací operace				Celkové náklady		
	Technologie		Velkoplošné desky		Řezivo		PEF materiál	Umělé dřevo	3D tiskárna		CNC		Modelář/obaluhá stroje	Vruty, lepidla, přiskyřice	Hodinová sazba	Laky, tmely, lakování	Modelář	Hodinová sazba			
	Doba práce	Cena za hodinu práce	m2	Cena za m2	m3	Cena za m3	Cena za celý model	Cena za celý model	Čas tisku	Cena za hodinu	Čas obrábění	Cena na hodinu	Čas výroby	Cena za hodinu práce	Cena	Cena	Doba práce	Cena za hodinu práce			
Ruční výroba	60	300,00	5,76	400,00	0,20	15 000,00	-	-	-	-	-	1 200,00	280,00	220,00	1 500,00	600,00	3 300,00	40,00	220,00	200,00	99 304,00
CNC	60	300,00	1,92	400,00	-	15 000,00	-	58 000,00	-	-	76,00	1 200,00	76,00	220,00	500,00	1 400,00	3 000,00	10,00	220,00	200,00	191 988,00
3D tisk	60	300,00	1,92	400,00	-	15 000,00	39 494,00	-	16,00	1 791,00	43,50	1 200,00	1,00	220,00	500,00	1 300,00	3 150,00	3,00	220,00	200,00	145 148,00

Tabulka 5: Náklady na výrobu problémového prvku 2635, v plné velikosti v příloze 2

	Výroba 4 sloupků								Dokončování	Celková cena [Kč]	Celková doba [h]
	Řezivo		PLA		CNC		3D tiskárna		Broušení, kytování, lakování		
	dm3	Cena za 1 kg	Kg	Cena za kg	Čas obrábění	Cena za hodinu	Čas tisku	Cena za hodinu	Doba [h]		
CNC	1,50	200,00	-	560,00	1,00	1 200,00	-	-	2,00	1 500,00	3,00
3D tisk	-	200,00	0,72	560,00	-	1 200,00	3,00	100,00	0,08	704,32	3,08



Obrázek 30: Hotový model vyhotovený na 3D tiskárně, 2635



Obrázek 31: Hotový model vyhotovený na CNC z umělého dřeva, 2635

5. ZÁVĚR

Dle zadání byl proveden popis konstrukce modelových zařízení, představeny různé druhy přídavek a druhů úkosů, popsány materiály pro výrobu a zmíněny výhody a nevýhody těchto materiálů.

Dále byly představeny aditivní technologie využívané ve slévárenství. Zmíněn byl jak klasický 3D tisk PET materiálu, kopírující odlitek se započtenými hodnotami přídavek a smrštění, tak 3D tisk pískových forem, který zatím není používán ve velkém měřítku.

Experimentální část byla zaměřena na porozumění výroby a oprav modelových zařízení v praxi. Byly představeny problémové prvky modelů a možnosti vyhotovení nových prvků za použití různých technologií výroby těchto prvků. Pro ekonomické porovnání ruční výroby nového modelového zařízení s výrobou na CNC, a s výrobou pomocí 3D tiskárny byla vytvořena tabulka [Příloha 2].

Z předchozích kapitol je patrné, že pouze ruční výroba modelu je dnes již nekonkurenceschopná. Je nejlevnější (bez mála 100 000 Kč v případě modelového zařízení 2635), ale časově nejnáročnější (320 hodin). Co se týče využití CNC, jedná se o velmi drahou metodu (192 000 Kč). Obrábění bloků, které má za následek přeměnu více jak 50 % na odpad je velmi neefektivní z hlediska nákladů (u modelového zařízení 2635 za použití bloku umělého dřeva to bylo 200 kg nerecyklovatelného odpadu). Obrábění hrubého tvaru konstrukce je finančně i časově méně náročné, nicméně přítomnost obsluhy stále představuje nutné náklady, nehledě na nutnost provést množství dokončovacích operací. Jako nejefektivnější se z hlediska nákladů (145 000 Kč) jeví využití 3D tisku s drobným kytováním (navíc případný odpadní materiál tvoří cca 14 % a je recyklovatelný). Počáteční náklady na prototypy, provoz a optimalizaci tisku představují nutnou investici, která z dlouhodobějšího hlediska stojí za zvážení.

