

## **Příloha 6 – Tvorba modelu pomocí technologie 3D tisku**

Vzhledem k časové a finanční náročnosti výroby skutečného prototypu mnou navrženého řídicího mechanismu jsem se uchýlil k tvorbě prototypového modelu pomocí 3D tisku.

### **1 Technologie 3D tisku.**

3D tisk je technologií aditivní výroby součástí, takže materiál je postupně přidáván, až dokud nevznikne celý tvar součástí. Tímto se zásadně odlišuje od konvenčních výrobních technologií, při kterých je naopak většinou materiál z polotovarů odebírán.

V dnešní době je dostupných několik technologií, které umožňují výrobu součástí 3D tiskem. Tyto technologie se odlišují především způsobem, jakým je materiál nanášen do příslušné vrstvy. Nanášení materiálu ve většinou vodorovných vrstvách je pro všechny technologie 3D tisku víceméně společné.

Jednoznačně nejrozšířenější technologií je technologie, kdy je materiál vytlačován tiskovou hlavou. Typickým zástupcem této technologie je tisk pomocí tavené struny (filamentu). Ta je vtahována do tiskové hlavy, kde se taví a natavený materiál je pak nanášen do vrstvy. Touto technologií je vybavena i tiskárna Prusa MK2.5, která je k dispozici na Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel.

### **2 3D Tiskárna Prusa MK2.5**

Jedná se o 3D tiskárnu používající technologii tavené struny popsanou v předchozím odstavci. Posuv tiskové hlavy ve svislé ose Z, je realizován dvěma krokovými motory s pohybovými šrouby, které pohybují s příčným posuvem tiskové hlavy. Posuvy ve vodorovných osách X a Y jsou realizovány každý jedním krokovým motorem a ozubeným řemenem spojeným s podložkou respektive s tiskovou hlavou.

Tisková plocha je tvořena vyhřívanou podložkou, která má magneticky upevněný odnímatelný plát. Ten lze po dokončení tisku i s výtiskem vyjmout, čímž se zjednodušuje oddělení vytisknuté součásti od tiskové plochy.

### 3 Preprocesor Slic3r PE

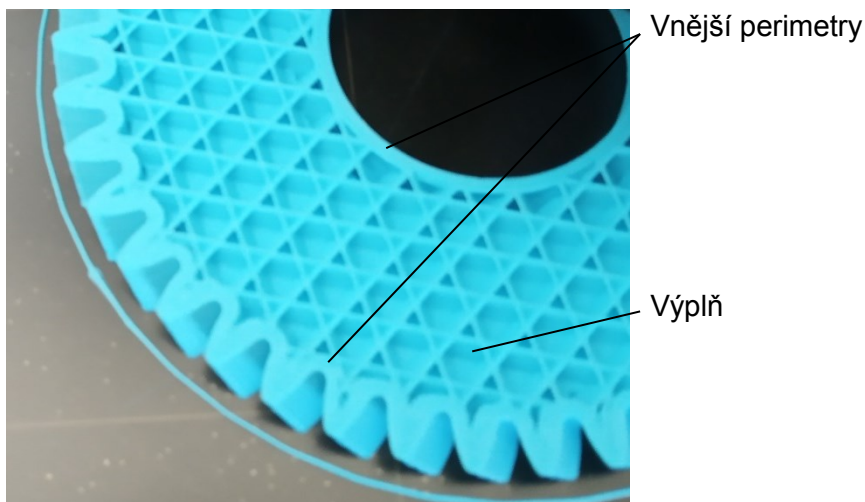
Preprocesor Slic3r PE je volně dostupný na webových stránkách společnosti Prusa research a jeho ovládání je velmi jednoduché a intuitivní. Pro import modelu je nutné převést původní CAD model do formátu .stl.

Slic3r PE v sobě obsahuje základní nastavení parametrů tisku, jako jsou rychlosti posuvů, teploty podložky a extruderu, přísuv materiálu a další, pro většinu používaných materiálů. Na doporučení Ing. Davida Světlíka jsem použil většinu právě těchto přednastavených hodnot pro všechny díly. Pro všechny díly jsem používal jako základní nastavení 0,20mm NORMAL, což znamená výšku jedné vrstvy 0,2mm a podle příručky k tiskárně jde o kompromis mezi kvalitou výtisku a časovou náročností tisku.

