

MUNI
SCI

Metody antropologie I

Úvod do 3D dat

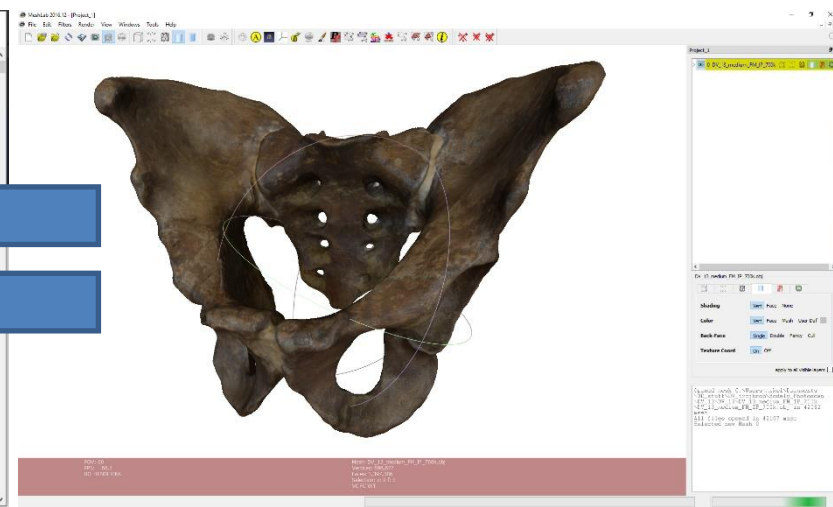
Mgr. Mikoláš Jurda, Ph.D.

Co to je digitální model?

Počítačový soubor, případně více vzájemně propojených souborů



```
104_VR_gunshot_fr_Cobj - Poznámkový blok
#OBJ Generated by CloudCompare (TELECOM PARISTECH/EDF R&D)
v -53.55043030 -7.88446808 -10.42034817
v -53.45549774 -7.96929758 -10.35543156
v -53.61621857 -7.86543465 -10.30234432
v -53.58399200 -7.91969395 -10.11777020
v -53.76817322 -7.76014233 -10.24571896
v -53.44028473 -8.03701687 -10.17420292
v -53.64534760 -7.80853844 -10.48531628
v -53.54069519 -7.82921886 -10.55079688
v -53.39617920 -7.90231323 -10.55146503
v -53.47836304 -7.80124760 -10.71277523
v -53.88888888 -7.86575508 -10.71391392
v -53.74839627 -7.74839627 -10.66688824
v -53.74211597 -7.74211597 -10.78942316
v -53.72080279 -7.72080279 -10.89109135
v -53.70690346 -7.70690346 -10.86722851
v -53.64841461 -7.71383286 -10.8176714
v -53.78054619 -7.78054619 -10.82196522
v -53.75375652 -7.75375652 -10.93005848
v -53.76777798 -7.76777798 -10.99975491
v -53.65406640 -7.65406640 -11.14855099
v -53.68064117 -7.68064117 -11.04255581
v -53.42604828 -7.66059875 -11.10536480
v -53.42488098 -7.66009998 -11.10708714
v -53.18962860 -7.73050800 -11.03877926
v -53.37766266 -7.64140511 -11.17620072
v -53.12716675 -7.75962067 -11.80132004
v -53.11208344 -7.70464611 -11.12267208
v -53.12912750 -7.77578354 -10.96065998
v -53.17776489 -7.81537819 -10.86292171
v -53.13848114 -7.80283165 -10.90495205
v -53.16151428 -7.87116432 -10.75568104
v -53.14929962 -7.83171654 -10.84496403
v -53.18219757 -7.91393757 -10.67592144
```



digitální záznam

obsahující informace o tvaru objektu a dalších vlastnostech

zobrazitelný ve speciálních aplikacích

Co to je digitální model?

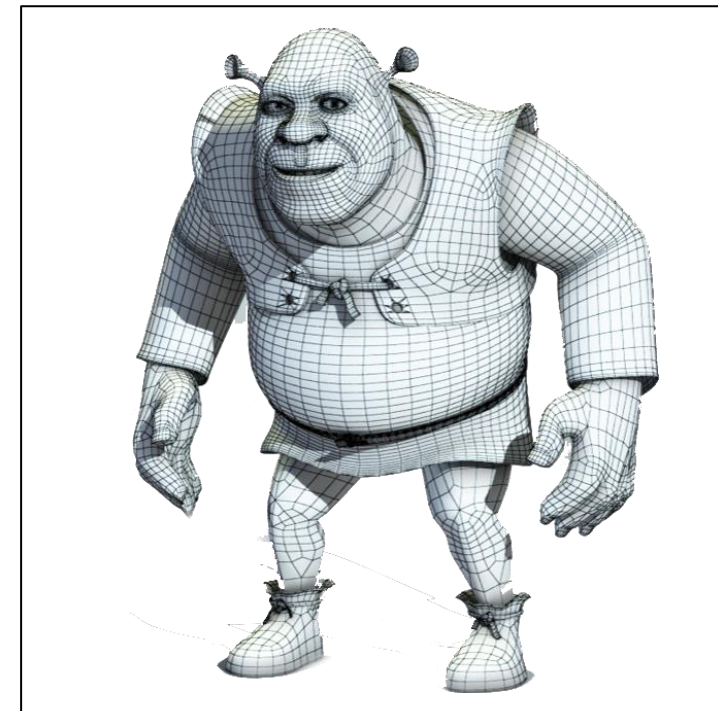
trojrozměrná reprezentace **skutečného** či uměle vytvořeného tvaru ve formě digitálních dat



věrný - reálný



upravený



smyšlený

Proč 3D modely používáme?

práce s digitálními
modely ve virtuálním
prostředí

snadné sdílení
bez ohledu na
geografickou
vzdálenost



snadná archivace s ohledem
na prostorové možnosti,
hygienické a etické otázky

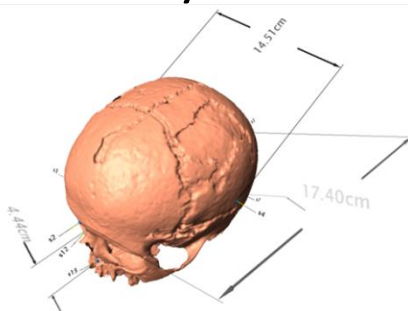


široké vizualizační a
analytické možnosti

animace a
náhledy

měření a
analýzy

3D tisk



VS.

Název	Datum změny	Typ	Velikost
3_Fragments_max	17.03.2017 10:59	Scalder MAX	10 204 KB
3_Fragments_2017_max	17.03.2017 11:58	Scalder MAX	10 204 KB
base_01_med_01	25.05.2017 10:08	3D Objekt	489 KB
base_01_med_01	25.05.2017 10:00	3D Objekt	489 KB
mandibula_01_med_01	16.05.2017 10:32	3D Objekt	489 KB
mandibula_01_med_01	16.05.2017 10:32	3D Objekt	487 KB
maxilla_med_01	16.05.2017 10:32	3D Objekt	1 432 KB
os_lac_temporale_01_med_01	25.05.2017 10:00	3D Objekt	391 KB
os_occipitale_med_01	25.05.2017 10:00	3D Objekt	377 KB
os_parietale_01_med_01	25.05.2017 10:00	3D Objekt	1 154 KB
os_parietale_01_med_01	25.05.2017 10:00	3D Objekt	377 KB
os_parietale_01_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	245 KB
os_parietale_01_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	242 KB
os_parietale_01_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	489 KB
os_parietale_01_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	1 150 KB
os_parietale_01_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	1 312 KB
os_sphenoidale_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	353 KB
os_sphenoidale_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	388 KB
os_sphenoidale_med_01	25.05.2017 10:01	3D Objekt	375 KB
tr_2_A.avi	17.03.2017 11:00	Scalder 3D	42 960 KB
tr_3_A.avi	17.03.2017 11:01	Scalder 3D	35 382 KB
tr_3_A.avi	17.03.2017 10:12	Scalder 3D	39 567 KB



