



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VYUŽITÍ ADITIVNÍ TECHNOLOGIE PRO VÝROBU VZORKU SOUČÁSTI

THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING  
COMPONENTS OF THE SAMPLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ELIŠKA VRBICKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/15

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Eliška Vrbická

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

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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:

### **Využití aditivní technologie pro výrobu vzorku součásti**

v anglickém jazyce:

#### **The Use of Additive Technology for Manufacturing Components of the Sample**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Možnosti aditivní technologie.
2. Rozbor vyráběného předmětu.
3. 3D konstrukce předmětu.
4. Vygenerování dat pro 3D tisk.
5. Provedení 3D tisku.
6. Zhodnocení vyrobeného vzorku.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Profesionální využití 3D softwarových produktů ve spojení s 3D tiskem. Realizace 3D tisku a další možnosti využití vyrobeného vzorku dle záměru autorky.

Seznam odborné literatury:

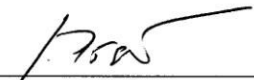
1. GIBSON, Ian, David W. ROSEN and Brent STUCKER. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2010. P. 459. ISBN 14-419-1120-0.
2. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. Základy konstruování. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. ISBN 80-7204-405-2.
3. FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.
4. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 272 s. ISBN 80-214-3068-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 21.11.2014



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan

## ABSTRAKT

Práce se zabývá využitím aditivní technologie pro výrobu vzorku součásti. Jedná se především o použití metody Fused Deposition Modeling (FDM). Jelikož při výrobě byla použita 3D tiskárna založená na tomto principu. Vyráběným předmětem podle vlastního návrhu byl přívěsek ve tvaru květu. Model byl vytvořen v programu SolidWorks 2013. Tento model se dále zpracoval v programu CatalystEX, čímž vznikla data pro tiskárnu Dimension uPrint. Po skončení tisku a po rozpuštění podpor byly odstraněny nedokonalosti tisku. Takto dokončený předmět lze použít jako ozdobu.

### Klíčová slova

aditivní technologie, rapid prototyping, SolidWorks, CatalystEX, 3D tisk

## ABSTRACT

Thesis deals with the use of additive manufacturing technologies for the production of sample components. These are mainly using method Fused Deposition Modeling (FDM). The production was used to 3D printer for based on this principle. Manufactured subject has own design of pendant, this pendant has shape of blooming flower with leaf. The model was created in SolidWorks 2013. This model is further elaborated in the program CatalystEX. Thus originated data for the printer Dimension uPrint. Once printing is complete and upon dissolution the of aid were removed imperfections printing. Thus-to-terminated object can be used as a garnish.

### Key words

additive technology, rapid prototyping, SolidWorks, CatalystEX, 3D print

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRBICKÁ, E. *Využití aditivní technologie pro výrobu vzorku součásti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 44 s. Vedoucí práce bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Využití aditivní technologie pro výrobu vzorku součástí** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
Eliška Vrbická

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala doc. Ing. Josefu Sedlákovu, Ph.D. za rady a informace k 3D tisku.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 MOŽNOSTI ADITIVNÍ TECHNOLOGIE.....	10
1.1 Používané metody.....	10
1.1.1 Stereolitografie (SLA) .....	11
1.1.2 Solid Ground Cutting (SGC) .....	11
1.1.3 Selective Laser Sintering (SLS).....	12
1.1.4 Direct Metal Laser Sintering (DMLS).....	13
1.1.5 Laminated Object Manufacturing (LOM) .....	14
1.1.6 Fused Deposition Modeling (FDM) .....	14
1.2 Principy využití při výrobě předmětu .....	15
2 ROZBOR VYRÁBĚNÉHO PŘEDMĚTU .....	16
2.1 Design .....	16
2.2 Účel.....	16
3 3D KONSTRUKCE PŘEDMĚTU .....	17
3.1 SolidWorks .....	17
3.2 Postup modelování.....	18
4 VYGENEROVÁNÍ DAT PRO 3D TISK.....	24
4.1 Převedení 3D modelu do STL formátu.....	24
4.1.1 Postup převodu v programu SolidWorks .....	24
4.2 Zpracování STL formátu .....	27
4.2.1 Záložka General .....	28
4.2.2 Záložka Orientation .....	29
4.2.3 Záložka Pack.....	31
4.2.4 Záložka Printer Status .....	31
4.3 Nastavené parametry pro tisk .....	32
5 PROVEDENÍ 3D TISKU .....	33
5.1 Technická data tiskárny .....	33
5.2 Průběh tisku .....	33
6 ZHODNOCENÍ VYROBENÉHO VZORKU .....	36
6.1 Informace o průběhu tisku .....	36

6.2 Kvalita tisku .....	36
7 DISKUZE .....	37
ZÁVĚR .....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	42

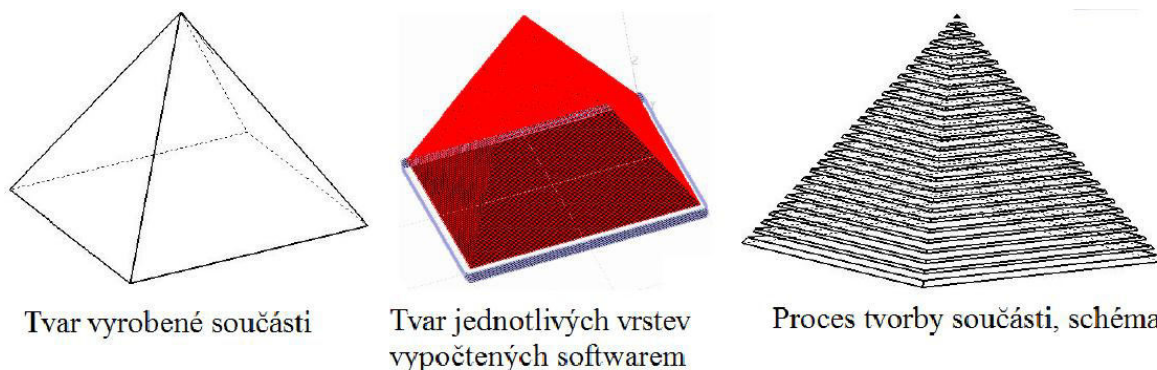
## ÚVOD

U každého výrobku je vždy snaha začít s jeho výrobou co nejrychleji a nejlevněji, díky tomu se začala rozvíjet aditivní technologie. Aditivní technologie umožňuje vytvořit fyzicky součást dle modelu. Takto vyrobená součást ulehčuje návrh a její pozdější vývoj. Dokáže se odhalit výrobní úskalí a nedostatky pro pozdější operace výroby, čímž se celý proces značně urychlí a zlevní. Proto se začal vyvíjet i tzv. 3D tisk. Léta byl 3D tisk pro veřejnost v podstatě neznámý hlavně díky vysoké ceně samotného zařízení a také kvůli složitému použití (u některých metod tisku vznikají jedovaté látky).

S postupujícím vývojem a zvýšením užívání, klesla cena a došlo k zpřístupnění této technologie, čímž se 3D tisku začalo dostávat velké oblíbenosti až už v průmyslu nebo u soukromých osob.

## 1 MOŽNOSTI ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

Aditivní technologie označuje proces, při němž výrobek vzniká postupným nanášením tenkých vrstev materiálu [1]. Tento postup je zobrazen na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Princip aditivní technologie [2].

Tuto technologii využívá rapid prototyping, který vznikl jako rychlá výroba prototypů součástí. V současné době se této technologii využívá ke tvorbě modelů, z nichž se lépe určí celkový vzhled a tvar, dále lze vyrobit i funkční části. Tímto způsobem je možné objevit nedostatky výrobku a odstranit je před zahájením výroby, čímž se ušetří náklady na výrobu [1, 4, 6].

Z těchto technologií se vyvinul 3D tisk. Základem pro tisk je 3D model, který lze buď vy-modelovat v některém z CAD programů, nebo se hotová součást naskenuje (reverzní inženýrství) [1, 3].

Aditivní technologie používá mnoho druhů materiálů, jako jsou keramika, kovy a jejich slitiny, fotopolymery, nylon, polystyren, plast, vosk, papír a mnoho dalších. Pro každý druh materiálu je třeba trochu jiné výrobní zařízení, jež se bude lišit využitým principem tvorby modelu.

### 1.1 Používané metody

Dnes existuje několik různých metod 3D tisku, lišících se typem a způsobem nanášení materiálu, přesností výroby a velikostí pracovního prostoru. Metoda se volí podle požadavků na vytisknutý výrobek, jelikož každý výrobek je limitován svým materiálem [4].

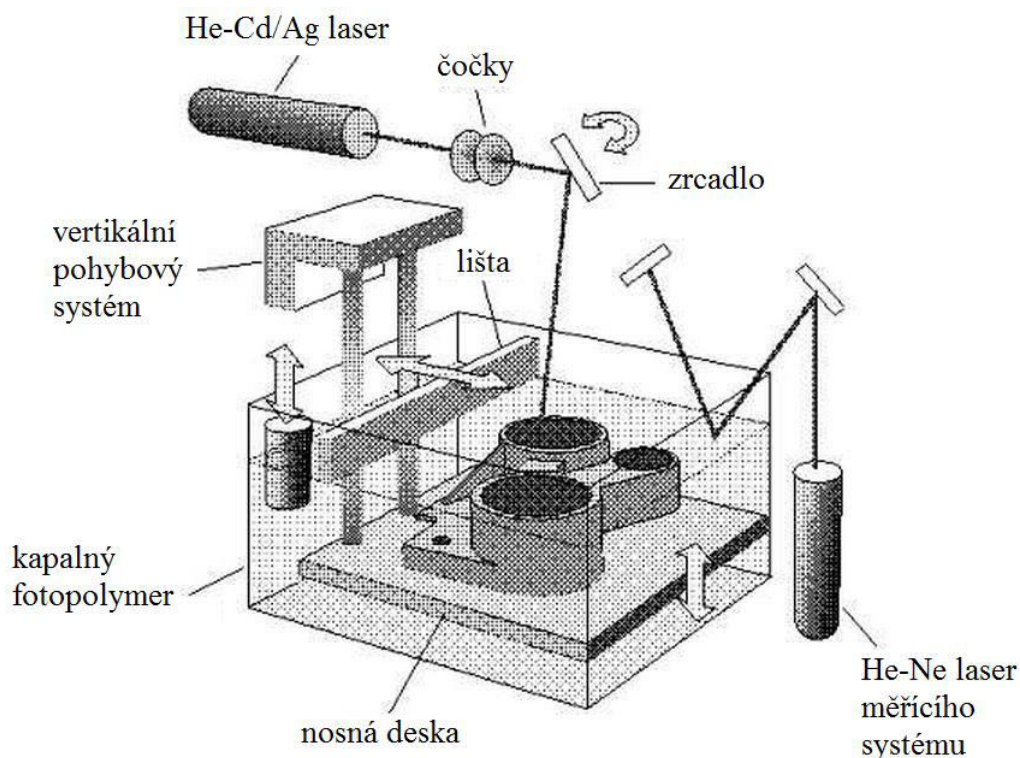
Metody na bázi fotopolymerů většinou využívají nádobu s kapalnou pryskyřicí. Pod hladinou dochází k vytvrzení vrstvy. Po jejím dokončení se materiál posune o určitou vzdálenost a dojde k vytvrzení další vrstvy. Po dokončení modelu se zbytek pryskyřice odvede a lze přejít k další operaci [3].

Metody na bázi práškových materiálů používá jako materiál jemný prášek (např. kovové prášky). Prášek se natavením spojí [3].

Metody na bázi tuhých materiálů používají k tvorbě modelu pevný materiál (např. plast, papír). Při jehož spojení se využívá lepidla nebo se materiál rozehřívá.

### 1.1.1 Stereolitografie (SLA)

Metodou stereolitografie se model vytváří postupným vytvrzováním fotopolymeru (pryskyřice citlivá na světlo) pomocí UV laseru. Tloušťka vrstvy se pohybuje mezi 0,05 až 0,15mm. O tuto vzdálenost se vždy posune nosná deska, na které je model vytvářen [1, 3, 5]. Princip lze vidět na obr. 1.2.



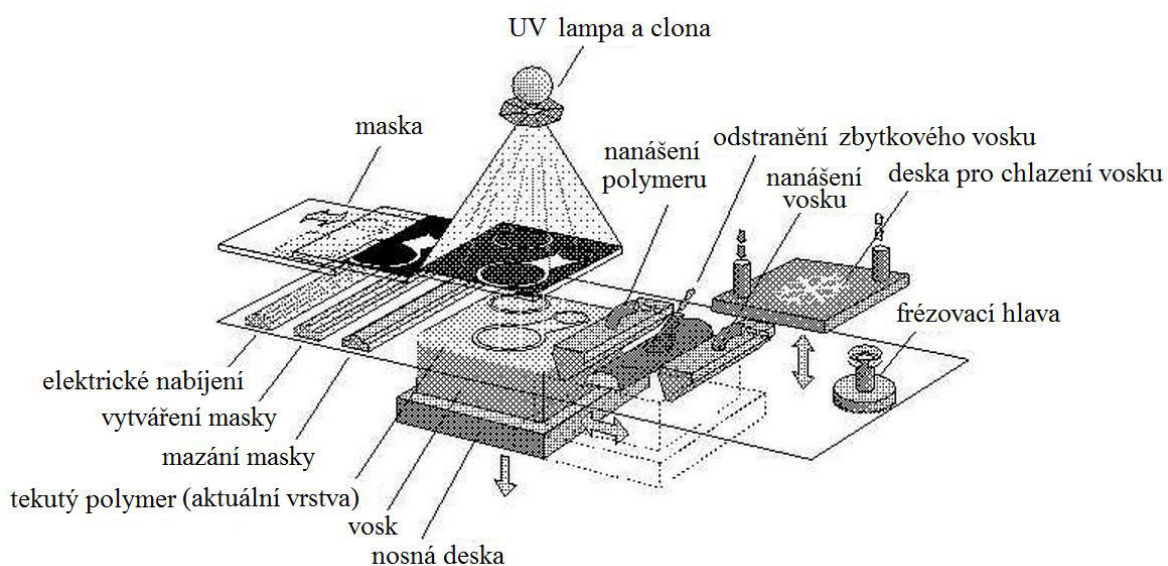
Obr. 1.2 Princip metody SLA [5].

Jedná se o velmi přesnou metodu. Což umožňuje vytvářet modely s milimetrovými otvory a miniaturními prvky. Toho lze v kombinaci s velkým množstvím použitelných materiálů využít při výrobě forem pro vstřikování a lití. Tímto způsobem lze vyrábět i velké modely [1, 3, 5].

### 1.1.2 Solid Ground Cutting (SGC)

Na masce (nejčastěji skleněné destičce) se vytváří vrstva z fotocitlivého polymeru. Tato vrstva má již konečný tvar a celá se naráz vytvrzuje ultrafialovým světlem. Neztuhlý polymer se odsaje. Na jeho místo se nanese vosk. Vzniklá vrstva vosku se frézováním upraví na požadovanou tloušťku a nanese se další polymer. Po skončení procesu se vosk odstraní, nejčastěji chemicky (kyselinou citrónovou). Postup viz obr. 1.3 [5].

