

## Základní informace

Jméno projektu	Pepr3D
Zkratka	P3D
Vedoucí	Mgr. Oskár Elek, Ph.D. <oskar.elek@gmail.com>
Konzultanti	doc. Ing. Jaroslav Křivánek, Ph.D. <jaroslav.krivanek@mff.cuni.cz> Ing. Vojtěch Bubník (za Prusa Research s.r.o.) <bubnikv@gmail.com>
Anotace	Cílem projektu je implementovat 3D editor pro vícebarevnou segmentaci modelů pro tisk na 3D tiskárnách s omezeným počtem barev (primárně vícebarevné FDM tiskárny). Editor umožní importovat neobarvený 3D model, poloautomaticky ho barevně segmentovat, kreslit po něm a psát texty. Pokreslený model půjde exportovat pro další zpracování do aplikací, které již umí model fyzicky vytisknout na FDM tiskárně.

## Motivace

V současné době dochází k rozmachu vícebarevných 3D FDM tiskáren, které jsou v porovnání s jinými technologiemi velmi levné, a přesto umožňují relativně kvalitní vícebarevný tisk. Společnost Prusa Research s.r.o. vyrábí a prodává nejlépe hodnocené 3D FDM tiskárny na světě (dle žebříčku 3dhubs.com). Ty umí tisknout až čtyřbarevně a jsou určeny i pro úplné začátečníky.

Na základě analýzy společnosti Prusa Research se však zdá, že neexistuje vhodný software, který by začátečníkům umožňoval obarvit 3D modely a malovat po nich tak, aby byly kompatibilní s existující pipeline pro 3D FDM tisk. Existující software (např. Autodesk MeshMixer) má komplikované ovládání, mnoho netriviálních parametrů a příliš mnoho funkcí; nebo (např. Microsoft 3D Builder) je sice jednoduchý, ale vůbec ho nelze použít pro FDM technologii.

Výroba barevných 3D modelů pro FDM tisk je tedy velmi zdlouhavá a komplikovaná, což jednak odrazuje začínající uživatele, jednak zpomaluje práci těch pokročilejších. Zároveň neexistuje rozšiřitelný open-source editor, který by umožňoval experimentovat ve výzkumu v této oblasti (např. příprava objektů kombinujících více materiálů s různými parametry).

Cílem tohoto projektu je implementovat rozšiřitelný open-source 3D editor určený i pro úplné začátečníky. Bude umět importovat existující modely, barevně je segmentovat, kreslit a psát po nich a exportovat je tak, že je bude možné vytisknout pomocí existujících 3D slicerů na existujících 3D FDM tiskárnách. Předpokládá se, že software bude dále šířen a vyvíjen společností Prusa Research.

# Popis projektu

## Workflow

1. Uživatel, který nemusí mít žádné zkušenosti s 3D tiskem, našel nebo vyrobil hezký **3D model, který by chtěl fyzicky vytisknout** na vícebarevné 3D tiskárně (např. draka, postavičku, budovu).
2. a) **Import modelu:** Uživatel spustí naši aplikaci, objeví se dialog, kde zvolí soubor se **zdrojovým modelem** ve standardním formátu, tj. např. Wavefront .obj.  
b) **Pokračování v projektu:** Načte již existující projekt.
3. Jednobarevný model se zobrazí ve **3D náhledu**, je možné s ním rotovat, přibližovat ho, zobrazit jeho wireframe. Na počátku má celý model implicitní materiál (0, např. oranžová). Výčet aktuálně použitých barev/materiálů a další aktuální informace se neustále zobrazují v okně. Zde může uživatel, pokud chce, vždy nastavit, které barvy má jeho tiskárna vůbec k dispozici - na počátku libovolné 4 implicitní barvy, protože Prusa podporují 4 materiály.
4. Hlavní ovládaní aplikace bude probíhat skrze klasické menu volby nástrojů, které lze ovládat klávesovými zkratkami a klikáním myši. V menu uživatel vybere nástroj, který chce použít. Druhá možnost volby nástrojů je radiální menu, které se vyvolá kolem kurzoru stisknutím pravého tlačítka obsahující přehledně nejdůležitější nástroje.
5. **Nástroj barvení trojúhelníků:** uživatel vybere barvu a “štětcem” označuje trojúhelníky, kterým chce změnit barvu na tu zvolenou. Při barvení štětcem bude filtrována zadní strana (aby se neobarvilo něco, co uživatel nevidí).
6. **Nástroj plechovka (*paint bucket*):** uživatel vybere barvu a kliknutím do topologie obarví všechny trojúhelníky až do hranice s jinou barvou. Volitelně se může barvení zastavit např. na hranicích s prudkou změnou SDF (shape diameter function), nebo dle ostroty normály.
7. **Nástroj automatické segmentace:** Program plně automaticky obarví model podle SDF. Uživatel následně vybere, které segmenty chce spojit.
8. **Nástroj poloautomatické segmentace:** uživatel barevnými “štětci” hrubě označí trojúhelníky zhruba v oblastech, které mají mít zvolenou barvu (např. uši zajíce vs. jeho tělo vs. jeho nohy); program následně dokončí obarvení celého modelu (celé uši jednou barvou, celé tělo druhou, celé nohy třetí) pomocí chytřejšího flood fill algoritmu (měl by brát v úvahu alespoň SDF, lépe i ostré záhyby např. pomocí normál).