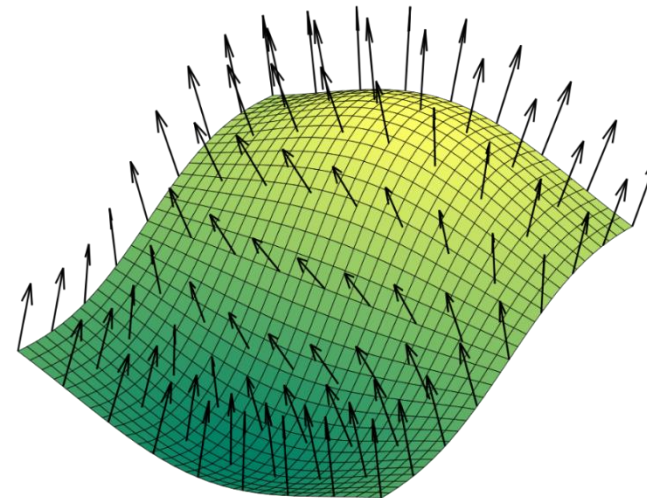
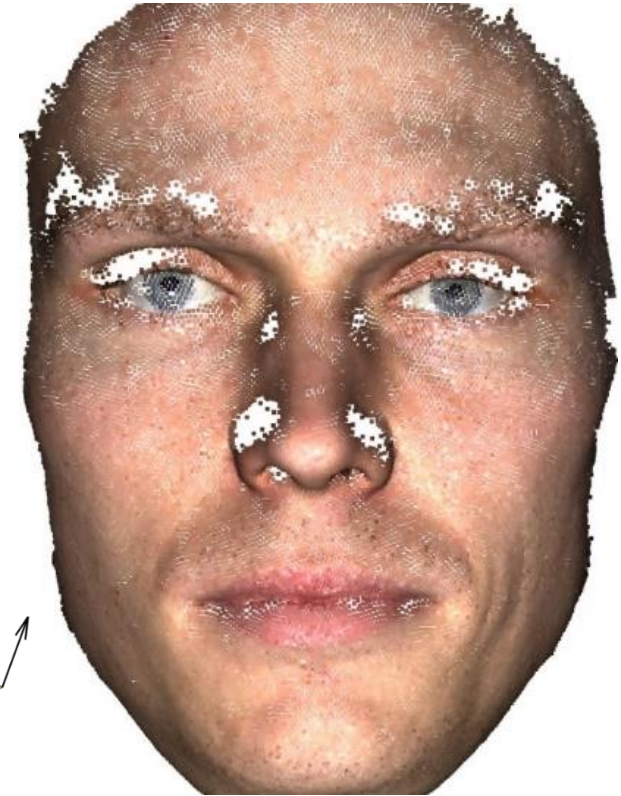
Různé úrovně informace – bodový oblak

Nejstručnější formát a zobrazení 3D modelů:

- soubor bodů definovaných trojrozměrnými souřadnicemi (x, y, z)
- body mohou být opatřeny informací o barvě
- body mohou být opatřeny normálovým vektorem (určuje rub a líc)
- vizualizace
- měření vzdáleností mezi body
- nevymezuje prostor

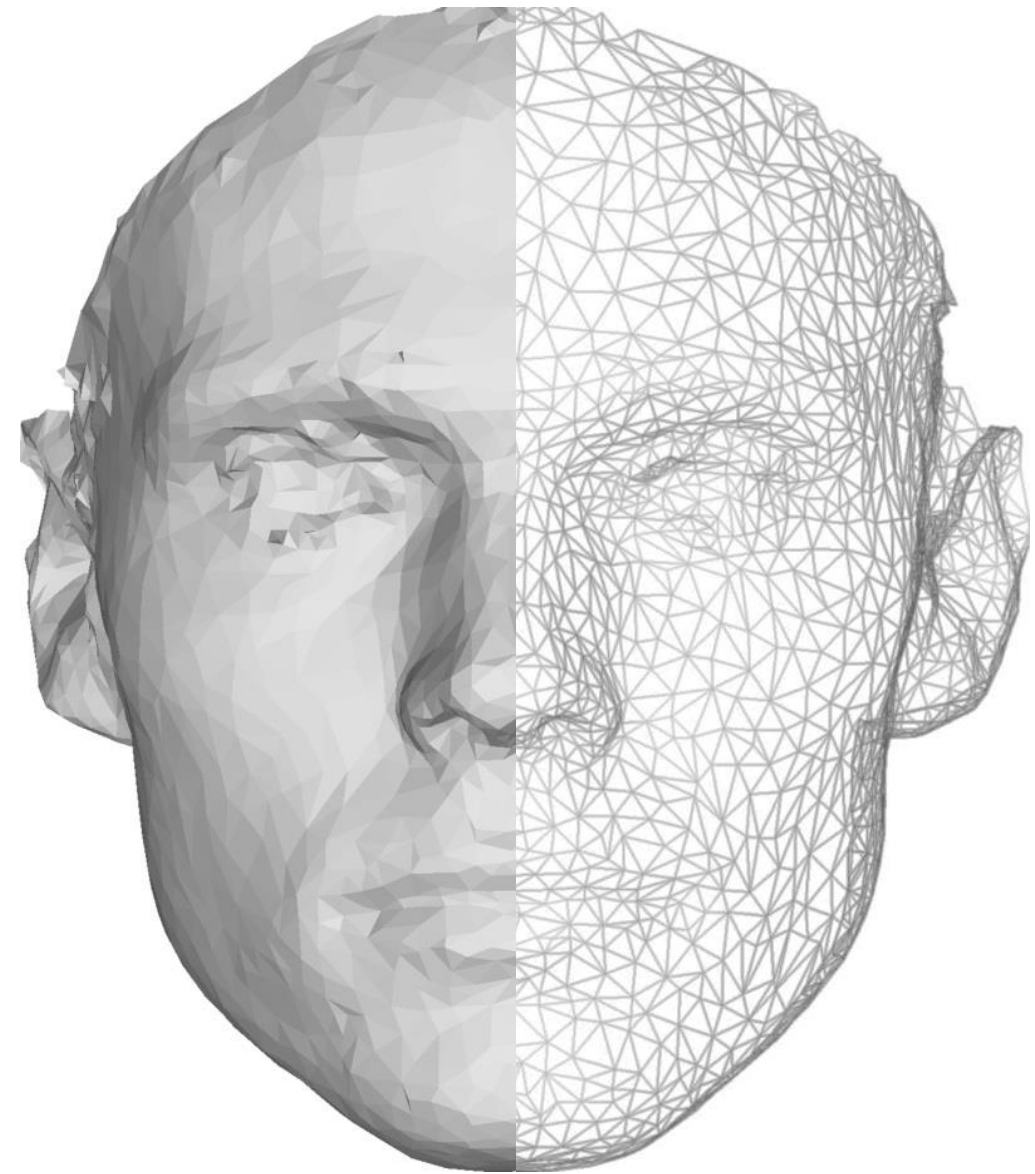


bodový oblak



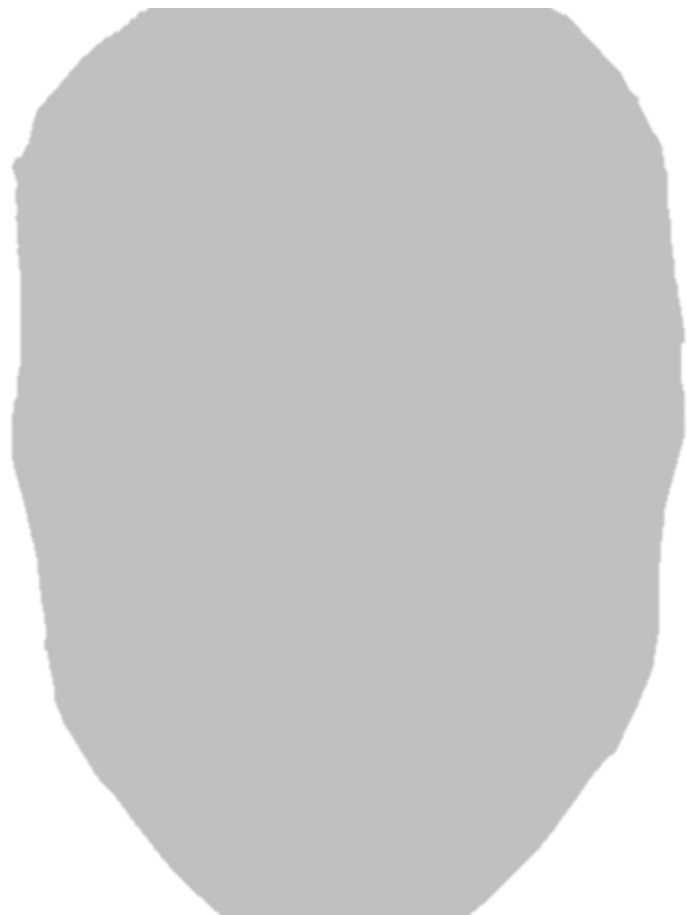
Různé úrovně informace – polygonální model

- **body** (vrcholy) propojené **hranami** (angl. *edges*), které vymezují plošky (facety, angl. *faces*); otevřený nebo uzavřený mnohostěn
- vizualizace
- měření vzdáleností mezi body na povrchu
- tvorba řezů, digitalizace křivek
- jednotlivé prvky mohou být opatřeny barevnou informací
- datově objemnější než bodový mrak