Jediné parametry, které jsem v nastavení tisku měnil, byly parametry související s dráhou tiskové hlavy v jednotlivých vrstvách, jako počet vnějších perimetrů, počet plných vrstev na horních a dolních vodorovných plochách, hustota výplně, vzor výplně a vzor výplně horních a spodních vrstev.

#### 3.1 Počet vnějších perimetrů

Tento parametr jsem pro tisk všech součástí měl nastaven na hodnotu 3. To znamená, že v každé vrstvě bude krajní kontura součásti tvořena třemi vedle sebe položenými tloušťkami tisknuté linie. Dá se také říci, že tento parametr udává tloušťku svislých stěn výtisku, protože prostor, který je uvnitř součásti, je pak vyplněn výplní jak je vidět na obrázku 1.



Obrázek 1 (Pohled na rozložení vrstvy - vnější perimetry 3, hustota výplně 25%) [zdroj: autor]

### 3.2 Počet plných vrstev horních a dolních vodorovných ploch

Tento parametr jsem také použil pro všechny díly stejný, a to 5 pro horní a 4 pro spodní vodorovné plochy. Nastavením této hodnoty se řídí tloušťka vodorovných stěn výtisku.

### 3.3 Hustota výplně

Tímto parametrem lze výrazně ovlivnit celkovou dobu tisku, proto jsem ho pro různé součásti používal v rozmezí od 25% (větší díly jako ozubená kola) do 60% (menší díly jako řadicí kameny a řadicí kroužky). Vyšší hodnoty jsem používal tam, kde jsem požadoval vyšší pevnost součásti.

### 3.4 Vzor výplně

Zde se vybírá z několika připravených vzorů. Pro všechny díly, které jsou součástí sestaveného mechanismu, jsem použil stejný, a to vzor Cubic. Při tisku prvních verzí některých dílů jsem zkoušel i jiná nastavení, ale na kvalitu tisku neměl tento parametr pozorovatelný vliv.

### 3.5 Vzor výplně horních a spodních vrstev

Zde se opět vybírá z několika připravených vzorů. Tento parametr má vliv především na kvalitu a vzhled pohledových vrstev. Proto jsem ho volil různě pro různé součásti.

Pro rotační součásti jsem použil vzor Archimedean chords, což je vlastně spirála. Tento vzor se pro rotační součásti hodil nejvíce především díky vzhledu, který vytvářel na vodorovných plochách.

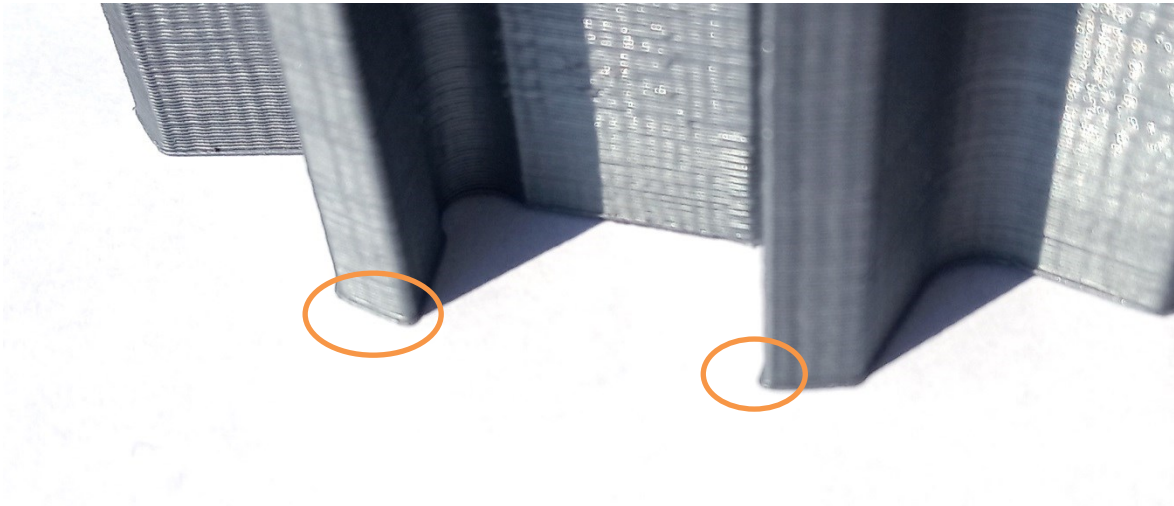
Pro nerotační součásti jsem použil vzor Hilbert curve, který vytváří jednolitý povrch bez větších stop po křivkách vzoru.

