



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH 3D MODELU UCHA KUCHYŇSKÉHO HRNCE A JEHO MOŽNÁ REALIZACE VÝROBY

THE DESIGN AND POSSIBLE PRACTICAL APPLICATION OF A COOKING  
POT HANDLE 3D MODEL

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ADAM BEZDĚK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.**

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Adam Bezděk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Návrh 3D modelu ucha kuchyňského hrnce a jeho možná realizace výroby**

v anglickém jazyce:

#### **The Design and the Possible Practical Application of a Cooking Pot Handle 3D Model**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Charakteristika a rozbor použitého materiálu
3. Návrh konstrukce modelu ucha kuchyňského hrnce pomocí programu Autodesk Inventor
4. Výroba ucha kuchyňského hrnce s využitím 3D tiskárny uPrint
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce bude návrh výroby náhradního dílu ucha na kuchyňský hrnec, jehož originál byl v minulosti po pádu na zem trvale poškozen. Součástí práce bude charakteristika použitých materiálů včetně jejich vhodnosti pro použití v gastronomickém průmyslu. Pro tvorbu modelu ucha kuchyňského hrnce bude použit parametrický program Autodesk Inventor. Požadovanou výstupní fází práce bude výroba 3D modelu ucha kuchyňského hrnce pomocí aditivní technologie Rapid Prototyping s využitím metody Fused Deposition Modeling. Práce bude ukončena ekonomickým porovnáním a celkovým zhodnocením včetně adekvátnosti použitých metod.



Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004, pp. 112. ISBN 1860584659.
3. PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004. Bratislava: STU, 2004. s. 160. ISBN 80-227-2121-2.
4. SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.
5. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society): Rapid Prototyping of Materials. The Minerals, Metals & Materials Society. 2002, pp. 615. ISBN 0873395301.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh a výroba 3D modelu ucha kuchynského hrnca s využitím moderných technológií 3D tlače. Virtuálny model ucha kuchynského hrnca bol vytvorený v parametrickom programe Autodesk Inventor a následne vytlačený na 3D tlačiarňi Dimension uPrint, ktorá používa aditívnu technológiu Fused Deposition Modeling. Pomocou vytlačeného master modelu bola vyrobená silikónová forma, do ktorej bol odliaty model z dvojzložkového plastu. Záver práce tvorí technicko-ekonomické zhodnotenie v ktorom sú porovnané obidve metódy výroby modelu.

### Kľúčové slová

Ucho kuchynského hrnca, Fused Deposition Modeling, 3D tlač, Autodesk Inventor, Dimension uPrint, silikónová forma

## ABSTRACT

The target of this bachelor thesis is designing and producing of a 3D model cooking pot handle with use of the modern 3D printing technologies. The virtual model of the cooking pot handle was produced with parametric program Autodesk Inventor and then printed by the Dimension uPrint 3D printer, which uses the Fused Deposition Modeling additive technology. The silicone mold was produced by using the printed master model. Then the model was molded from the two component plastic material into the silicone mold. Conclusion of this work contains technical-economic evaluation, where are both methods of producing the model compared.

### Key words

Cooking Pot Handle, Fused Deposition Modeling, 3D Printing, Autodesk Inventor, Dimension uPrint, Silicon Mold

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BEZDĚK, Adam. *Návrh 3D modelu ucha kuchyňského hrnce a jeho možná realizace výroby*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 42 s. 3 přílohy. Vedoucí práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

### **PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Návrh 3D modelu ucha kuchyňského hrnce a jeho možná realizace výroby** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

---

Dátum

---

Adam Bezděk

## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem Ing. Josefovi Sedlákovi, Ph.D. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní bakalárskej práce. Ďalej chcem poďakovať svojim rodičom a blízkym za to, že mi umožnili štúdium, vždy ma v ňom podporovali a za každých okolností pri mne stáli.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PREHLÁSENIE.....	5
POĎAKOVANIE .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 CHARAKTERISTIKA A ROZBOR POUŽITÉHO MATERIÁLU.....	10
1.1 Miesto v ktorom bude materiál použitý .....	10
1.2 Materiály ktoré používa FDM .....	11
1.2.1 ABS.....	11
1.2.2 ABS <i>plus</i> .....	11
1.2.3 ABSi.....	11
1.2.4 ABS – M30 .....	11
1.2.5 ABS – M30i .....	11
1.2.6 ABS – ESD7 .....	11
1.2.7 PC.....	11
1.2.8 PC – ABS.....	11
1.2.9 PC – ISO .....	11
1.2.10 ULTEM 9085.....	12
1.2.11 PPSF/PPSU .....	12
1.2.12 Nylon 12 .....	12
1.3 Predbežný test plastu .....	12
1.4 Zhrnutie vlastností ABS <i>plus</i> plastu .....	12
1.5 Plasty používané pri odlievaní silikónovej formy .....	13
1.5.1 AXSON F18 .....	13
1.5.2 EBALTA SG2000.....	13
2 NÁVRH KONŠTRUKCIE MODELU UCHA KUCHYNSKÉHO HRNCA POMOCOU PROGRAMU AUTODESK INVENTOR.....	14
2.1 O programe Autodesk Inventor .....	14
2.2 Tvorba modelu.....	14
3 VÝROBA UCHA KUCHYNSKÉHO HRNCA S POUŽITÍM 3D TLAČIARNE UPRINT .....	18
3.1 Popis metódy FDM.....	18
3.2 Preprocessing .....	18
3.2.1 CatalystEX .....	18
3.2.2 Použitie softvéru CatalystEX.....	18

3.3 Processing .....	22
3.3.1 Tlačiareň Dimension uPrint .....	22
3.4. Postprocessing .....	23
3.5 Test vytlačeného modelu .....	24
4 VÝROBA MODELU POMOCOU ODLIEVANIA DO SILIKÓNOVEJ FORMY ...	26
4.1 Úprava master modelu .....	26
4.2 Výroba silikónovej formy .....	26
4.3 Voskový model .....	29
4.4 Prvé odlievanie plastu .....	29
4.4.1 Test na iných modeloch .....	30
4.4.2 Odlievanie modelu z plastu <i>AXSON F18</i> .....	30
4.4.3 Test modelu z plastu <i>AXSON F18</i> .....	30
4.5 Druhé odlievanie plastu .....	31
4.5.1 Odlievanie modelu z plastu <i>EBALTA SG2000</i> .....	31
4.5.2 Test modelu z plastu <i>EBALTA SG2000</i> .....	31
4.6 Tretie odlievanie plastu.....	32
4.6.1 Odlievanie modelu z plastu <i>EBALTA SG2000</i> s použitím plniva <i>F - Alu</i> .....	32
4.6.2 Test modelu z plastu <i>EBALTA SG2000</i> s použitím plniva <i>F - Alu</i> .....	32
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE.....	34
5.1 Náklady na výrobu modelu pomocou technológie Fused Deposition Modeling.....	34
5.1.1 Výpočet nákladov na výrobu modelu pomocou technológie FDM.....	34
5.2 Náklady na výrobu modelu pomocou technológie odlievania do silikónovej formy	34
5.2.1 Náklady na úpravu povrchu master modelu .....	35
5.2.2 Náklady na výrobu silikónovej formy .....	35
5.2.3 Náklady na materiál odliatku .....	36
5.2.4 Výpočet nákladov na výrobu prvého modelu pomocou technológie odlievania do silikónovej formy .....	36
5.2.5 Náklady na výrobu ďalších modelov pomocou technológie odlievania do silikónovej formy .....	36
5.3 Porovnanie nákladov na výrobu pri použití technológie FDM a technológie odlievania do silikónovej formy .....	36
ZÁVER .....	39
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV .....	40
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	41
ZOZNAM PRÍLOH.....	42

## ÚVOD

Súčasná doba sa vyznačuje rozvojom moderných technológií, ktoré už nezostávajú len v priemyselných odvetviach, ale postupne si našli cestu aj do bežných domácností. Jednou z týchto technológií je aj aditívna technológia Rapid Prototyping pomocou ktorej môžu byť navrhované a vytvárané fyzické 3D modely súčastí rýchlejšie než je možné bežnými technológiami.

Jednou z metód Rapid Prototyping je aj metóda Fused Deposition Modeling (FDM), ktorá je v súčasnosti najširšie používanou. Pri 3D tlači pomocou tejto metódy sa používa termoplastický materiál ako napríklad *ABSplus* plast (Acrylonitril Butadién Styren). Ten sa ohrieva na teplotu topenia a následne vytlačá tryskou na podložku vrstvu po vrstve a tak vytvára 3D objekt [1].

Autor tejto bakalárskej práce poukazuje na možnosť využitia 3D tlače pre potreby bežnej domácnosti a to na príklade modelu ucha kuchynského hrnca, ktorý je vytvorený ako náhrada originálu, ktorý bol po páde na zem trvalo poškodený. Zaoberá sa otázkou, či je možné použiť model vytlačený na 3D tlačiarni v bežnej praxi pri príprave jedál a či materiál ako *ABSplus* plast môže znášať podmienky, ktorým je ucho na hrniec vystavované, ako je napríklad zvýšená teplota hrnca pri varení.

Do náplne práce patrí aj popis tvorby tohto 3D modelu ucha hrnca v parametrickom programe Autodesk Inventor 2012, ktorý umožňuje vytvorenie objemového telesa a taktiež nastavenie pre export modelu do formátu .stl, ktorý podporuje 3D tlačiareň uPrint. Práca taktiež obsahuje popis metódy FDM a 3D tlačiarene Dimension uPrint.

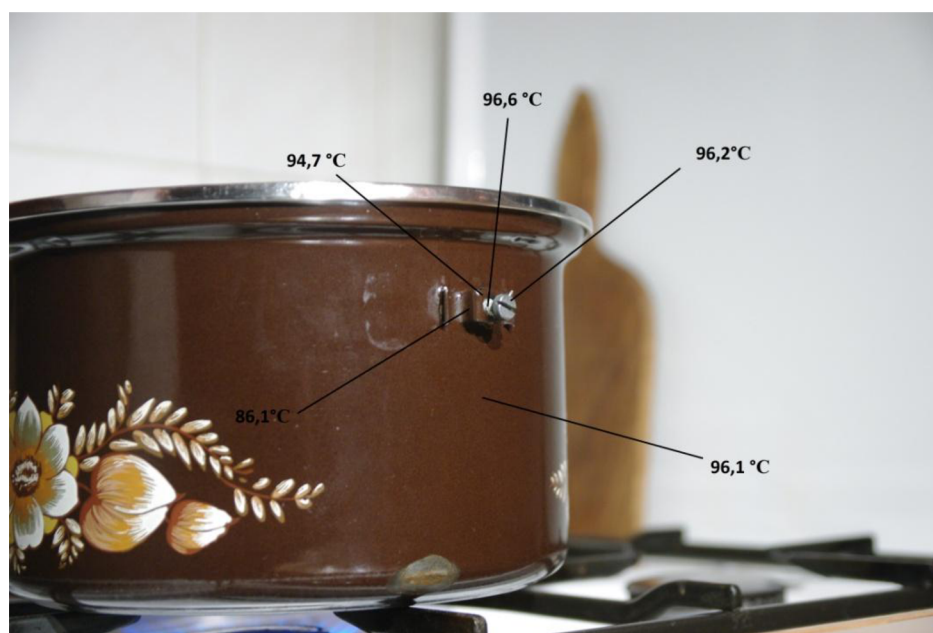
Práca bola rozšírená o tvorbu silikónovej formy pomocou master modelu vytlačeného na 3D tlačiarni a následnú výrobu plastových odliatkov. Záverečným bodom práce bude technicko-ekonomické zhodnotenie v ktorom budú spočítané a porovnané náklady na výrobu modelu na 3D tlačiarni a odlievaním do silikónovej formy.

## 1 CHARAKTERISTIKA A ROZBOR POUŽITÉHO MATERIÁLU

Pri výbere vhodného materiálu zohráva dôležitú úlohu miesto v ktorom bude materiál použitý. V prípade tejto práce bude vytvorený model použitý ako súčasť kuchynského hrnca používaného v bežnej domácnosti.

### 1.1 Miesto v ktorom bude materiál použitý

Na obrázku 1.1 je možné vidieť, že ucho je na hrniec pripevnené pomocou konzoly so šraubom a štvorcovej matice, takže model musí byť zhotovený tak, aby presne doliehal na túto konzolu. Keďže hrniec sa pri varení zahrieva, model ucha bude zaťažovaný hlavne teplotne a pre vhodný výber materiálu je dôležité namerať maximálne teploty v rôznych bodoch styku. Hrnec bol naplnený vodou a následne ohriaty na teplotu varu vody. Meranie teplôt bolo uskutočnené pomocou bezkontaktného infračerveného teplomera *KIRAY 200* od spoločnosti KIMO, ktorého parametre sú uvedené v tabuľke 1.1. Pomocou tohto teplomera boli určené maximálne teploty v bodoch styku ucha s hrncom v rozmedzí približne 86 až 97°C (viď obr. 1.1).



Obr. 1.1 Miesto použitia materiálu a teploty v bodoch styku.

Tab. 1.1 Parametre infračerveného teplomera *KIRAY 200* [2].

Spektrálna odozva	8 – 14 $\mu\text{m}$
Optika	30 : 1
Laserové zameriavanie	Vlnová dĺžka 630 – 670 nm
Emisivita	Nastaviteľná 0,10 – 1,00



## **1.2 Materiály ktoré používa FDM**

Metóda FDM používa termoplastické materiály a to hlavne materiály na báze ABS (Acrylonitril Butadién Styrénu) a PC (Polykarbonátu), nylónu, ale výskum prebieha už aj v oblastiach kovových, keramických a kompozitných materiálov [3, 4, 5].

### **1.2.1 ABS**

Prototyp, ktorý dosahuje až 80% pevnosti vstrekovaného ABS plastu. Je veľmi vhodný pre funkčné aplikácie [4].

### **1.2.2 ABS*plus***

Materiál odolný voči prostrediu, deformáciám, sťahovaniu pri tuhnutí a pohlcovaniu vlhkosti. Taktiež je na trhu dostupný v najširšej palete farieb. Je o 40% pevnejší ako štandardný ABS plast [3, 5].

### **1.2.3 ABSi**

Priesvitný materiál so zvýšenou rázovou húževnatosťou, vhodný napríklad pre šošovky [3, 4, 5].

### **1.2.4 ABS – M30**

Materiál o 25 až 75% pevnejší než štandardný ABS plast so zvýšenou odolnosťou voči rázom, ťahu a ohybu. Je vhodný na univerzálne použitie pre funkčné modely a prototypy [3, 4, 5].