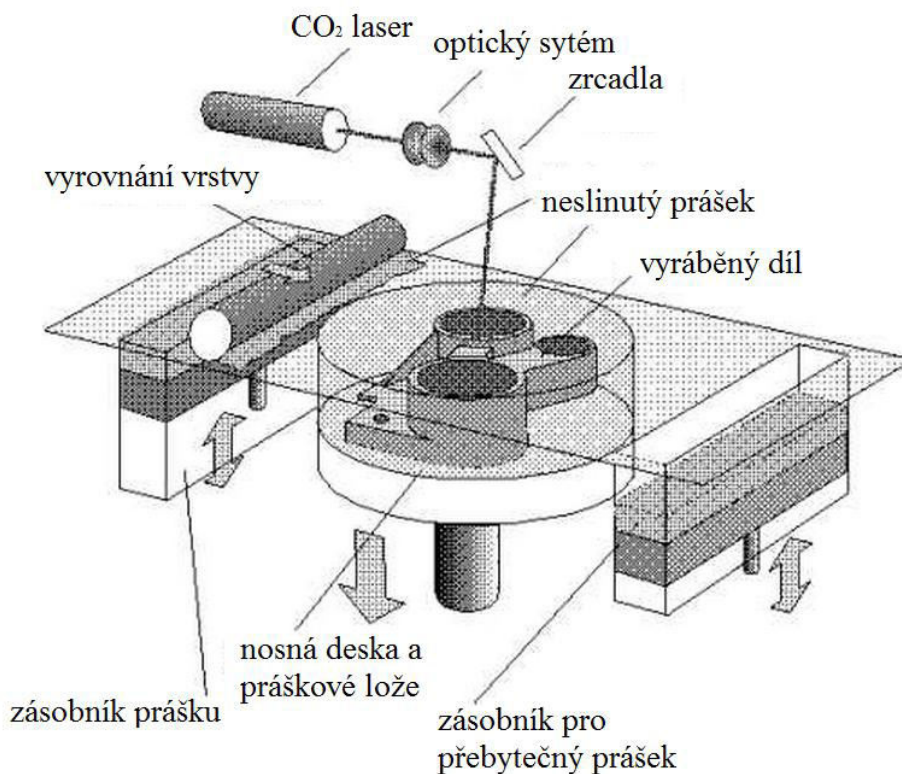
SGC metody se využívá při ověření designu, funkce a smontovatelnosti [3].



Obr. 1.3 Princip metody SGC [5].

### 1.1.3 Selective Laser Sintering (SLS)

Jedná se o spékání materiálu ve formě prášku laserem v inertní atmosféře (dusík, argon). Po skončení vrstvy se nosná deska posune o šířku vrstvy a nanese se další prášek (obr. 1.4). Nespečený prášek slouží jako podpora pro další vrstvy [5, 6].



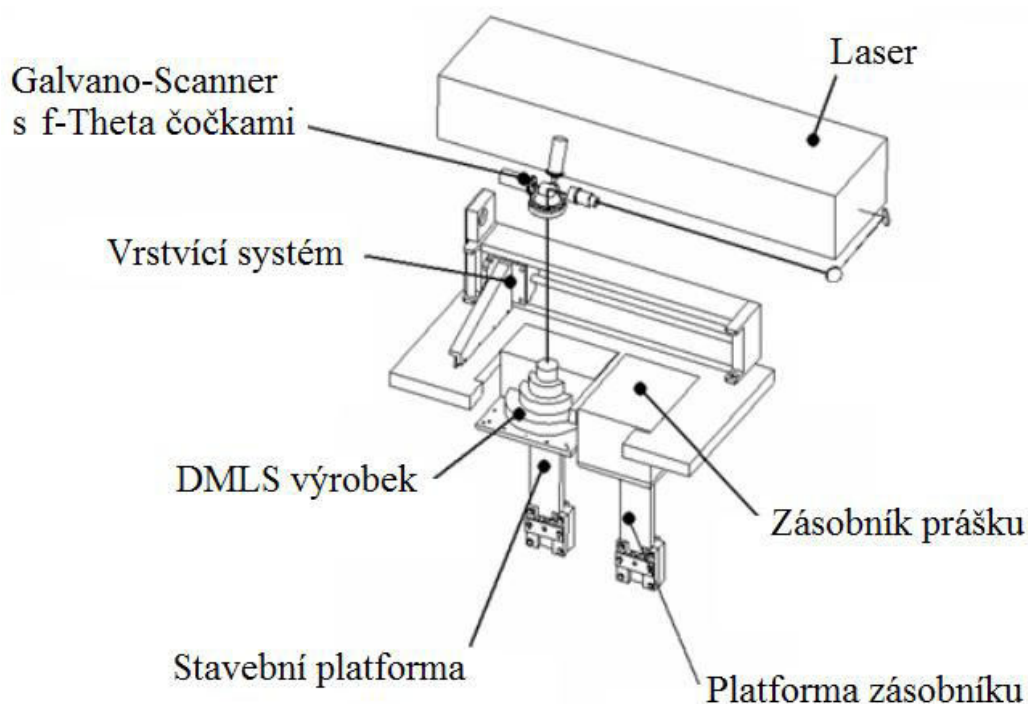
Obr. 1.4 Princip metody SLS [5].

Na prášek lze použít jakýkoliv materiál, který se při vystavení teple roztaví nebo změkne. Jedná se např. o termoplastické materiály (lze je opakovaně tavit) jako jsou polyamid, polyamid plněný skelnými vlákny, polykarbonát, polystyrén dále nízko tavitelné slitiny niklových bronzů. A však každý materiál vyžaduje jiné podmínky pro vytvrzení [5, 6].

Podle použitého materiálu se tato metoda dá dále dělit na Laser Sintering - Plastic, Laser Sintering - Metal, Laser Sintering - Foundry Sand, Laser Sintering - Ceramic [5].

#### 1.1.4 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Tato technologie používá postupné spékání velmi jemných vrstev (minimálně 20 $\mu$ m) kovového prášku pomocí laserového paprsku. Prášek se taví pouze v konturách řezu. Nezbytné je udržet díl ve stejné poloze během celé tvorby. Toho se docílí pomocí podpůrné struktury, která je ukotvena v základní ocelové platformě a je vytvářena během celého postupu vrstvu po vrstvě společně s výrobkem [3, 7, 8]. Princip viz obr. 1.5.



Obr. 1.5 Princip metody DMLS [7].

Pro dokončení procesu je nutno odstranit podpůrné struktury, poté lze výrobek tryskat, brousit, leštit nebo obrobit jako klasický kovový materiál.

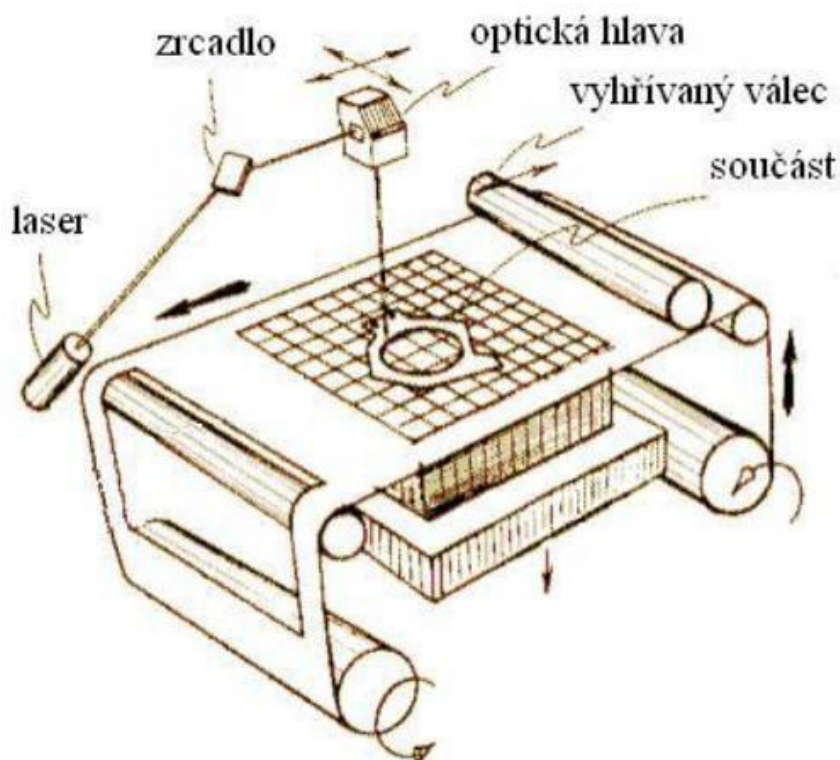
Nespotřebovaný prášek je z 98% znova využíván pro výrobu. Výhody procesu rostou s tvarovou složitostí dílů – čím je geometrie výrobku složitější, co do tvaru a četnosti výskytu detailních prvků, tím je technologie DMLS ekonomicky efektivnější [7, 8].

Používané materiály: martenzitická ocel 1.2709 (EOS MS 1), korozivzdorná ocel (EOS SS 17-4), kobalt Chrom (EOS CC MP1), titan (EOS Ti 64 / Ti64ELI) [7].

### 1.1.5 Laminated Object Manufacturing (LOM)

U této metody se pro tvorbu jednotlivých vrstev využívá folie, která je z jedné strany opatřena přílnavým nátěrem (polyetylenem). Folie mohou být tvořeny papírem, plasty nebo keramikou [3, 9].

Folie se navine přes celý pracovní prostor, poté je přitlačena vyhřívaným válcem. Tím se nová vrstva přilepí k předchozí. Laser vyřízne požadovaný tvar a přebytečný materiál rozřeže na čtverce, díky čemuž se po dokončení bude snáz odstraňovat. Dále dojde k posunu pracovní desky o tloušťku další folie dolů. A celý postup se opakuje (obr. 1.6) [3, 5, 10].



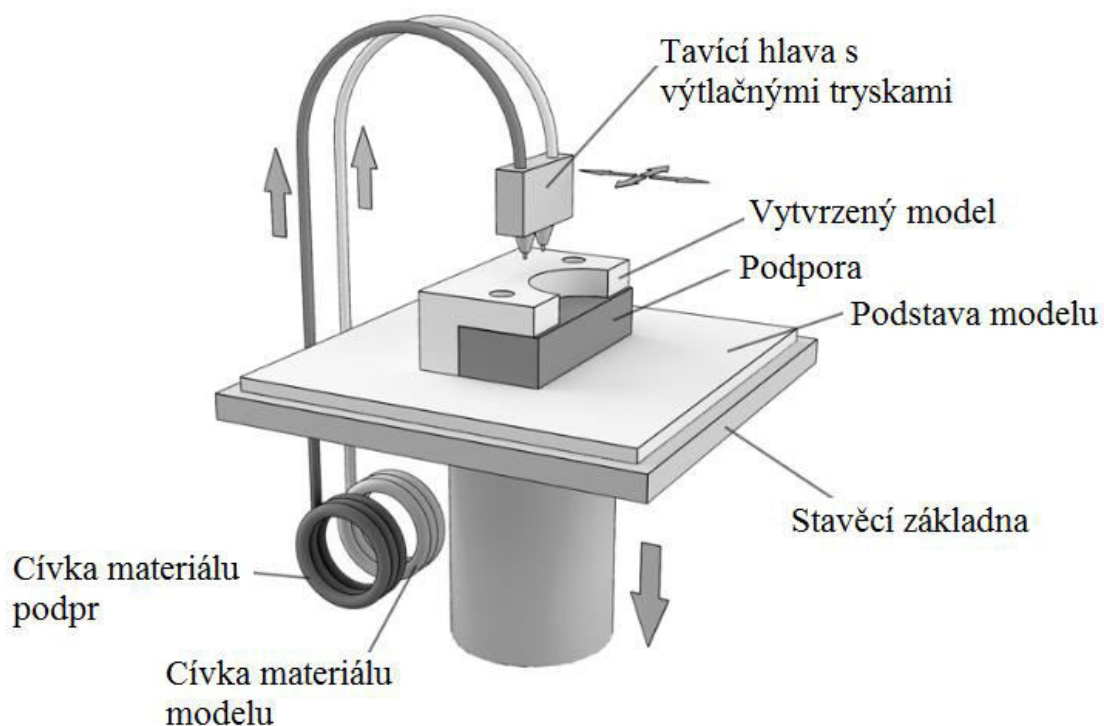
Obr. 1.6 Princip metody LOM [9].

Vytvořená součást má vlastnosti podobné dřevu. K dosažení hladkého povrchu je nutné součástku ručně opracovat. Takto lze vytvořit velké modely. Ale vzniká velké množství odpadu [5].

### 1.1.6 Fused Deposition Modeling (FDM)

Používá se materiál ve tvaru struny, navinutý na cívku. Materiál se z cívky odvíjí kladkami do tavné hlavy, kde se ohřívá na teplotu o  $1^\circ$  vyšší, než je teplota tavení. Ohřátý materiál je tryskami v podobě tenkých vláken nanášen po celé ploše vytvářeného předmětu. Při styku s povrchem již naneseného materiálu se vlákna vzájemně spojují a vytvoří tak požadovanou vrstvu, která okamžitě tuhne. Podložka se po nanesení vrstvy sníží o tloušťku další vrstvy (obr. 1.7). V místě, kde by materiál musel viset ve vzduchu, se vytvoří podpora. Po dokončení se podpory odstraní. Když je použit pouze jeden materiál, musí se podpory odstranit mechanicky (ulámat), ale pokud jsou při tvorbě použity dva materiály (stavěcí

a materiál podpor), podpory se rozpustí ve speciální lázni (jedná se o chemické odstranění) [3, 10, 12, 14].



Obr. 1.7 Princip FDM [11].

Zařízení pracující na principu této metody lze používat v běžném kancelářském prostředí. Technologii FMD používá většina tzv. 3D tiskáren [14].

Na prototypových součástech vytvořených touto metodou se zkouší funkčnost a design nových výrobků. Používají se netoxické materiály, jako jsou ABS, ABS plus, vosk, polycarbonát a další [3, 12].

## 1.2 Principy využití při výrobě předmětu

3D tiskárna pracující na principu metody FDM, byla použita, protože některé tvary na modelu jsou pro jiný způsob výroby velmi složité nebo nevyrobitelné.

