

3D mesh a kvalita trojuholníkov

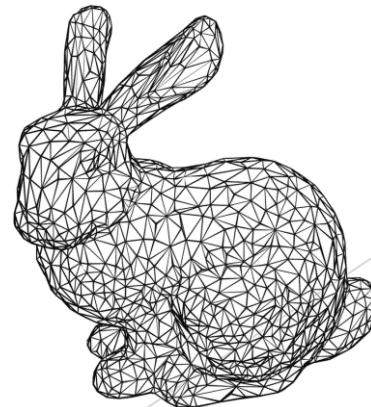
Martin Košovský

Školiteľ: doc. RNDr. Andrej Ferko, PhD.
Konzultant: Mgr. Marcel Makovník, PhD.

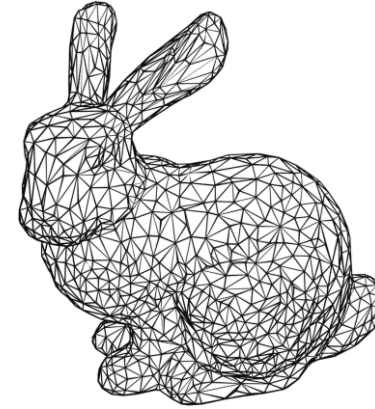
Základné pojmy

3D mesh (3D sieť):

- ▶ Je súhrn vrcholov, hrán a plôch, ktoré spolu tvoria trojrozmerný objekt.
- ▶ Vrcholy sú body v trojrozmernom priestore, pričom každá z hrán spája dva susedné vrcholy a hrany ohraničujú plochy, čím tvoria povrch objektu.
- ▶ Plochy sa zvyčajne skladajú z trojuholníkov (trojuholníková sieť), štvoruholníkov alebo iných jednoduchých konvexných polygónov.



Základné pojmy



Kvalita trojuholníkov:

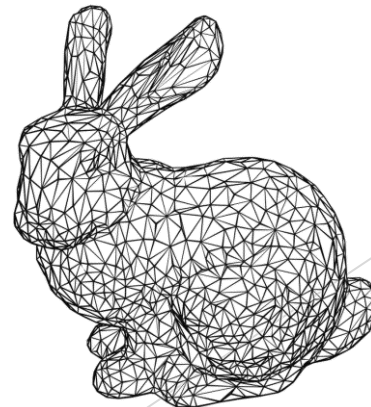
- ▶ Miera kvality trojuholníka je jednoznačné číselné ohodnotenie jeho tvaru podľa vybranej vlastnosti.
- ▶ Pod týmto pojmom si môžeme predstaviť funkciu, ktorá má na vstupe trojuholník a na jej výstupe väčšinou reálne číslo z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

Vizualizácia kvality:

- ▶ Vizualizácia kvality trojuholníkov v 3D meshi je proces zobrazovania meshu takým spôsobom, ktorý umožňuje ľahko identifikovať a hodnotiť geometrickú kvalitu jednotlivých trojuholníkov.
- ▶ Vizualizácia kvality trojuholníka je rozhodujúca pre pochopenie charakteristík siete a identifikáciu problematických oblastí.

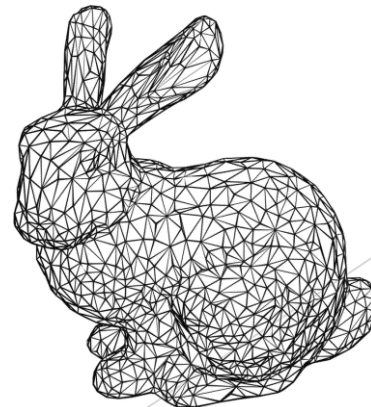
Ciel' práce

- ▶ Vytvoriť prehľad problematiky mier kvality trojuholníkov.
- ▶ Navrhnuť vhodné vizualizácie kvality.
- ▶ Vytvoriť rozšírenie do projektu MeshLab.
- ▶ Otestovať vizualizácie na vybraných objektoch.



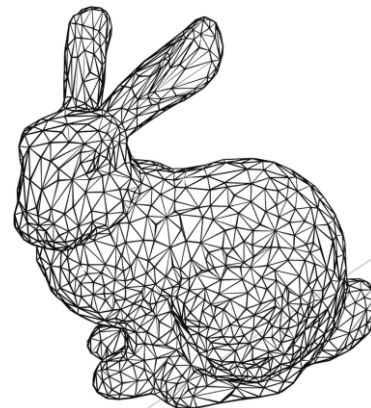
Prečo je kvalita 3D meshov dôležitá?

- ▶ Hladké a detailné povrchy zvyšujú vizuálny realizmus.
- ▶ V 3D tlači zaisťuje presnosť a štrukturálnu pevnosť.
- ▶ Prispieva k efektívnejšiemu spracovaniu a nižšiemu využitiu pamäte.
- ▶ Dôležitá pre stabilné a spoľahlivé numerické výpočty v simuláciách a analýzach.