### **1.2.5 ABS – M30i**

Biokompatibilný materiál podľa ISO 10993, ideálny pre použitie v medicínskom, farmaceutickom a obalovom priemysle [3, 5].

### **1.2.6 ABS – ESD7**

Odolný elektrostaticky disipatívny materiál vhodný pre koncové využitie na výrobu elektronických komponentov [4, 5].

### **1.2.7 PC**

Polykarbonát, je to najširšie používaný priemyselný termoplast. Je presný, odolný a stabilný pre pevné súčasti so zvýšenými mechanickými vlastnosťami a odolnosťou voči teplote. Má vysokú pevnosť v ťahu a znáša zvýšené teploty [3, 5].

### **1.2.8 PC – ABS**

Materiál, ktorý kombinuje najžiadanejšie vlastnosti ABS a PC. Má lepšie mechanické vlastnosti a odolnosť voči teplu ako PC, pričom si zachováva dobré povrchové vlastnosti ABS. Má najväčšiu rázovú húževnatosť [3, 4, 5].

### **1.2.9 PC – ISO**

Spomedzi biokompatibilných materiálov (ISO 10993) je najpevnejší a má najväčšiu odolnosť voči teplu. Je sterilizovateľný pomocou gama žiarenia a etylén oxidu (EtO) [3, 4, 5].

### 1.2.10 ULTEM 9085

Termoplastický materiál vyvinutý primárne pre letecký priemysel, ale taktiež nachádza využitie v námornom a iných odvetviach priemyslu. Je pevný, so zníženou hmotnosťou a horľavosťou. Využíva sa hlavne v interiéroch lietadiel [3, 4, 5].

### 1.2.11 PPSF/PPSU

Materiál ktorý ma spomedzi FDM termoplastov najväčšiu odolnosť voči teplu a chemikáliám, pričom si zachováva dobrú mechanickú pevnosť. Je sterilizovateľný pomocou autoklávej pary, EtO, plazmy, chemikálií a radiácie. Je ideálny pre použitie v žieravých a vysokoteplotných prostrediach [3, 5].

### 1.2.12 Nylon 12

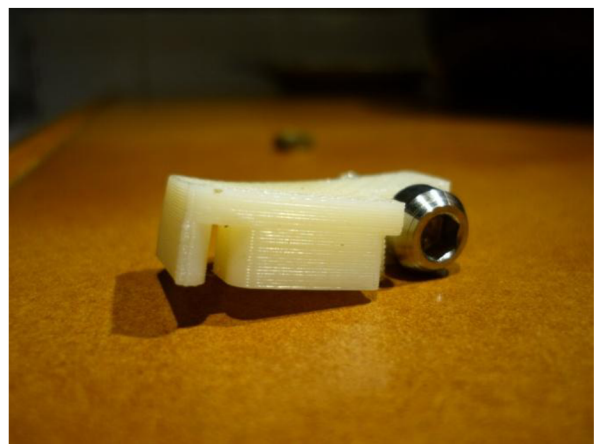
Materiál pre výrobu dielov s vynikajúcou pevnosťou v ťahu a odolnosťou voči únave. Ponúka najlepšiu lamináciu v ose Z a najvyššiu húževnatosť spomedzi FDM termoplastov [5].

## 1.3 Predbežný test plastu

V tejto práci bola použitá 3D tlačiareň Dimension uPrint, ktorá umožňuje prácu len s ABS plastom a *ABSplus* plastom. S prihliadnutím na dostupnosť bol pre výrobu ucha na hrniec zvolený *ABSplus* plast. Pred samotnou 3D tlačou bol materiál vyskúšaný na kúsku plastu, ktorý bol k dispozícii. Tento kúsok bol prispôbený pre upevnenie na hrnci tak, že do neho bola navŕtaná diera. Následne bol upevnený na hrniec a tak ako pri meraní teploty bola v hrnci zahriata voda na teplotu varu (viď obr. 1.2). Pri tomto teste boli pozorované malé zmeny tvaru skúšaného plastu, čo bolo spôsobené jeho malou hrúbkou steny a podlhovastým tvarom (viď obr. 1.3). Napriek tomu bol pre zhotovenie modelu ucha použitý *ABSplus* plast, pretože sa predpokladalo, že model s väčšou hrúbkou steny nebude podliehať deformácii vo väčšom rozsahu.



Obr. 1.2. Upevnenie testovacieho plastu.



Obr. 1.3 Deformácia testovacieho plastu.

## 1.4 Zhrnutie vlastností *ABSplus* plastu

Dôležité vlastnosti *ABSplus* plastu sú prehľadne zhrnuté v tabuľke 1.2.

Tab. 1.2 Vlastnosti ABS*plus* plastu [5].

Pevnosť v ťahu	37 MPa
Pomerné predĺženie	3,0 %
Pevnosť v ohybe	53 MPa
Odolnosť voči teplote	do 96°C

## 1.5 Plasty používané pri odlievaní silikónovej formy

### 1.5.1 AXSON F18

Je to neplnená dvojzložková rýchlo tuhnúca odlievacia polyuretánová živica. Vyznačuje sa vynikajúcou tekutosťou, jednoduchým miešacím pomerom a krátkou dobou odformovania. Je možné do nej pridávať rôzne plnivá a je vhodná pre univerzálne použitie [6].

### 1.5.2 EBALTA SG2000

Ebalta SG 2000 je akostná, takmer nepáchnuca polyuretánová živica bez plniva, ktoré je však možné pri miešaní oboch zložiek pridať. Taktiež sa vyznačuje veľkou tekutosťou, tepelnou odolnosťou a stálosťou. Druh použitého plniva ovplyvňuje pevnosť a vlastnosti tejto živice. Hliníkové plnivo *F – Alu* pozitívne ovplyvňuje tepelnú vodivosť a odolnosť. Je vhodné pre prototypy kde je nutné počítať so zmenami, pretože má výbornú obrobiteľnosť, brúsiteľnosť a lešiteľnosť a ľahko sa mieša so základnými zložkami živice [7].

## 2 NÁVRH KONŠTRUKCIE MODELU UCHA KUCHYNSKÉHO HRNCA POMOCOU PROGRAMU AUTODESK INVENTOR

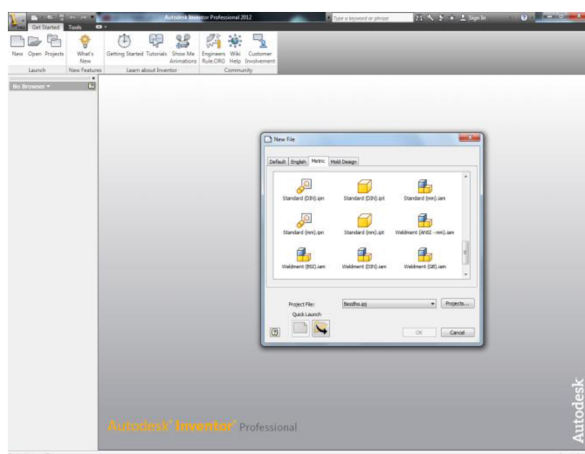
### 2.1 O programe Autodesk Inventor

Autodesk Inventor je parametrická, adaptívna CAD aplikácia od firmy Autodesk. Služi na tvorbu modelov v 3D prostredí a už viac ako 10 rokov je svetovo najpredávanejšou strojárenskou 3D CAD aplikáciou. Konkurenčnými aplikáciami sú napríklad SolidWorks, Pro/ENGINEER, Catia alebo Solid Edge. V súčasnosti je aktuálnou verziou programu Inventor 2015 pre operačný systém Windows 7, 8 a 8.1. Pre potreby tejto práce bola použitá 64 bitová verzia Autodesk Inventor Professional 2012. Inventor obsahuje funkcie pre adaptívne a parametrické 3D navrhovanie, tvorbu 2D výkresovej dokumentácie, prezentácie, fotorealistickej vizualizácie a animácie, ale aj správu dokumentov a konštrukčných dát. Základ konštruovania v Inventore tvoria *súčasti* (parts, IPT), ktorých geometria môže byť odvodená od parametrických 2D *náčrtov* (sketch). Tieto súčasti následne môžu byť kombinované a viazané rôznymi typmi väzieb do *zostáv* (assembly, IAM). Pri zmene kóty, parametru alebo geometrie je automaticky pregenerovaná a aktualizovaná celá 3D zostava, vrátane jej výkresovej dokumentácie (pohľady, rezy, detaily, kusovníky). Okrem štandardných nástrojov pre tvorbu objemových a povrchových 3D modelov obsahuje Inventor taktiež funkcie pre modelovanie plechových súčastí, zvarencov a oceľových konštrukcií. Pre tvorbu výkresovej dokumentácie ponúka Inventor 2D funkcie podobné programu AutoCAD a výkresy spracováva vo formáte .dwg (alebo .idw). Pracuje aj s dátovými CAD formátmi ďalších 3D aplikácií. Taktiež je z neho možné exportovať formáty ako .stp a .stl používané 3D tlačiarňami [8].

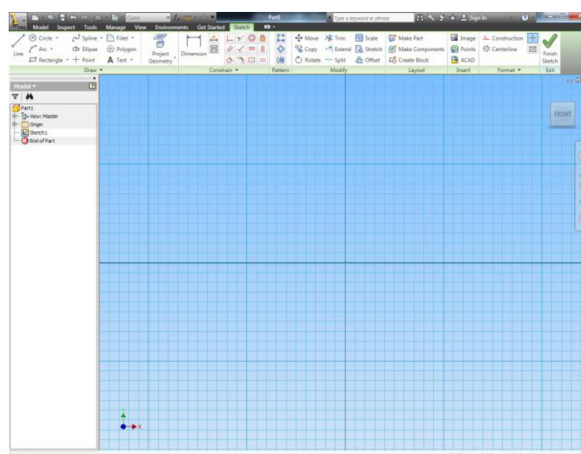
### 2.2 Tvorba modelu

Po spustení programu bola v ľavom hornom rohu obrazovky zvolená záložka *New* (Nový). Zobrazilo sa menu (viď obr. 2.1) v ktorom bola zvolená záložka *Metric* a v nej položka *Standard (mm) .ipt*. V tomto menu mohol byť zvolený okrem typu súčiastky, ktorá bola vytvorená, taktiež projekt do ktorého bola súčiastka uložená.

Po zvolení položky *Standard (mm) .ipt* bola zobrazená základná rovina v ktorej sa vytvára prvotný náčrt (viď obr. 2.2). Tvorba prvotného náčrtu sa zakončuje pomocou nástroja *Finish Sketch* (Dokončenie náčrtu) v pravom hornom rohu obrazovky.



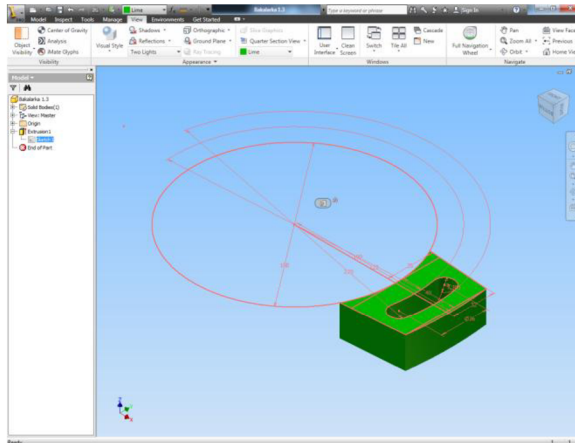
Obr. 2.1 Menu.



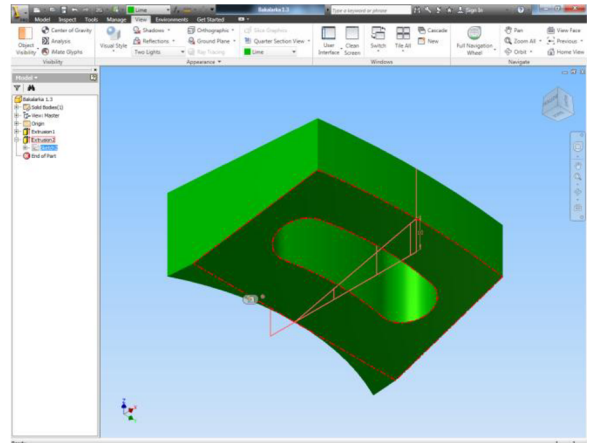
Obr. 2.2 Prvotný náčrt.

V základnej rovine XY bol vytvorený 2D náčrt tvaru ucha pri pohľade zhora na hrniec. Do neho boli zakótované všetky potrebné rozmery a následne bol pomocou nástroja *Finish Sketch* uložený. Z tohto náčrtu bol pomocou nástroja *Extrude* (Vysunutie) vytvorený základný 3D model (viď obr. 2.3).

Následne bol v rovine XZ vytvorený ďalší náčrt z ktorého bolo opäť pomocou nástroja *Extrude*, ktorý funguje aj na odoberanie materiálu (vysunutie v opačnom smere), vytvorené zúženie tvaru ucha smerom k jeho koncu (viď obr. 2.4).



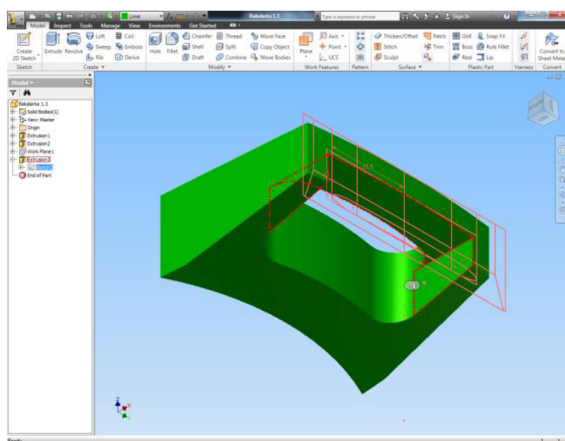
Obr. 2.3 Základný 3D model.



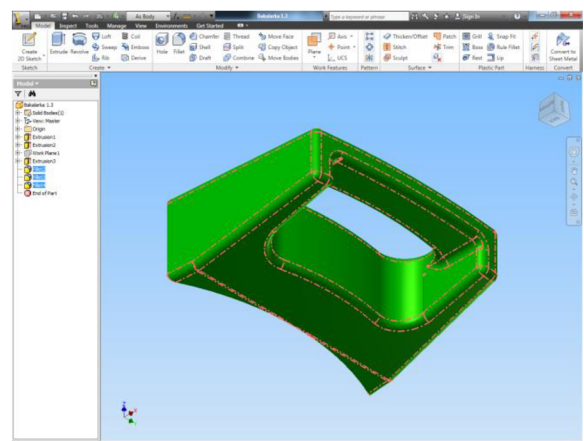
Obr. 2.4 Odoberanie materiálu.