9. **Nástroj štětec** (*v praxi asi zkombinovat s nástrojem barvení trojúhelníků*): Nástroj umožňující zvolit kruhovou oblast a s tou kreslit zvolenou barvu na objekt. Je potřeba chytře zahušťovat topologii objektu. Jako možnost implementace se nabízí real-time rendering nástroje s tím, že triangulace se provede až poté.
10. **Nástroj text**: Uživatel v novém okně vyplní text a font. Vybraný text bude promítnut na model jako náhled. Tento náhled může uživatel libovolně posouvat po modelu a měnit jeho velikost. Zároveň může přepínat mezi typem projekce, v základní verzi by mělo být na výběr z projekcí podle os X/Y/Z a válcové projekci. Software umožní udělat z promítnutého textu na povrch také 3D text extruzí podél směru normály v každém vrcholu.
11. **Zahuštění / zjednodušení topologie**: uživatel vybere množinu trojúhelníků a ty se každý jeden po druhém podrozdělí nebo sloučí dohromady.
12. **Historie úprav**: Uživatel může opakovaně odebrat poslední akci pomocí tlačítka Zpět nebo klávesové zkratky.
13. **Uložení bez exportu**: Uživatel může uložit rozpracovaný projekt do formátu používaným pouze naším programem. Při dalším sezení může pokračovat v rozdělané práci, a exportovat výsledek až nakonec.
14. Po dokončení úprav objektu uživatel **exportuje** obarvený model do formátu kompatibilního s dalším software pro 3D tiskárny, např. pro slicer 3D tiskárny Prusa. Ten již umožní výsledný model vytisknout (samotný tisk již není předmětem naší práce).

## Platforma, technologie

Předpokládá se implementace projektu v jazyce C++ s využitím dostupných knihoven (předpokládáme minimálně *OpenGL* pro zobrazování, *OpenMesh/CGAL* pro práci s 3D topologií, *Assimp* pro import 3D objektů, *Cereal* pro serializaci dat, *ImGui* pro GUI).

Výsledný 3D editor musí fungovat primárně na operačním systému Windows a musí plynule běžet i na levnějších počítačích s integrovanými grafickými kartami. Exportovaná data musí být kompatibilní s alespoň nějakým existujícím software pro 3D tiskovou pipeline (primárně 3D slicer od Prusa Research). Celý projekt musí být navržen a implementován tak, aby bylo možné ho později bez velkých komplikací rozšířit i na další platformy (Linux, Mac OS, Android, iOS, dotykové ovládání apod.), což však již není předmětem tohoto díla.

## Odhad náročnosti

Projekt je poměrně silně vázán na znalosti z oblasti počítačové grafiky. Dvě největší výzvy projektu spočívají v implementaci intuitivního 3D uživatelského rozhraní a algoritmů pro geometrické operace v kontextu omezení FDM tiskárny. Vzhledem k malému počtu studentů počítačové grafiky se předpokládá implementace díla ve 4 osobách: Tomáš Iser, Štěpán Hojdar, Luis Sanchez a Jindřich Pikora, všichni magisterští studenti počítačové grafiky.