Dalším stěžejním faktorem, kromě finančních nákladů je, že po celou dobu obrábění na CNC je třeba platit obsluhu stroje. Na rozdíl od 3D tisku, kde obsluha dohlédne na spuštění procesu, a poté se postará o vyjmutí hotového modelu. Mezi tím může pracovat na jiném modelu na modelárně, nebo třeba vyměnit ve skladu modelů poškozené prvky. Toto je naprosto klíčový

faktor, který ani jedna ze zbylých možností výroby nemá. Co se týče použití 3D tisku písku na našem území, v praxi se zatím nepoužívá. To lze připsat důvodu nutnosti koupě drahé tiskárny, kompletně přestoupit na novou metodu výroby a přizpůsobení licích linek.

Pro opravy problémových prvků je pak zcela určitě nejvýhodnější využití 3D tisku pro jeho minimální odpadní materiál (problémový prvek u modelu 2635 byl o 50 % levnější díky využití 3D tisku), odpadající nutnosti neustálé obsluhy výrobního zařízení a možností rychlé výměny dílu přímo ve skladu modelů.

Seznam použité literatury

- [1] Doc. Ing. Jan Suchánek, CSc, Doc. Ing. Jan. Šanovec, CSc, Doc. Ing. Milan Němec, CSc, ZÁKLADY TECHNOLOGIE I, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006.
- [2] Pattern making. HOHEN&CO [online]. Německo: [cit. 2024-01-8]. Dostupné z: <https://www.hohnen.de/de/hohnen-co-english-version/>
- [3] Santosh Reddy Sama, Tony Badamo, Guha Monogharan, Case Studies on Integrating 3D Sand-Printing Technology into the Production Portfolio of a Sand-Casting Foundry, University Park, Pensilvania, USA, 2019.
- [4] Sand 3D Printers. ExOne [online]. USA: [cit. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.exone.com/en-US/3D-printing-systems/sand-3d-printers>
- [5] Modelárna. ZPS-SLÉVÁRNA [online]. Zlín: [cit. 2023-12-12]. Dostupné z: <https://www.zps-slevarna.cz/modelarna>
- [6] WEBER additive. Hans WEBER [online]. Německo: [cit. 2024-01-01]. Dostupné z: <https://www.hansweber.de/en/products-services/additive/series/dx-series>
- [7] Doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D., Výroba modelových zařízení: Výukové podklady.
- [8] Uměle vyráběný keramický písek. Chci písek [online]. ČR: [cit. 2023-12-12]. Dostupné z: <https://www.chcipisek.cz/slevarenske-pisky/cerabeads/>
- [9] M. Manoj Prabhakar, A.K. Saravanan, A. Haiter Lenin, I. Jerin leno, K. Mayandi, P. Sethu Ramalingam, A shortreview on 3D printing methods, process parameters and materials, 2021, ISSN 2214-7853.
- [10] Dřevo - základní fyzikální vlastnosti dřeva. VŠB [online]. Ostrava [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: https://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zk
- [11] Vladimír Bernášek, Jan Horejš, TECHNOLOGIE SLÉVÁNÍ, Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2006.
- [12] eblock 1400. Ebalta [online]. Německo: [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.ebalta.com/downloads/en/datasheet/ebablock-1400.pdf>
- [13] EXONE SAND BINDER JET 3D PRINTING. ExOne [online]. USA: [cit. 2023-11-13]. Dostupné z: https://www.exone.com/Admin/getmedia/f02b9004-99ae-49d8-b56a-6d2670f5e3d3/2020_X1_Company-Presentation_EN_Sand-Only.pdf

[14] prof. Ing. Radek Čada, CSc, TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ - TEORETICKÝ ZÁKLAD. VŠB [online]. Ostrava [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/vy_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/10.%20V%C3%9DROBN%C3%8D%20DOKUMENTACE%20ODLITKU.pdf

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty smrštění, převzato z lit. [7]	12
Tabulka 2: Rozdělení dřeva dle tvrdosti, převzato z lit. [7]	16
Tabulka 3: Vlhkost řeziva, převzato z lit. [7].....	16
Tabulka 4: Náklady na výrobu nového modelu 2635, v plné velikosti v příloze 2	39
Tabulka 5: Náklady na výrobu problémového prvku 2635, v plné velikosti v příloze2.....	39