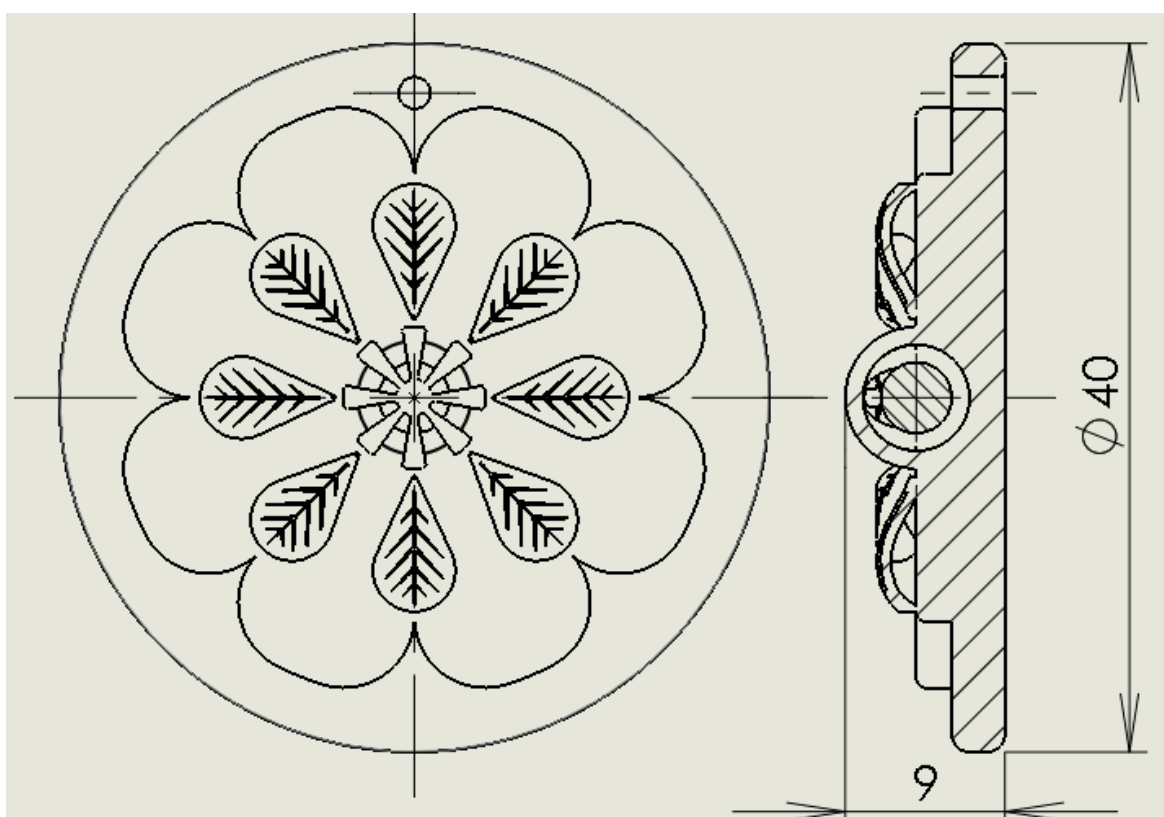
Princip metody FDM je již popsán výše (viz kapitola 1.1.6). Použitá tiskárna je schopná tisknout dvěma materiály, což umožňuje vytisknout duté tvary. Materiál používaný u této tiskárny je ABS plast.

## 2 ROZBOR VYRÁBĚNÉHO PŘEDMĚTU

### 2.1 Design

Vyráběný předmět se podobá květu rostliny. Květ se skládá ze základní kruhové destičky, na kterou je umístěno osm lupínek, jež vytváří osmilístek. Na osmilístku je okolo středové klíčky rovnoměrně rozmístěno osm okvětních lupínek s typickým žilkováním. V klíčce je uložena kulička menšího průměru, než je vnitřní průměr klíčky, čímž kulička získává možnost pohybu.

Celý předmět je tvořen dvěma samostatnými částmi, jak je vidět na obr. 2.1, jedná se o květ se základem a kuličku ve středu květu.



Obr. 2.1 Vyráběný předmět.

### 2.2 Účel

Tento předmět slouží pro dekorativní účel a to hlavně jako přívěšek. Z tohoto důvodu je v základní destičce vytvořen otvor, který slouží k přidělení šňůrky pro pověšení. Podle toho také byly zvoleny rozměry (obr. 2.1).

### 3 3D KONSTRUKCE PŘEDMĚTU

K vytvoření 3D modelu byl využit modelovací program SolidWorks 2013.

#### 3.1 SolidWorks

Základní funkce:

- 3D modelování,
- tvorba výkresové dokumentace,
- skládání sestav z jednotlivých dílů,
- simulace napětí a deformací,
- kontrola kolizí v pohybových mechanismech.

SolidWorks umožňuje plošné a objemové modelování, práci s plechovými díly a svařovanými konstrukcemi.

Mezi základní prvky objemového modelování patří přidání vysunutím, odebrání vysunutím, přidání rotací, odebrání rotací, přidání tažením po křivce, odebrání tažením po křivce, přidání spojením profilů, odebrání spojením profilů, zrcadlení, lineární a kruhové pole, zaoblení a zkosení.

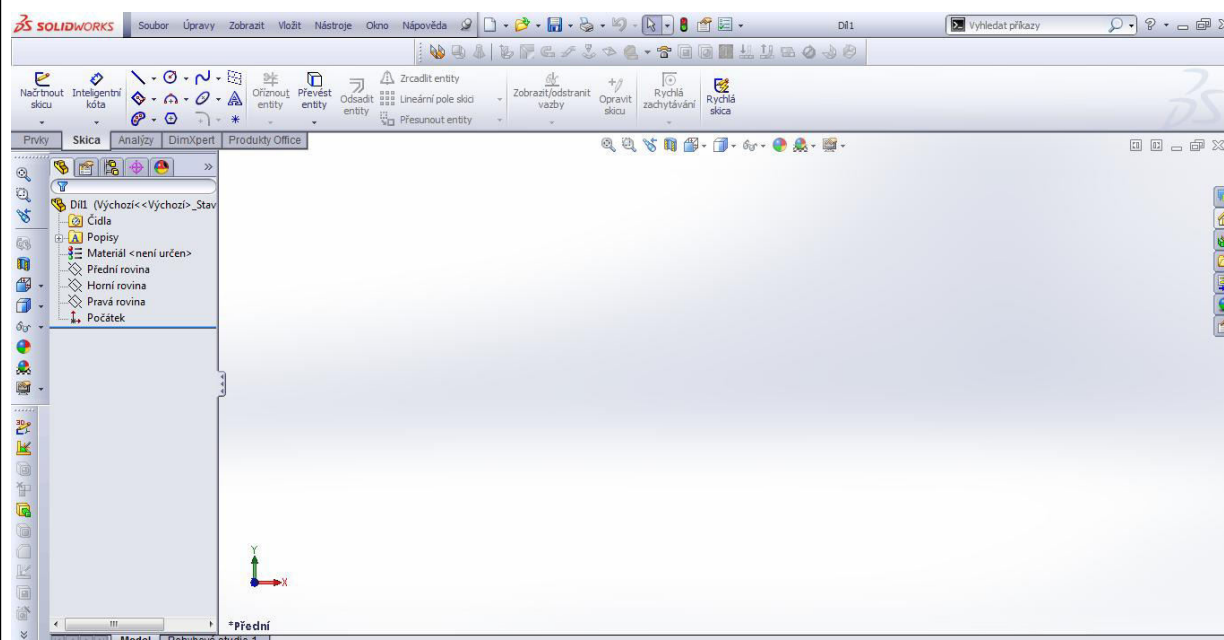
Mezi základními prvky plošného modeláře se nachází vysunutí, rotování, tažení po křivce, spojení profilů, zaoblení, odsazení, záplata, prodloužení, oříznutí, doplnění a sešití.

Každý model začíná v jedné ze tří základních rovin (přední, zadní a horní). Další skici lze konstruovat na již vytvořených plochách nebo na referenčních rovinách. Každá skica může být použita pro konkrétní prvek objemového nebo plošného modeláře. Skica může být také sdílena pro více prvků. SolidWorks podporuje mnoho formátů (obr. 3.1) [13].

Díl (\*.prt;\*.sldprt)  
Lib Feat Part (\*.sldlfp)  
Part Templates (\*.prtdot)  
Form Tool (\*.sldftp)  
Parasolid (\*.x\_t)  
Parasolid Binary (\*.x\_b)  
IGES (\*.igs)  
STEP AP203 (\*.step;\*.stp)  
STEP AP214 (\*.step;\*.stp)  
IFC 2x3 (\*.ifc)  
ACIS (\*.sat)  
VDAFS (\*.vda)  
VRML (\*.wrl)  
STL (\*.stl)  
eDrawings (\*.eprt)  
Adobe Portable Document Format (\*.pdf)  
Universal 3D (\*.u3d)  
3D XML (\*.3dxml)  
Adobe Photoshop Files (\*.psd)  
Adobe Illustrator Files (\*.ai)  
Microsoft XAML (\*.xaml)  
CATIA Graphics (\*.cgr)  
ProE/Creo Part (\*.prt)  
JPEG (\*.jpg)  
HCG (\*.hcg)  
HOOPS HSF (\*.hsf)  
Dxf (\*.dxf)  
Dwg (\*.dwg)

Obr. 3.1 Podporované formáty.

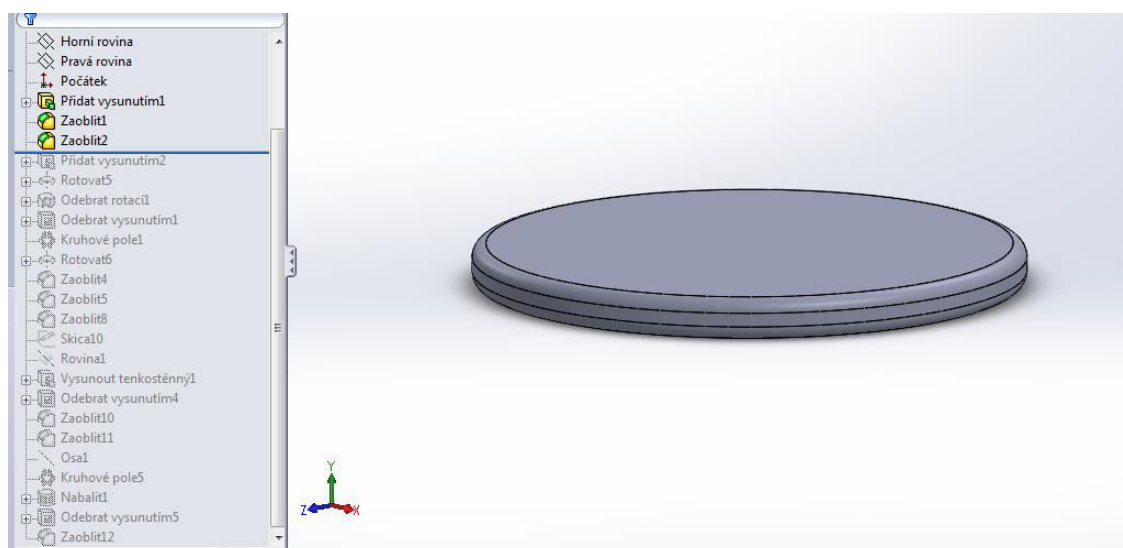
Pracovní prostředí lze vidět na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Pracovní prostředí SolidWorks 2013.

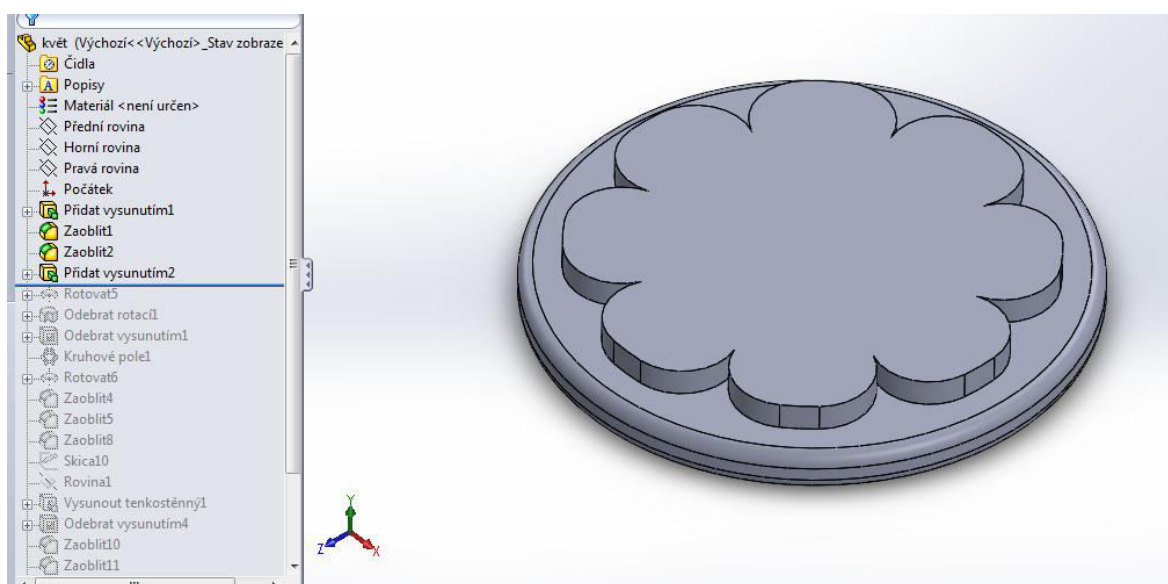
### 3.2 Postup modelování

Jako první se z kruhové skici pomocí příkazu přidat vysunutím vytvořila tenká destička, které se zaoblily hrany (obr. 3.2).



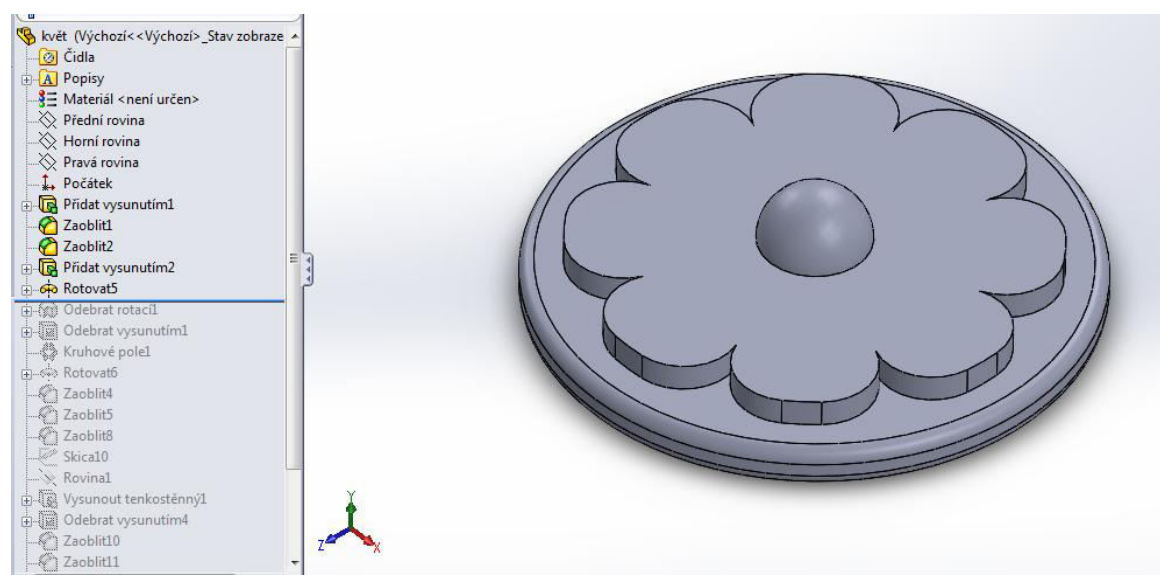
Obr. 3.2 Základ.