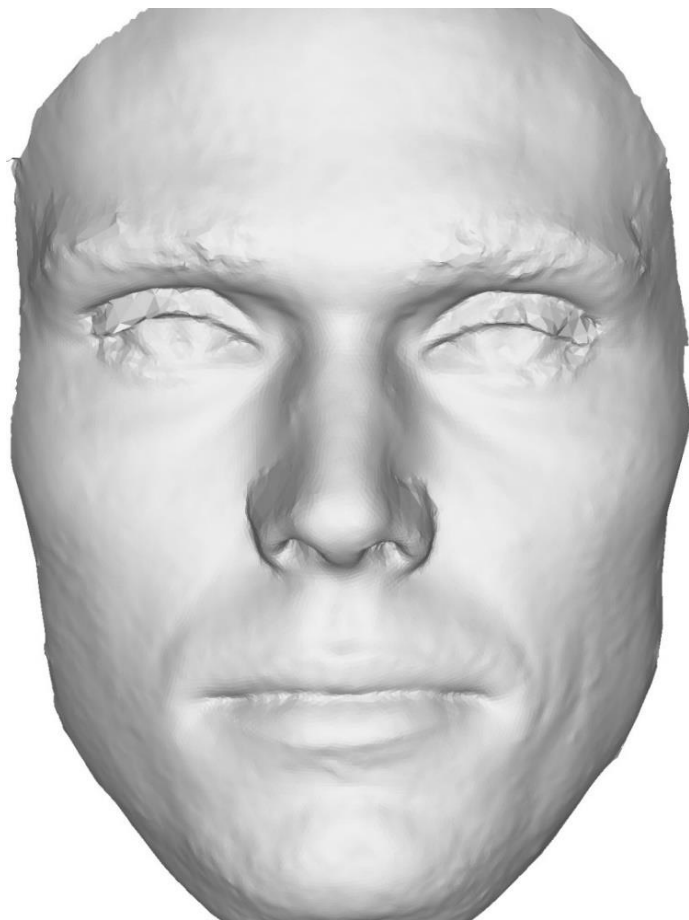


polygonální model (nalevo v umělém zabarvení, napravo v podobě drátěného modelu)

Různé úrovně informace – polygonální síť a barevná informace



nestínovaný polygonální model
bez barevné informace



stínovaný polygonální
model



polygonální model s
barevnou informací

aktuální podoba závisí na metodě záznamu, editaci modelu a nastavení zobrazení

Různé úrovně informace – typy barevné informace

přiřazení barvy **přímo jednotlivým prvkům modelu** (vrcholům, hranám nebo facetám) -> závislost detailů barevného zobrazení na detailech modelu



70 000 vrcholů



30 000 vrcholů

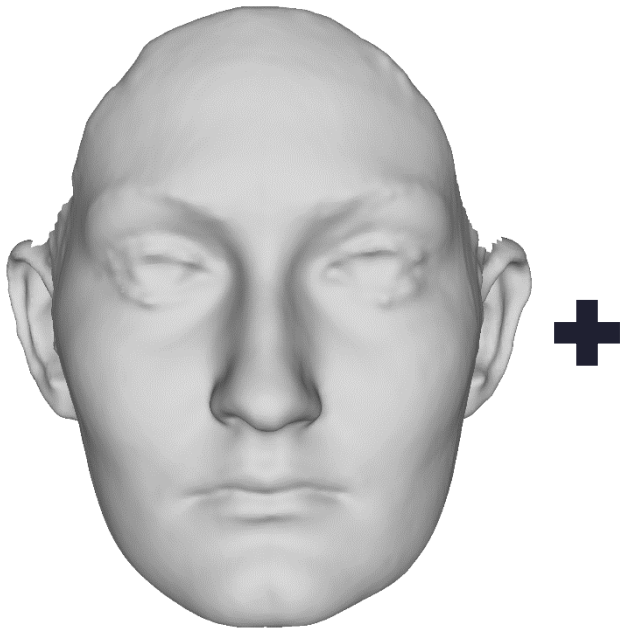


5 000 vrcholů

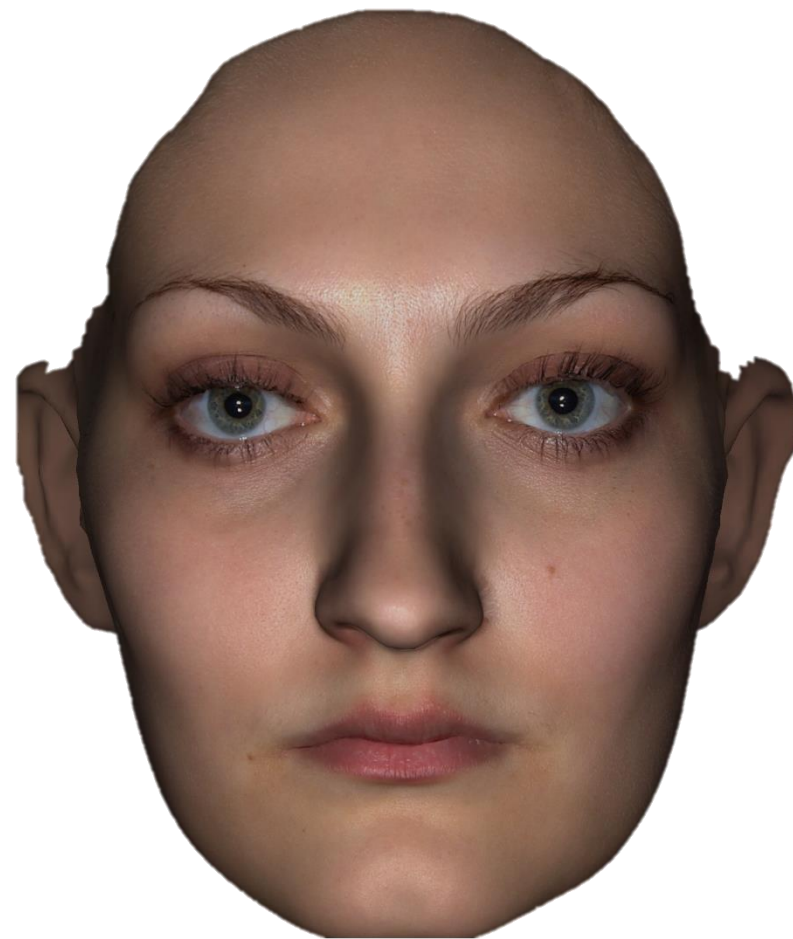
Různé úrovně informace – typy barevné informace

textura – obrázek, kterým je model potažen

- samostatný obrazový soubor (např. jpg formát)
- barevná informace nezávislá na rozlišení modelu
- model uložen ve více souborech (soubor modelu + soubor materiálu + soubor textury)



+



5 000 vrcholů

Formáty 3D modelů

.obj

- geometrie, barva a materiálové vlastnosti
- barva ve formě informace přiřazené vrcholům i ve formě textury
- univerzální

.ply

- geometrie a barva
- barva přiřazená vrcholům nebo ve formě textury

.stl

- pouze geometrie
- dva formáty – *Ascii* a *Binary* – *Ascii* je uspořádanější, *binary* menší
- pokud polygonální síť obsahuje díry, některé programy hlásí chybu

Existují velmi univerzální programy (např. Blender), ale také programy pracující s velmi omezeným množstvím formátů (např. Landmark).

Vlastnosti polygonální sítě

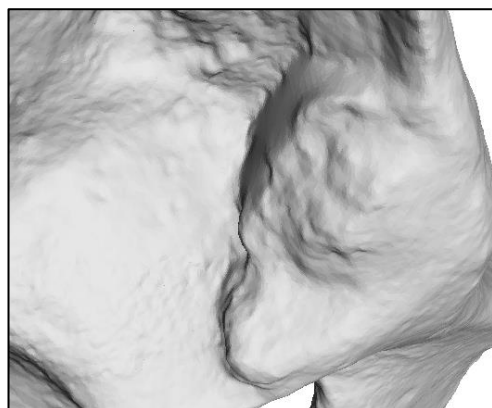
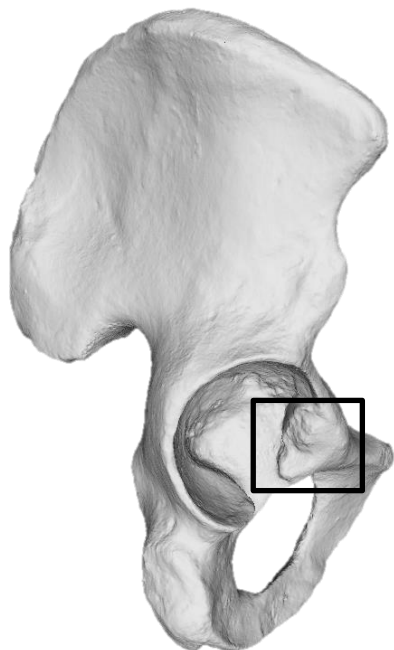
PŘESNOST DIGITÁLNÍCH MODELŮ

Míra shody mezi vzájemnou polohou vrcholů modelu a vzájemnou polohou jim odpovídajících bodů zobrazovaného objektu