Seznam obrázků

Obrázek 1: Posuvné měřítko s upravenou stupnicí, převzato z lit. [2].....	13
Obrázek 2: Metoda vepsaných koulí, převzato z lit. [11]	13
Obrázek 3: Úkosy dle normy ČSN 04 2021, převzato z lit. [14]	14
Obrázek 4: Přídavky na obrábění u části modelového zařízení s označením 2229*.....	15
Obrázek 5: Dřevěné výřezky z částí kmene a jejich borcení, převzato z lit. [10]	17
Obrázek 6: H – hákové, R – přes roh, P – normální, O – do oblouku, převzato z lit. [10]	17
Obrázek 7: Polyuretanový blok s rozměry 1270x950x200 mm.....	18
Obrázek 8: 3D tiskárna od firmy Hans WEBER s maximálními rozměry výtisku 1600x1200x1300 mm, převzato z lit. [6].....	19
Obrázek 9: Prototyp modelového zařízení 2636 (2635) vyrobeného na 3D tiskárně WEBER .	20
Obrázek 10: Tiskárna ExOne S-Max Pro, převzato z lit. [4]	21
Obrázek 11: Proces výroby pískové formy pomocí 3D tisku, převzato z lit. [4]	21
Obrázek 12: Model a vtoková soustava před zasypáním	23
Obrázek 13: Pneumatická pěchovačka.....	24
Obrázek 14: Modelové zařízení 9487	26
Obrázek 15: Opatřované prvky modelu 9487	26
Obrázek 16: Model 9487 po výměně opotřebených dřevěných prvků za prvky z PLA.....	28
Obrázek 17: Detailní pohled na prvky modelového zařízení 9487 zhotovené na 3D tiskárně Prusa	28
Obrázek 18: Prvky modelového zařízení 9487, nahoře nově vytištěné, dole poškozené.....	29
Obrázek 19: Problémové prvky modelu 2635 vytisknuté na 3D tiskárně	30
Obrázek 20: Pohled na model 2635 s šedými problémovými prvky vyhotovenými na 3D tiskárně	30
Obrázek 21: Staré značení modelu a nové drážky pro vyměnitelné značení modelu	31
Obrázek 22: Proces obrábění bloku umělého dřeva, modelové zařízení 2635.....	32
Obrázek 23: Obrobená část modelu z umělého dřeva, modelové zařízení 2635	33
Obrázek 24: Mezery ve stěnách modelu 2636	34
Obrázek 25: Probořené stěny na modelu z 3D tiskárny, 2636	34
Obrázek 26: Deformace stěny a dna na modelu z 3D tiskárny, 2636	35
Obrázek 27: Otřep sektoru v 5E od frézy na modelu z 3D tiskárny, 2636.....	35
Obrázek 28: Model z 3D tiskárny po ručním kytování, 2636	36

Obrázek 29: Druhý výtisk modelového zařízení tiskárně WEBER po obrobení, 2636.....	37
Obrázek 30: Hotový model vyhotovený na 3D tiskárně, 2635.....	40
Obrázek 31: Hotový model vyhotovený na CNC z umělého dřeva, 2635	40

Přílohy

Příloha 1

Materiálový list bloku umělého dřeva dostupný na přiloženém CD, a převzatý z lit. [12].

Příloha 2

Tabulky nákladů na výrobu nového modelového zařízení 2636 a oprav jeho části. Porovnání ruční výroby s výrobou na CNC a 3D tiskem. Dostupné níže a na přiloženém CD.

Basis **ebablock® 1400**

Colour **blue**

Applications

- Foundry patterns
- Core boxes
- Pattern plates

Properties

- low coefficient of linear expansion
- high abrasion resistance
- fine structure
- easy to work

Processing data

Product	ebablock® 1400		
Colour	blue		
Density at 20°C	g / cm ³	1,38 ± 0,03	

Physical data

Properties	Inspect. requirem.	Unit	Value
Flexural strength	EN ISO 178	MPa	109 ± 5
Flexural elongation at break	EN ISO 178	%	3,8 ± 0,15
Flexural modulus	EN ISO 178	MPa	4175 ± 100
Tensile strength	EN ISO 527-1	MPa	-
Elongation	EN ISO 527-1	%	-
Impact resistance (Charpy)	EN ISO 179	kJ/m ²	19,5 ± 2
Compressive strength	EN ISO 604	MPa	102 ± 5
Shore hardness	DIN ISO 7619-1	Shore D	85 ± 3
Heat resistance (HDT)	DIN EN ISO 75 B	°C	87 ± 2
coefficient of linear expansion 20 - 50 °C	internatl test / Dilatometer	10 ⁻⁶ K ⁻¹	ca. 69
Wear jet test	internal tests	W(V/t) [mm ³ /min]	ca. 99
Abrasion Taber Abraser H 18 Application weight 500g / 500 Rotations	internal	mg	ca. 62