Na jedné straně této destičky se nakreslila skica osmilítku. Osmilístek se vytvořil tak, že byl nakreslen jeden lístek, který byl poté kruhovým polem zkopírován. Příkazem přidat vysunutím se z této skici vytvořila další část modelu (obr. 3.3).



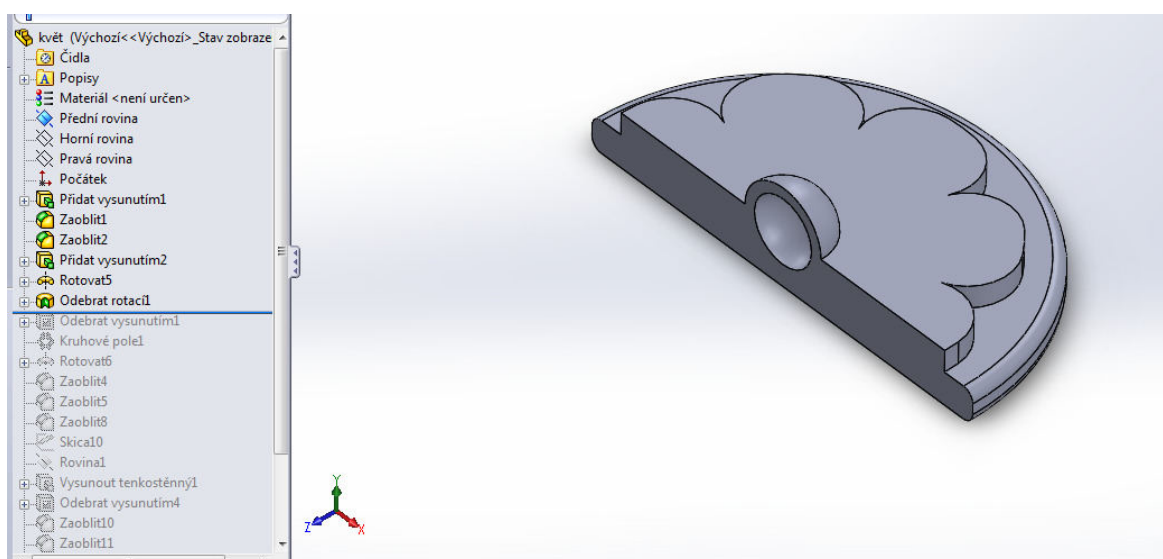
Obr. 3.3 Osmilístek.

Na osmilíستku se v jeho středu načrtla půlkružnice, ze které se příkazem rotovat  $180^\circ$  vytvořila polokoule (obr. 3.4).



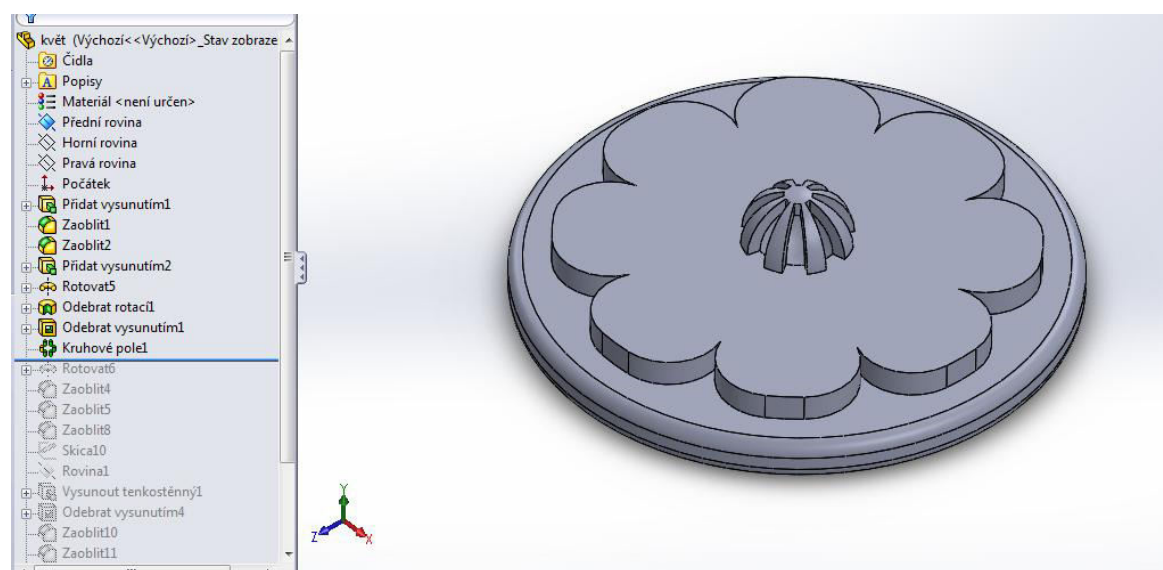
Obr. 3.4 Polokoule.

V dalším kroku se opět načrtla ve středu plochy na osmilíستku půlkružnice, ale tentokrát menšího průměru. Příkazem odebrat rotací vznikla z této půlkružnice v modelu dutina kulového tvaru (obr. 3.5).



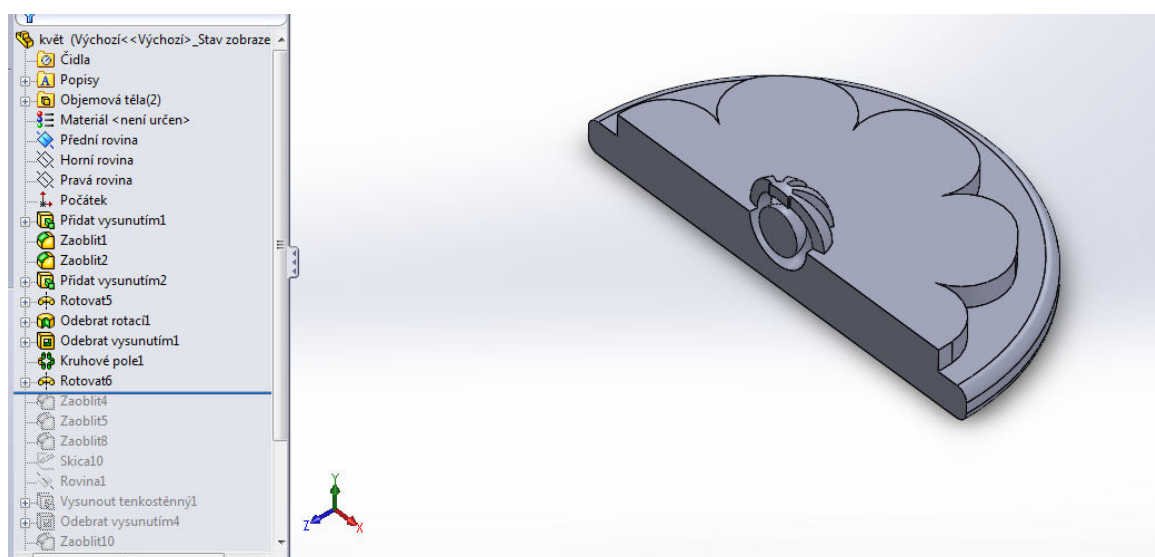
Obr. 3.5 Dutina.

Ze skořepiny, která vznikla mezi přidanou a odebranou půlkružnicí, se příkazem odebrat vysunutím odstranily výseče. Čímž vznikla klec (obr. 3.6), která bude držet uvnitř kuličku (obr. 3.7).



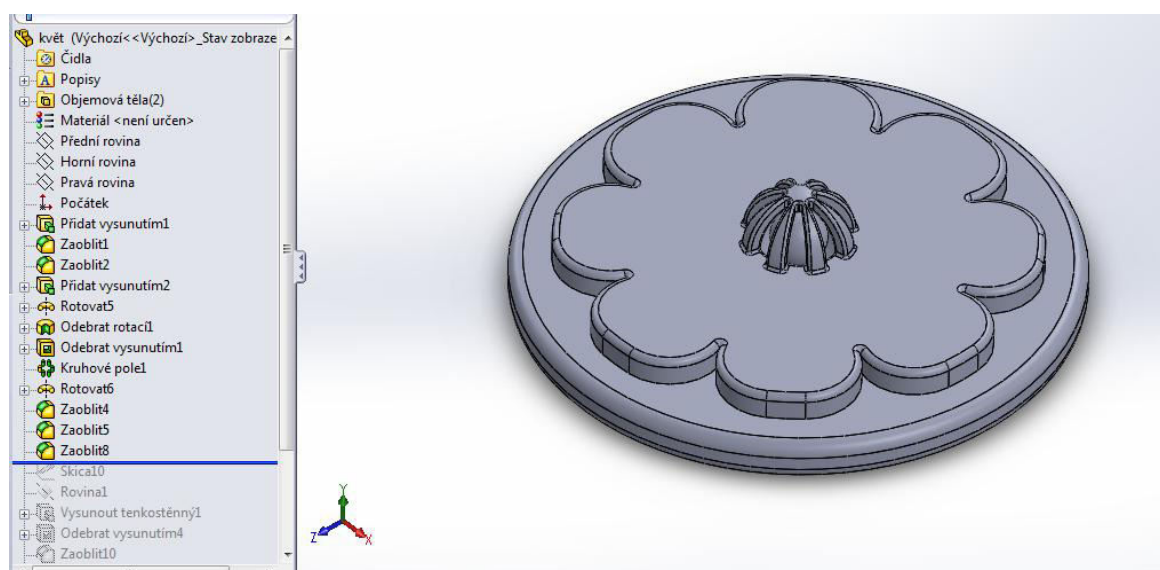
Obr. 3.6 Klec.

Kulička byla vytvořena příkazem rotovat ze skici, kterou tvořila půlkružnice nakreslená na ploše osmilítku v jeho středu.



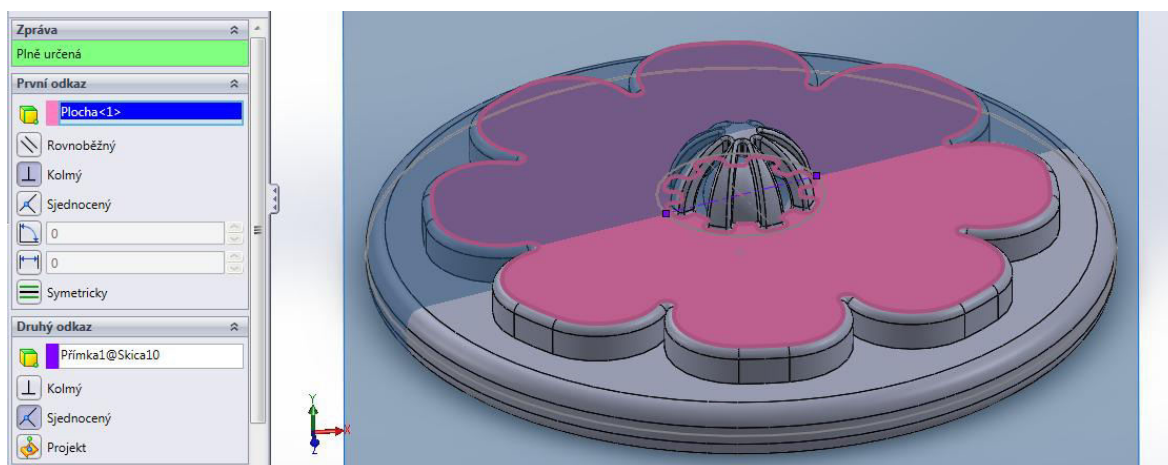
Obr. 3.7 Kulička.

Jako další následovalo zaoblení všech hran (obr. 3.8).

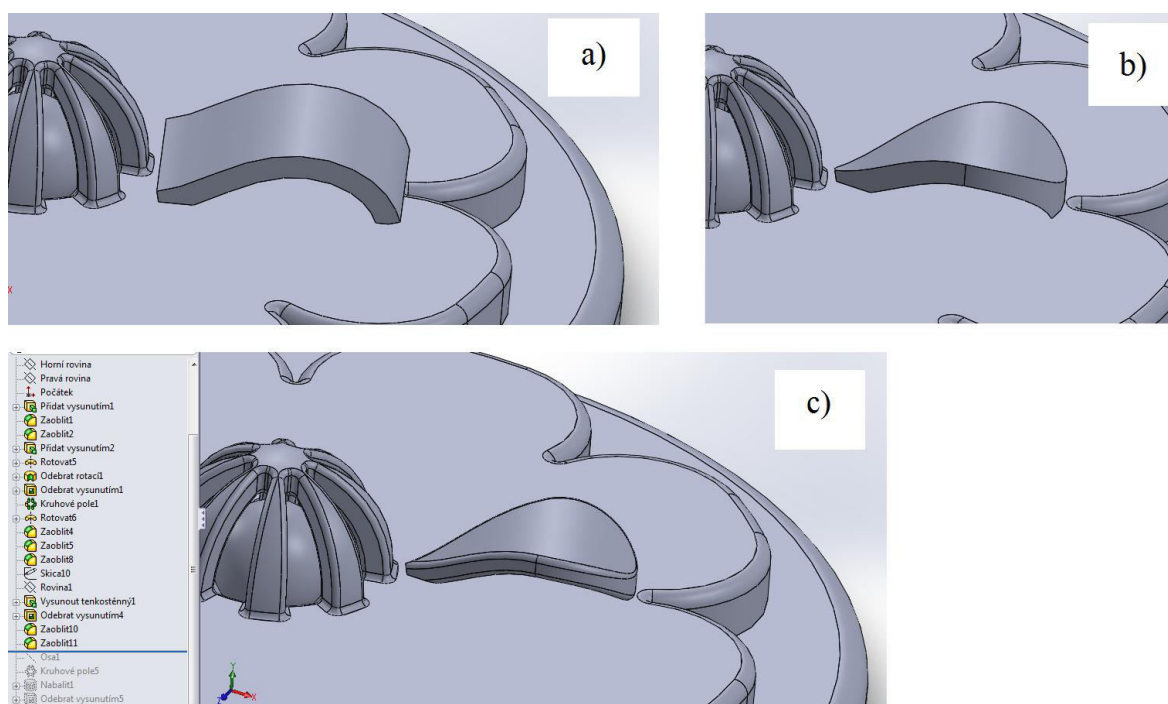


Obr. 3.8 Zaoblení.

Dalším krokem modelování byla tvorba okvětních lupínek. Bylo třeba vytvořit novou referenční rovinu kolmou k ploše základní kruhové destičky a procházející středem modelu (obr. 3.9). Na této rovině se s použitím splajnu nakreslila křivka kopírující profil lupínku. Z této skici se příkazem vysunout tenkostěnný prvek získal tvar obdélníkového půdorysu s požadovaným profilem lupínku (obr. 3.10 a)). Skicou nakreslenou na ploše osmilítku byl tento obdélník pomocí odebrání vysunutí oříznut na tvar lupínku (obr. 3.10 b)). Následovalo zaoblení hran (obr. 3.10 c)).