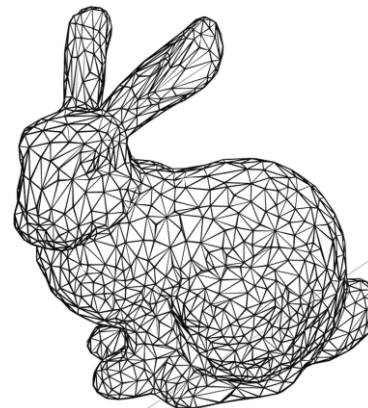
Zhrnutie hlavných výsledkov práce

- ▶ Preskúmané kvalitatívne metriky - plošná metrika, metrika pomeru polomerov, uhlová metrika.
- ▶ Opísané vizualizačné metódy - farebné mapovanie, histogramy.
- ▶ Preskúmané známe softvérové riešenia - MeshLab, Blender.
- ▶ Navrhnuté nové vizualizačné metódy.
- ▶ Úspešne vytvorené rozšírenie MetricCombVis.



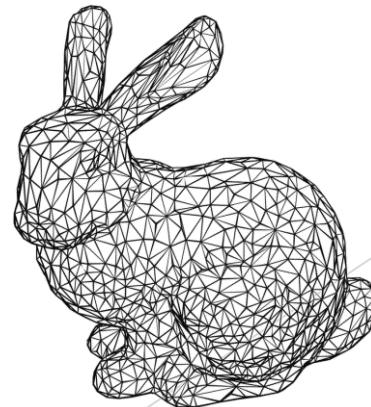
Navrhnuté vizualizácie

1. Vizualizácia pomocou základných metrík a ich kombinácií:
 - ▶ Používateľ môže vybrať kombináciu 1 až 5 metrík.
 - ▶ Taktiež môže nastaviť typ farebného mapovania stien:
 - špecifické hodnoty / rozsah hodnôt.
2. Vizualizácia odchýlky uhlov v okolí vrcholov od optimálneho, 60-stupňového uhla:
 - ▶ Používateľ môže vybrať, či vrcholy budú zafarbené podľa priemeru uhlov, ktoré sa v okolí vrcholov nachádzajú alebo či sa vrcholy zafarbia podľa maximálnej odchýlky od 60-stupňového uhla.



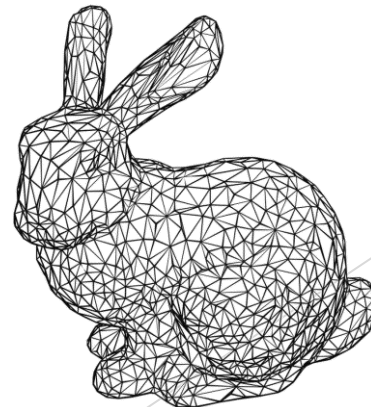
Technické detaily softvéru

- ▶ Plugin je navrhnutý tak, aby naplno využil používateľské prostredie MeshLab.
- ▶ Rozšírenie podporuje všetky formáty 3D modelov, ktoré sú podporované aplikáciou MeshLab (OBJ, STL, PLY, 3DS, GLTF...).
- ▶ Plne spolupracuje s časťami ako sú hlavné okno, log, bočný panel, menu.



Implementačné detaily softvéru

- ▶ Programovací jazyk: C++.
- ▶ Knižnice: Visualization and Computer Graphics Library, Qt.
- ▶ Zdrojový kód: Plugin.h a Plugin.cpp.
- ▶ Hlavná trieda: Plugin - dedí z FilterPlugin a QObject.
- ▶ Najdôležitejšie funkcie: `initParameterList()`, `applyFilter()`.
- ▶ Vedľajšie funkcie na výpočet metrík.



Testovacie objekty

Stanford Bunny:

- ▶ Počet vrcholov: 35 947.
- ▶ Počet trojuholníkov: 69 451.



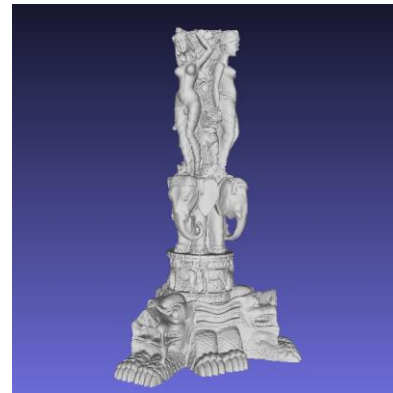
Happy Buddha:

- ▶ Počet vrcholov: 543 652.
- ▶ Počet trojuholníkov: 1 087 716.