ROZLIŠENÍ

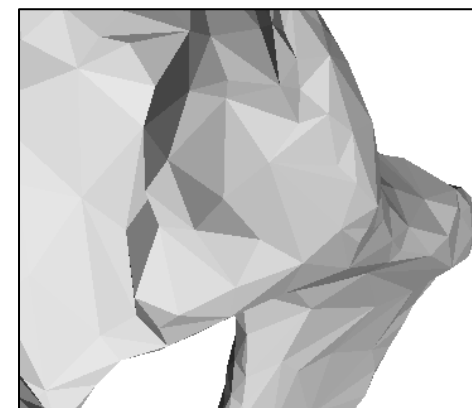
Počet vrcholů modelu na jednotku plochy (nejčastěji in^2 nebo cm^2)

Dáno přesností záznamových metod a následnými úpravami modelu



523 vrcholů/ cm^2
(70 Mb)

DETAILNOST
Velikost rozlišitelných prvků



2 vrcholy/ cm^2
(0,2 Mb)



Tvorba 3D modelů

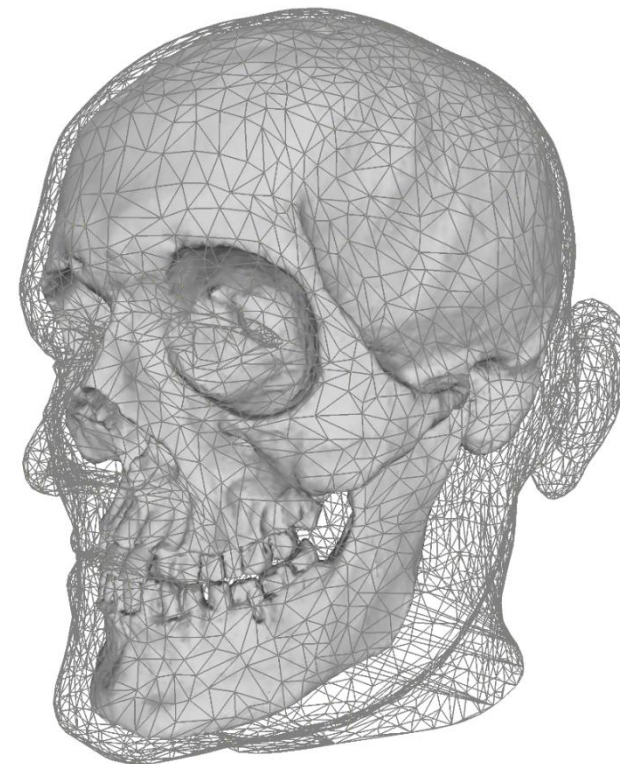
neexistuje jediná metoda, vhodná pro všechny typy objektů a zaznamenávající všechny vlastnosti!!!



barevná informace



vnější tvar



vnitřní struktura

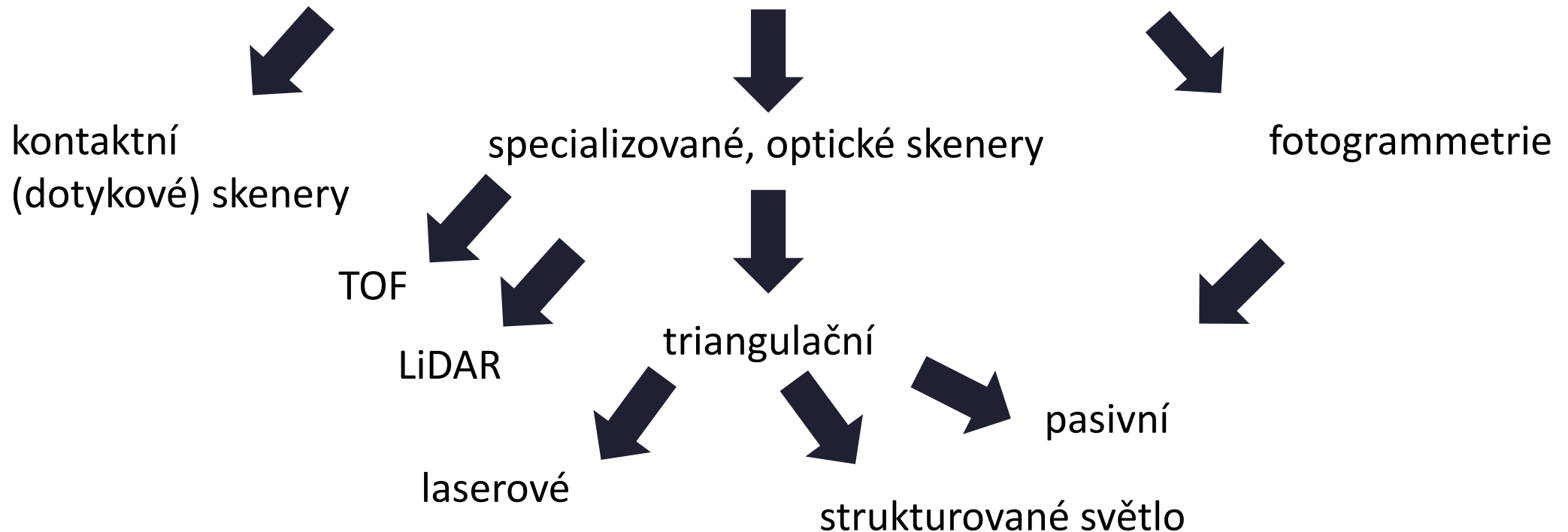
povrchové skenery a fotogrammetrie

lékařské zobrazovací přístroje (CT a MRI)

(3D modelování zde ignorujeme)

Skenery a fotogrammetrie

- snímají 3D souřadnice bodů na povrchu objektů (základ polygonálního modelu)
- primárním výstupem **jsou přímo 3D polygonální sítě** nebo **bodové mraky**
- mohou snímat barevnost
- přesnost a rozlišení skenerů jsou dány technickými možnostmi použitých metod – až setiny mm

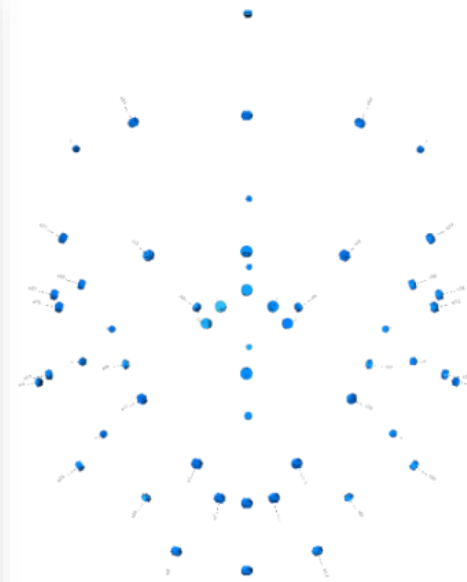


Povrchové snímání – kontaktní skenery

- prostorová poloha **diskrétních bodů a křivek**
- přesný záznam malého objemu dat
- použitelné na všechny pevné materiály
- pro snímání živých osob pomalé