Ďalej bola vytvorená pomocou nástroja *Offset from Plane* pracovná rovina rovnobežná so základnou rovinou YZ, avšak vzdialená od nej až po koniec ucha. V tejto rovine bol vytvorený náčrt z ktorého bol pomocou príkazu *Extrude* odobraný materiál tak, že bolo vytvorené miesto na uchopenie ucha (viď obr. 2.5).

Po týchto úpravách základného tvaru boli vytvorené prvé zaoblenia pomocou príkazu *Fillet* (Zaoblenie) (viď obr.2.6), po ktorých model začal nadobúdať konečnú podobu.



Obr. 2.5 Vytvorenie miesta uchopenia.

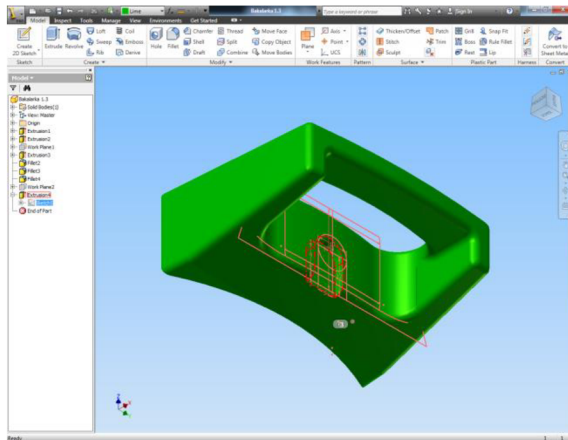


Obr. 2.6 Zaoblenie tvaru.

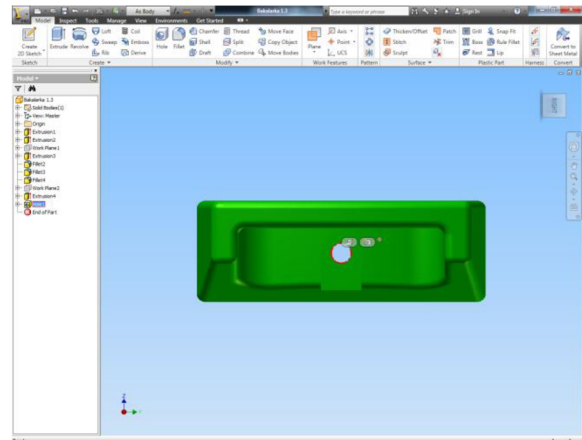
V nasledujúcom kroku bola vytvorená pomocou nástroja *Offset from Plane* ďalšia pracovná rovina na povrchu vnútornej strany držadla ucha. V tejto rovine bol vytvorený náčrt z ktorého bol pomocou príkazu *Extrude* odobraný materiál (viď obr. 2.7) tak, že bolo vytvorené miesto pre umiestnenie diery, ktorou prechádza šraub.



Diera bola následne vytvorená pomocou nástroja *Hole* (Diera), tak aby prechádzala cez celý model (viď obr. 2.8).



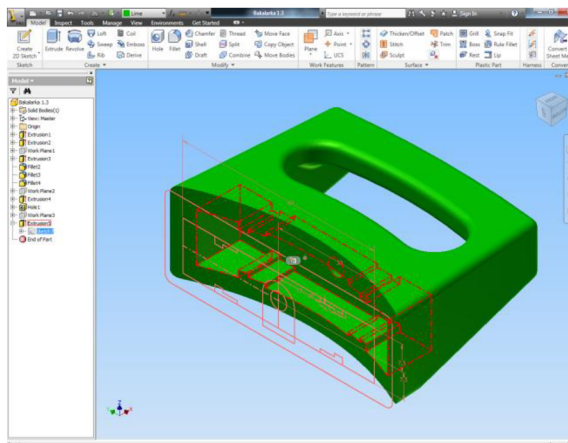
Obr. 2.7 Príprava miesta diery.



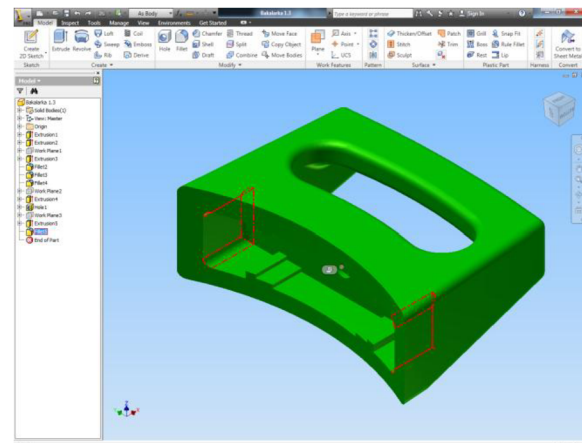
Obr. 2.8 Diera pre šraub.

Na strane ktorou sa ucho upevňuje na hrniec bola vytvorená pomocou nástroja *Offset from Plane* pracovná rovina v ktorej bol vytvorený náčrt. Tento náčrt bol priemetom výstupkov z hrnca, ktoré slúžia na upevnenie ucha, do roviny na povrchu hrnca. Z náčrtu bol pomocou príkazu *Extrude* odobraný materiál (viď obr. 2.9), tak aby bolo zaistené upevnenie hrnca a zároveň znížená spotreba materiálu.

V záverečnom kroku bolo pomocou príkazu *Fillet* vytvorené zaoblenie na vnútornej strane posledného odoberania materiálu (viď obr. 2.10) a tým bola zakončená tvorba prvotného modelu.

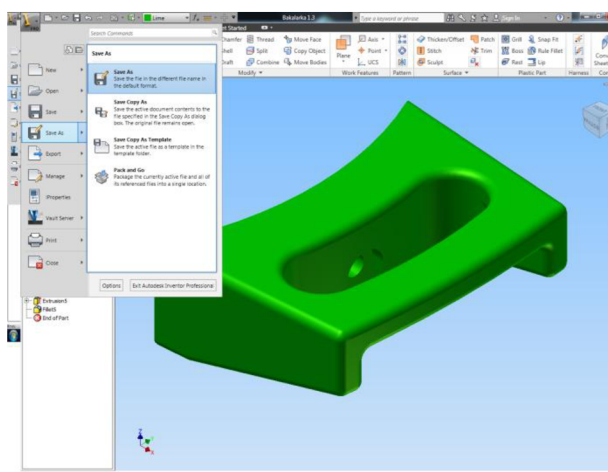


Obr. 2.9 Tvorba upevnenia hrnca.



Obr. 2.10 Zaoblenie v upevnení hrnca.

Model bol následne uložený pomocou príkazu *Save* (uložiť) a pomocou príkazu *Save As* (Uložiť ako) uložený aj vo formáte *.stl* s ktorým pracujú 3D tlačiarne (viď obr. 2.11).



Obr. 2.11 Ukladanie modelu.

Po teste prvotného modelu, ktorý je opísaný v kapitole 3.5, v ktorom model zlyhal, bolo nutné upraviť vzdialenosť do ktorej bol odoberaný materiál v poslednom odoberaní pomocou príkazu *Extrude*. Keďže na ľavej strane obrazovky je zobrazený celý postup práce v jednotlivých bodoch stačilo otvoriť položku *Extrusion5* a zmeniť v nej daný parameter. Program automaticky aktualizoval a pregeneroval celý model, ktorý bol následne opäť uložený.

### **3 VÝROBA UCHA KUCHYNSKÉHO HRNCA S POUŽITÍM 3D TLAČIARNE UPRINT**

#### **3.1 Popis metódy FDM**

FDM je technológiou aditívnej výroby, ktorú na konci osemdesiatych rokov dvadsiateho storočia vyvinul a v roku 1989 patentoval S. Scott Crump. Ten neskôr založil spoločnosť *Stratasys*, ktorá má tento pojem zaistený ochrannou známkou [9].

Proces výroby je riadený počítačom a slúži na výrobu 3D dielov. Počítačový model je pomocou softvéru rozdelený na veľmi malé vrstvy a súbor je následne zaslaný do zariadenia ako je 3D tlačiareň, ktorého softvér riadi tryskovú hlavu. Zariadenie vytvára diely detailným vrstvením tavitelného termoplastického materiálu k vytvoreniu požadovaného tvaru. Tavitelný plast je kontinuálne privádzaný do trysky najčastejšie vo forme vlákna. Tu je ohrievaný len tesne na jeho bod topenia a následne vytlačovaný na podložku ako rad veľmi malých bodiek, ktoré rýchlo tuhnú. Do tryskovej hlavy je taktiež privádzaný materiál na tvorbu podpôr. Pohyb trysky sa uskutočňuje v 2 osách a to X a Y v horizontálnej rovine. Po nanosení celej vrstvy je pomocou podložky zaistený pohyb vo vertikálnej ose Z, pričom sa podložka mierne zníži a začne sa nanášať nová vrstva. Tento proces sa opakuje až vytvorenia kompletného modelu [9, 10].

Materiály najčastejšie používané metódou FDM boli popísané v kapitole 1.2 tejto práce.

#### **3.2 Preprocessing**

Prvým štádiom samotnej tlače je Preprocessing – príprava tlače. Do tohto štádia vstupuje model uložený vo formáte .stl. Dáta môžu byť dodané buď v binárnom formáte alebo vo formáte ASCII. V tejto práci bol vybraný ako vhodnejší binárny formát, pri ktorom je veľkosť súboru značne menšia oproti formátu ASCII. Dáta sú následne spracované obslužným softvérom dodávaným ku 3D tlačiarňam. V prípade tejto práce, v ktorej bola využitá tlačiareň Dimension uPrint, bol použitý softvér CatalystEX.

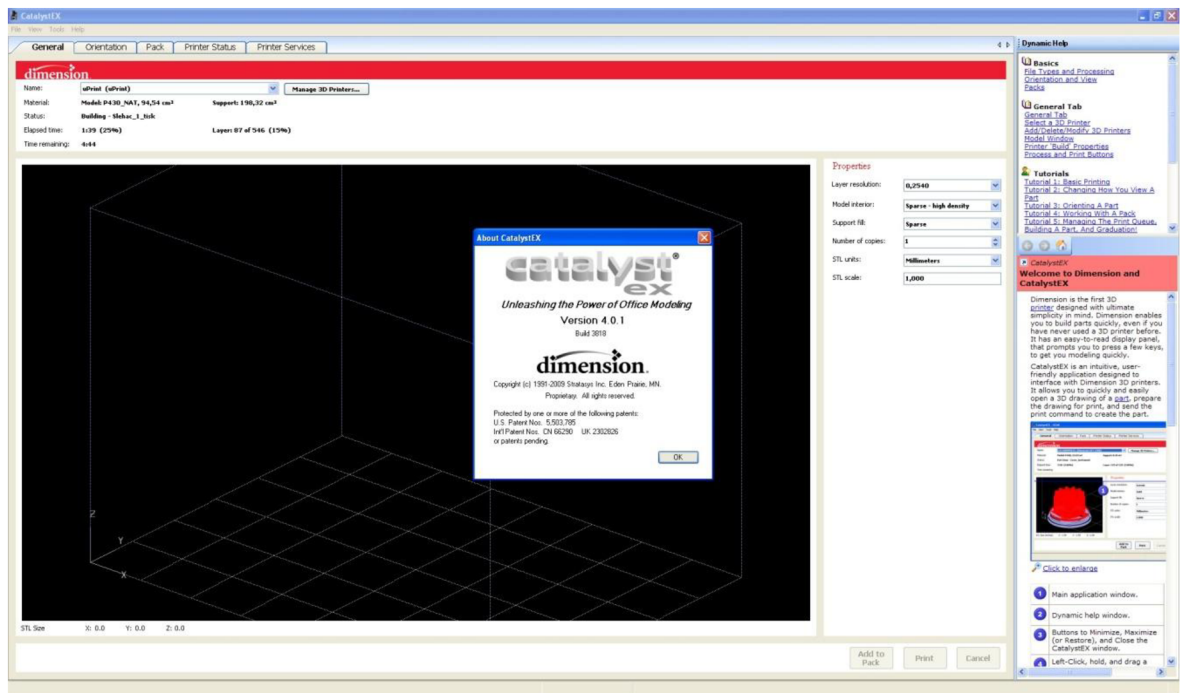
##### **3.2.1 CatalystEX**

CatalystEX je šikovný a mocný nástroj, ktorý slúži na komunikáciu s 3D tlačiarňami Dimension. Umožňuje rýchlo a ľahko otvárať 3D výkresy súčastí, pripravovať tieto výkresy pre tlač a následne odoslať príkaz pre tlač na vytvorenie modelu [11].

##### **3.2.2 Použitie softvéru CatalystEX**

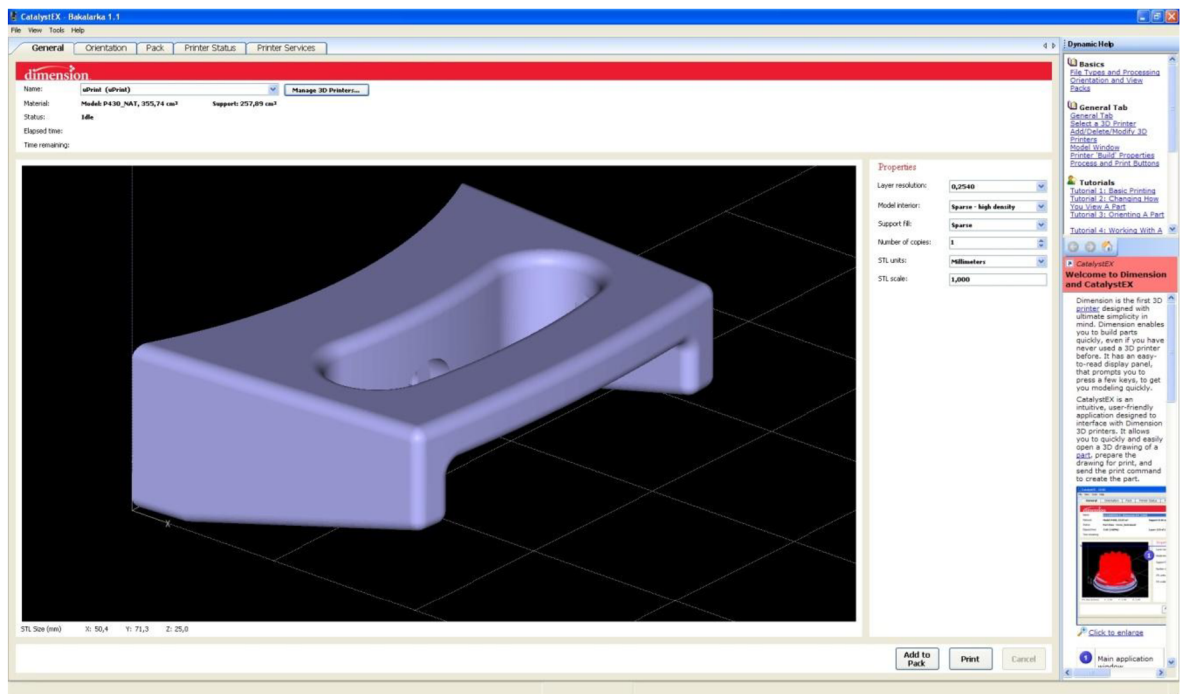
Po otvorení programu sa zobrazil pracovný priestor tlačiarne. Do tohto priestoru bol následne importovaný model. (viď obr. 3.1).