Obr. 3.9 Rovina pro skicu lupínku.

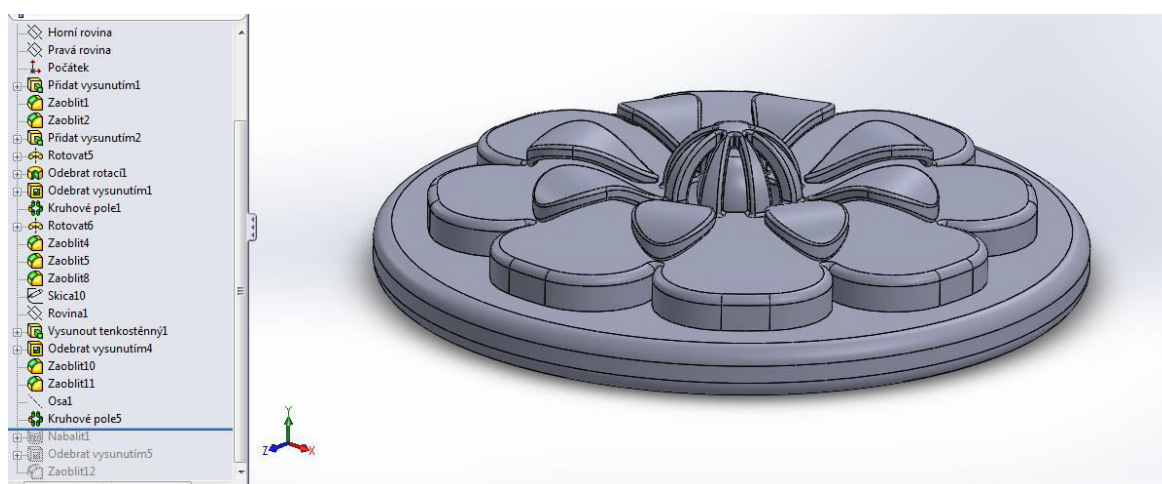


Obr. 3.10 Tvorba okvětního lupínku. a) 1. krok, b) 2.krok, c) zaoblení.

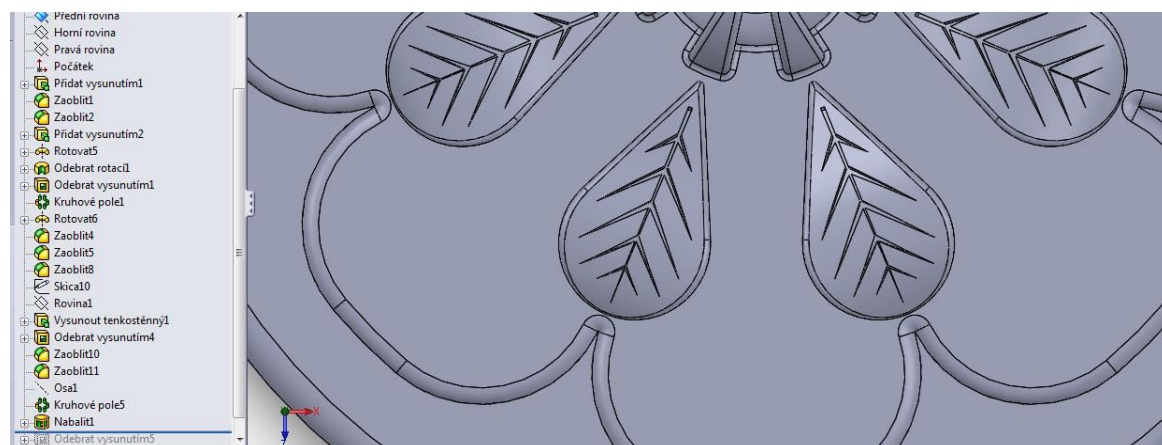
Funkcí kruhového pole došlo ke zkopírování celého okvětního lupínku na potřebná místa (obr. 3.11).

Dále bylo třeba vymodelovat žilky na okvětních lupíncích. Tvar žilek byl načrtnut na ploše osmilístku pod jedním z lupínců. Dále se použilo kruhové pole, které žilky zkopírovalo i pod ostatní lupínky. Pomocí funkce nabalit se tvar žilek objevil na ploše všech lupínců (obr. 3.12).

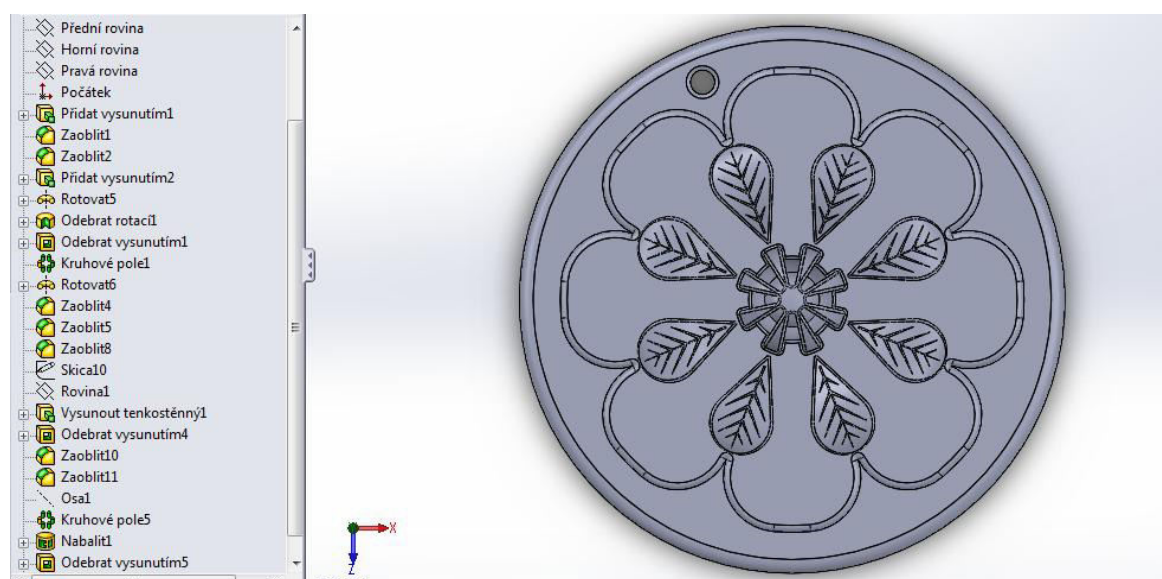
Poslední krokem tvorby modelu se stalo vytvoření otvoru pro zavěšení. Na ploše základní destičky se vytvořila kružnice, která se posléze odebrala vysunutím a její hrany se zaoblily (obr. 3.13).



Obr. 3.11 Zkopírování lístků.



Obr. 3.12 Žilky na lupíncích.



Obr. 3.13 Otvor pro zavěšení.

## 4 VYGENEROVÁNÍ DAT PRO 3D TISK

### 4.1 Převedení 3D modelu do STL formátu

Vytvořený 3D model je třeba převést do formátu STL, který je standardním zdrojovým formátem pro 3D tiskárnu.

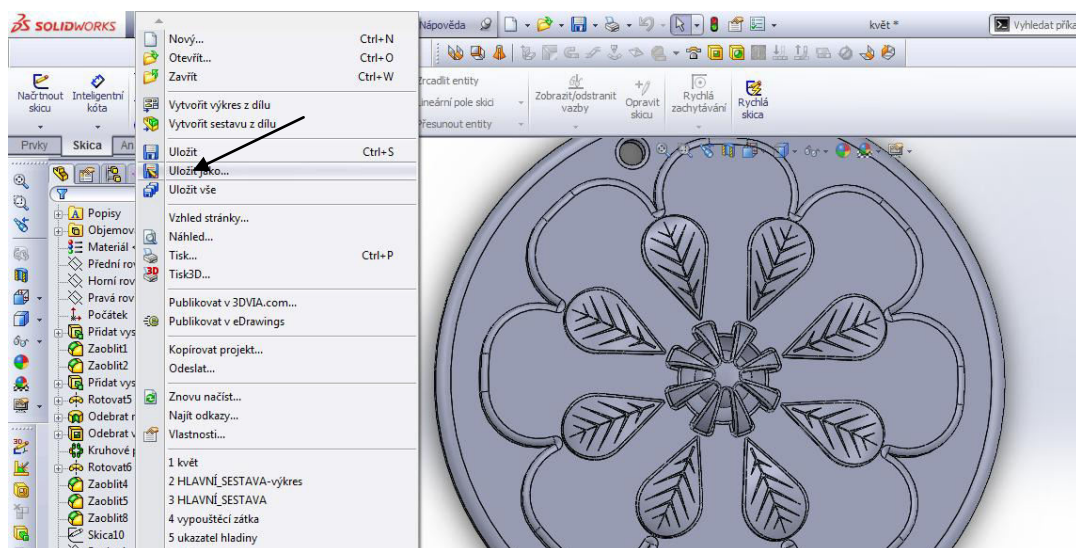
Formát STL je polygonová optimalizovaná síť. Tato síť se skládá z trojúhelníků a aproximuje povrch modelu. Počet a velikost trojúhelníků určuje, jak přesně bude vyroben prototyp. Čím více trojúhelníků bude v síti obsaženo, tím se jejich velikost zmenší a tím více bude vytvořená síť odpovídat žádoucímu tvaru. Vzhled a rozdíl kvality STL formátu viz obr. 4.1. Způsob nastavení parametrů pro formát STL se liší pro různé CAD systémy [14, 15].



Obr. 4.1 Formát STL [15].

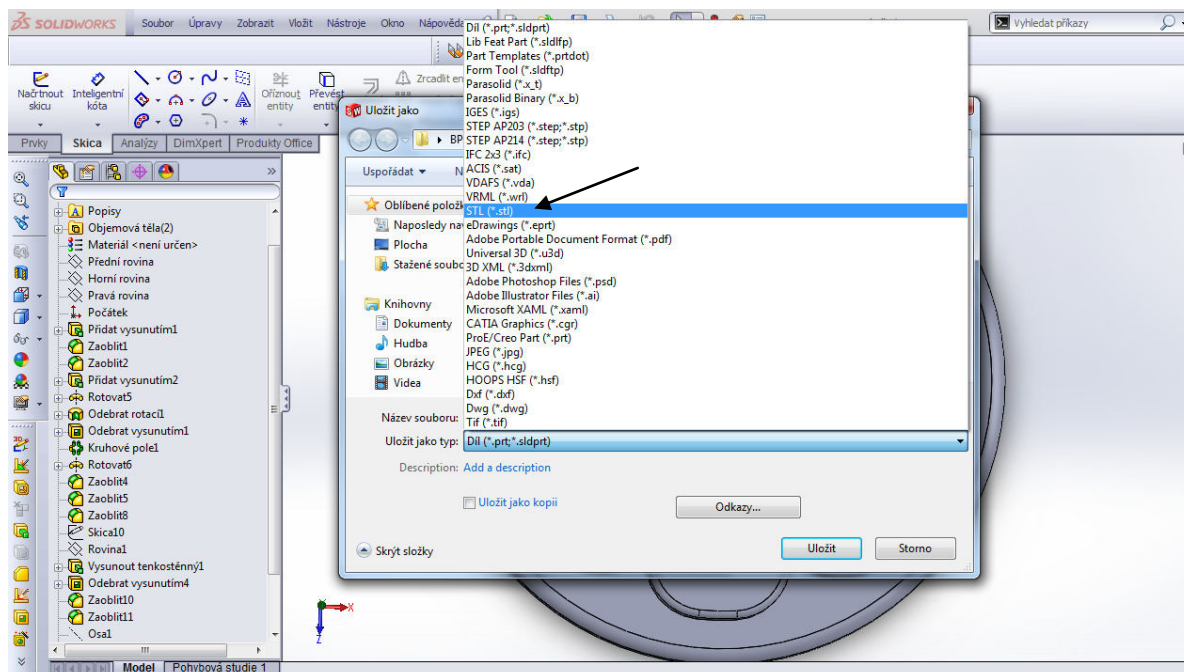
#### 4.1.1 Postup převedení v programu SolidWorks

V otevřeném modelu se v horní liště okna rozbalí menu SOUBOR, kde se vybere ULOŽIT JAKO (obr. 4.2).



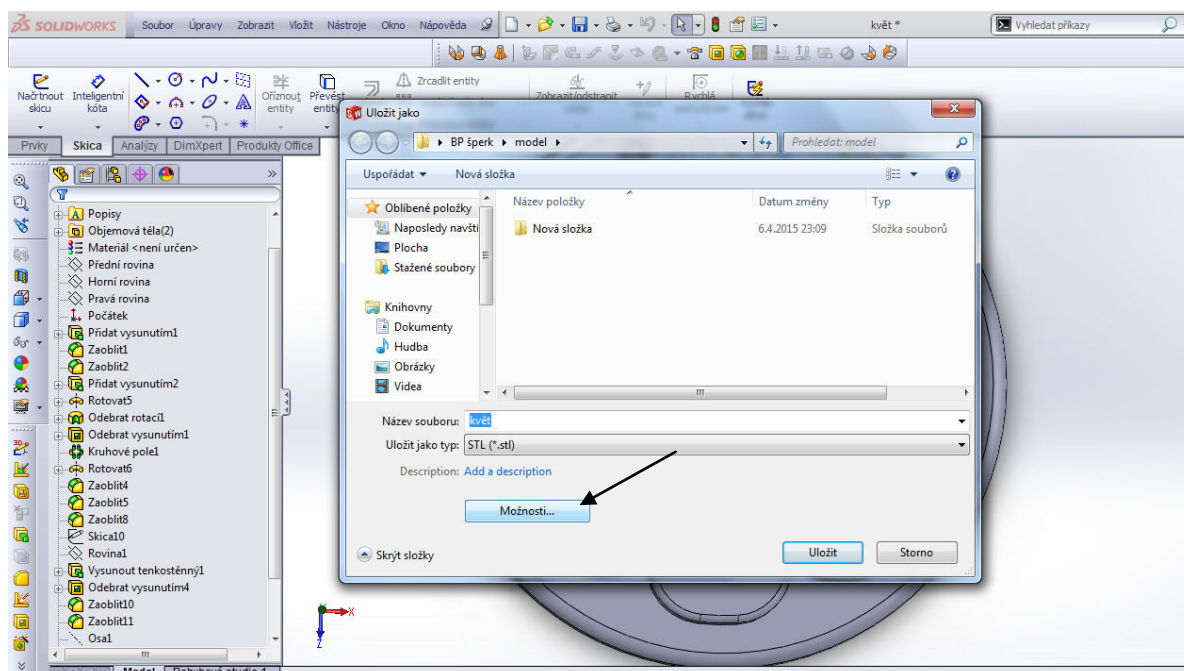
Obr. 4.2 Uložit jako.

Před uložením v kolonce ULOŽIT JAKO TYP je třeba nastavit formát STL (\*.stl).