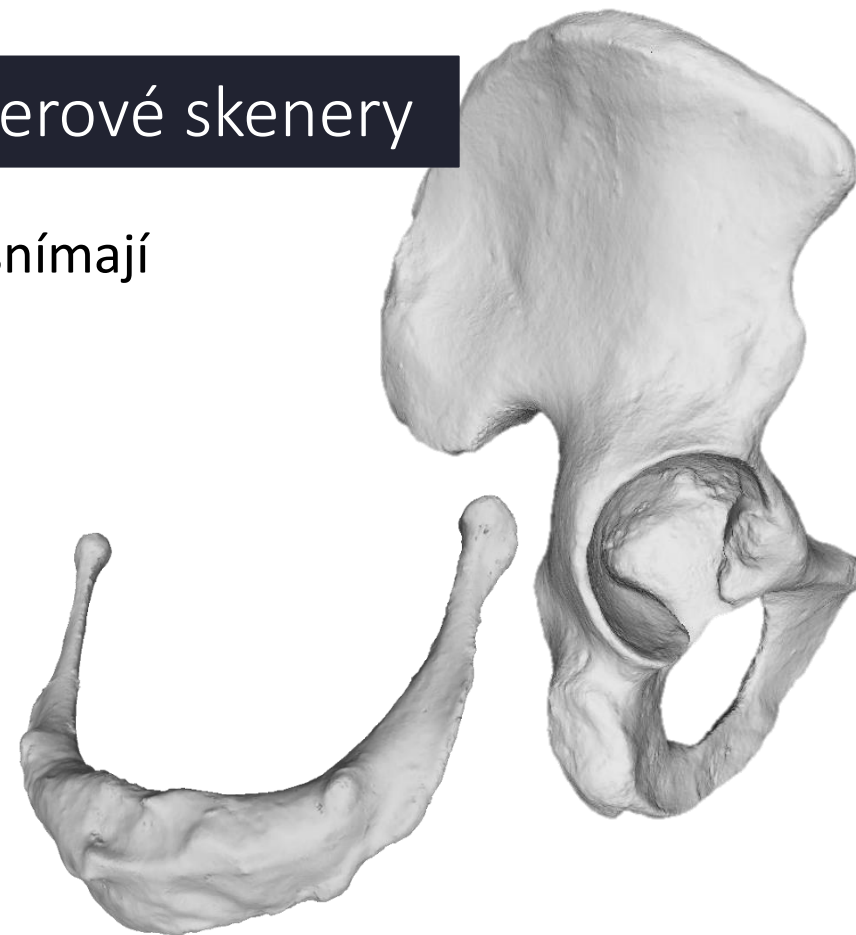


	A	B	C	D	E
1			X	Y	Z
2	Glabella	G	40.4949	77.5309	-53.3918
3	Nasion	N	43.6306	63.6147	-42.2136
4	Rhinion	RH	47.2065	33.9973	-38.6582
5	Nasospinale	NS	50.6423	21.892	-29.7156
6	Prosthion	P			
7	Sutura frontonasalis dx	NFdx	40.1056	76.5006	-53.0574
8	Apertion dx	APTdx	33.88	40.6853	-41.3799
9	Nariale dx	NRdx	40.236	33.2237	-40.741
10	Upper caninus dx	UPdx	31.086	20.3086	-32.4393
11	Sutura frontonasalis sin	NFsin	44.4708	76.937	-55.0593
12	Apertion sin	APTsine	58.4686	41.7015	-47.4852
13	Nariale sin	NRsin	53.9856	34.4615	-44.3603
14	Upper caninus sin	UPsin	67.7064	23.6253	-41.0195
15	Dakryon dx.	Ddx	32.7261	69.3356	-56.4366
16	Supraorbital point med dx	SORdx	16.132	83.8027	-51.9316
17	Frotomalare orbitale dx	FMOdx	-6.0274	67.2627	-54.6342
18	Zygoorbitale dx	ZORdx	19.1816	51.0802	-47.6936
19	Dakryon sin.	Dsin	48.8422	69.0466	-62.2138
20	Supraorbital point med sin	SORSin	67.9887	85.2878	-63.6328
21	Frotomalare orbitale sin	FMOsin	83.4629	74.1882	-75.6004
22	Zygoorbitale sin	ZORSin	65.4713	53.5129	-60.6178
23	Frontotemporale dx.	FTdx	-6.8879	84.7119	-60.2864
24	Frontomalare temporale dx.	FMTdx	-8.5617	70.9275	-59.1941
25	Jugale dx	JUGdx	-13.4906	48.7757	-63.3576
26	Zygion dx	ZYGdx	-24.4377	42.3221	-81.6333
27	Zygomaxillare dx	ZMDx	2.9574	31.8156	-48.7617
28	Ectomalare dx	EKTdx	11.5348	17.6296	-59.5029
29	Frontotemporale sin.	FTsin	79.8555	92.1069	-81.1312
30	Frontomalare temporale sin.	FMTsin	83.3585	79.3837	-82.2587



Povrchové snímání – triangulační skenery – aktivní laserové skenery

- z jednoho bodu promítají **jednu** či **více linií** a z druhého bodu snímají deformaci jejich obrazu na povrchu objektu
- rozlišení až v řádu setin mm
- záznam zpravidla v řádu jednotek či desítek sekund
- v Lamorfě skener NextEngine



Povrchové snímání – triangulační skenery – pasivní/optické skenery

- triangulují prostorové souřadnice z dvou a více snímků, pořízených synchronizovanými kamerami z různých úhlů
- rozlišení prvků na fotografiích -> ztotožnění -> výpočet prostorové polohy s rozdílů jejich uspořádání na různých fotografiích
- velmi rychlé (3,5 ms), designováno především na snímání živého člověka
- problém s ochlupenými a lesklými částmi těla

Vectra XT – celotělový skener

- 6 kamer
- záznam hlavy a horní části trupu v rozsahu busty
- délka hrany polygonů v obličeji – 1,2 mm



Povrchové snímání – triangulační skenery – pasivní/optické skenery

Vectra M1 – stolní obličejový skener

- 2 kamery
- pro záznam obličeje nutné kombinovat více skenů



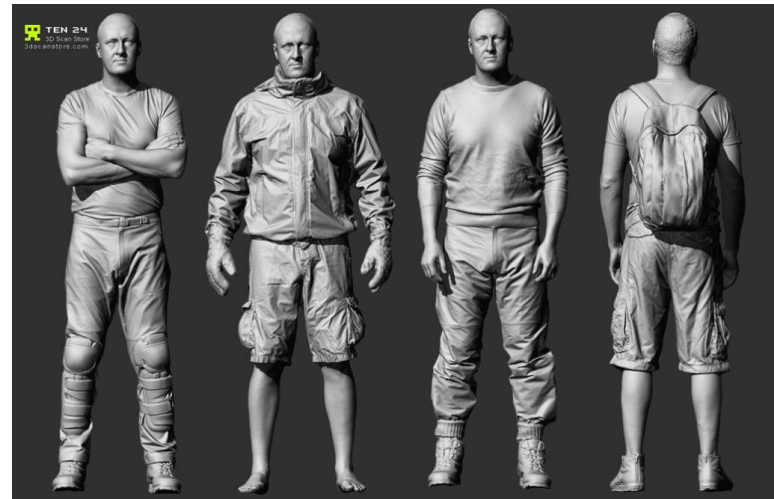
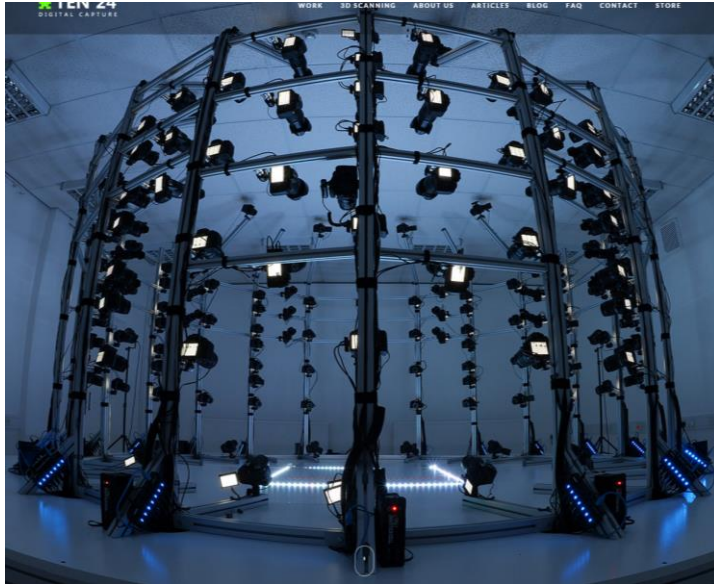
Vectra H1 – ruční skener

- 2 kamery
- záznamové pole 270mm (V) x 165mm (Š) x 100mm (H)
- pro záznam obličeje nutné kombinovat více skenů



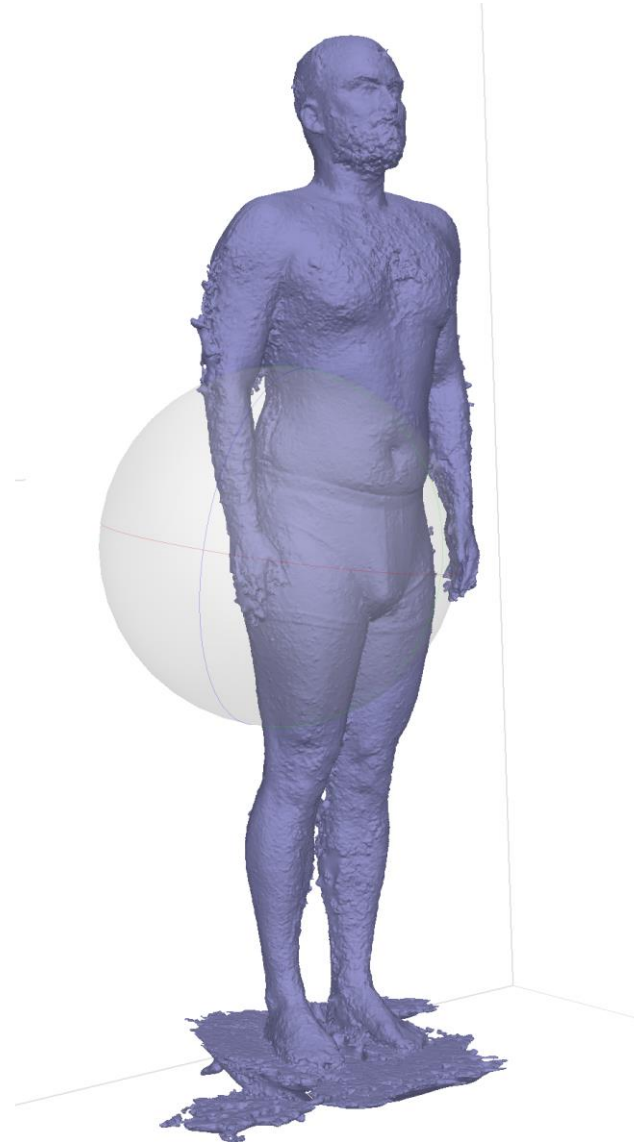
Povrchové snímání – triangulační skenery – pasivní/optické skenery