## Odhady milníků

Jde o hrubé odhady náročnosti: **přibližně 8 odpracovaných hodin / člena / týden**, což znamená, že finální produkt by měl být připraven během **8 až 9 měsíců od zahájení**.

**Milník 0 (průzkum):** **cca 4 MD (man days) / 1 měsíc (již proběhlo)**

- Komunikace s Prusa Research s.r.o., návštěva firmy, konzultace.
- Komunikace s vedoucím projektu.
- Seznámení se s technologiemi 3D tisku, omezeními, existujícím software apod.
- Společná příprava zadání projektu.
- **Tato etapa již proběhla na přelomu 2017/18 a na jaře 2018 se všemi 4 členy týmu.**

**Milník 1 (podrobná specifikace):** **max. 8 MD každý / 2 měsíce -- duben, květen**

- Detailní průzkum konkrétních technologií, kontinuální konzultace s firmou Prusa Research a s vedoucím práce. **1 MD (společně)**
- Detailní rozmyšlení konkrétní implementace jednotlivých nástrojů, nastudování potřebných témat z výpočetní geometrie. **2 MD (společně)**
- Sepsání podrobné závazné specifikace: UI mockupy, návrh datových struktur, propojení jednotlivých modulů, návrh rozhraní modulů apod., korekce textu, vytištění, svázání, odevzdání specifikace. **3 MD (společně)**
- Příprava repozitáře a konkrétní rozdělení úkolů pro jednotlivé řešitele vč. podrobných časových odhadů. **2 MD (společně)**

**Milník 2 (základní aplikace):** **cca 5 MD každý / 1.5 měsíce -- červen, červenec (letní zkouškové období => snížená aktivita na projektu)**

- **Základní aplikace s UI (cca 1-2 členové):** OpenGL grafická pipeline (zobrazení 3D modelu, základní shadery), napojení uživatelského rozhraní - musí jít přidávat tlačítka, texty, textová pole + ovládání myši (rotace, přibližování modelu). **4 MD**
- **Základní modul pro modely (cca 1-2 členové):** import ze vstupního formátu (alespoň .obj), datové struktury pro reprezentaci modelu s více barvami, podpora undo/redo historie, vlastní formát pro načtení/uložení ((de)serializace), export obarveného modelu kompatibilní se slicerem pro 3D tisk (tj. .stl). **4 MD**
- **Základní výpočetní geometrie (1 člen):** základní geometrické datové struktury (např. BVH strom), detekce pozice myši na modelu, nástroj pro výběr trojúhelníků, napojení a zprovoznění výpočetních knihoven (OpenMesh, CGAL, ...). **4 MD**
- Synchronizace mezi členy: zapojení modulů do UI, příprava UI na zapojování nástrojů v dalších milnících, vypisování chyb/výjimek do UI. **+1 MD (společně)**

**Milník 3 (produkční UI a malovací nástroje):** **min. 12 MD každý / 3 měsíce -- srpen-říjen**

- **Produkční UI (1 člen):** Nástrojová lišta s ikonkami, hlavní panel s nastavením

nástrojů, podpora klávesových zkratk, zobrazení aktuálních barev v modelu, možnost změnit barvy tiskárny, napojení systémových oken pro načtení/uložení souborů, nabídka k uložení souboru před zavřením okna, úvodní okno před načtením modelu, změna velikosti okna (scrollbary pro obsah, který se nevejde, příp. změna velikosti fontu apod.), fullscreen režim atd. **4 MD**