Obr. 4.3 Výběr formátu.

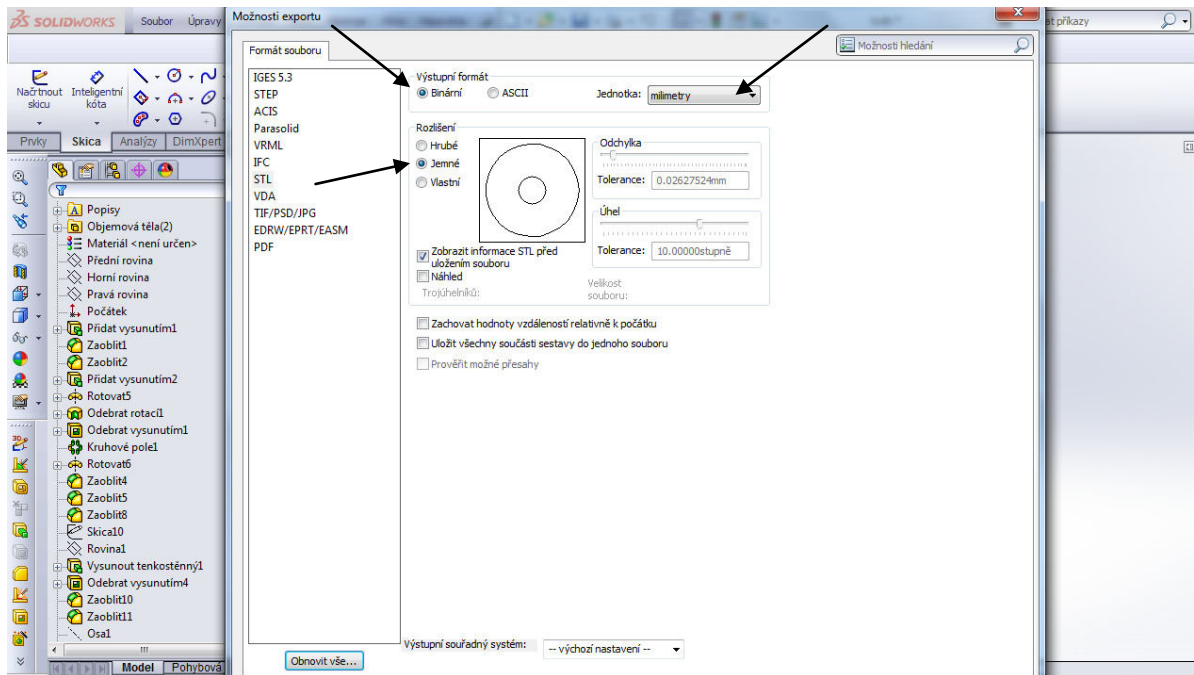
Dále se klikne na tlačítko MOŽNOSTI. V této nabídce se provede nastavení parametrů ukládaného souboru (obr. 4.4). Nastavení těchto parametrů zajistí, aby bylo dosaženo kvalitních parametrů polygonové sítě.



Obr. 4.4 Před uložením.

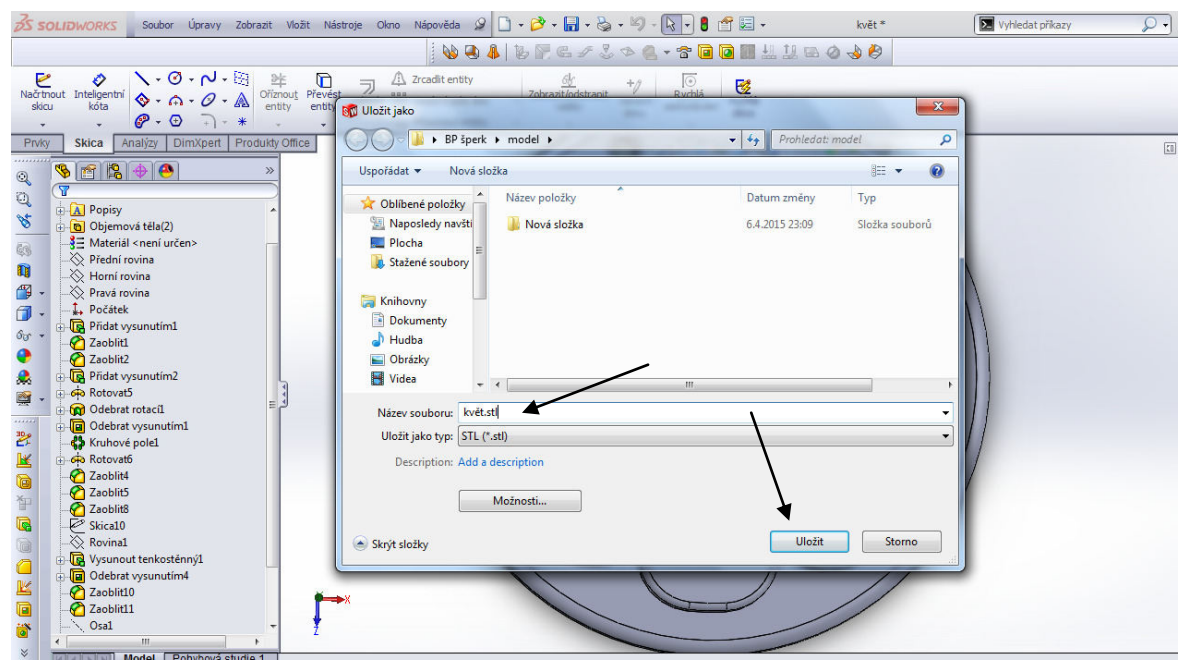
V nabídce se nastaví výstupní formát BINÁRNÍ nebo ASCII. Dále se vyberou jednotky, a to buď palce (INCH) nebo milimetry (MM) a rozlišení se nastaví na JEMNÉ (obr. 4.5)

[15]. Kdyby nebylo toto nastavení provedeno, výsledné STL by nemuselo být dostatečně kvalitní a to by mohlo znehodnotit vytisknutý předmět. Nastavení se potvrdí.



Obr. 4.5 Kvalita STL.

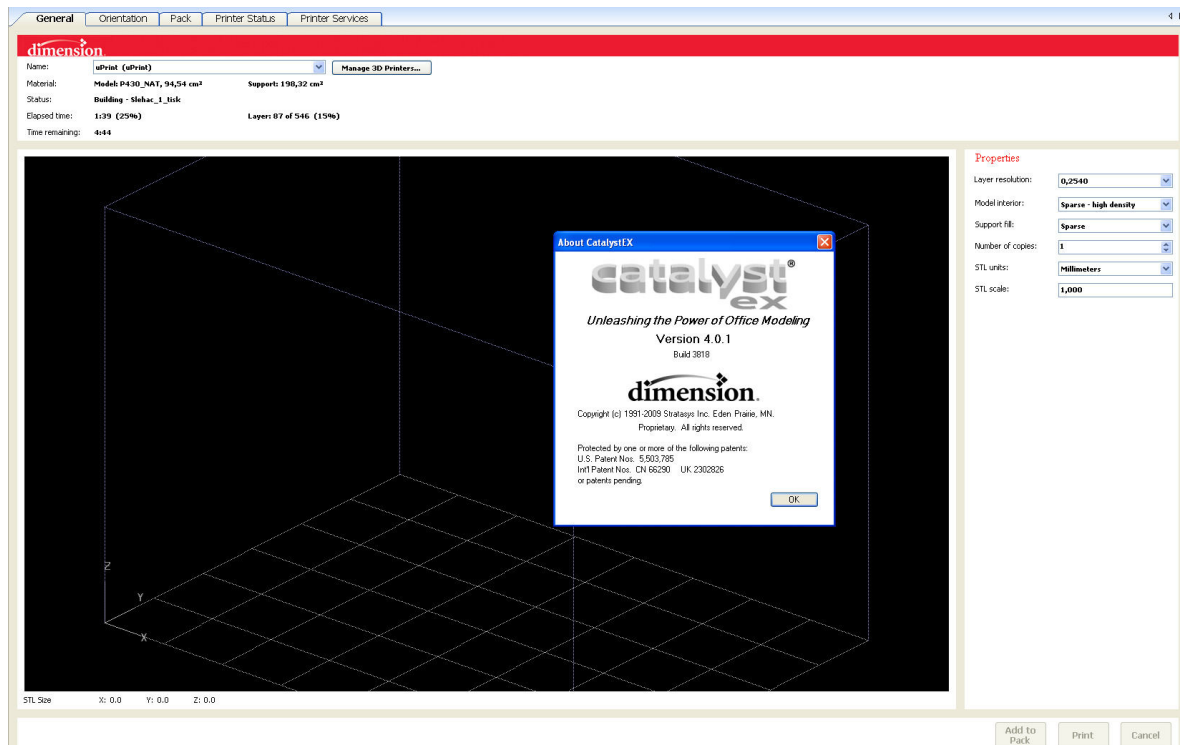
Před konečným uložením se napíše jméno souboru pro formát STL a soubor se ULOŽÍ (obr. 4.6).



Obr. 4.6 Konečné uložení.

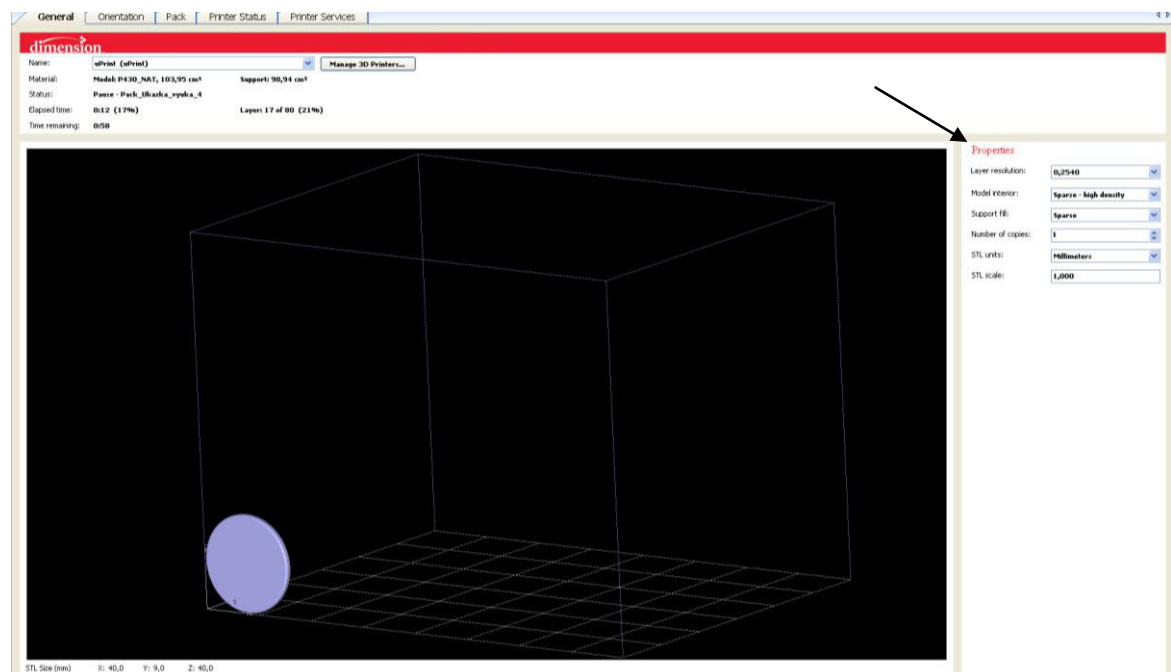
## 4.2 Zpracování STL formátu

Před vytisknutím je ještě nutné soubor ve formátu stl dále zpracovat. Toto zpracování zahrnuje nastavení tisku, doplnění podpor a rozřezání modelu na jednotlivé vrstvy. Ke splnění těchto požadavků je možné použít program CatalystEX (obr. 4.7).



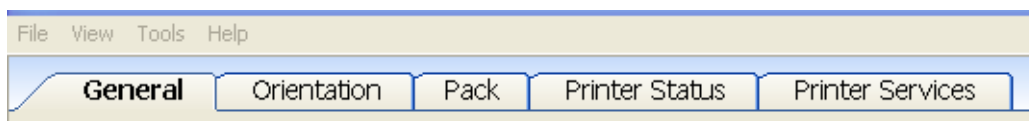
Obr. 4.7 CatalystEX.

Do CatalystEX se načte požadovaný soubor v stl formátu. Model se zobrazí v oblasti kvádrů, která představuje pracovní prostor tiskárny (obr. 4.8).



Obr. 4.8 Načtení modelu.

Dále se pomocí jednotlivých záložek (obr. 4.9) v horní liště programu provedou potřebná nastavení pro tisk.



Obr. 4.9 Záložky.

#### 4.2.1 Záložka General

V této záložce je třeba provést nastavení Vlastností (properties) tisku (obr. 4.8). Ve vlastnostech se volí (obr. 4.10) tloušťka vlákna (layer resolution), vnitřní struktura modelu (model interior), hustota podpor (support fill), počet vytisknutých kusů (number of copies), jednotky modelu (STL units) a měřítko výtisku (STL scale) [16].

##### Properties

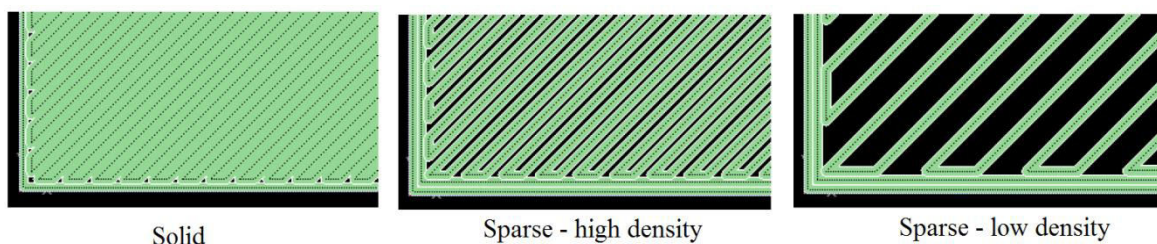
Layer resolution:	<input type="text" value="0,2540"/>
Model interior:	<input type="text" value="Sparse - high density"/>
Support fill:	<input type="text" value="Sparse"/>
Number of copies:	<input type="text" value="1"/>
STL units:	<input type="text" value="Millimeters"/>
STL scale:	<input type="text" value="1,000"/>

Obr. 4.10 Nastavení vlastností.

Možnost volby tloušťky vlákna je omezena použitou 3D tiskárnou. Tloušťce vlákna odpovídá výška nanesené vrstvy. Z čehož vyplývá, že výběr tloušťky vlákna ovlivní kvalitu povrchu a čas potřebný k vytisknutí. Čím tenčí vlákno tím jemnější povrch a vyšší čas [16].

U vlastnosti „vnitřní struktura modelu“ lze zvolit ze tří možností (obr. 4.11) [16].