- soustavy synchronizovaných fotoaparátů



Povrchové snímání – fotogrammetrická soustava ADAPT

50 synchronizovaných kamer s osvětlením



Povrchové snímání – fotogrammetrie

- generování 3D dat ze série fotografií pořízených fotoaparátem z různých úhlů

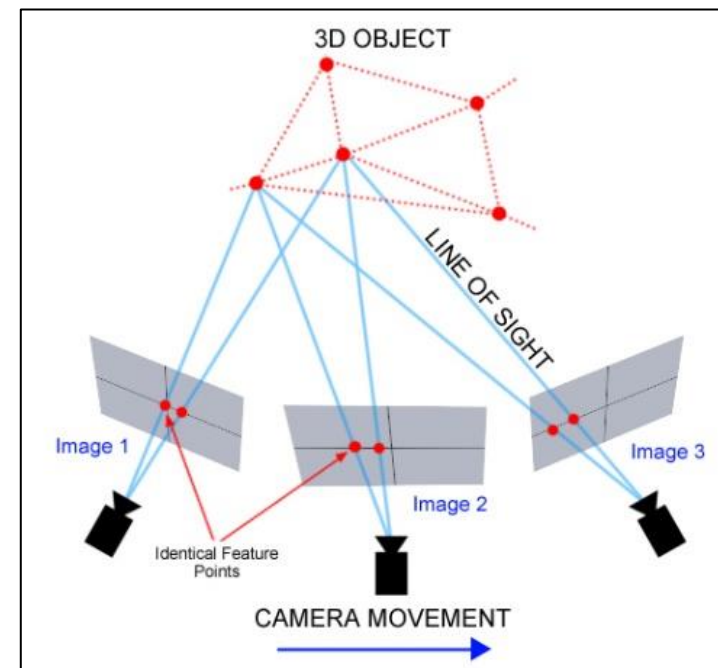


+ desítky dalších



Software

- rozezná stejné prvky na různých fotografiích
- na základě vzájemné polohy bodů na různých snímcích uspořádá fotografie v prostoru
- trianguluje trojrozměrnou podobu zaznamenaného, včetně barevné informace



Povrchové snímání –fotogrammetrie

Bezpodmínečně potřebujete

- digitální fotoaparát
- počítač
- software

Hodí se

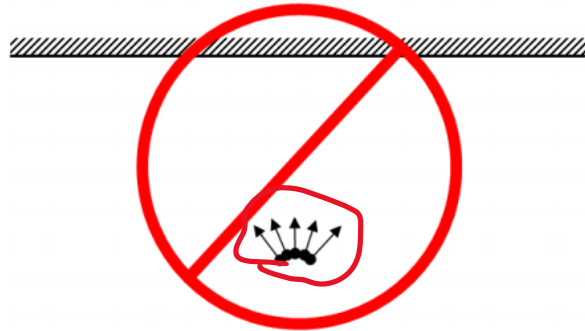
- stativ
- dálková spoušť fotoaparátu
- měřítko
- otočený stolek pro skenování samostatných kostí

Algoritmus získává veškeré informace o poloze a orientaci jednotlivých snímků v prostoru, distorzi optické soustavy a morfologii snímaných objektů z fotografií

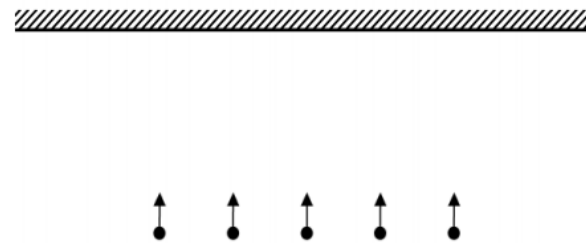
Fotogrammetrie – snímání

- každá část modelovaného povrchu musí být zobrazena na třech a více snímcích

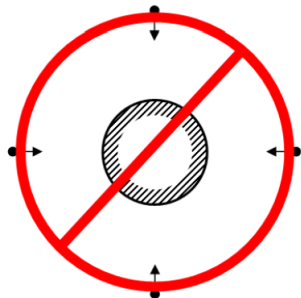
Facade (Incorrect)



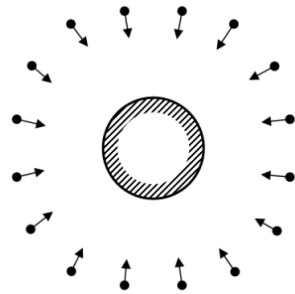
Facade (Correct)



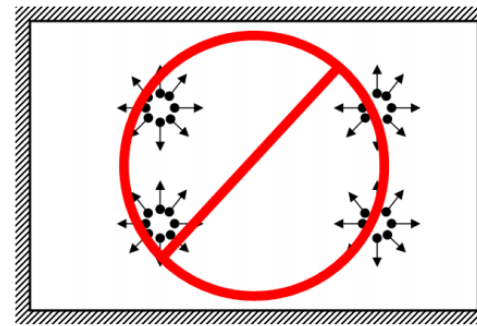
Isolated Object (Incorrect)



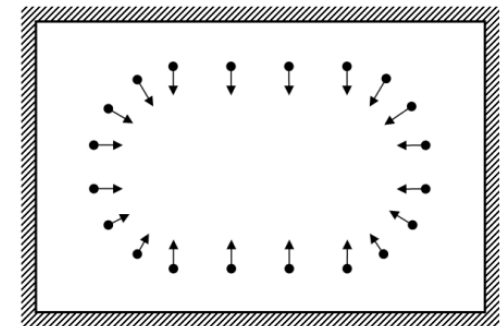
Isolated Object (Correct)



Interior (Incorrect)



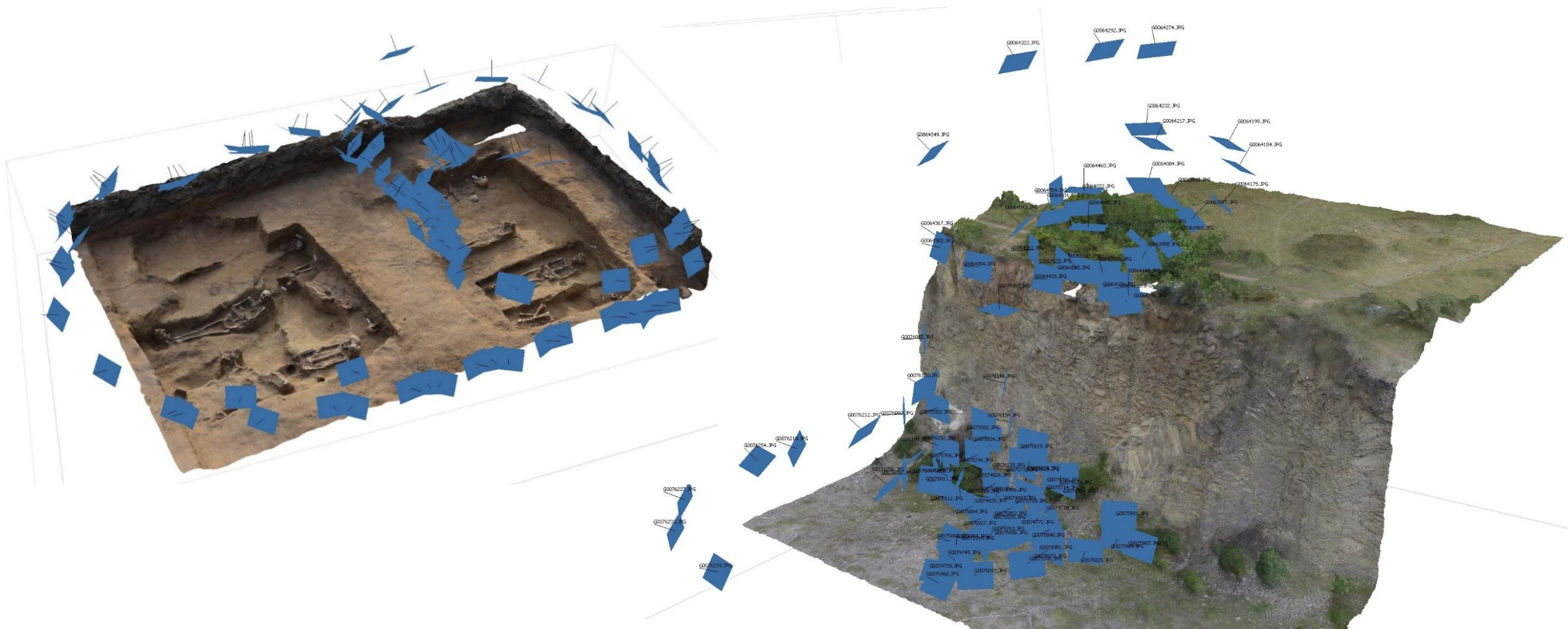
Interior (Correct)