## 4 Úpravy 3D modelů pro tisk

Použití dílů zhotovených technologií 3D tisku přináší hned několik úskalí. Při použití modelu, který je vytvořen za účelem tvorby výkresové dokumentace pro tradiční postupy výroby (třískové obrábění, odlévání, atd.) dojde téměř nevyhnutelně k situaci, že díly nebude možné smontovat bez dalšího velmi zdlouhavého doobrábění.

## 4.1 Zkosení spodních hran

Vhodnou úpravou 3D modelu který je určen pro 3D tisk je zkosení hran na ploše která bude v kontaktu s tiskovou plochou. První vrstva má totiž tendenci díky působení hmotnosti zbylého materiálu výtisku, který nese, a vlivem teploty vyhřívané podložky se roztéct tak, jak je to vidět na obrázku 2



Obrázek 2 (Roztečení první vrstvy) [zdroj: autor]

Zkosením hran na spodní ploše lze tuto vadu eliminovat. Velikost zkosení je vhodné volit v násobcích výšky vrstvy, tedy při výšce vrstvy 0,2 mm volit velikost zkosení například 0,4, 0,6 nebo 0,8 mm. Mně se nejvíce osvědčilo zkosení velikosti 0,4 mm.

## 4.2 Lícování ke skutečné součásti

Další problém, na který jsem narazil, byla nutnost uložit vytisknuté součásti, konkrétně volně otočná ozubená kola, na původní součást vyrobenou konvenčními metodami, tedy s danými rozměry. Nejdůležitější z tohoto pohledu bylo naladění vůle na průměru hřídele, na kterém se má kolo kluzně volně otáčet. Průměr hřídele, který jsem změřil posuvným měřítkem, byl 34,3 mm. Po několika rozměrových variantách ozubeného kola jsem došel k průměru v 3D modelu, který zajistil požadovanou vůli na výsledném výtisku, a to 34,52 mm. Tedy vůle 3D modelu oproti původní součásti by byla 0,22mm ovšem tento rozměr má díra na vytištěné součásti pouze v jedné rovině, v rovině na ní kolmé jsem změřil rozměr 34,38 mm, což odpovídá vůli 0,08mm. Tyto hodnoty jsou pouze pro jeden konkrétní výtisk, ovšem podobný trend je na všech výtiscích volně otočných kol. Bohužel již není dohledatelné, který rozměr odpovídá směru které z vodorovných os na

tiskové ploše, nicméně s tímto faktem je potřeba počítat při další tvorbě 3D modelů pro 3D tisk.

### 4.3 Lícování tisknutých součástí

Dalším problémem bylo lícování dvou součástí, které jsou vytisknuté.

V tomto případě jsem měl dvě uložení, která měla být posuvná. Jedním bylo uložení řadicích kamenů v unášeči, kde šlo o uložení v klínové drážce, a stykové plochy byly rovinné. Nominální rozměr šířky drážky v unášeči byl 17mm. Zde jsem vyzkoušel opět několik rozměrových variant a jako nejlepší vyšla varianta, kdy nominální vůle šířky řadicího kamenu a drážky unášeče v 3D modelu byla 0,1mm. Ta zajišťovala volný pohyb kamenů v drážkách a zároveň přijatelnou vůli v radiálním směru unášeče.

Druhým uložením, které mělo zajistit volný posuv součástí, bylo uložení mezi řadicími kroužky a přesuvnou objímkou. Jednalo se tedy o uložení válcových ploch. Zde jsem už využil zkušeností s ostatními součástmi a zvolil nominální vůli v 3D modelu 0,3 mm pro nominální průměr 84 mm. Tato varianta se osvědčila i proto, že v tomto případě nebyla případná větší vůle na závadu.

V modelu se nachází i spojení, které nemá být posuvné, a to mezi řadicímu kroužky a řadicímu kamenu. Ovšem toto spojení jsem v rámci úspory času a materiálu doladil obrobením řadicích kroužků. Nominální vůle v 3D modelu 0,1 mm na rozměru 4mm nebyla dostatečná na to, aby bylo možné vůbec součásti do sebe zasunout. Je však potřeba zmínit, že řadicí kroužky byly tisknuty z materiálu PETG a ostatní součásti z materiálu PLA, což bylo nejspíš v tomto případě rozhodující.