1. Solid - vnitřek modelu bude zcela vyplněn materiálem. Což zvyšuje dobu tisku i spotřebu materiálu, ale vytisknutý model bude velmi pevný.
2. Sparse - high density - mezi vlákny tvořícími vrstvu jsou mezery. Čímž se krátí čas tisku a zmenšuje se spotřeba materiálu, ale konečný výrobek je stále dost pevný.
3. Sparse - low density- vlákna ve vrstvě jsou velmi daleko od sebe. To vede k menší spotřebě materiálu, kratšímu času tisku, ale křehčímu předmětu.



Obr. 4.11 Vnitřní struktura [16].

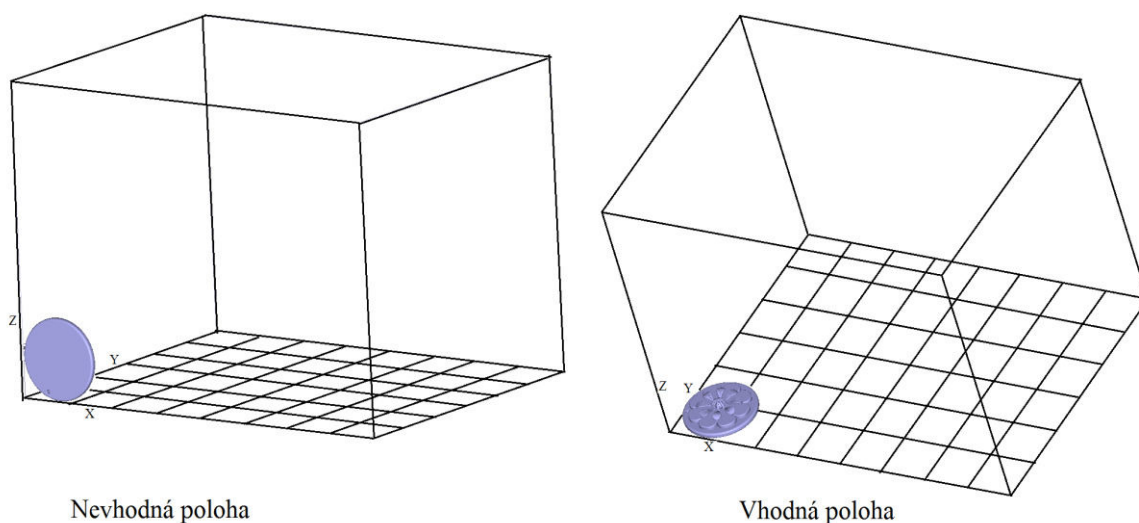
Pro „hustotu podpor“ existují čtyři možnosti [16].

1. Basic - rovnoměrné mezery mezi podporami. Může být použito pro většinu částí.
2. Sparse - větší rozestupy mezi jednotlivými podporami. Zmenšení množství podpor.
3. Minimal - pro mále součásti. Jednodušší podpory, které se snadno odstraní.
4. Surround - celý model je obklopen materiálem podpor.

„Jednotky modelu“ se vyberou podle toho, v jakých jednotkách byl vytvořen model. Možnosti jsou buď milimetry, nebo palce.

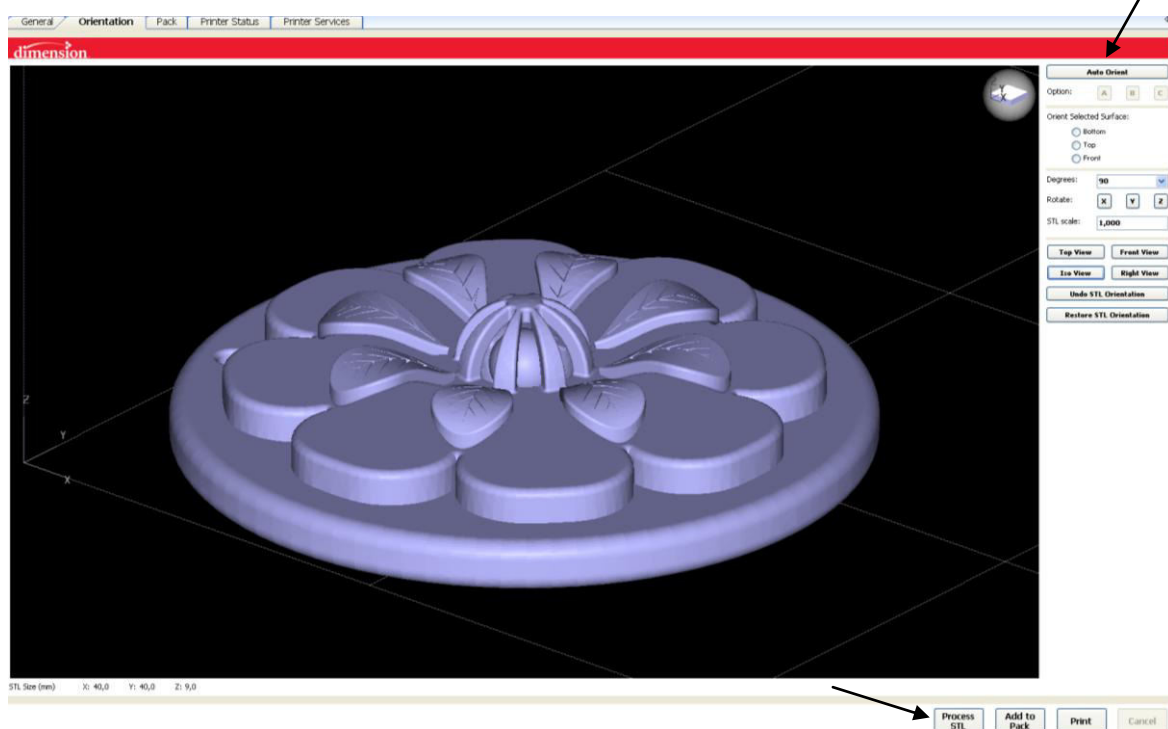
#### 4.2.2 Záložka Orientation

Zde se provede nastavení orientace vůči základní desce, protože při otevření souboru se model objeví v libovolné poloze, která nemusí být pro tisk příliš vhodná (obr. 4.12).

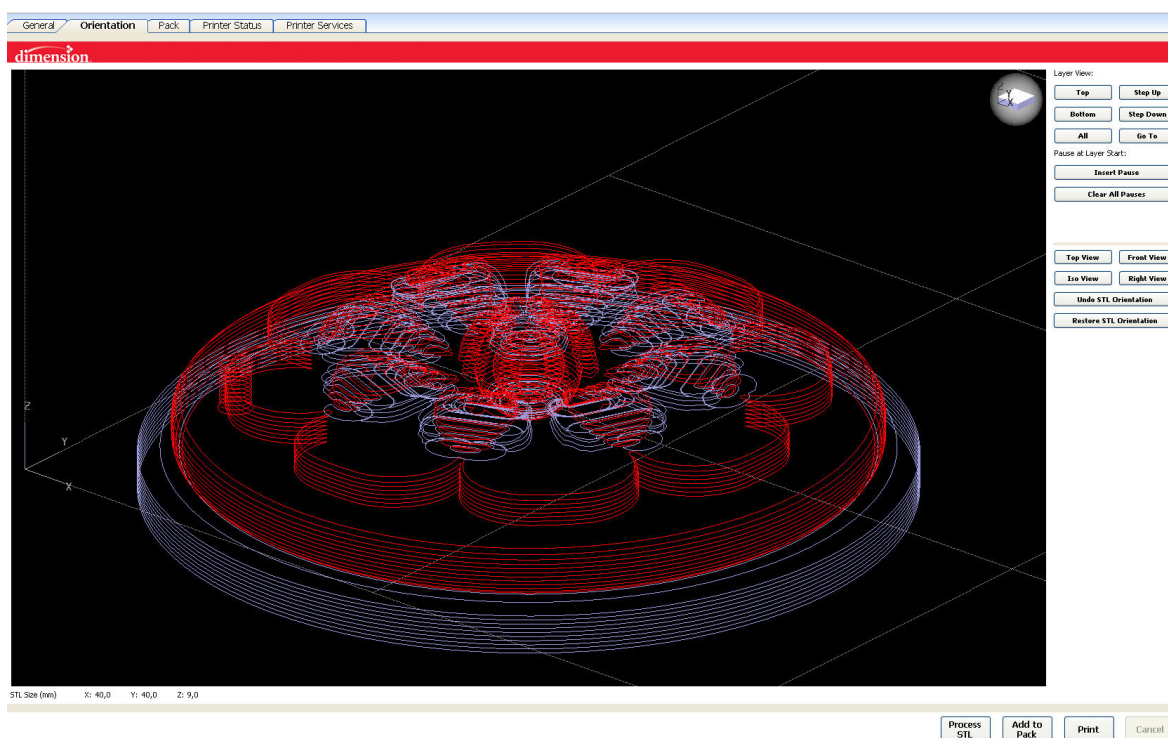


Obr. 4.12 Poloha modelu.

Otáčení modelem se provádí pomocí tabulky vpravo nahoře (obr. 4.13). Model se dá různě převracet a otáčet s ním kolem osy. Po umístění modelu do požadované polohy, se přejde k dalšímu kroku a tím je Proces STL (obr. 4.13). Při tomto procesu dojde k doplnění podpor a k jeho rozsekání na jednotlivé vrstvy (obr. 4.14). Červeně se zobrazuje model, podpory jsou šedé barvy.



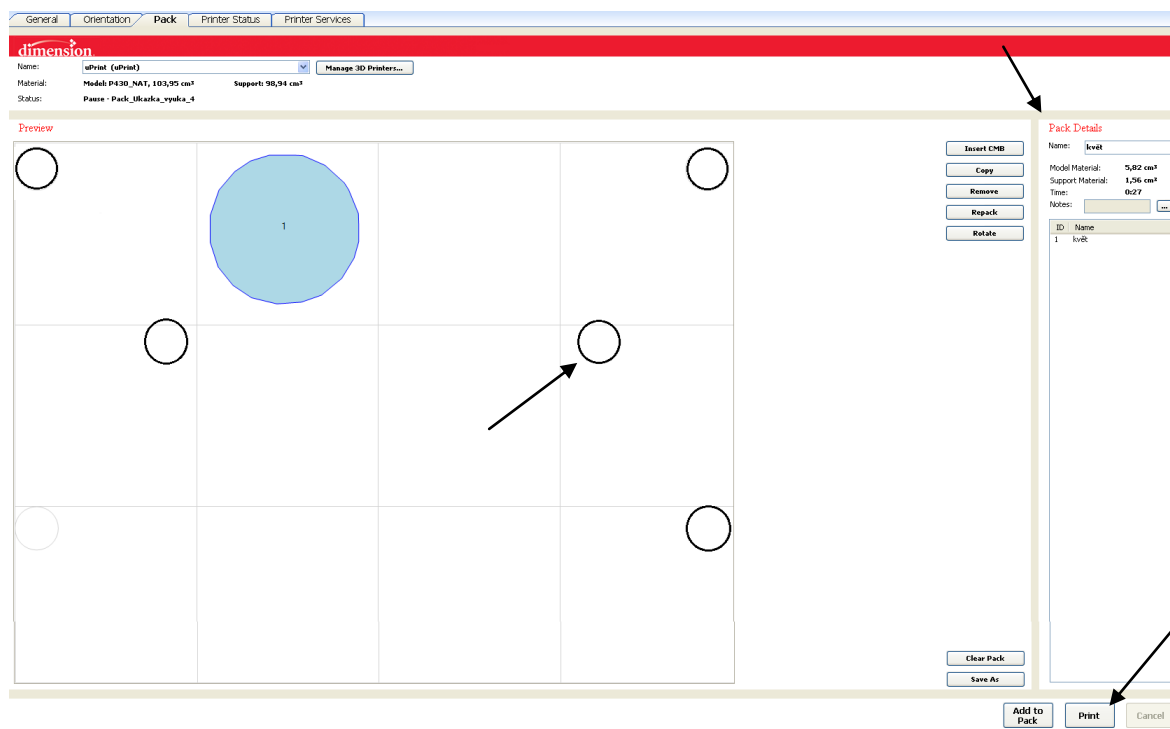
Obr. 4.13 Požadovaná poloha.



Obr. 4.14 Proces STL.

### 4.2.3 Záložka Pack

Po překlapanutí do záložky Pack je vidět půdorysný pohled tiskové plochy a modelu (obr. 4.15). Zde se zvolí umístění modelu na ploše. Body, které jsou vidět na obr. 4.15 na tiskové ploše, jsou označení míst, podle nichž tiskárna zjistí, jak si má upravit rovinu pro tisk.



Obr. 4.15 Půdorysný pohled.

V pravém horním rohu (obr. 4.15) jsou napsány informace o spotřebě stavebního (model material) a podpurného (support material) materiálu, dále se zde píše předpokládaná doba tisku (obr. 4.16).

**Pack Details**

Name:

Model Material: 5,82 cm<sup>2</sup>

Support Material: 1,56 cm<sup>2</sup>

Time: 0:27

Notes:

Obr. 4.16 Informace o tisku.

Po dokončení nastavení se stiskne tlačítko PRINT (obr. 4.15).

### 4.2.4 Záložka Printer Status

V této záložce jsou informace o aktuálním stavu tiskárny a seznam souborů připravených pro tisk (obr. 4.17). U každého souboru se píše, jak dlouho bude trvat tisk, množství spotřebováno materiálu a také množství materiálu jaké zůstane v zásobnících.

The screenshot shows the Dimension uPrint software interface. At the top, there are tabs for 'General', 'Orientation', 'Pack', 'Printer Status', and 'Printer Services'. The 'Printer Status' tab is active. Below the tabs, the printer name is 'uPrint (uPrint)' and there is a 'Manage 3D Printers...' button. The printer is currently in a 'Pause' state for a job named 'Pack\_Ukazka\_vyuka\_4'. The material used is 'Model: P430\_NAT, 103,95 cm<sup>3</sup>' and the support is 'Support: 98,94 cm<sup>3</sup>'. The elapsed time is 0:12 (17%) and the layer is 17 of 80 (21%). The time remaining is 0:58.

Below the printer status, there is a section titled 'uPrint Build Queue' containing a table with the following data:

Job Name	Owner Name	Submit Time	Estimated Build Time	Estimated Finish Time	Model Material (cm <sup>3</sup> )	Support Material (cm <sup>3</sup> )	Model Carrier (cm <sup>3</sup> )	Support Carrier (cm <sup>3</sup> )	Pack List
Pack_Ukazka_vyuka	Pepa	2015-04-25 00:48	1:11	2015-04-28 03:40	10,114	2,591	94,745	98,793	Ukazka_vyuk
květ	Pepa	2015-04-28 02:40	0:27	2015-04-28 04:08	5,823	1,565	88,922	97,228	květ
Pack_Ukazka_vyuka	Pepa	2015-04-25 00:48	1:12	2015-04-28 05:20	10,114	2,591	78,808	94,637	Ukazka_vyuk
Pack_Ukazka_vyuka	Pepa	2015-04-28 01:40	1:12	2015-04-28 06:33	10,114	2,591	68,694	92,046	Ukazka_vyuk
Pack_Ukazka_vyuka	Pepa	2015-04-28 01:40	1:12	2015-04-28 07:45	10,114	2,591	58,580	89,455	Ukazka_vyuk
Pack_Ukazka_vyuka	Pepa	2015-04-28 01:40	1:11	2015-04-28 08:57	10,114	2,591	48,466	86,864	Ukazka_vyuk
Pack_Ukazka_vyuka	Pepa	2015-04-28 01:41	1:12	2015-04-28 10:09	10,114	2,591	38,352	84,273	Ukazka_vyuk

Obr. 4.17 Pořadí souborů připravených pro tisk.