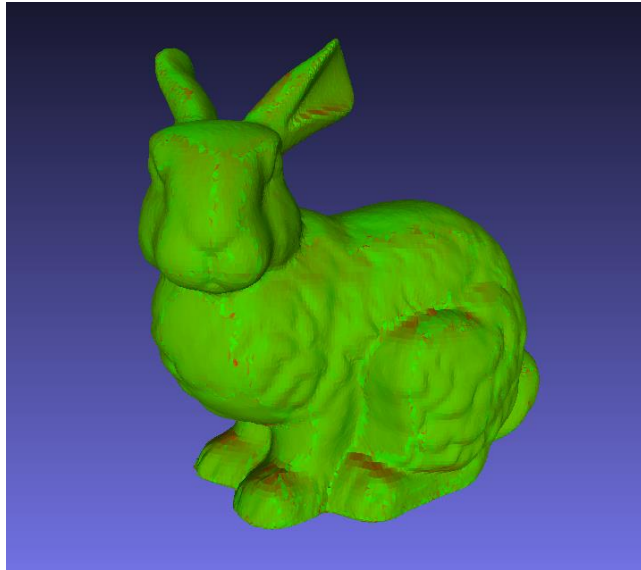
Thai Statue:

- ▶ Počet vrcholov: 4 999 996.
- ▶ Počet trojuholníkov: 10 000 000.

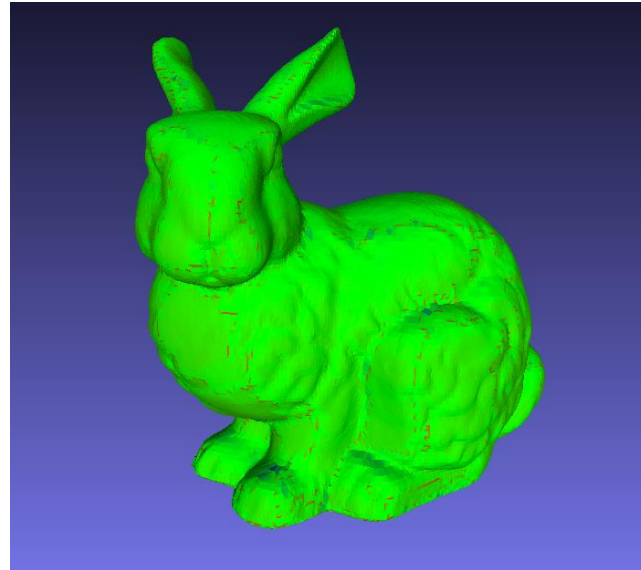


Príklad použitia - farbenie stien

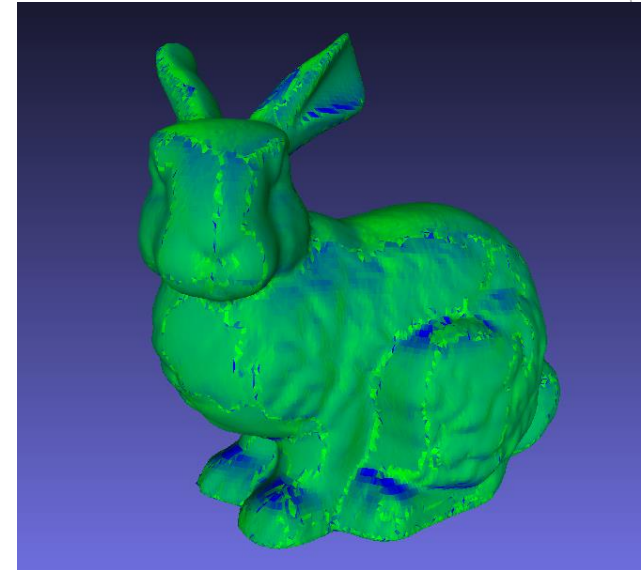
Vizualizácie jednotlivých základných metrík:



1. Metrika polomerov



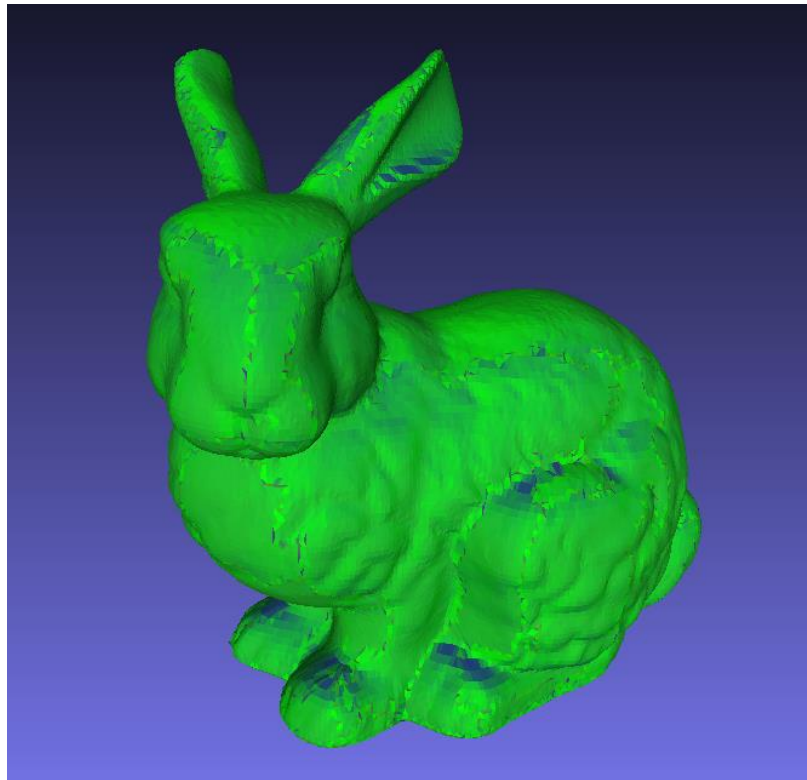
2. Plošná metrika



3. Metrika pomeru strán

Príklad použitia - farbenie stien

Vizualizácia kombinácie metriky pomeru polomerov, plošnej metriky a metriky pomeru strán:



Plugin: First visualization

This function allows users to apply a combination of one to five quality metrics to a mesh. The user also has the option to set how colors will be mapped to individual faces.

Metric1:

Metric2:

Metric3:

Metric4:

Metric5:

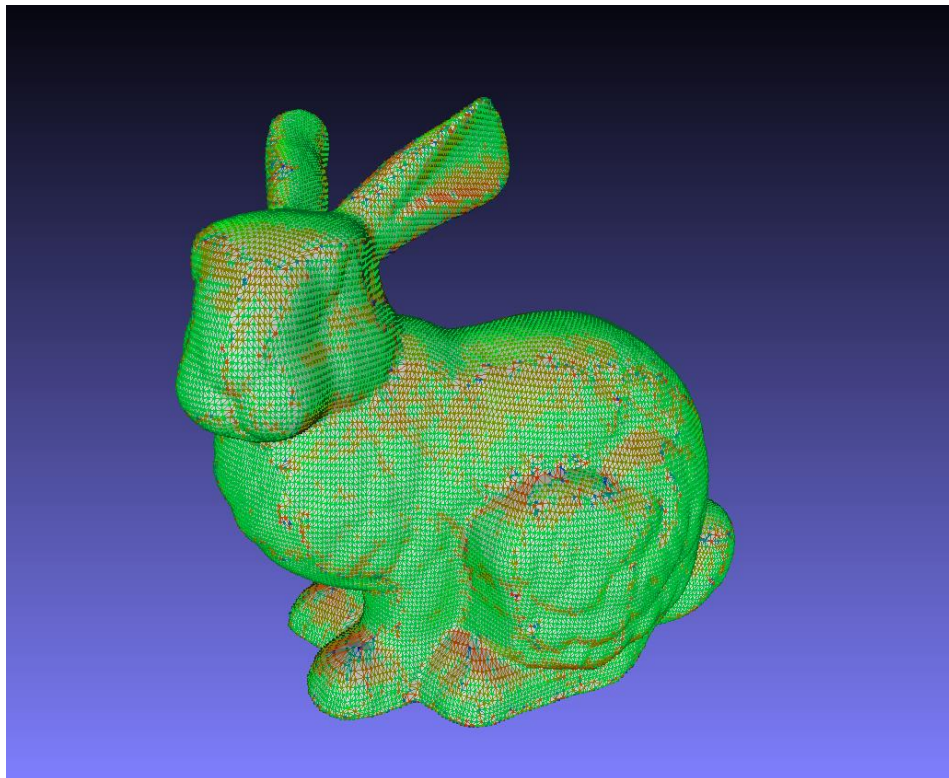
Color Distribution:

Preview

PyMeshLab Filter

Príklad použitia - farbenie vrcholov

Vizualizácia maximálnej odchýlky od optimálneho, 60 stupňového uhla:



Plugin: Second visualization

*This function allows users to apply colors to vertices according to the average of the angles that are around the vertex, or according to the maximum deviation from the optimal, 60° angle.
Before applying or previewing this function, enable option of showing vertices, and optionally also option of showing edges of the mesh in the toolbar.
After applying or previewing the function, set the color of the faces in the side panel to 'Mesh' or 'User-Def'.
In the side panel, you can also set the size of the points that represent the vertices.*