Obr. 3.1 Úvodná obrazovka programu CatalystEX.

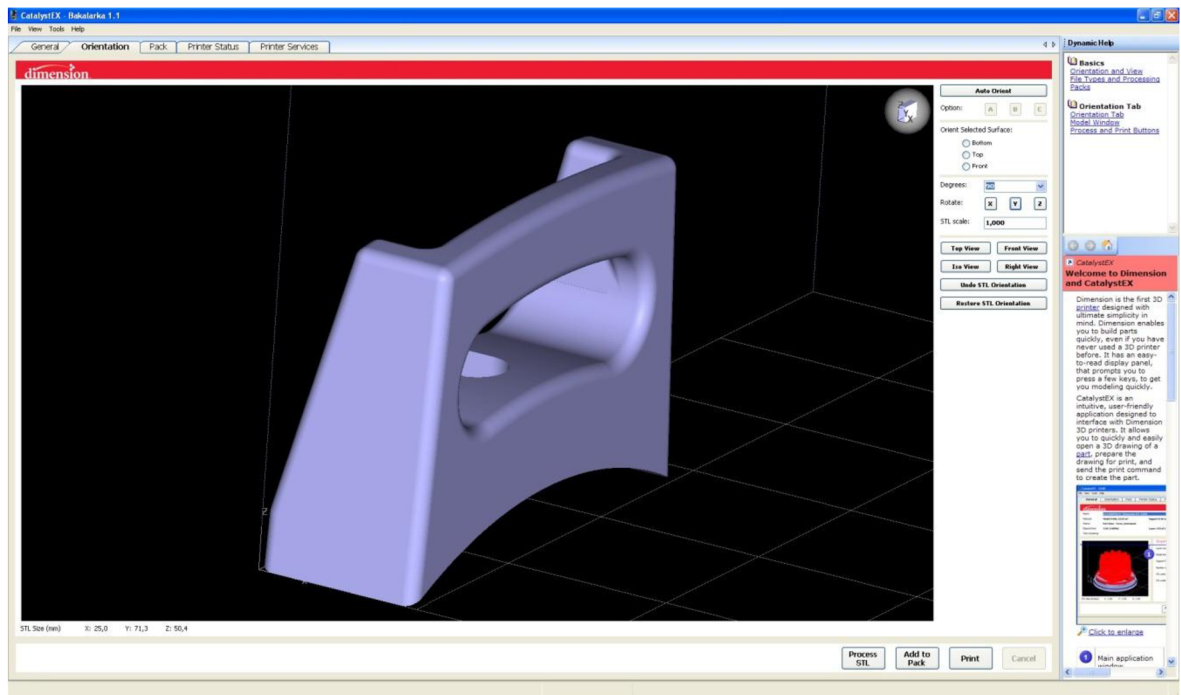
Následne boli nastavené základne parametre ako je hrúbka vrstvy, výplň, počet kópií, jednotky a mierka (viď obr. 3.2).



Obr. 3.2 Základné parametre modelu.

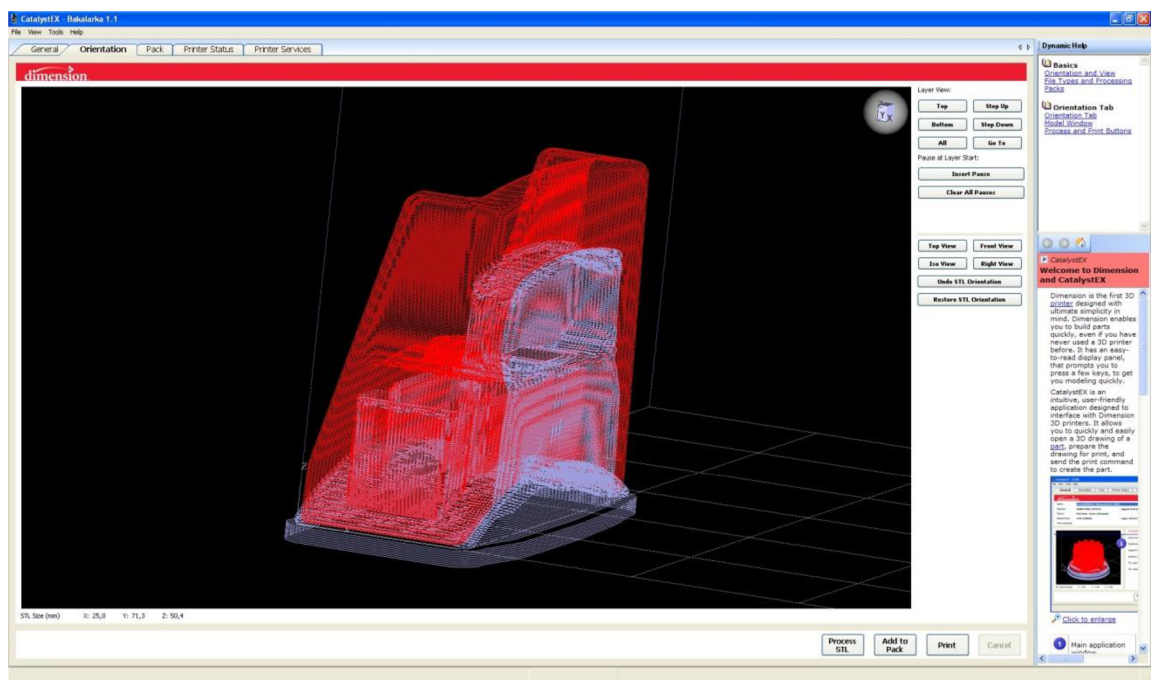
Po tomto kroku bolo nutné model vnútri tlačovej komory zorientovať tak, aby zaujímal čo najvhodnejšiu polohu pri tlači a aby sa zbytočne neplytvalo materiálom na podpory

(viď obr. 3.3). Toto nastavenie prebehlo v záložke *Orientation* (Orientácia), ktorá sa nachádza v ľavom hornom rohu obrazovky.



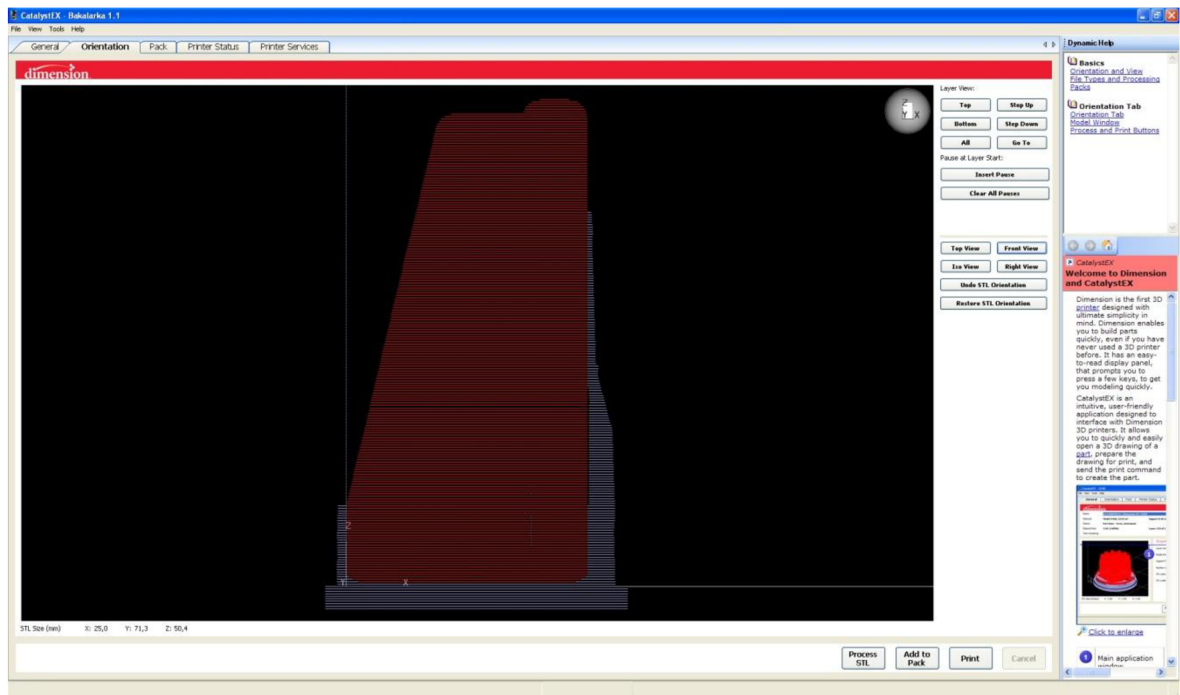
Obr. 3.3 Orientácia modelu.

Ako ďalší postupový krok nasledovalo rozdelenie modelu na jednotlivé vrstvy a pridanie podpôr. Podpory sa automaticky generujú v miestach kde hrozí kolaps modelu (viď obr. 3.4).



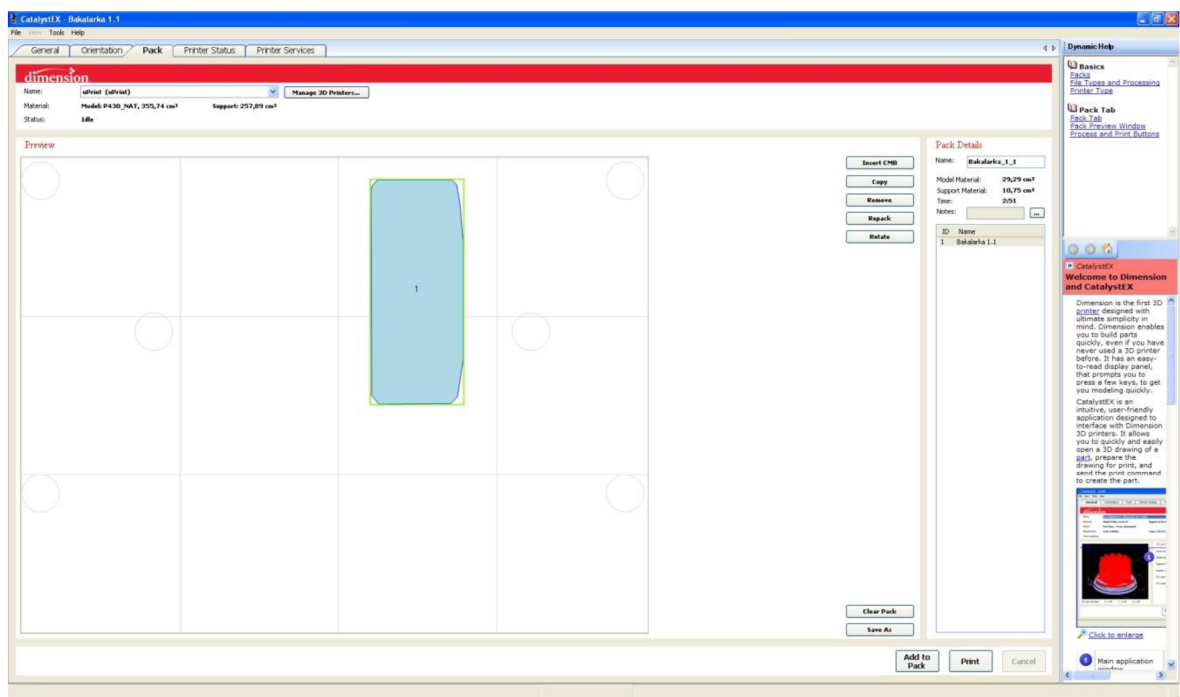
Obr. 3.4 Generovanie podpôr.

Model v tejto práci bol rozdelený na 209 vrstiev, detailný pohľad na rozdelené vrstvy z boku je možné vidieť na obrázku 3.5.



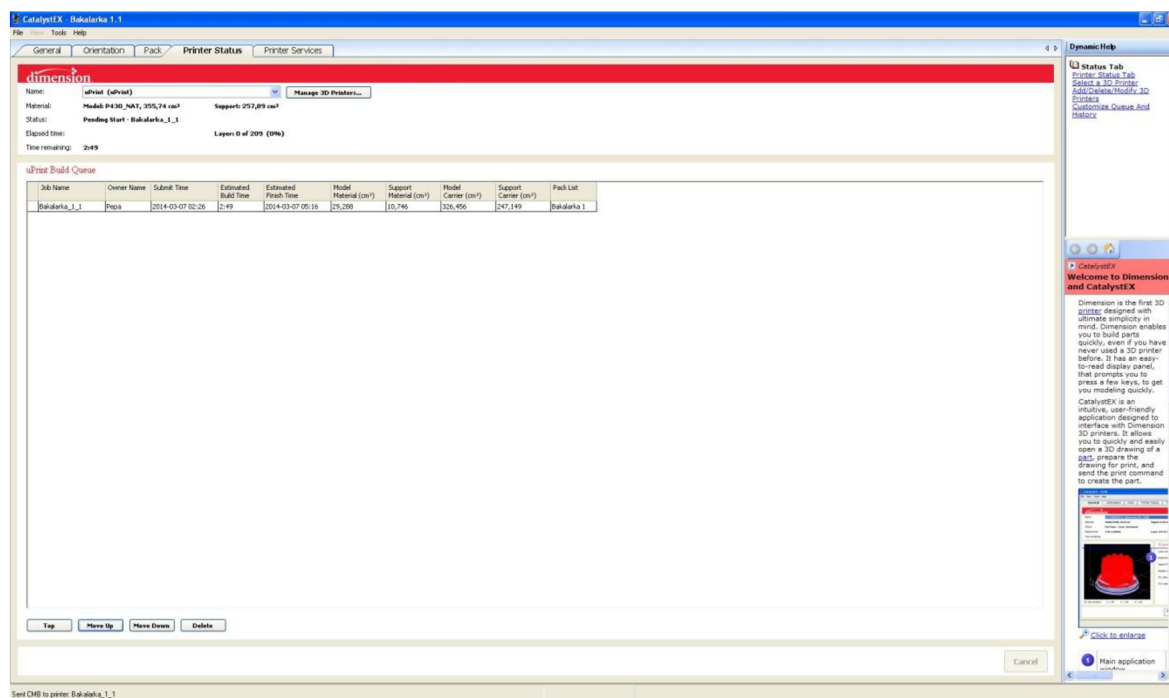
Obr. 3.5 Bočný pohľad na vrstvy.