Sales units (packages)

ebablock® 1400

Block material, dimensions variable
board material, ebaboard 1400
1000 x 500 x 30 mm
1000 x 500 x 50 mm
1000 x 500 x 75 mm
1000 x 500 x 100 mm

tooling resins

blocks

auxillaries

silicones

as of: 27.05.2015

Revision: 2

Processing instructions

Advices for machining of block material

- Making even of milling support
- Roughing of geometry
- Removing of clamps, if possible over night
- Clamping
- Finishing

For bonding and repairing we recommend our adhesive blue as well as our repair putty blue.

The repair putty can also be used as fast adhesive and can be mixed individually with the adhesive following the indications of a mixing table in order to set up the pot-life.

The glued parts are easily fixed by clamps or by weight.

Milling parameter completed for download on our homepage.

In General

ebablock® material is available as rough boards and blocks:

Advantages:

- Dense structure
- Jointless
- Low-stress
- Close to contour and variable measurements

Please take dimensional allowances into consideration regarding sizes of rough blocks and boards. We recommend an addition of 10 mm per dimension.

Dimension tolerances of 3 mm in length and width and 0,5 mm in thickness are possible.

During casting of a block/blank voids or colour shades may occur. Therefore we can not give any guarantee, that the block/blank is completely free from bubbles. In case of a casting thickness over 250 mm or complex contours we reserve the right to cast in parts. Colour shades, bubbles and parting lines are not considered as inferior quality.

Safety measure

ebablock® material is a cured filled polyaddition product, no hazardous dusts when grinding.

According to regulations for hazardous products all **ebablock®** products are not to be marked for transport and storage. Please follow safety advices !

Waste Disposal

Small quantities can be disposed as domestic waste. For big quantities please contact your local authorities.

In case of further questions please do not hesitate to contact our department for product safety.

The Instructions and recommendations are given in good faith and are based on long experience and careful tests. Since the conditions of use are beyond our control, and due to versatility of applications and working methods, we can't give any guarantee. All information are non-binding and are no guarantee for special characteristics or properties of the product. Despite information given from **ebalta** the customer has to make his own tests regarding applications and processing. If any special warranty is requested, written agreement on this subject is essential.

tooling resins	.	blocks	.	auxiliaries	.	silicones
as of: 27.05.2015			Revision: 2			Page: 2

Výroba																			Dokončovací operace			Celkové náklady
Technolog	Velkoplošné desky		Řezivo		PET materiál	Umělé dřevo	3D tiskárna		CNC		Modelář/obsluha stroje		Vrutky, lepidla, ...	Hodinová sazba	Laky, tmely, kování	Modelář		Hodinová sazba				
	Doba práce	Cena za hodinu práce	m2	Cena za m2	m3	Cena za m3	Cena za celý model	Cena za celý model	Čas tisku	Cena za hodinu	Čas obrábění	Cena na hodinu	Čas výroby	Cena za hodinu práce	Cena	Cena	Doba práce	Cena za hodinu práce	Hodinová sazba			
Ruční výroba	60	300,00	5,76	400,00	0,20	15 000,00	-	-	-	-	-	1 200,00	280,00	220,00	1 500,00	600,00	3 300,00	40,00	220,00	200,00	99 304,00	
CNC	60	300,00	1,92	400,00	-	15 000,00	-	58 000,00	-	-	76,00	1 200,00	47,00	220,00	500,00	400,00	3 000,00	10,00	220,00	200,00	185 608,00	
3D tisk	60	300,00	1,92	400,00	-	15 000,00	39 494,00	-	16,00	1 791,00	43,50	1 200,00	1,00	220,00	500,00	300,00	3 150,00	3,00	220,00	200,00	145 148,00	

Oprava – výroba 4 sloupků										Dokončování		Celková cena [Kč]	Celková doba [h]
	Řezivo		PLA		CNC		3D tiskárna		Broušení, kytování, lakování	Doba [h]			
	dm3	Cena za 1 kg	Kg	Cena za kg	Čas obrábění	Cena za hodinu	Čas tisku	Cena za hodinu					
CNC	1,50	200,00	-	560,00	1,00	1 200,00	-	-	2,00	1 500,00	3,00		
3D tisk	-	200,00	0,72	560,00	-	1 200,00	3,00	100,00	0,08	704,32	3,08		