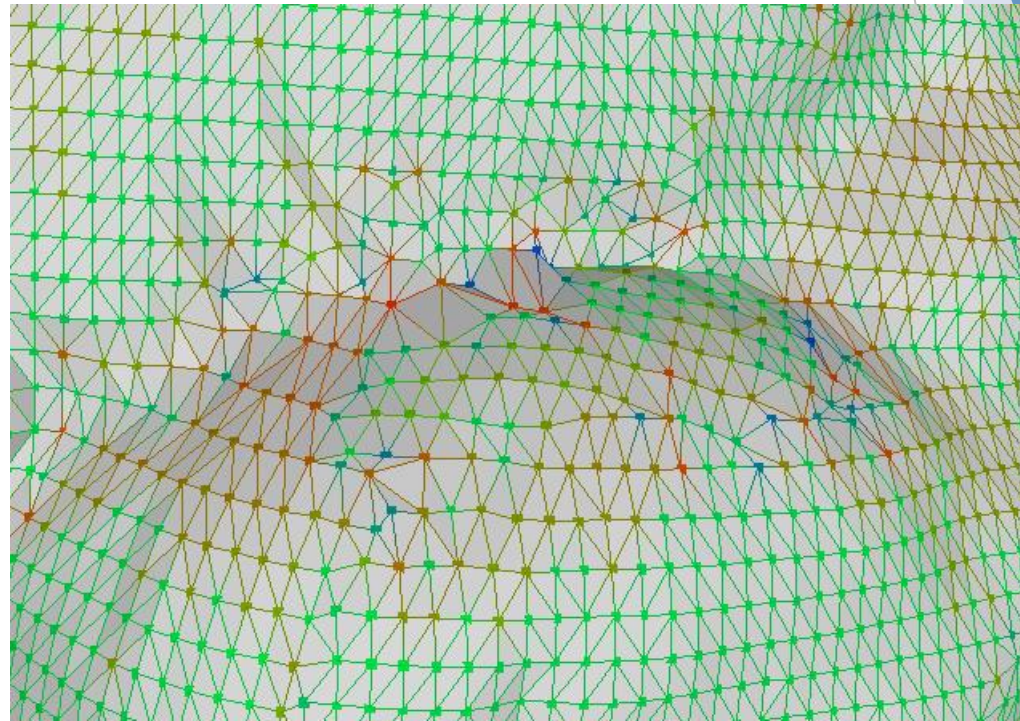
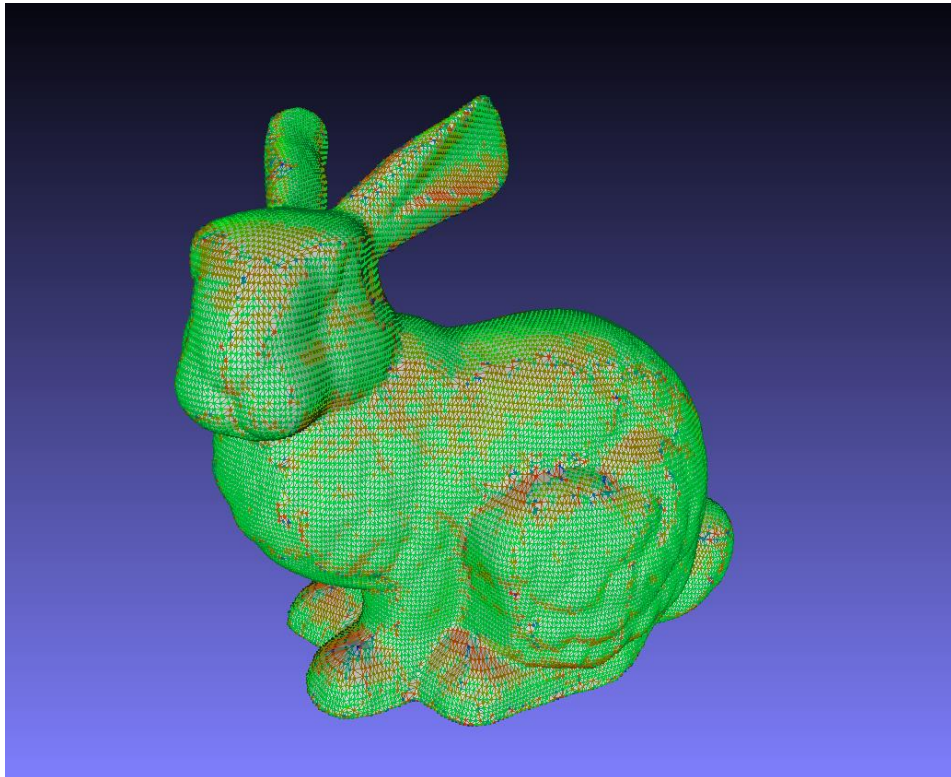
Color Distribution:

Preview

PyMeshLab Filter

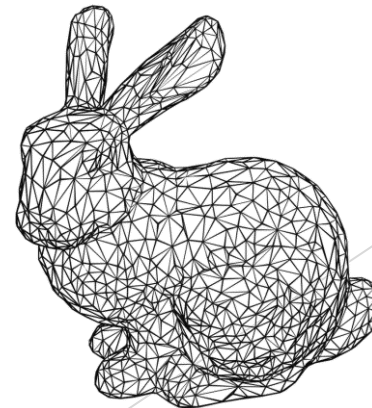
Príklad použitia - farbenie vrcholov

Vizualizácia maximálnej odchýlky od optimálneho, 60 stupňového uhla:



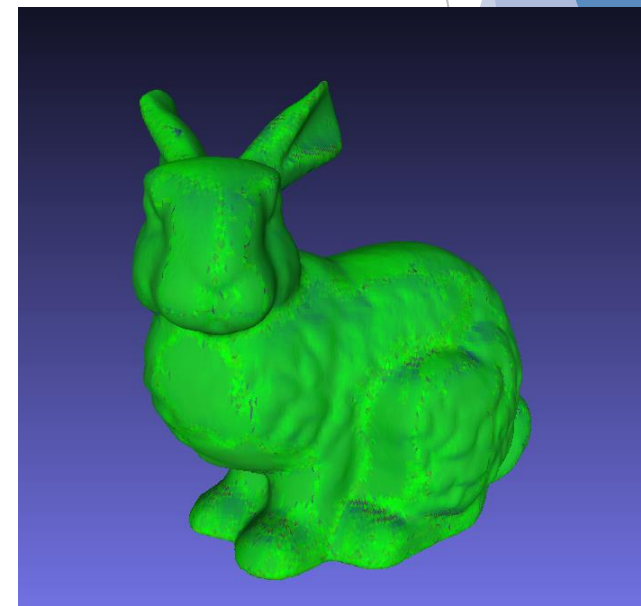
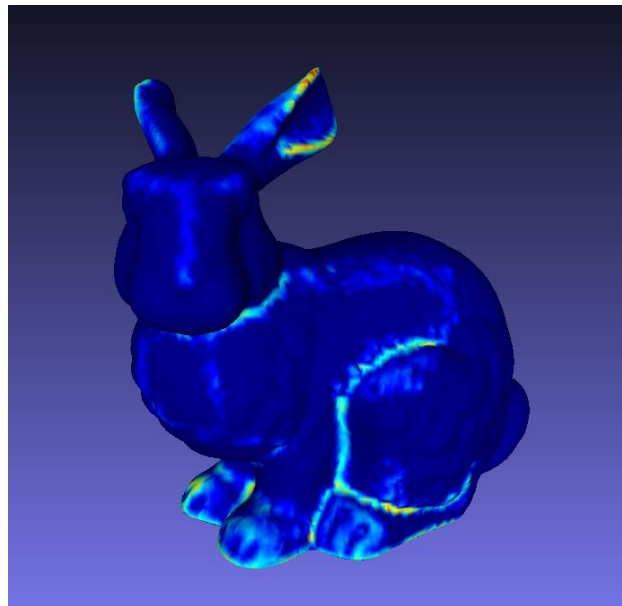
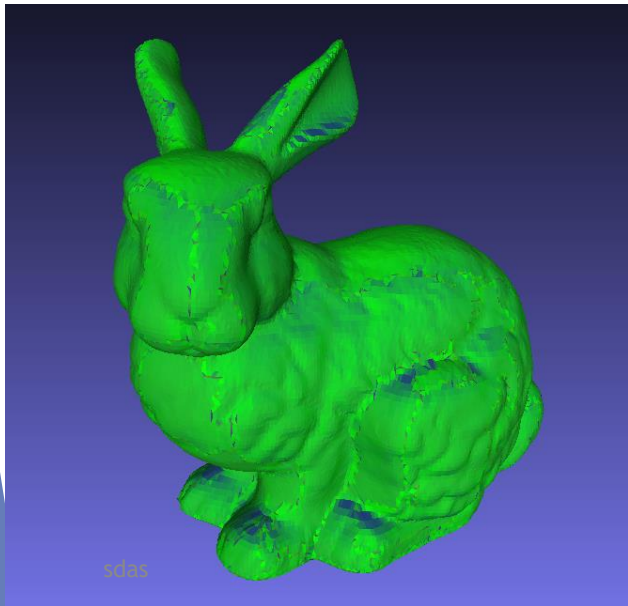
Časová efektivita

- ▶ Časová náročnosť vizualizácií sa líši v závislosti od zvolených metrík a spôsobu farebného mapovania.
- ▶ Napriek tomu sme dosiahli uspokojivé výsledky.
- ▶ Čas vizualizácie Stanford Bunny: 75 - 120 ms.
- ▶ Čas vizualizácie Happy Buddha: 500-900 ms.
- ▶ Čas vizualizácie Thai Statue: 3,5 - 8 s.