Následne je nutné správne kalibrovať podložku. Toto bolo nastavené v záložke *Pack* (Zabalit'). Po jej otvorení sa zobrazila plocha podložky, na ktorú bol následne umiestnený model (viď obr. 3.6).



Obr. 3.6 Umiestnenie modelu na podložke.

Po vložení modelu bolo možné na pravej strane obrazovky vidieť aký je objem spotrebovaného materiálu modelu, objem materiálu nutného na vytvorenie podpôr a taktiež čas za ktorý je možné vytlačiť model. Potom bola tlač potvrdená pomocou funkcie *Print* (Tlačiť), ktorá sa nachádza v pravom dolnom rohu obrazovky. Priebeh tlače bolo následne možné sledovať v záložke *Printer Status* (Stav tlačiarne), kde bolo taktiež možné vidieť všetky dôležité informácie o tlači, vrátane informácie o tom, koľko vrstiev je v danej chvíli vtlačených (viď obr. 3.7).



Obr. 3.7 Aktuálny stav tlačiarne.

### 3.3 Processing

Ďalším štádiom tvorby je Processing, čo vlastne znamená samotnú tlač modelu. Pre tlač bola použitá tlačiareň Dimension uPrint (viď obr. 3.8). Model bol vytlačený za 2 hodiny a 49 minút, pričom bolo spotrebovaných 29,288 cm<sup>3</sup> materiálu na model a 10,746 cm<sup>3</sup> materiálu na stavbu podpôr.

#### 3.3.1 Tlačiareň Dimension uPrint

3D tlačiareň Dimension uPrint je určená pre rýchlu výrobu presných a pevných modelov priamou tlačou 3D digitálneho počítačového CAD modelu. Môže byť použitá v rôznych oblastiach priemyslu, architektúry, medicíny, umenia, školstva a iných. Vyznačuje sa vysokou kvalitou modelovacieho materiálu, pevnosťou a odolnosťou vyrobených dielov, ich rozmerovou stabilitou a tepelnou odolnosťou až do 95°C. Vďaka týmto vlastnostiam slúži k výrobe presných a funkčných vzoriek strojárnských súčastí alebo taktiež modelov v oblasti dizajnu a architektúry. Túto tlačiareň je tiež možné využiť pre výrobu vzoriek dielov zlievarenského priemyslu, kde je možné vypáliť model z keramickej formy. Medzi výhody tejto tlačiarne patrí aj fakt, že rozmery jej modelovacieho priestoru nie sú obmedzujúcim faktorom pri výrobe rozmerných dielov. Diely je totiž možné rozdeliť na viac častí, ktoré sa následne po vytlačení dajú spájať lepením. Rozmerné modely je v rámci ušetrenia nákladov možné vyrábať s nízkou vnútornou hustotou

v režime *Sparse*, ktorý šetrí až 80% modelovacieho materiálu pri zachovaní vysokej pevnosti vyrobených dielov. Vytlačené modely je následne možné upraviť pomocou brúsenia, tmelenia a nástreku farby alebo pokovovania [12].



Obr. 3.8 3D tlačiareň Dimension uPrint.

### 3.4. Postprocessing

Po dokončení tlače je model pevne spojený s podporami. V tomto stave sa dostáva do ďalšieho štádia výroby a tým je Postprocessing. V tomto štádiu je model zbavený materiálu podpôr a následne sa stáva plne funkčným.

Materiál podpôr bol odstraňovaný postupne. Najprv bol model mechanicky, pomocou odlomenia, oddelený od základnej dosky na ktorej bol vytlačený. Následne boli podlamované aj ďalšie kúsky podpôr na ktoré stačila mechanická sila ruky. Odlamovanie je nebezpečný proces, pretože malé odletujúce kúsky materiálu podpôr môžu zasiahnuť oči človeka, ktorý s nimi pracuje. Preto boli použité ochranné pomôcky. Po dokončení mechanického odlamovania bola na odstránenie zvyšného materiálu podpôr použitá ultrazvuková čistička (viď obr. 3.9). Tá odstraňuje podpory chemickou cestou pomocou roztoku, ktorý ich rozpúšťa. Po odstránení všetkého materiálu podpôr bol model pomocou klieští vytiahnutý z ultrazvukovej čističky a dôkladne umytý pod tečúcou vodou. Následne bol usušený pri izbovej teplote.





Obr. 3.9 Ultrazvuková čistička.

### 3.5 Test vytlačeného modelu

Takto pripravený funkčný model bol následne podrobený testu. Najprv bolo nutné zistiť či model dosadá správne na hrniec a je možné ho upevniť. V tomto smere sa model ukázal ako plne funkčný, pretože dosadol presne na konzolu, ktorá sa nachádzala na hrnci a bolo možné ho správne a pevne zaistiť (viď obr. 3.10). Ďalšou fázou bolo zistenie odolnosti voči teplote. Hrniec bol naplnený vodou, ktorá bola následne ohriata na bod varu a ponechaná pri tejto teplote po dobu 5 minút. Potom bol ohrev vypnutý a hrniec ponechaný na vychladnutie. Pri tomto teste bol zistený značný nedostatok v hrúbke steny v mieste pripojenia na šraub. Stena totiž vplyvom teploty zmenila tvar, pretože bola príliš tenká. Po vychladnutí bola následne vplyvom mechanickej sily porušená a stala sa nefunkčnou (viď obr. 3.11). Zvyšok modelu však obstál v teste bez zmien tvaru, pretože mal väčšiu hrúbku stien.



Obr. 3.10 Upevnenie modelu ucha na hrnci.



Obr. 3.11 Poškodenie prvého modelu.

Po tomto teste bolo nutné upraviť počítačový model v aplikácii Autodesk Inventor, kde bola zväčšená hrúbka steny. Následne bol celý proces tlače modelu zopakovaný a bol vyrobený nový model, ktorý bol podrobený rovnakému testu. Tento model už v teste obstál bez akýchkoľvek zmien tvaru (viď obr. 3.12). Jeho funkčnosť bola dokázaná aj prakticky počas vianočných sviatkov, kde bol hrniec, na ktorom bolo primontované toto modelové ucho, použitý na prípravu vianočnej polievky (viď obr. 3.13).



Obr. 3.12 Opravený model pripevnený na hrnci.



Obr. 3.13 Dôkaz praktickej funkčnosti modelu.

## 4 VÝROBA MODELU POMOCOU ODLIEVANIA DO SILIKÓNOVEJ FORMY

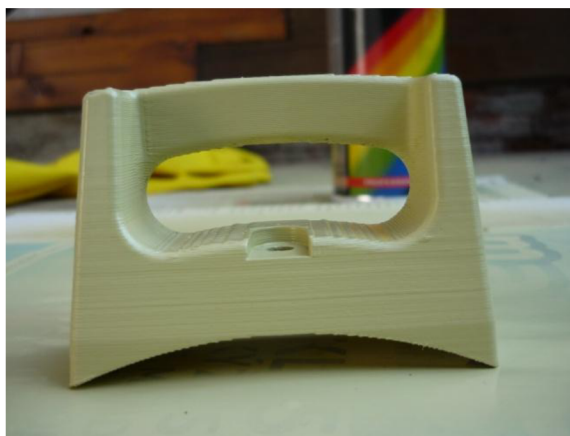
Model vytlačený na 3D tlačiarni bol následne použitý ako tzv. master model, to znamená vzorový model, podľa ktorého bola vytvorená silikónová forma.

### 4.1 Úprava master modelu

Z princípu výroby modelu pomocou aditívnej technológie dochádza na povrchu modelu k tvorbe nerovností (vid' obr. 4.1). Tieto nerovnosti je pred samotnou výrobou silikónovej formy nutné odstrániť. Boli odstránené pomocou sprejového plniča *MOTIP Filler* a brúsneho papiera so zrnitosťou P600 a P800 (vid' obr. 4.2).



Obr. 4.1 Nerovnosti na povrchu modelu.



Obr. 4.2 Nanosenie sprejového plniča.

Po každom nanosení vrstvy plniča bolo potrebné nechať vrstvu vytvrdnúť po dobu 2 hodín, po čom nasledovalo vyhladenie pomocou brúsneho papiera (vid' obr. 4.3). Tento proces bol celkovo opakovaný 4-krát než bolo dosiahnuté úplné vyhladenie modelu (vid' obr. 4.4).



Obr. 4.3 Vyhladenie pomocou brúsneho papiera.



Obr. 4.4 Úplné vyhladenie modelu.

### 4.2 Výroba silikónovej formy

Pre ľahké vynímanie modelu z formy bola zvolená trojdielna forma. Vyhladený model bol uložený na sklenenú podložku a v jeho okolí bola pomocou sklíčok vytvorená zábrana



v tvare budúcej formy (viď obr. 4.5). Sklíčka boli k sebe upevnené pomocou tavnej pištole s lepidlom. Potom bol model vytiahnutý a dno takto vzniknutej nádoby bolo vyplnené plastelínou. Následne bol model opäť vložený dovnútra nádoby a pomocou plastelíny pevne upevnený tak, aby časť ktorou je model upevnený na hrniec smerovala nahor. Pomocou plastelíny bola vyrovnaná deliaca rovina, ktorá sa nachádzala pri začiatku dutiny slúžiacej na uchopenie ucha. Ďalej boli do plastelíny pretlačené diery, ktoré zaisťujú správne dosadenie dielov budúcej formy. Na záver práce s plastelínou bola vymodelovaná vtoková sústava v najvyššej časti modelu (viď obr. 4.6).

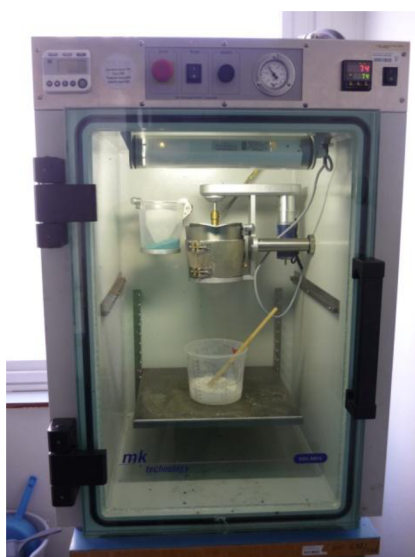


Obr. 4.5 Sklenené ohraničenie modelu.



Obr. 4.6 Umiestnenie modelu v sklenenej nádobe.

Vnútrotný povrch nádoby bol ošetrený separátorom pre ľahšie oddelenie silikónu po vytuhnutí. Ďalším krokom bola príprava samotného silikónu. Použitá bola silikónová hmota *SILASTIC T-4*, ktorá sa skladala z tekutých zložiek A a B. Po zmiešaní zložiek v pomere 10:1 bola zmes vložená do vákuového systému z dôvodu zbavenia hmoty vzduchu (bublín) (viď obr. 4.7). Vo vákuu dochádza k tzv. varu, kde bubliny vyplávajú na hladinu (viď obr. 4.8).



Obr. 4.7 Vákuová komora.



Obr. 4.8 Var vo vákuu.

Tento proces musel byť niekoľkokrát prerušený krátkym otvorením vzduchového ventilu, pretože hrozilo, že objem zmesi prevýši objem kelímka v ktorom bola uložená. Pri tomto prerušení došlo k absorpcii bublín z hladiny a zmenšeniu objemu. Zmes bola vyvákuovaná v momente keď už objem ďalej nerástol a hladina bola ustálená. V tomto bode došlo k maximálnemu úbytku vzduchu zo zmesi a tá nadobudla kvalitnú homogénnu (odplynenú) štruktúru, čím bolo docielené to, že pri tuhnutí zmesi v nej bol minimalizovaný vznik bublín, ktoré by sa mohli usadiť na povrchu modelu a tým znehodnotiť jeho kvalitu. Takto pripravená zmes bola v čo najkratšom čase vyliala do pripravenej nádoby s modelom (viď obr. 4.9). Zmes bolo potrebné nechať vytvrdnúť na vzduchu po dobu 24 hodín. Následne bola nádoba rozobraná, prvý diel formy aj s modelom vyňatý a očistený od zvyškov plastelíny (viď obr. 4.10).



Obr. 4.9 Odliatie silikónu.



Obr. 4.10 Prvý diel silikónovej formy.

Model bol opäť vložený do prvého dielu formy a celý proces tvorby nádoby okolo modelu a vákuovania silikónu bol zopakovaný pre vytvorenie druhého dielu formy (viď obr. 4.11). Tretí diel formy bol vytvorený obdobne, s tým, že nebolo potrebné použiť plastelínu (viď obr. 4.12). Na záver bol model z formy vyňatý, forma očistená tlakovým vzduchom a bolo skontrolované presné dosadenie jednotlivých častí formy do seba.



Obr. 4.11 Výroba druhého dielu formy.



Obr. 4.12 Odlievanie tretieho dielu formy.



### 4.3 Voskový model

Pre kontrolu presnosti formy bol pred samotným odlievaním plastu do formy odliaty voskový model. Jednotlivé diely formy boli k sebe pevne zopnuté spinkami používanými do kancelárskych zošívачiek (viď obr. 4.13). Následne bol do formy vyliaty vyvakuovaný vosk (viď obr. 4.14).



Obr. 4.13 Zložená forma.



Obr. 4.14 Odlievanie voskového modelu.

Potom bola forma umiestnená do chladničky, kde bola ponechaná na vytvrdnutie vosku po dobu 5 hodín. Po vytvrdnutí bola forma rozobraná a model vyňatý. Následne bol skontrolovaný jeho tvar, ktorý sa zhodoval s tvarom master modelu, čím bola potvrdená presnosť formy a správne zatekanie materiálu do každej jej časti (viď obr. 4.15). Na obrázku 4.16 je možné vidieť, že povrch v mieste deliacich rovín formy nebol hladký, čo bolo očakávané. Tento problém bol odstránený vyhladením modelu pomocou brúsneho papiera.



Obr. 4.15 Porovnanie modelov.



Obr. 4.16 Povrch v deliacich rovinách.

### 4.4 Prvé odlievanie plastu

Ako prvý plast na odlievanie bol použitý *AXSON F18*, čo je polyuretánová rýchlo tuhnúca neplnená živica, ktorá sa skladá z dvoch zložiek miešaných v pomere 1:1.