- **Příprava na lokalizaci UI (1 člen).** **2 MD**
- **Vícebarevný .stl export (1-2 členové):** aby bylo možné model skutečně tisknout, je třeba ho rozumně rozsekat na více .stl souborů podle barev; bude nutné připravit “hloubkové rozsekání” modelu alespoň pro nějaké elementární tvary, aby si s tím poradil slicer pro FDM tisk (třeba experimentálně ověřovat). Tento úkol lze libovolně “přifukovat”, je téměř nemožné vyrobit natolik robustní export, aby fungoval pro úplně libovolné modely, takže čím větší robustnost, tím lepší. **(4 až 8) MD**
- **Základní nástroj barvení trojúhelníků (1 člen):** včetně filtrování zadních stran, vizualizace nástroje v UI, nastavitelná velikost štětce apod. **2 MD**
- **Flood-fill nástroje (1 člen):** nástroje plechovka, automatická a poloautomatická segmentace; bude třeba implementovat praktické UI pro segmentace, aby uživatel mohl vybrat konkrétní barvy, které se na model aplikují. **3 MD**
- **Adaptivní triangulace (1-2 členové):** viz kapitola popis projektu / nástroj štětec. Tento úkol lze rovněž libovolně “přifukovat” na náročnosti, neboť dostatečně robustní triangulace je značně netriviální úloha. **(4 až 8) MD**
- **Nástroj štětec založený na triangulaci (1 člen):** viz kapitola popis projektu / nástroj štětec. Úloha je značně závislá od finálního rozhodnutí jakým způsobem bude triangulace fungovat. Lze rovněž “přifukovat” náročnost. **(2 až 4) MD**
- **Nástroj plochý text (1-2 členové):** viz kapitola popis projektu / nástroj text. Opět značně závislé na triangulaci. Úlohu lze rovněž “přifukovat” např. různými projekcemi textů (rovina, válec, kruh apod.), které mohou být v praxi užitečné pro různé tvary modelů. Dostatečná robustnost pro různé fonty rovněž nemusí být triviální (např. jemné japonské znaky, UTF-32 symboly apod. mohou vyžadovat velmi jemnou triangulaci, což může obnášet modifikace implementace). **(3 až 7) MD**
- **Podpora “elevace” textu do 3D (1 člen):** přidat možnost, aby 2D projektovaný text (viz předchozí nástroj) mohl být “vzvednut” do 3D (plasticky). Volitelně přidat detekci kolizí (aby se plastický text neprotínal s modelem). **(1 až 3) MD**
- **Nástroj zahuštění / zjednodušení topologie (1 člen):** viz kapitola popis projektu / nástroj zahuštění / zjednodušení topologie. Opět lze libovolně “přifukovat” na náročnosti, úloha nemá triviální robustní řešení. **(1 až 4) MD**

**Milník 4 (finalizace):** **max 6 MD každý / 1.5 měsíce** -- max. do Vánoc, ideálně vč. obhajoby

- Finální UI: zajistit, že UI skutečně odpovídá mockupům, že nástroje mají sjednocené UI, že chybové hlášky jsou smysluplné apod.
- Pokusit se zkompileovat projekt pro další platformy (Mac OS, Linux), ověřit

funkčnost, příp. podrobně zdokumentovat / opravit platformně závislé bugy (primárně musí aplikace fungovat jen na OS Windows 8/10, ale je vhodné alespoň zdokumentovat, co by bylo třeba opravit pro funkčnost na dalších platformách).

- Rezerva pro nestíhání předchozích milníků, opravy bugů apod.
- Příprava finální vývojové dokumentace (v ideálním případě by měla kopírovat podrobnou specifikaci). 4 MD (společně)
- Finální testování projektu, příprava hezkých předváděcích příkladů. 2 MD
- Příprava instalačních balíčků a uživatelské dokumentace. 3 MD
- Odevzdání projektu a obhajoba.

## Vymezení projektu

Diskrétní modely a algoritmy	
	diskrétní matematika a algoritmy
	geometrie a matematické struktury v informatice
	optimalizace
Teoretická informatika	
	Teoretická informatika
Softwarové a datové inženýrství	
x	softwarové inženýrství
x	vývoj software
	webové inženýrství
	databázové systémy
	analýza a zpracování rozsáhlých dat
Softwarové systémy	
	systémové programování
	spolehlivé systémy
	výkonné systémy
Matematická lingvistika	
	počítačová a formální lingvistika
	statistické metody a strojové učení v počítačové lingvistice
Umělá inteligence	
	inteligentní agenti
	strojové učení
	robotika

Počítačová grafika a vývoj počítačových her	
x	počítačová grafika
	vývoj počítačových her

## Poznámky

Podrobná specifikace se může do určité míry lišit od zadání, jelikož ještě budou probíhat další jednání a specifikace s konzultanty z průmyslu (Ing. Vojtěch Bubník z Prusa Research).