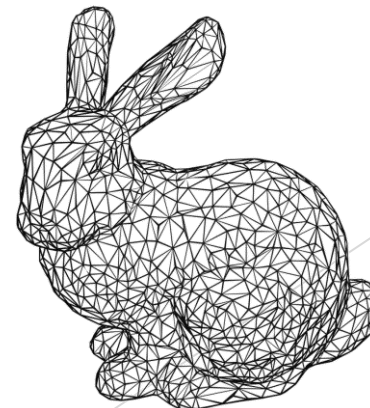
Vylepšenie modelu

- ▶ Za použitia filtrov Subdivision Surface - Loop a Laplacian Smooth sme vylepšili model Stanford Bunny.
- ▶ Počet trojuholníkov sa zvýšil o 1503 (2,16% nárast).
- ▶ Počet vrcholov sa zvýšil o 752 (2,1% nárast).

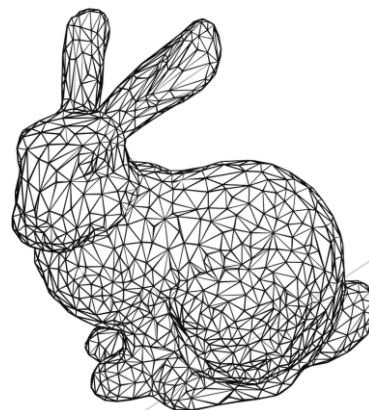


Záverečné zhodnotenie

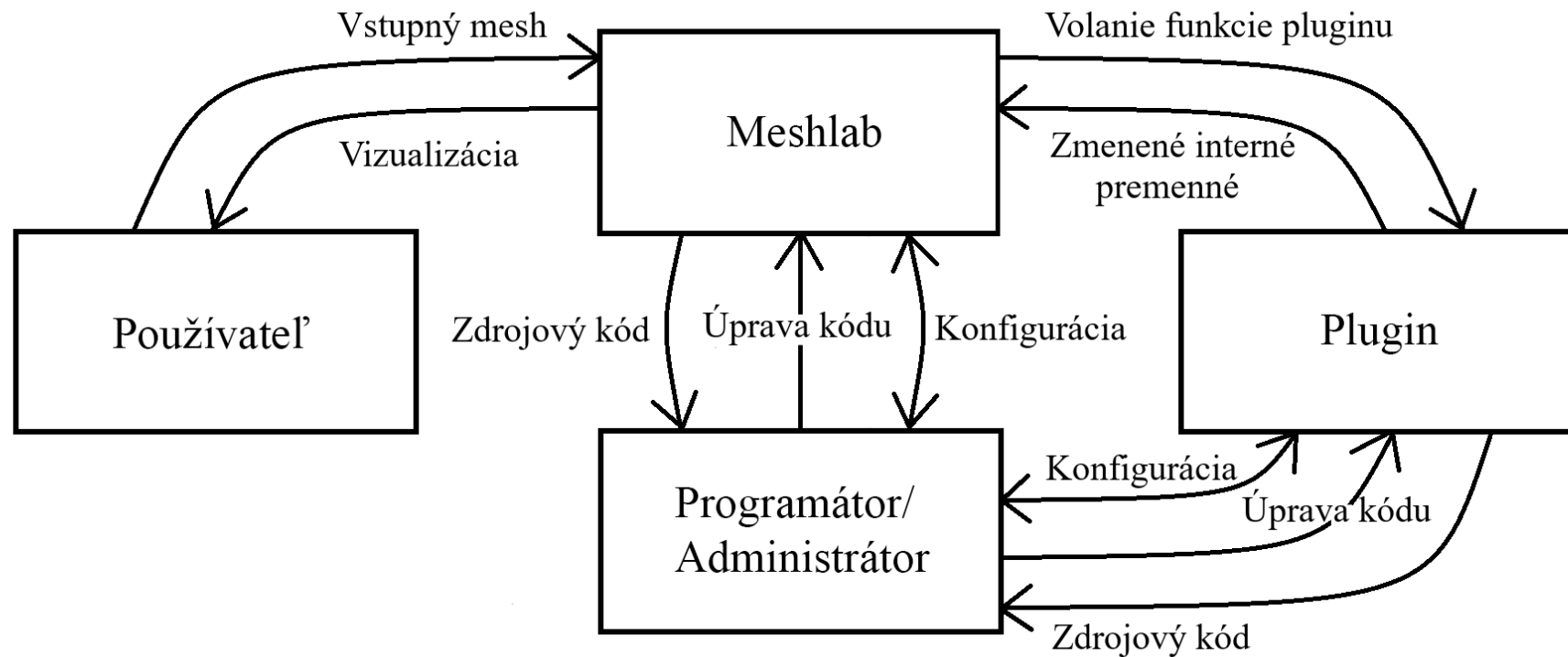
- ▶ Preskúmali sme rôzne kvalitatívne metriky, typy vizualizácií a existujúce softvérové riešenia.
- ▶ Navrhli a implementovali sme rozšírenie MetricCombVis, ktoré ponúka 300 jedinečných vizualizácií kvality.
- ▶ Ukázali sme, že rozšírenie dokáže odhaliť a vizualizovať problémové oblasti v rozumnom čase.
- ▶ V prípade pokračovania na práci plánujeme plugin rozšíriť o ďalšie vizualizácie.