#### 4.4.1 Test na iných modeloch

Z dôvodu absencie separátoru, ktorý bol odporúčaný výrobcom a prekročenia doby spotreby zložiek plastu, ktorý bol k dispozícii bol uskutočnený test funkčnosti odliatím plastu do starších, už nepoužívaných foriem, aby sa predišlo poškodeniu formy na tento model. Jednotlivé zložky plastu boli zmiešané v pomere 1:1 a dôkladne premiešané. Bolo nutné postupovať rýchlo, pretože doba spracovateľnosti bola len 7 minút, pričom zmes začínala tuhnúť približne po 3 minútach. V zmesi prebiehala exotermická reakcia pri ktorej sa uvoľňovalo teplo do formy a okolia. Po naliatí zmesi do náhradných foriem bola jedna umiestnená do pece predhriatej na 60°C a druhá ponechaná pri normálnej teplote na vzduchu. V oboch formách bola zmes ponechaná na vytvrdenie po dobu 6 hodín. Následne boli formy rozobrané a skontrolované. Test na náhradných formách potvrdil, že tento použitý plast aj bez separátoru nepoškodzuje formu a modely z neho vyrobené dosahujú požadovanú kvalitu.

#### 4.4.2 Odlievanie modelu z plastu AXSON F18

Po teste na náhradných formách nasledovalo samotné odlievanie do formy vytvorenej z master modelu. Postup bol obdobný ako pri teste na náhradných formách, pričom boli vytvorené postupne 4 odliatky ponechané na vytvrdenie v peci prehriatej na 60°C. Pri prvom odlievaní bola forma okrem zopnutia spinkami stlačená zvonka svorkou, čím mala byť zlepšená kvalita na povrchu odliatku v oblasti deliacich rovín (viď obr. 4.17). Tento postup sa však ukázal ako nie veľmi efektívny, preto boli ďalšie odliatky zhotovené odliatím do formy zopnutej len spinkami. Pri každom ďalšom odliatku bola forma pri vytvrdzovaní uložená v peci na iný počet hodín v rozmedzí 3 až 12 hodín, avšak výsledky sa od seba nelíšili. Z toho je možné predpokladať, že čas pri ktorom je forma ponechaná na vytvrdenie v peci neovplyvňuje výslednú kvalitu odliatku. Po odliatí zostali na odliatkoch vtokové sústavy, ktoré boli následne mechanicky oddelené a plocha v mieste kde sa nachádzali vyhladená pomocou brúsneho papiera (viď obr. 4.18).



Obr. 4.17 Forma zopnutá svorkou.



Obr. 4.18 Model odliaty z plastu AXSON F18 so vtokovými sústavami.

#### 4.4.3 Test modelu z plastu AXSON F18

Prvý odliatok bol ďalej podrobený rovnakému testu ako master model. Bol upevnený na hrniec, do hrnca bola naliata voda, ktorá bola následne privedená na teplotu varu a ponechaná po dobu 5 minút (viď obr. 4.19). Potom bol hrniec odstavený z plameňa

a voda vyliata. Vplyvom teploty pri teste vznikla malá vôľa medzi hrncom a modelom, čo mierne obmedzilo jeho funkčnosť, preto bol vyhodnotený ako nevhodný (viď obr. 4.20).



Obr. 4.19 Priebeh testu.

Obr. 4.20 Model po teste.

#### 4.5 Druhé odlievanie plastu

Ako druhý bol zvolený plast *EBALTA SG2000*, čo je akostná, takmer nepáchnuca dvojzložková polyuretánová živica. Jej komponenty A a B sa taktiež miešajú v pomere 1:1.

##### 4.5.1 Odlievanie modelu z plastu *EBALTA SG2000*

Formu pre tento plast nebolo nutné predhrievať ako v predchádzajúcom prípade. Pri odlievaní bolo nutné postupovať rýchlo, pretože doba spracovateľnosti tohto plastu je len 3 minúty. Po odliatí bola forma ponechaná na vytvrdenie po dobu 1 hodiny. Následne bola forma rozobraná, model bol očistený, boli odstránené vtokové sústavy a povrch modelu bol vyhladený brúsnym papierom.

##### 4.5.2 Test modelu z plastu *EBALTA SG2000*

Aj model odliaty z tohto plastu bol podrobený rovnakému testu ako predchádzajúce modely. Pri tomto teste vznikla oveľa väčšia vôľa medzi hrncom a modelom ako v predchádzajúcom prípade a navyše model pod vplyvom teploty zmenil farbu a štruktúru povrchu, model bol preto vyhodnotený ako nepoužiteľný (viď obr. 4.21).



Obr. 4.21 Poškodenie modelu po teste.



#### 4.6 Tretie odlievanie plastu

Keďže plast *EBALTA SG2000* je možné zmiešať s plnivom a tým zlepšiť jeho vlastnosti, bolo použité hliníkové plnivo *F - Alu*, ktoré zvyšuje tepelnú odolnosť plastu. Toto plnivo malo striebornú farbu, preto aj výsledné odliatky s použitím plniva boli strieborné.

##### 4.6.1 Odlievanie modelu z plastu *EBALTA SG2000* s použitím plniva *F - Alu*

Odlievanie prebehlo rovnako spôsobom ako odlievanie bez použitia plniva, avšak bolo experimentálne zistené, že použitie plniva výrazne znížilo dobu spracovateľnosti. Hmotnosť pridaného plniva je možné zvyšovať až do 1,75 násobku spoločnej hmotnosti oboch komponent. Ako prvý bol pomer spoločnej hmotnosti komponent ku hmotnosti plniva zvolený ako 1:1,4. Pri spracovaní v tomto pomere bola zistená znížená doba spracovateľnosti, pretože plast nestihol pred stuhnutím vyplniť celú formu (viď obr. 4.22). Z tohto dôvodu bol zvolený menší pomer 1:1,3. Pri odlievaní v tomto pomere bola zohľadnená skrátená doba spracovateľnosti (viď obr. 4.23). Po otestovaní modelu odliateho v tomto pomere boli odliate ešte dva odliatky a to v pomere 1:0,8 a 1:1,75. Pri pomere 1:0,8 sa neprejavil problém so skrátenou dobou spracovateľnosti, avšak pri pomere 1:1,75 sa doba spracovateľnosti znížila natoľko, že zmes bolo možné pred odliatím miešať len po dobu 20 sekúnd.



Obr. 4.22 Nedokonale odliaty model.



Obr. 4.23 Odlievanie s použitím plniva.

##### 4.6.2 Test modelu z plastu *EBALTA SG2000* s použitím plniva *F - Alu*

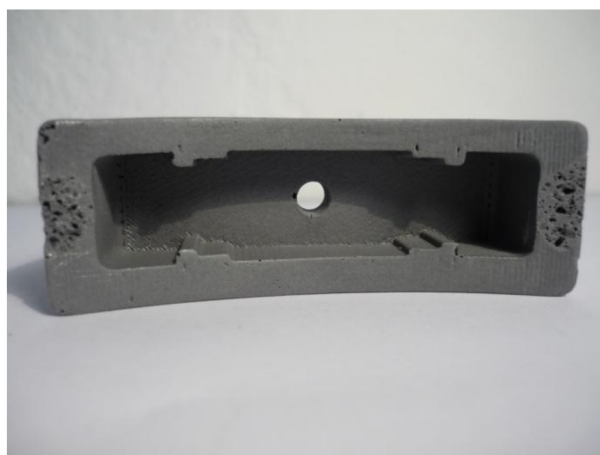
Všetky odliatky s použitím plnidla boli podrobené rovnakému testu ako v predchádzajúcich prípadoch. Ako prvý bol otestovaný model odliaty v pomere 1:1,3, pričom bolo zistené, že pri použití plniva vznikajú v modeli vzduchové bublinky, ktoré zle vplývajú na jeho pevnosť. Pri teste model zmenil tvar a vznikli na ňom trhliny v mieste kde je pripevnené šraubom a hrozilo jeho odlomenie (viď obr. 4.24). Bol vyhodnotený ako nepoužiteľný, z tohto dôvodu boli odliate ďalšie odliatky s iným pomerom. Odliatok s pomerom 1:0,8 pri teste taktiež zmenil tvar, avšak nevznikli na ňom trhliny. Zmena tvaru spôsobila veľkú vôľu medzi hrncom a modelom a preto bol taktiež vyhodnotený ako nepoužiteľný (viď obr. 4.25). Naopak odliatok s maximálnym možným pomerom 1:1,75 nezmenil tvar. V mieste jeho upevnenia šraubom vznikla len jedna malá trhlina, ktorá však nemala vplyv na jeho funkčnosť (viď obr. 4.26). Preto bol tento model vyhodnotený ako funkčný (viď obr. 4.27).



Obr. 4.24 Poškodenie trhlinami.



Obr. 4.25 Vôľa medzi modelom a hrncom.



Obr. 4.26 Finálny model po teste s trhlkou.



Obr. 4.27 Finálny funkčný model.

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

V tejto kapitole sú uvedené všetky náklady na výrobu modelu ucha kuchynského hrnca zhotoveného pomocou technológie Fused Deposition Modelling a technológie odlievania do silikónovej formy. Tieto náklady sú následne vzájomne porovnané.

### 5.1 Náklady na výrobu modelu pomocou technológie Fused Deposition Modeling

Do nákladov na výrobu modelu pomocou technológie FDM boli zahrnuté len náklady spojené so samotnou tlačou, pretože už po vytlačení bol získaný plne funkčný model. Keďže tento model má na povrchu nerovnosti spôsobené tlačou, môže ďalej byť z estetických dôvodov upravený vyhladením pomocou sprejového plniča a následne natretý žiaruvzdorným farebným náterom. Náklady na odstránenie materiálu podpôr boli oproti nákladom na tlač modelu nízke a preto boli v tejto práci zanedbané. Náklady na samotnú tlač jedného modelu boli vypočítané pomocou vzťahu (5.1).

$$N_T = N_M \cdot V_M \quad (5.1)$$

kde:  $N_T$  [Kč] – náklady na tlač jedného modelu,  
 $N_M$  [Kč · cm<sup>-3</sup>] – náklady na 1cm<sup>3</sup> materiálu,  
 $V_M$  [cm<sup>3</sup>] – objem modelu vrátane podpôr.

Náklady na 1cm<sup>3</sup> materiálu boli rovnaké pre materiál modelu ako aj pre materiál podpôr a to 14,40 Kč · cm<sup>-3</sup>. Sčítaním objemu samotného modelu a objemu materiálu podpôr bol získaný celkový objem. Celkový objem finálneho modelu vrátane podpôr bol 40,034 cm<sup>3</sup>.

#### 5.1.1 Výpočet nákladov na výrobu modelu pomocou technológie FDM

$N_M = 14,40$  [Kč · cm<sup>-3</sup>];  $V_M = 40,034$  [cm<sup>3</sup>];

$$N_T = N_M \cdot V_M$$

$$N_T = 14,40 \cdot 40,034$$

$$N_T = 576,49 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na výrobu jedného funkčného modelu pomocou technológie FDM boli 576,49 Kč. Táto cena nezahŕňa následné povrchové úpravy.

### 5.2 Náklady na výrobu modelu pomocou technológie odlievania do silikónovej formy

Do nákladov na výrobu modelu pomocou technológie odlievania do silikónovej formy je nutné zahrnúť viac faktorov ako výrobe modelu pomocou technológie FDM. Ako prvé sú to náklady na tlač jedného kusu master modelu pomocou technológie FDM. Tieto náklady boli spočítané v predchádzajúcom odseku. Pred tvorbou silikónovej formy musí byť upravený povrch modelu, takže do nákladov vstupujú aj náklady na vyhladenie modelu. Následne sú to náklady na tvorbu silikónovej formy a náklady na materiál plastového odliatku. Po odliatí je nutné mechanicky odstrániť vtokovú sústavu, avšak náklady na tento úkon sú tak malé, že vo výpočtoch uvedených v tejto práci boli zanedbané. Celkové náklady na výrobu modelu pomocou technológie odlievania do silikónovej formy boli vypočítané pomocou vzťahu (5.2).

$$N_{OM} = N_T + N_{\dot{U}P} + N_{FS} + N_{MO} \quad (5.2)$$



- kde:  $N_{OM}$  [Kč] - náklady na odliatie jedného modelu,  
 $N_T$  [Kč] - náklady na tlač jedného modelu,  
 $N_{ÚP}$  [Kč] - náklady na úpravu povrchu master modelu,  
 $N_{SF}$  [Kč] - náklady na výrobu silikónovej formy,  
 $N_{MO}$  [Kč] - náklady na materiál odliatku.

### 5.2.1 Náklady na úpravu povrchu master modelu

Aby mohol byť vytlačený master model použitý pre výrobu silikónovej formy musel byť najprv vyhladený. Vyhladenie bolo uskutočnené pomocou sprejového plniča a brúsneho papiera. Jeden sprejový plnič *MOTIP Filler* vystačí približne na vyhladenie 5 modelov, taktiež balenie brúsneho papiera vystačí na vyhladenie približne 4 modely. Tieto koeficienty je nutné zahrnúť do výpočtu nákladov. Výsledný vzťah (5.3) pre výpočet nákladov na úpravu povrchu master modelu má nasledujúci tvar.

$$N_{ÚP} = \frac{1}{5} N_{SP} + \frac{1}{4} N_{BP} \quad (5.3)$$

- kde:  $N_{ÚP}$  [Kč] - náklady na úpravu povrchu master modelu,  
 $N_{SP}$  [Kč] - náklady na kúpu sprejového plniča *MOTIP Filler*,  
 $N_{BP}$  [Kč] - náklady na kúpu brúsneho papiera.

$$N_{SP} = 289 \text{ [Kč]}; N_{BP} = 70 \text{ [Kč]};$$

$$N_{ÚP} = \frac{1}{5} \cdot 289 + \frac{1}{4} \cdot 70$$

$$N_{ÚP} = 57,80 + 17,50$$

$$N_{ÚP} = 75,30 \text{ Kč}$$

### 5.2.2 Náklady na výrobu silikónovej formy

Do nákladov na výrobu silikónovej formy sú zahrnuté len náklady na samotný silikón, ktorý bol pri jej výrobe použitý. Náklady za jeden kilogram silikónovej hmoty sú 726 Kč. Táto suma bola prepočítaná na náklady na gram, keďže na výrobu formy sa spotrebujú len desiatky gramov silikónu. Celkové náklady na tvorbu silikónovej formy boli vypočítané podľa vzťahu (5.4). Do vyrobenej silikónovej formy je možné odliat viac modelov. Pre potreby tejto práce, kde rozmerová presnosť nie je hlavný faktor bola stanovená trvanlivosť jednej formy na 35 kusov odliatych modelov.