(<https://www.agisoft.com/support/tips-tricks/>)

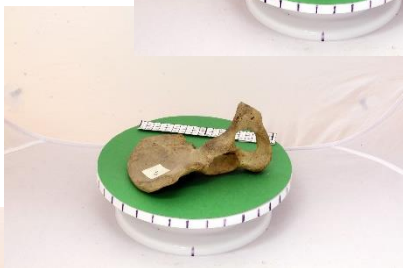
Fotogrammetrie – snímání

- každá část modelovaného povrchu musí být zobrazena na třech a více snímcích

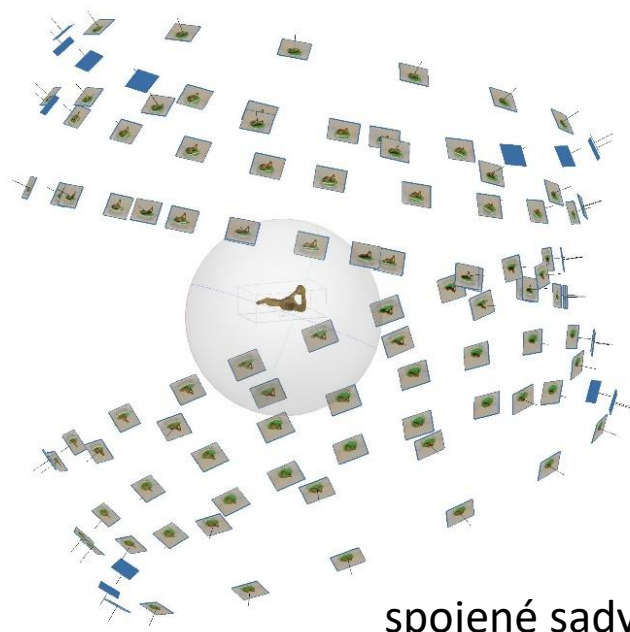
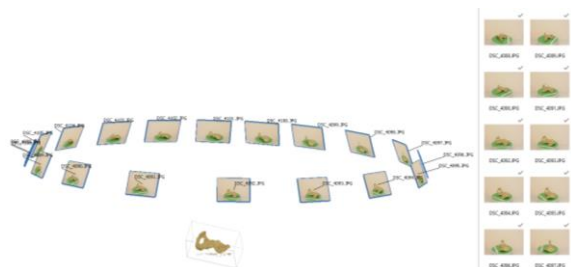


Povrchové snímání – snímky

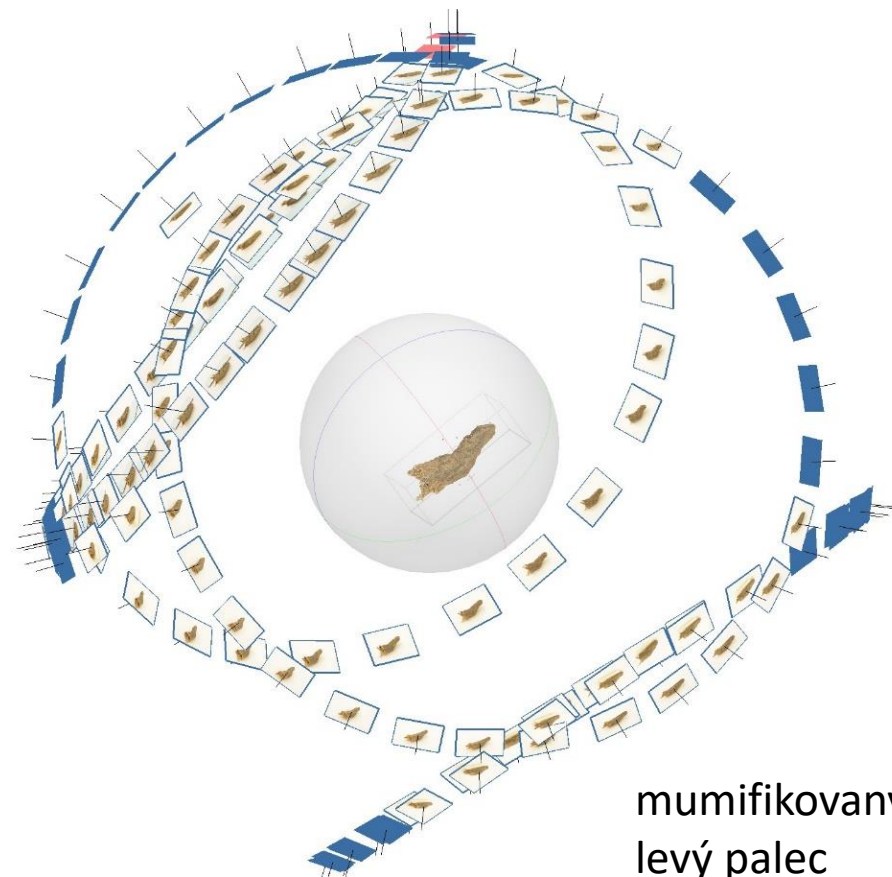
- o každá část modelovaného povrchu musí být zobrazena na třech a více snímcích



ca 110 fotografií



spojené sady



mumifikovaný
levý palec

Objemové snímání

- metody zaznamenávají rozložení hmoty ve snímaném objemu
- záznam **vnitřní struktury, vnější podoby, ale ne barevnosti**
- **produktem nejsou 3D digitální modely, ale objemový záznam**
- relativně velké a finančně náročné (umístění, personál atd.)

výpočetní tomografie



magnetická rezonance



snímání řezů modelem



MeshLab – základní vlastnosti



Open-source program zaměřený na zpracování a editaci polygonálních modelů.

Import: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, PTX, V3D, PTS, APTS, XYZ, GTS, TRI, ASC, X3D, X3DV, VRML, ALN

Export: PLY, STL, OFF, OBJ, 3DS, COLLADA, VRML, DXF, GTS, U3D, IDTF, X3D

+

velké množství nástrojů pro editaci bodových mraků
a polygonálních sítí **jako celku**

generování **statických náhledů** na modely

pracuje s **formáty .ply a .obj obsahujícími texturu.**

-

časté bugy

omezené možnosti lokálních úprav

MeshLab – import dat

File > Import > Import Mesh

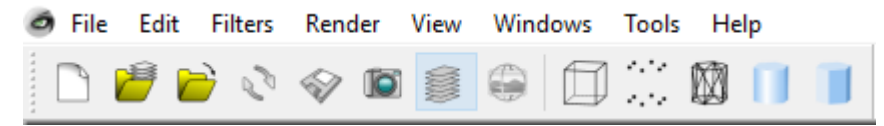
nebo přetažením ikony do pracovního okna

Projekt je jednoduchý textový soubor (přípona .mlp), obsahuje pouze cesty k jednotlivým modelům, případně roto-translační matice, ne už záznamy jejich editace, definované body atp!!! V případě, že změním cestu k modelům, projekt nenačteme!!!!

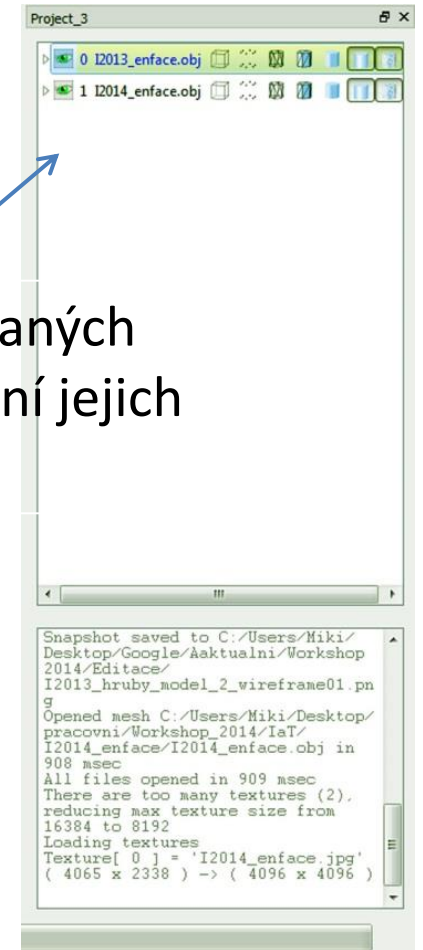
Obecné požadavky na pojmenovávání modelů:

V cestě ani v názvu modelu nepoužívejte **mezery a diakritiku**
C:\modely_cviceni\H123_superior.stl

Pokud přejmenujeme vzájemně propojené soubory (např. obj s texturou), musíme změnit i odkazy (cestu) v samotných souborech.