### 4.3 Nastavené parametry pro tisk

Tloušťka vlákna - 0,254mm.

Vnitřní struktura modelu - Sparse - high density.

Hustota podpor - Sparse.

Počet vytisknutých kusů - 1.

Jednotky modelu - milimetry.

Měřítko výtisku - 1:1.

## 5 PROVEDENÍ 3D TISKU

### 5.1 Technická data tiskárny

Použitá tiskárna - Dimension uPrint (obr. 5.1).

Velikost pracovního prostoru (x, y, z) - 203 x 152 x 152 mm.

Materiál modelu - ABS plus v barvě slonové kosti.

Tloušťka vrstvy - 0,254mm.

Velikost zásobníku materiálů - modelovací materiál 688cm<sup>3</sup>,

- materiál podpor 688cm<sup>3</sup>.

Dodávaný software - CatalystEX.

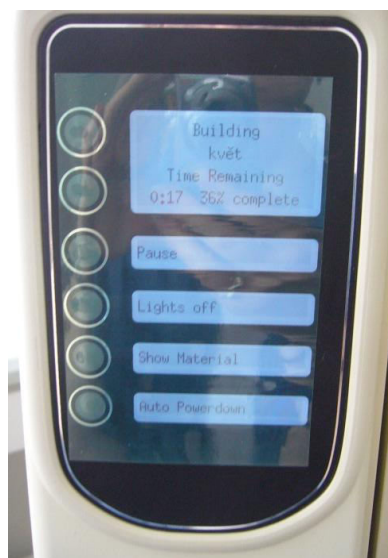
Kompatibilita - Windows NT 4.0, Windows 2000, Windows XP, Windows Vista, Windows 7 [17].

Teplota zahřátého materiálu - ~293°C.

Teplota vyhřáté komory - ~73°C.



Obr. 5.1 Tiskárna uPrint.



Obr. 5.2 Ovládací panel tiskárny.

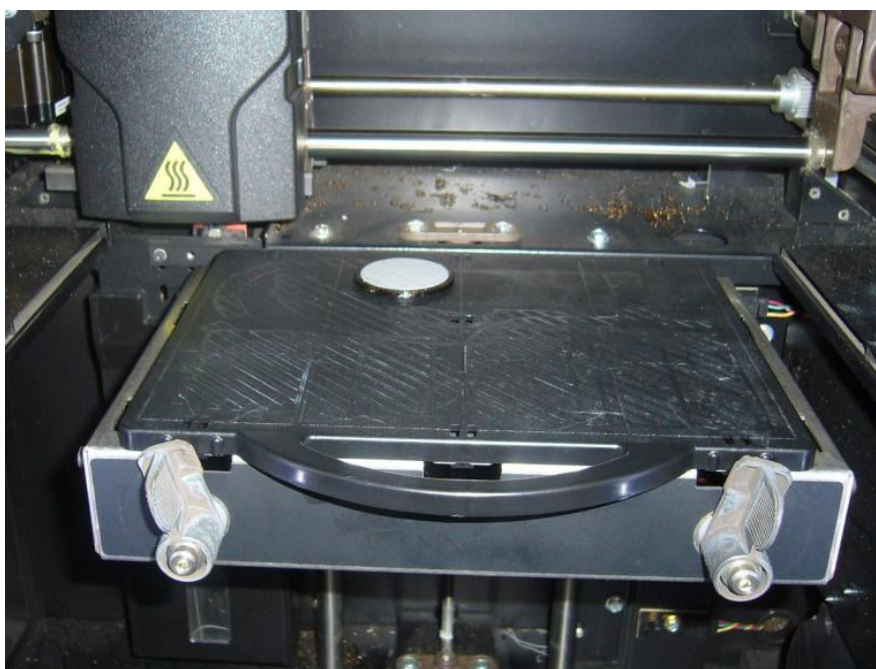
### 5.2 Průběh tisku

Do tiskárny se vloží plastová podložka pro tisk a po nahrání dat do tiskárny se na ovládacím panelu (obr.5.2) spustí tisk. Na ovládacím panelu se dá dále zjistit čas do dokončení tisku a kompletnost tisku v procentech.

Před zahájením tisku nejdříve dojde k nahřátí trysky s materiálem a k vyhřátí pracovní komory. Poté si tiskárna zjistí rovnost plochy pro tisk.

Na začátku tisku tiskárna nanese několik vrstev podpurného materiálu, čímž si upraví rovnost tiskové plochy. Na vrstvy podpurného materiálu se už tiskne samotný model. Jak je tomu vidět na obr. 5.3, kde je vyfocen pracovní prostor tiskárny s již částečně provedeným tiskem. Vždy je vytisknut obvod vrstvy, který se poté vyplní materiálem. Což je vidět

i na hotovém modelu. Ačkoliv tiskárna umí používat dva různé materiály současně, tak se každý materiál tiskne samostatně.



Obr. 5.3 Začátek tisku.

Po dokončení tisku (obr. 5.4) se model i se stavěcí podložkou vyjme z tiskárny. Následně je model z podložky sloupnut (obr. 5.5).



Obr. 5.4 Konec tisku.



Obr. 5.5 Vyjmutý model.

Po sundání modelu z podložky je třeba odstranit podpory. Z důvodu drobnosti modelu nebylo možné podpory odlámat, ale musely se nechat rozpustit (obr. 5.7). Poté co se podpory rozpustí, tak se model opláchne vodou od použitého roztoku a vytisknutý předmět je hotový (obr. 5.7).



Obr. 5.6 Částečně rozpuštěné podpory.



Obr. 5.7 Hotový model.

## 6 ZHODNOCENÍ VYROBENÉHO VZORKU

### 6.1 Informace o průběhu tisku

Tloušťka nanášené vrstvy - 0,254mm.

Spotřeba stavěcího materiálu - 5,823cm<sup>3</sup>.

Spotřeba materiálu pro tvorbu podpor - 1,565cm<sup>3</sup>.

Doba tisku - 27 minut.

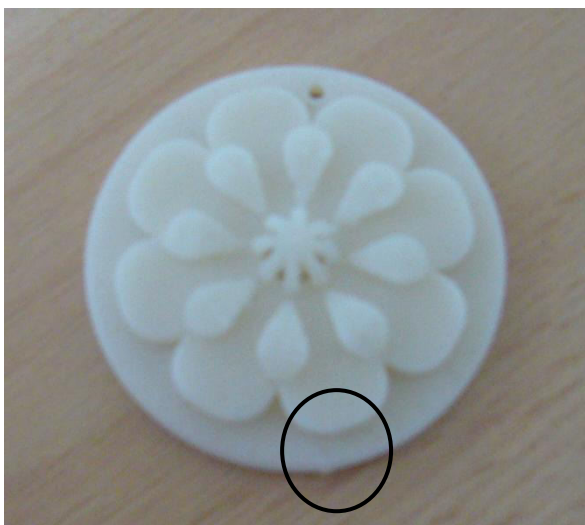
Z úzkých prostorů pod lupínky a v klínce kolem kuličky trvalo rozpuštění podpor 3 dny. Podpora, jež tvořila podklad, byla odstraněna za jeden den.

### 6.2 Kvalita tisku

Povrch vytisknutého modelu je jemný, hlavně na vodorovných a svislých plochách základní destičky a osmilítku. Velikost okvětních lupínek a vrchní části klíčky byly pro použitou tloušťku nanášené vrstvy příliš drobné. Což znehodnotilo kvalitu povrchu. Také se ukázalo, že rozměry zvolené pro žilkování na lupíncích bylo příliš malé, takže se téměř nevytvořilo.

V místě na obvodu základní destičky (obr. 6.1), kde tisknoucí tryska uzavírala obrys, se nahromadilo více materiálu. Tím se vytvořil hrbol, který je třeba odstranit.

Tento hrbol se vytvořil na stejném místě i na obvodu osmilítku, ale ten už je jen nepatrný.



Obr. 6.1 Nedokonalost tisku.

Mezi mřížkami klíčky se vytvořila tenká vlákna stavěcího materiálu. Jelikož se vnitřní kulička i po úplném odstranění nepohybuje, zřejmě jsou tato vlákna i vevnitř klíčky.

Jelikož je množství použitých druhů materiálů pro tisk omezeno, musel být přívěšek vyroben jen jednobarevný.

Po přeměření rozměrů vyznačených na obr. 2.1 byl zjištěn průměr 39,7mm a výška 9,4mm. Tyto rozměry se od velikosti modelu nepatrně liší.

## 7 DISKUZE

Metoda FDM se ze všech výše uvedených metod aditivní technologie jeví jako nejlepší při dosažení dostatečně pevných a odolných výrobků při uvážení potřebné znalosti obsluhy.

Pokud je již vytvořený 3D model požadovaného předmětu, lze již připravit data pro tiskárnu v podstatě snadno. A samotný tisk je pak rychlý způsob výroby předmětů. Takto je možné vytvořit poměrně složité tvary a to díky použití podpor.

Po dokončení tisku je třeba odstranit podpory, což nemusí být vždy úplně jednoduché. Kdyby bylo u drobných částí předmětu použito mechanické odstranění, hrozilo by jejich ulomení. U některých tvarů ani není odlámání podpor možné. Je tedy nutné použít speciální lázeň, ve které je třeba vytisknutý předmět ponechat dostatečně dlouhou dobu (dokud nedojde k rozpuštění podpor), jenž se liší v závislosti na tvaru předmětu. Může se jednat i o několik dnů.

Byl zjištěn rozdíl velikosti vytvořeného modelu a vytisknutého předmětu. Takováto odchylka by v některých aplikacích mohla působit problém. Ale v tomto případě na úplně přesných rozměrech nezáleží.

Když se zabrousí hrbol na obvodu, je přívěsek hotov. A lze do připraveného otvoru přidělat kroužek, kterým se provlékne šňůrka na pověšení. Nebo je možné ještě před přiděláním kroužku přívěsek nabarvit.

## ZÁVĚR

Existuje několik různých metod aditivní technologie. Každá metoda pracuje s jiným materiálem a jiným způsobem nanášení vrstev vytvářeného předmětu.

V současné době velmi oblíbený 3D tisk používá metodu Fused Deposition Modeling (FDM). Na modely se používá ABS plast, vosk a další materiály, které jsou vyráběny ve formě drátu. Hlavní dokončovací operací je odstranění podpor. Případně se provede leptání, broušení nebo barvení povrchu.

Tisknutý předmět byl vytvořen jako přívěšek podobající se květu. Byl modelován v programu SolidWorks, podle vlastního návrhu. Data pro tiskárnu byla dále připravena v programu CatalystEX. Byla použita tiskárna uPrint společnosti Dimension. Tato tiskárna tiskne dvěma materiály, díky tomu mohla být součástí přívěsku pohyblivá část, jelikož podpory byly rozpuštěny.

Vytisknutý přívěšek má pěkný povrch až na drobné lupínky. Na těchto lupíncích bylo vy-modelováno žilkování, které bylo pro tisk příliš jemné, což nakonec povrch lupínek trochu poškodilo. Z čehož také plyne, že není vhodné vytvářet příliš malé tvary (desetiny milimetru). Při tisku se objevila drobná vada ve formě hrbolku na obvodu základní destičky přívěsku. V tomto místě došlo k nahromadění materiálu, když docházelo k uzavírání obrysu jednotlivých vrstev.

Změřením hotového přívěsku bylo zjištěno, že průměr je menší o 0,3mm a výška je větší o 0,4mm.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. HOMOLA, Jan. *3D-tisk.cz* [online]. Vydavatelství Nová média, s. r. o., 2014 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/>
2. VUT V BNĚ, FSI - Ústav strojírenské technologie. *Aditivní technologie: metody Rapid Prototyping*. 35 s. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto\\_bak/cv\\_STV\\_04\\_Aditivni\\_tehnologie\\_metody\\_Rapid\\_Prototyping.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_tehnologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf)
3. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
4. PRŮŠA, Josef a Michal PRŮŠA. PRUSA RESEARCH S.R.O. *Základy 3D tisku* [online]. 2014 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/>
5. NAVRÁTIL, Robert. *Rapid Prototyping* [online]. 2000 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/index.html>
6. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění 9. díl: Rapid Prototyping. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, 2008(11). Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>
7. DMLS. INNOMIA A.S. *DMLS* [online]. 2007 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.dmls.cz/>
8. Jak vyrobit plně funkční kovové díly přímo z 3D CAD dat. *Technický týdeník* [online]. Business Media CZ, 2006, roč. 2008, č. 2 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/jak-vyrobite-plne-funkcni-kovove-dily-primo-z-3d-cad-da>
9. 3D tisk-metody. In: *14220.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>
10. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění 10. díl: Rapid Prototyping. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, 2008(11). Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil.html>
11. *Świat druku 3D* [online]. 2013 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: [www.swiatdruku3d.pl](http://www.swiatdruku3d.pl)
12. EVEKTOR, spol. s r.o. *Evektor* [online]. Evektor, spol. s r.o., 1999, 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://evektor.cz/>
13. PEŇÁZ, J. *Vyrobení vzorku součásti aditivní technologií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 39 s. 4 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.
14. SEDLÁK, Josef. *Technologie výroby prototypů s podporou reverzního inženýrství a CAD/CAM: Prototyping technology with reverse engineering and CAD/CAM support*. Brno: VUT FSI, 2008. 104 s. Dizertační práce. VUT, FSI. Vedoucí práce Miroslav Píška.
15. Innomia. INNOMIA A.S. *STL* [online]. 2012 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/stl>

- 16 CatalystEX 4.0.1<sup>®</sup>, ©2010 Stratalys Inc. Eden Prairie, MN. Všechna práva vyhrazena [online]. [vid. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.dimensionprinting.com/applications/rapid-prototyping.aspx>.
- 17 MCAE SYSTEMS, spol. s.r.o., Kuřim, ČR. *Dimension uPrint* [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/dimension-uprint>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>CAD</b>	[-]	Computer Aided Design
<b>DMLS</b>	[-]	Direct Metal Laser Sintering
<b>FDM</b>	[-]	Fused Deposition Modeling
<b>LOM</b>	[-]	Laminated Object Manufacturing
<b>SGC</b>	[-]	Solid Ground Cutting
<b>SLA</b>	[-]	Stereolitografie
<b>SLS</b>	[-]	Selective Laser Sintering
<b>UV</b>	[-]	Ultrafialové, Ultraviolet
<b>3D</b>	[-]	Trojrozměrný

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1      3D model součásti

# PŘÍLOHA 1