$$N_{SF} = m_S \cdot N_{GS} \quad (5.4)$$

- kde:  $N_{SF}$  [Kč] - náklady na výrobu silikónovej formy,  
 $m_S$  [g] - hmotnosť použitej silikónovej hmoty,  
 $N_{GS}$  [Kč · g<sup>-1</sup>] - náklady na gram silikónovej hmoty.

$$m_S = 890 \text{ [g]}; N_{GS} = 0,726 \text{ [Kč} \cdot \text{g}^{-1}\text{]};$$

$$N_{SF} = 890 \cdot 0,726$$

$$N_{SF} = 646,14 \text{ Kč}$$

### 5.2.3 Náklady na materiál odliatku

Náklady na materiál odliatku boli spočítané pre plast *EBALTA SG 2000* s použitím hliníkového plnidla *F - Alu* podľa nasledujúceho vzťahu (5.5).

$$N_{MO} = m_{PA} \cdot N_{PA} + m_{PB} \cdot N_{PB} + m_{PL} \cdot N_{PL} \quad (5.5)$$

kde:  $N_{MO}$  [Kč] - náklady na materiál odliatku,  
 $m_{PA}$  [g] - hmotnosť použitej zložky A plastovej hmoty,  
 $N_{PA}$  [Kč · g<sup>-1</sup>] - náklady na gram zložky A plastovej hmoty,  
 $m_{PB}$  [g] - hmotnosť použitej zložky B plastovej hmoty,  
 $N_{PB}$  [Kč · g<sup>-1</sup>] - náklady na gram zložky B plastovej hmoty,  
 $m_{PL}$  [g] - hmotnosť plnidla,  
 $N_{PL}$  [Kč · g<sup>-1</sup>] - náklady na gram plnidla.

$$m_{PA} = 30 \text{ [g]}; N_{PA} = 0,237 \text{ [Kč} \cdot \text{g}^{-1}\text{]}; m_{PB} = 30 \text{ [g]}; N_{PB} = 0,237 \text{ [Kč} \cdot \text{g}^{-1}\text{]}; m_{PL} = 105 \text{ [g]}; N_{PL} = 0,063 \text{ [Kč} \cdot \text{g}^{-1}\text{]};$$

$$N_{MO} = 30 \cdot 0,237 + 30 \cdot 0,237 + 105 \cdot 0,063$$

$$N_{MO} = 20,84 \text{ Kč}$$

### 5.2.4 Výpočet nákladov na výrobu prvého modelu pomocou technológie odlievania do silikónovej formy

$$N_T = 576,49 \text{ [Kč]}; N_{\text{ÚP}} = 75,30 \text{ [Kč]}; N_{SF} = 646,14 \text{ [Kč]}; N_{MO} = 20,84 \text{ [Kč]};$$

$$N_{OM} = N_T + N_{\text{ÚP}} + N_{FS} + N_{MO}$$

$$N_{OM} = 576,49 + 75,30 + 646,14 + 20,84$$

$$N_{OM} = 1318,77 \text{ Kč}$$

### 5.2.5 Náklady na výrobu ďalších modelov pomocou technológie odlievania do silikónovej formy

Po vyrobení prvého modelu sa náklady na každý ďalší znižujú, pretože už bola vyrobená silikónová forma. Pre ďalších 34 kusov celkové náklady tvoria len náklady na materiál odliatku. Náklady na každý tridsiaty šiesty kus sú opäť zvýšené o náklady na tvorbu novej silikónovej formy.

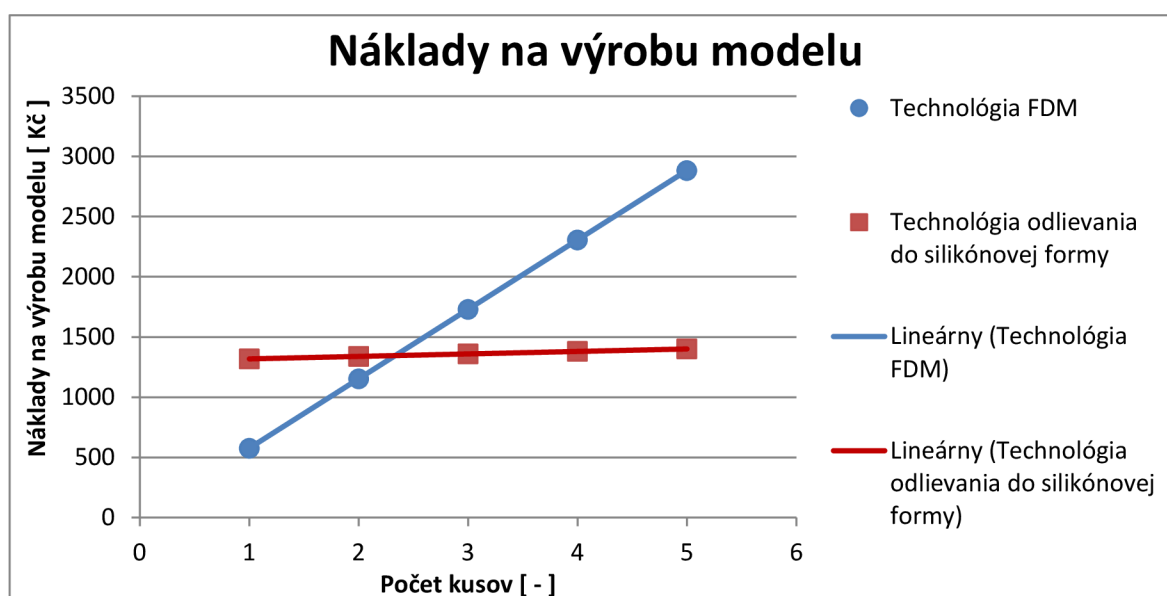
### 5.3 Porovnanie nákladov na výrobu pri použití technológie FDM a technológie odlievania do silikónovej formy

Z ekonomického hľadiska je vhodnosť použitých metód závislá hlavne na počte vyrobených modelov. Zatiaľ čo pri výrobe pomocou technológie FDM sú náklady na každý model rovnaké, pri výrobe pomocou technológie odlievania do silikónovej formy

sú po vyrobení prvého modelu náklady na ďalšie modely výrazne nižšie. V tabuľke 5.1 sú uvedené náklady na výrobu prvých piatich kusov pomocou oboch technológií a hodnoty sú vynesené do grafu (viď obr. 5.1).

Tab. 5.1 Porovnanie nákladov.

Počet kusov	Technológia FDM [Kč]	Technológia odlievania do silikónovej formy [Kč]
1	576,49	1318,77
2	1152,98	1339,61
3	1729,47	1360,45
4	2305,96	1381,29
5	2882,45	1402,13

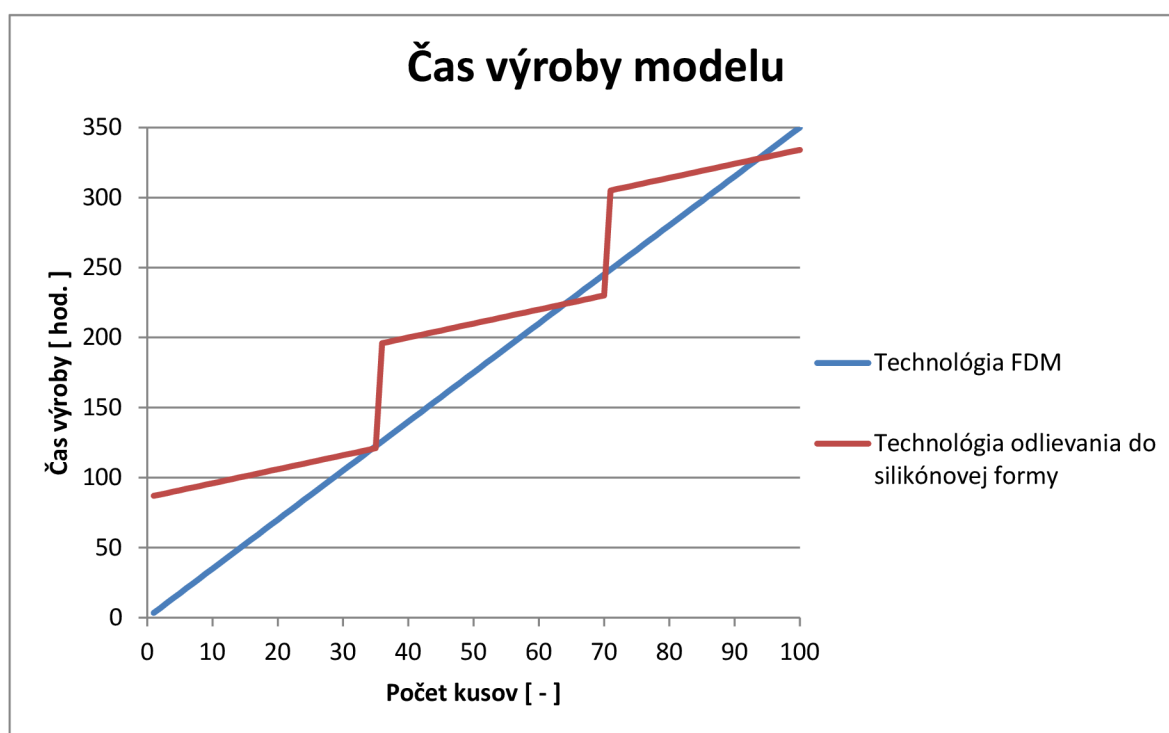


Obr. 5.1 Náklady na výrobu modelu.

Z grafickej závislosti je vidieť, že už pri treťom vyrobenom kuse sa stáva technológia odlievania do silikónovej formy cenovo výhodnejšia. Avšak pri celkovom hodnotení výhodnosti metód je dôležité zohľadniť aj čas výroby. Čas výroby môže taktiež navýšiť náklady v prípade, že prácu vykonáva špecializovaný pracovník. V tejto práci sú náklady na prácu špecializovaného pracovníka zanedbané, pretože táto práca nutne nevyžaduje špecializovaného pracovníka a výsledky práce sú zamerané hlavne na použitie v bežnej domácnosti, kde nie je predpokladaná prítomnosť špecializovaného pracovníka. Pri výrobe pomocou technológie FDM bol celkový čas výroby vrátane tlače a odstránenia podpôr odhadnutý na cca 3,5 hodiny na každý model. Naopak pri výrobe pomocou odlievania do silikónovej formy je výroba prvého modelu časovo veľmi náročná, pretože je najprv nutné vytvoriť silikónovú formu. Čas na výrobu silikónovej formy sa skladá z času na výrobu master modelu pomocou technológie FDM (cca 3,5 hod.), na vyhladenie master modelu (cca 8,5 hod.) a na samotnú výrobu formy (cca 74 hod.), čo spolu činí cca 86 hodín. Odliatie každého modelu trvá cca 1 hodinu. Časová náročnosť na výrobu modelov je uvedená v tabuľke 5.2 a jednotlivé hodnoty sú vynesené do grafu (viď obr. 5.2).

Tab. 5.2 Porovnanie času výroby.

Počet kusov	Technológia FDM [hod.]	Technológia odlievania do silikónovej formy [hod.]
1	3,5	87
5	17,5	91
10	35	96
25	87,5	111
50	175	210
75	262,5	309
100	350	334



Obr. 5.2 Čas výroby modelu.

Z grafickej závislosti je možné vidieť, že čas na výrobu modelu pomocou technológie FDM lineárne rastie, zatiaľ čo čas na výrobu modelu pomocou technológie odlievania do silikónovej formy skokovo rastie po každom tridsiatom šiestom kuse, kedy je nutné vytvoriť novú formu. Taktiež je zrejmé, že pre série s vyšším počtom kusov sa krivka technológie odlievania do silikónovej formy dostane úplne celá pod priamku technológie FDM a tým sa stane časovo výhodnejšou. Avšak pre série s malým počtom kusov je časová náročnosť technológie FDM výrazne výhodnejšia.

## ZÁVER

Táto práca bola zameraná na návrh 3D modelu ucha kuchynského hrnca a jeho možnú realizáciu výroby s využitím moderných technológií 3D tlače. Model mal nahradiť originál ucha kuchynského hrnca, ktorý bol v minulosti po páde na zem trvale poškodený.

V práci boli porovnané rôzne materiály s ktorými pracuje technológia FDM a taktiež materiály vhodné pre technológiu odlievania do silikónovej formy. Pre tvorbu virtuálneho 3D modelu bol použitý parametrický softvér Autodesk Inventor Professional 2012. Následne bola v práci popísaná technológia FDM a výroba modelu pomocou tlače na 3D tlačiarňi Dimension uPrint. Práca bola rozšírená o tvorbu silikónovej formy pomocou master modelu vytlačeného na 3D tlačiarňi a technológie vákuového odlievania a následnú výrobu plastových odliatkov. Záverečným bodom práce bolo technicko-ekonomické zhodnotenie, kde boli vypočítané a porovnané náklady na výrobu modelu pomocou technológie FDM a technológie odlievania do silikónovej formy.

V tejto práci bol vytvorený funkčný model pomocou technológie FDM ako aj pomocou technológie odlievania do silikónovej formy. Obidva modely boli otestované a boli schopné plne nahradiť zničený originál.

Technológia FDM sa ukázala ako lacnejšia a oveľa rýchlejšia ako technológia odlievania do silikónovej formy pri malom počte vyrobených modelov. Na základe tohto faktu je pre účely tejto práce, v ktorej je dôležité nahradiť jeden zničený originál vhodnejšia. Výhodnosť technológie odlievania do silikónovej formy sa ukazuje až pri výrobe väčšieho množstva kusov a to hlavne z ekonomického hľadiska.

Vzhľadom na to, že práca bola zameraná hlavne na funkčnosť modelov, autor ďalej odporúča ošetrovanie povrchu obidvoch modelov a nanosenie žiaruvzdorného farebného nástreku pre zvýšenie estetickú hodnoty a životnosti modelov.

Všetky ciele bakalárskej práce boli dosiahnuté.

**ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV**

1. PALERMO, Elizabeth. Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method. *LiveScience* [online]. Vydané: 19.9.2013 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>>.
2. KIMO INSTRUMENTS. Kimo (KIRAY 200 Infrared thermometer) [online]. 2013 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <[http://www.kimo.fr/produits/192/kiray\\_200.html?lang=en](http://www.kimo.fr/produits/192/kiray_200.html?lang=en)>.
3. NOVAKOVA-MARCINCINOVA, L.; KURIC, I. Basic and Advanced Materials for Fused Deposition Modeling Rapid Prototyping Technology. *Manufacturing and Industrial Engineering* 2012, roč. 11, č. 1, s. 25-26. ISSN 1338-6549
4. NOVAKOVA-MARCINCINOVA, L.; NOVAK-MARCINCIN, J. Applications of rapid prototyping fused deposition modeling. *Annals & Proceedings of DAAAM International* 2012, roč. 23, č. 23, s. 59. ISSN 2304-1382
5. STRATASYS, Ltd. Stratasys (FDM Thermoplastics) [online]. 2014 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.stratasys.com/materials/fdm>>.
6. ACR, Czech. Axson Technologies (Odlévání polyuretany) [online]. 2011 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.axson.cz/produkty/modely-a-formy/odlevaci-polyuretany>>.
7. EBALTA, CZ. Ebalta (SG 2000 / Komp. A + B) [online]. 14.5.2014 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/rychleschnouci-lici-pryskyrice/pryskyrice-neobsahujici-plniva/sg-2000-komp-a%C2%A0-b>>.
8. KADLEC, Petr. Wikipedie (Autodesk Inventor) [online]. 14.4.2014 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_Inventor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor)>.
9. NOVÁ MÉDIA. 3D-tisk (Fused Deposition Modeling) [online]. 2014 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>>.
10. REED, Paul. wise GEEK (What Is Fused Deposition Modeling™?) [online]. 25.5.2014 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>>.
11. INFORMET TECHNOLOGIES, Inc. CatalystEX (CatalystEX) [online]. 2014 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://catalystex.software.informer.com/>>.
12. MCAE SYSTEMS, s.r.o. MCAE (uPrint SE 3D Print Pack) [online]. 2014 [vid. 24.5.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.mcae.cz/novinka-uprint-se-3d-print-pack-1329746500>>.

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Jednotka	Popis
2D	[-]	dvojdimenzionálny
3D	[-]	trojdimenzionálny
ABS	[-]	Acrylonitril Butadién Styren
CAD	[-]	Computer Aided Design
EtO	[-]	etylén oxid
FDM	[-]	Fused Deposition Modeling
IAM	[-]	súborový formát zostavy Autodesk Inventor
IPT	[-]	súborový formát súčastí Autodesk Inventor
PC	[-]	Polykarbonát
cca	[-]	cirka/približne
stl	[-]	súborový formát pre ukladanie priestorových telies
tzv.	[-]	takzvaný

Symbol	Jednotka	Popis
$N_{BP}$	[Kč]	náklady na kúpu brúsneho papiera
$N_{GS}$	[Kč . g <sup>-1</sup> ]	náklady na gram silikónovej hmoty
$N_M$	[Kč . cm <sup>3</sup> ]	náklady na 1cm <sup>3</sup> materiálu
$N_{MO}$	[Kč]	náklady na materiál odliatku
$N_{OM}$	[Kč]	náklady na odliatie jedného modelu
$N_{PA}$	[Kč . g <sup>-1</sup> ]	náklady na gram zložky A plastovej hmoty
$N_{PB}$	[Kč . g <sup>-1</sup> ]	náklady na gram zložky B plastovej hmoty
$N_{PL}$	[Kč . g <sup>-1</sup> ]	náklady na gram plnidla
$N_{SF}$	[Kč]	náklady na výrobu silikónovej formy
$N_{SP}$	[Kč]	náklady na kúpu sprejového plniča <i>MOTIP Filler</i>
$N_T$	[Kč]	náklady na tlač jedného modelu
$N_{ÚP}$	[Kč]	náklady na úpravu povrchu master modelu
$V_M$	[cm <sup>3</sup> ]	objem modelu vrátane podpôr
$m_{PA}$	[g]	hmotnosť použitej zložky A plastovej hmoty
$m_{PB}$	[g]	hmotnosť použitej zložky B plastovej hmoty
$m_{PL}$	[g]	hmotnosť plnidla
$m_S$	[g]	hmotnosť použitej silikónovej hmoty

**ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha 1: Silastic T-4 - Vysoce pevný silikonový tepelně odolný kaučuk

Príloha 2: Ebalta SG 2000 - Speciální pryskyřice

Príloha 3: Plniva pro pryskyřice



## PRÍLOHA 1



# SILASTIC® T-4

**Silikonový kaučuk – základní hmota a tužidlo T-4/T-4**

**Vysoce pevný silikonový tepelně odolný kaučuk**

### Použití:

Silastic T-4 je vysoce pevný silikonový kaučuk k výrobě forem pro prototypy a malé série. Byla vyrobena zejména pro rychlou výrobu prototypů.

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

### Vlastnosti:

- vynikající samoseparační vlastnosti
- vytvrzení je možno urychlit teplem
- velmi nepatrné smrštění a dobrá dimenzní odolnost
- Velmi tvrdý, ale flexibilní a tuhý
- Vhodný zejména pro použití při vyšších teplotách
- Dvě silikonová tužidla:
  - T-4 S (standard) nebo
  - T-4 O (olejové)

### Popis:

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky

### Informace pro zpracování

		Směs SILASTIC S	Hmota	Tužidlo
Barva		průsvitná	-	-
Poměr míchání	Hmot. díly	-	<b>100</b>	<b>10</b>
Viskozita	mPas	cca 35 000	cca 70 000	cca 300
Čas zpracování	minut	90	-	-
Vytvrzení při pokoj. teplotě	Hod.	8	-	-

### Vlastnosti

	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Tvrdost Shore	DIN 53505	Shore A	cca 40
Pevnost v tahu	EN ISO 527	MPa	6,7
Protahení	EN ISO 527	%	400
Odolnost proti přetržení	DIN ISO 34-1	kN/m	-
Hustota při 23°C	-	g/cm <sup>3</sup>	-
Lineární smrštění	Interní pokyny	%	<0,1

### **Zpracování a použití:**

Po smíchání s tužidlem v poměru 10:1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na transparentní (průhledný) kaučuk. Tužidlo T-4 O vyvolává "samomazný efekt", čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky:

- rychlé vytvrzení za 6-8 hodin při pokojové teplotě
- nízká viskozita - snadné míchání a odplynění
- dobré separační vlastnosti

Povrch originálu musí být čistý bez zbytků staré hmoty. Při porézním povrchu používáme separátor voskový, anebo PTFE sprej. Mícháme v poměru 100:10 v čisté nádobě, důkladně až k úplnému spojení obou složek. Mícháme ručně nebo pomocí míchadla, plynule v menších dávkách a dbáme, aby teplota během míchání nestoupla nad 35°C. Doporučujeme směs podrobit vakuování pro odstranění vzduchu (1 - 2 min.). Během vakuování nabude směs až 5-ti násobku výchozího stavu, s čímž je třeba počítat při volbě velikosti mísící nádoby. Když vakuování neprovádíme, nanese vlasovým štětcem malou vrstvu (1-2 mm). Po jejím vytvrzení pak pokračujeme dále.

Odléváme co nejdříve, abychom snížili možnost pohlcení vzduchu. Vytvrzení do stavu flexibilní gumy nastane při teplotě 22-24°C za 6-8 hodin, pak můžeme rozebírat. Zkrácení vytvrzovací doby dosáhneme ohřevem, ale jen za cenu větší smrštitivosti.

### **UPOZORNĚNÍ:**

Všechny elastomery vytvrzované tužidly, jsou při styku s určitými materiály náchylné k nedokonalému vytvrzení, to jest do 24 hod. Dojde jen k částečnému vytvrzení, anebo kontaktní plocha s druhým materiálem zůstává lepivá. Materiály, které obsahují aminy, organické sloučeniny cínu, nebo látky složené ze sloučenin kyselin, působí mimořádně silně proti vytvrzování. Proto doporučujeme přezkoušet míchací nádoby, formy, vlastní modely a separátory, zda nebrání vytvrzování.

### **Použití:**

Formy ze SILASTIC T-4 mají i při vysokých teplotách dlouhou životnost. Stálé používání nad 200°C však po delší době způsobuje snížení elasticity. Použití pro teploty nad 250°C se nedoporučuje.

Po úplném vytvrzení je SILASTIC T-4 velmi odolný chemikáliím. Dlouhodobý styk pryskyřicemi a dalšími agresivními hmotami může mít vliv na fyzikální vlastnosti, dělitelnost, eventuálně na přesnost rozměrů formy. Doporučuje se proto pravidelně rozměry forem přezkoušet.

### **Omezené ručení – prosím čtěte pozorně**

Údaje obsažené v tomto návodu byly zhotoveny dle nejlepšího svědomí na základě výzkumů provedených v Dow Corning. Protože D. C. nemůže ovlivnit způsoby použití a podmínky, za kterých se výrobky používají, je nutno provést testy, aby se zjistilo, že výrobky v ohledu na výkon, účinek a spolehlivost jsou vhodné pro určité použití zákazníkem. Návrhy na použití výrobků nejsou chápány jako pokus o porušení patentových práv. Dow Corning dává záruku pouze na to, že výrobky odpovídají v době dodání aktuálnímu popisu výrobku. Nároky na záruku a jím odpovídající povinnosti výrobce Dow Corning v případě uznání záruky se omezí na náhradní dodávku nebo vrácení kupní ceny daného produktu.

Dow Corning neručí za náhodné nebo následné škody.

## PRÍLOHA 2

### EBALTA

Kunststoff GmbH  
8803 Rothenburg  
ob der Tauber

### Speciální pryskyřice

pro slévárenské modely, jaderníky, mod.zař.  
tmely, plniva pomocné látky, voskové fol.  
separátory, bloky PU - umělé dřevo, a jiné

Jakostní rychletvrdnoucí  
velmi tekutá licí hmota  
se separátním plnivem

#### Všeobecně:

Ebalta SG 2000 je jakostní, téměř nepáchnoucí dvousložková polyuretanová licí hmota bez plniva, které lze při smíchání obou složek přidat.

Velká tekutost nám umožňuje vysoký stupeň plnění.

Druh plniva ovlivňuje vlastnosti a pevnost pryskyřice.

#### Doporučujeme následující plniva:

F - B / opracovatelné /  
F - A / otěruvzdorné /  
F - Alu  
a další

#### Vlastnosti

- \* vysoká pevnost
- \* dokonalé celkové vytvrzení
- \* velmi tekutá
- \* vysoký stupeň plnění
- \* tepelná odolnost a stálost

#### Použití

- \* slévárenské modely, jaderníky modelové plotny
- \* negativy všeho druhu
- \* pomocné formy
- \* prototypy, kontrolní odlitky
- \* vakuové hlubokotažné formy
- \* formy pro umělé hmoty

#### K upozornění:

Tyto údaje a doporučení byly sestaveny s největší starostlivostí na základě zkoušek a dlouholetých praktických zkušeností. Protože ale nelze kontrolovat zpracování spotřebitelem, nemůže být při různorodosti možností užití a pracovních metod převzata žádná záruka.

Zástupce pro ČR

679 07 Kotvrdovice 277 \* tel.: 516 443 572, fax: 516 443 573

## ebalta SG 2000/2000L

### Technický návod

+-----+   <u>Vlastnosti a údaje:</u> /bez plniva !!!/     Barva pryskyřice komp.A : bílá     tužidlo komp.B : světle žlutá     Viskozita směsi mPas : 40 - 60     Hustota směsi kg/dm <sup>3</sup> : 1,10     Tvrdost Shore D při 20°C: 70 - 75     Pevnost v tlaku N/mm <sup>2</sup> : 55 - 60     Pevnost v tahu N/mm <sup>2</sup> : 40 - 45     Pevnost v ohybu N/mm <sup>2</sup> : 70 - 75     E - modul /ohyb/ N/mm <sup>2</sup> : 1300 - 1500     Rázová houžev. KJ/mm <sup>2</sup> : 24 - 27     Tepelná odolnost bez plniva : 60-70 °C     Tepelná odolnost s plnivem : 90-100°C   +-----+   <u>Podmínky pro použití:</u>   +-----+   Poměr: 100 hm.dílů pryskyřice komp.A     100 hm.dílů tužidla komp.B   +-----+   Doba zprac. 200 g při 20°C:     SG 2000S SG 2000 SG 2000 L     3-4 min. 3 min. 7-8 min.   +-----+   Vytvrzení/vyjmutí z formy/:     SG 2000S SG 2000 SG 2000 L     15-30 min. 30-60 min. 60-90 min.   +-----+   Skladovací schopnost     v uzavřeném stavu min. : 1/2 roku     Pryskyřici před každým použitím dobře     zamíchat.     Po každém použití hned uzavřít obal.   +-----+   <u>Balení:</u>     pryskyřice: 1 kg; 5 kg; 25 kg; 50 kg     tužidlo : 1 kg; 5 kg; 25 kg; 50 kg   +-----+   plnivo F-A, F-B, F-Alu   +-----+ +-----+		
---	--	--

## PRÍLOHA 3

### Plniva pro pryskyřice:

**OTĚRUVZDORNÉ PLNIVO F - A :** barva: světle šedá  
balení: 25 kg

- Velmi otěruvzdorné, jemně mleté plnivo.
- Možnost max.množství plniva : až do 2,5 násobku hmotnosti obou komponent  
př.: 5 kg pryskyřice + 5 kg tužidla + max 25 kg plniva F - A.

**OBROBITELNÉ PLNIVO F - B :** barva: bílá  
balení: 25 kg

- Dobře opracovatelné, minimální smrštění, lehce mísitelné.
- Možnost maximálního přídatku : až do 2,0 násobku hmotnosti obou komponent  
př.: 5 kg pryskyřice + 5 kg tužidla + max 20 kg plniva F - B.  
hustota 1,25 kg/dm<sup>3</sup>

**HLINÍKOVÉ PLNIVO F - Alu:** barva: stříbřitá  
balení: 25 kg

- Velmi jemné plnivo, výborná obrobitelnost, výborná brousitelnost a lešti-  
telnost, lehká smíchateľnost s tužidlem a pryskyřicí.
- Výhodné pro mateční modely a pro modely, kde je nutné počítat s možnými  
změnami- prototypy, design atd.
- výborná tepelná vodivost, vhodné pro mod. zařízení pracujících při teplotě  
do 80-90°C/vyhříváné modelové desky atd./
- Možnost maximálního přídatku : až do 1,75 násobku hmotnosti obou komponent.  
př.: 5 kg pryskyřice + 5 kg tužidla + 17,5 kg plniva F-Alu.

**ŽELEZNÉ PLNIVO F - Eisen:** barva: černá  
balení: 40 kg

- Velmi malé smrštění, pro tlustostěnné modely a mod. zařízení, vyšší mech.  
vlastnosti, při max. obsahu plniva se dosáhne velmi příznivá cena mod.z.
- Možnost maximálního přídatku : až do 4,0 násobku hmotnosti obou komponent.  
př.: 5 kg pryskyřice + 5 kg tužidla + max. 40 kg plniva F - Eisen.

Zástupce pro ČR a SR  
679 07 Kotvrdovice 277 \* tel. 516 443572, fax 516 443573