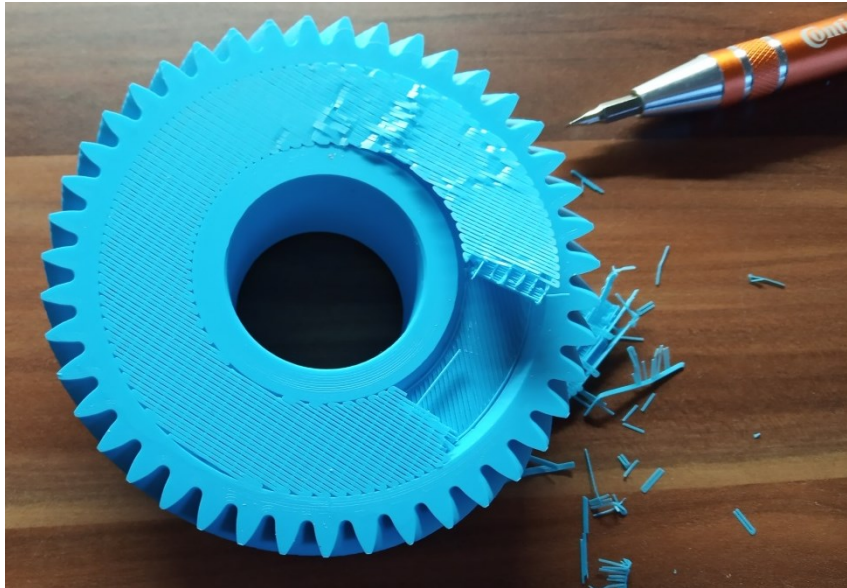
## 5 Orientace součástí na tiskové ploše

Orientace součástí na tiskové ploše se upravuje v preprocesoru Slic3r PE, kde je nahraný model možné orientovat téměř jakkoli. Užitečnou funkcí pro rychlé orientování součástí je funkce posazení na plochu dostupná pod tlačítkem na levém okraji pracovního prostředí na kartě Podložka ve Slic3r PE. Ta po kliknutí na tlačítko zvýrazní na modelu všechny plochy, které je možné vybrat. Po kliknutí na jednu z ploch se model otočí tak, aby vybraná plocha byla v kontaktu s tiskovou plochou.

Orientaci každé součásti je třeba zvážit zejména s ohledem na minimalizaci tzv. mostů. To jsou vodorovné plochy modelu, které mají směr dolů, ale neleží na tiskové



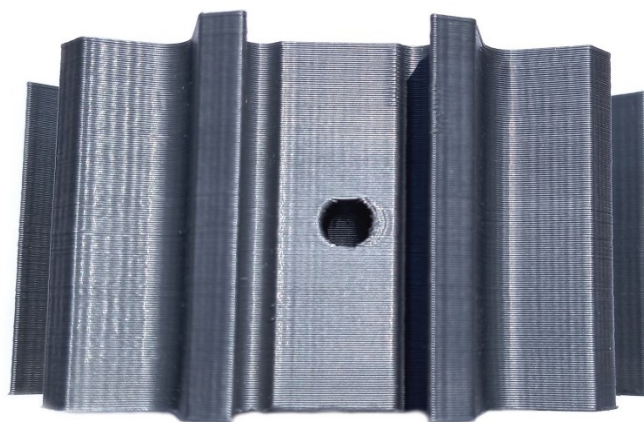
ploše. Pro takové plochy je pak nutné tvořit podpory (Slic3r PE vygeneruje automaticky), které se musí po dokončení tisku oddělit od vlastního modelu, viz obrázek 3.



**Obrázek 3 (Oddělování podpor) [zdroj: autor]**

Navíc povrch na těchto plochách není zdaleka tak kvalitní jako na ostatních plochách a nelze ani měnit vzor výplně těchto ploch.

Ze stejného důvodu je žádoucí snažit se vyhnout vodorovným válcovým otvorům. Ty na výsledném výtisku nebudou mít válcový tvar jak je vidět na obrázku 4. Pravděpodobně by se této vadě dalo předejít úpravou 3D modelu, ovšem tím jsem se nezabýval a spokojil jsem se s tímto tvarem.



**Obrázek 4 (Vodorovný válcový otvor) [zdroj: autor]**