Ďakujem za pozornosť

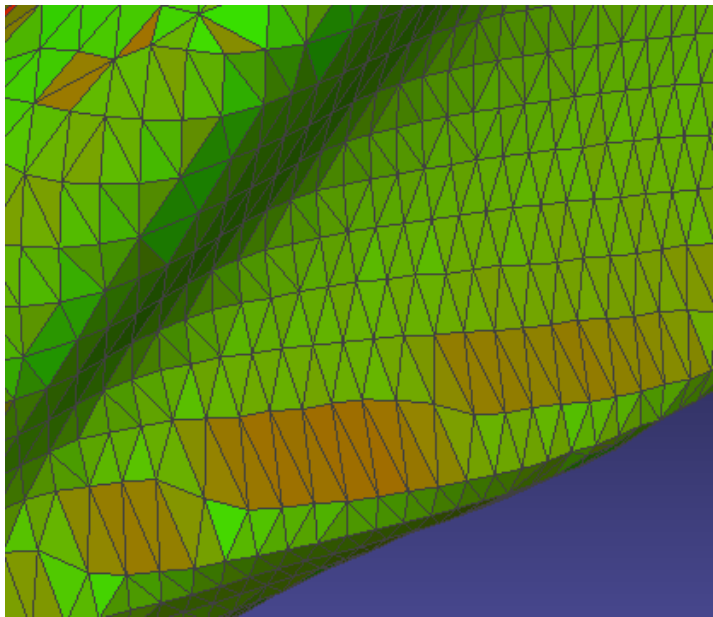


Obr. 2.1: Kontextový diagram projektu



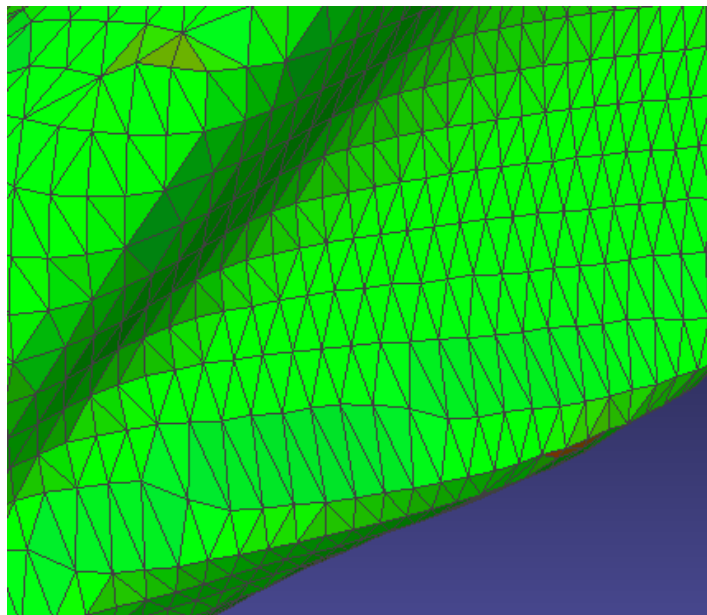
Farbenie jednotlivých trojuholníkov

Detail farbenia jednotlivých trojuholníkov pomocou kombinácie metrík:

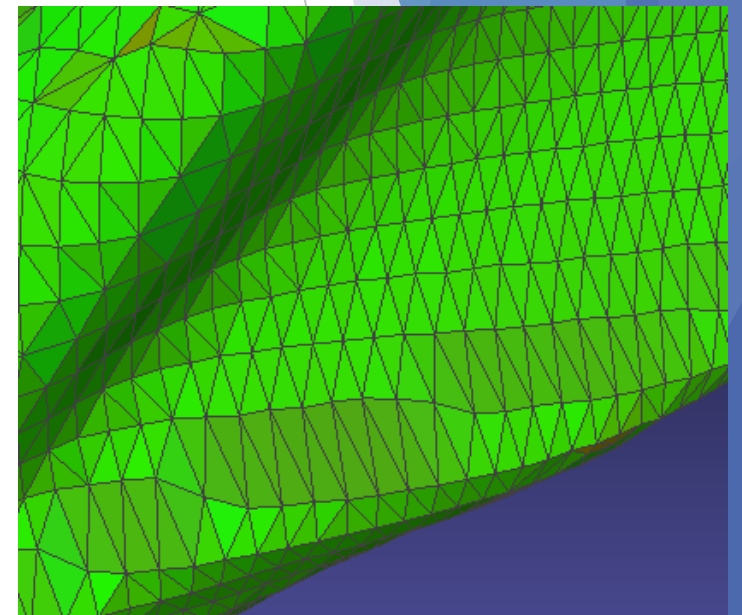


1. Metrika polomerov

+



2. Plošná metrika



3. Výsledná kombinácia