Layer Dialog



Seznam importovaných objektů a nastavení jejich vykreslování.

Historie příkazů

MeshLab – navigace

Navigace

LMB - otáčení

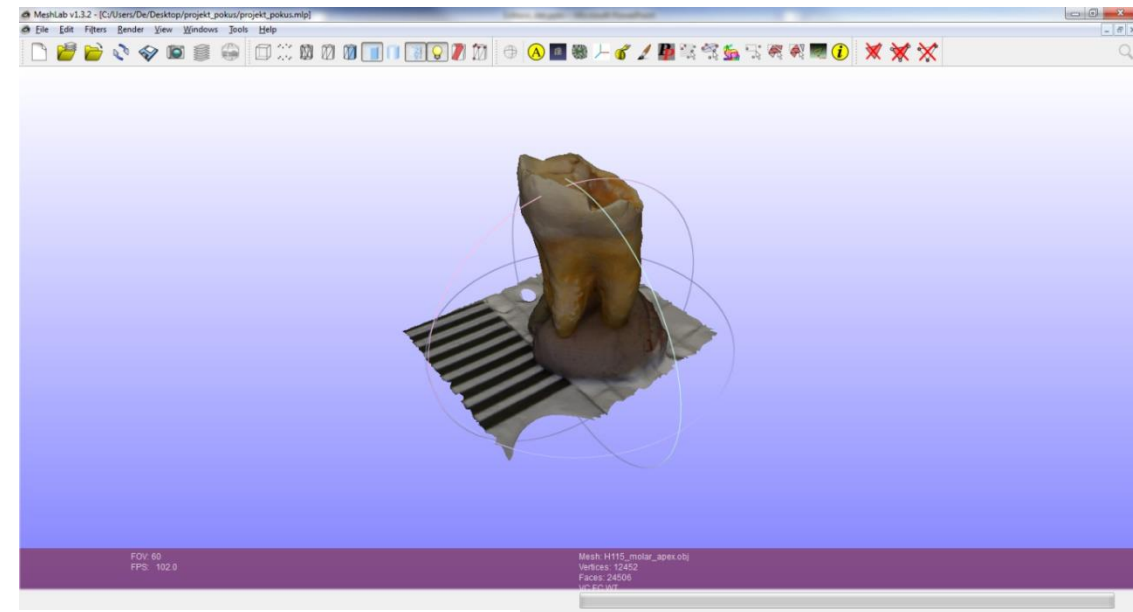
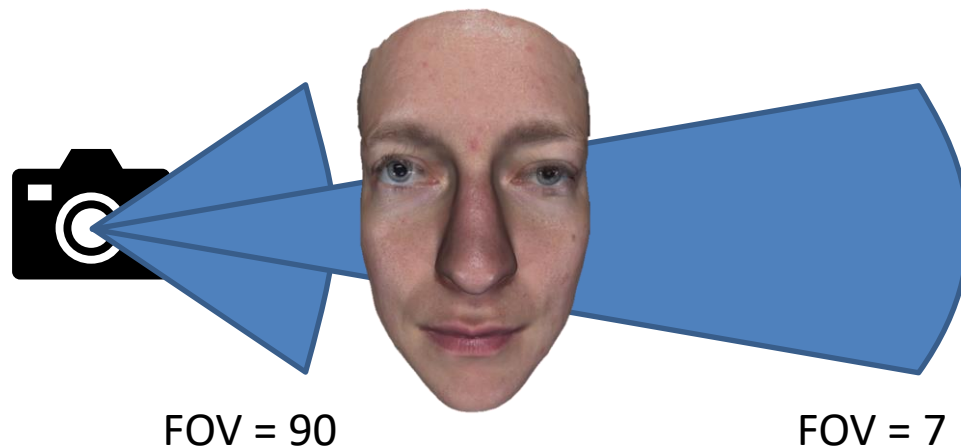
Ctrl + LMB – posouvání

kolečko myši – přibližování/oddalování

ctrl + h – návrat k originální poloze

LMB + Ctrl + Shift – ovládání osvětlení

shift + kolečko myši – změna FOV (field of view)



Quick Help

Drag:	Rotate
Ctrl-Drag:	Pan
Shift-Drag:	Zoom
Alt-Drag:	Z-Panning
Ctrl-Shift-Drag:	Rotate light
Wheel:	Zoom
Shift-Wheel:	Change perspective
Ctrl-Wheel:	Move near clipping plane
Ctrl-Shift-Wheel:	Move far clipping plane
Double Click:	Center on mouse
Alt+enter:	Enter/Exit fullscreen mode

Help > On screen quick help

MeshLab – měření a škálování modelů

Measuring tool

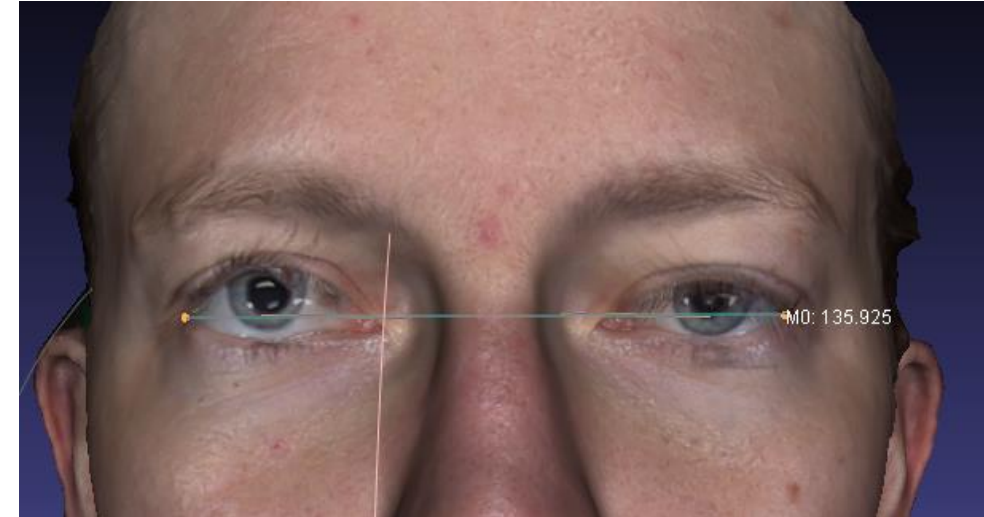
1) kliknutím LMB na model určíte krajní body vzdálenosti

Pokud je potřeba změnit mezi umístěním prvního a druhého bodu pohled, pak se z nástroje přepíná stiskem Esc nebo ikonou



2) nástroj zobrazí hodnotu přímé vzdálenosti bodů

Při opětovném použití přibývají další rozměry.



Point to Point Measure

C to clear, P to print, S to save

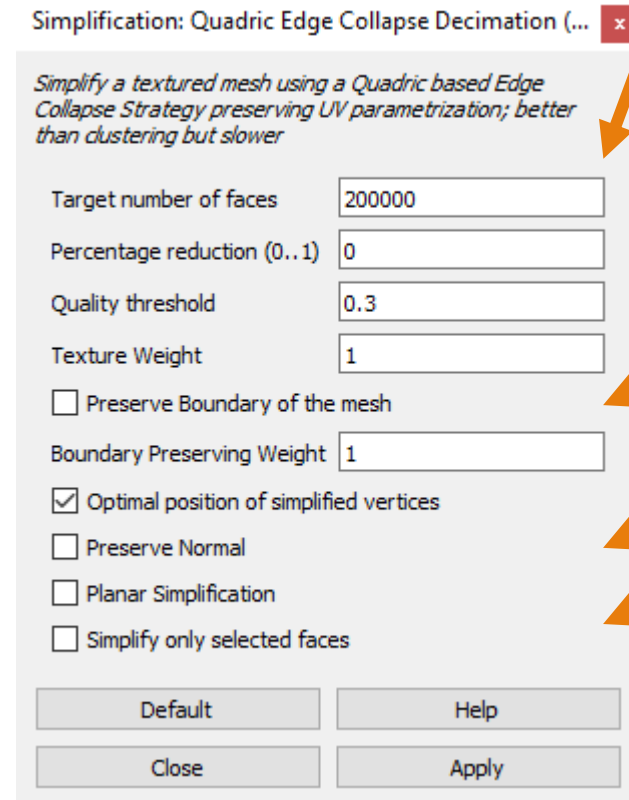
MD - 135.925

MeshLab – redukce modelu – snížení počtu prvků



Nástroje pro redukci počtu prvků jsou pod názvy začínajícími jako *Simplification* v menu *Remeshing > Simplification and Reconstruction...*

Nejpoužitelnější je nástroj *Simplification: Quadratic Edge Collapse Decimation* ve verzi pro modely bez textury a pro modely s texturou (> *With texture*)



Nastavení cílového počtu facet

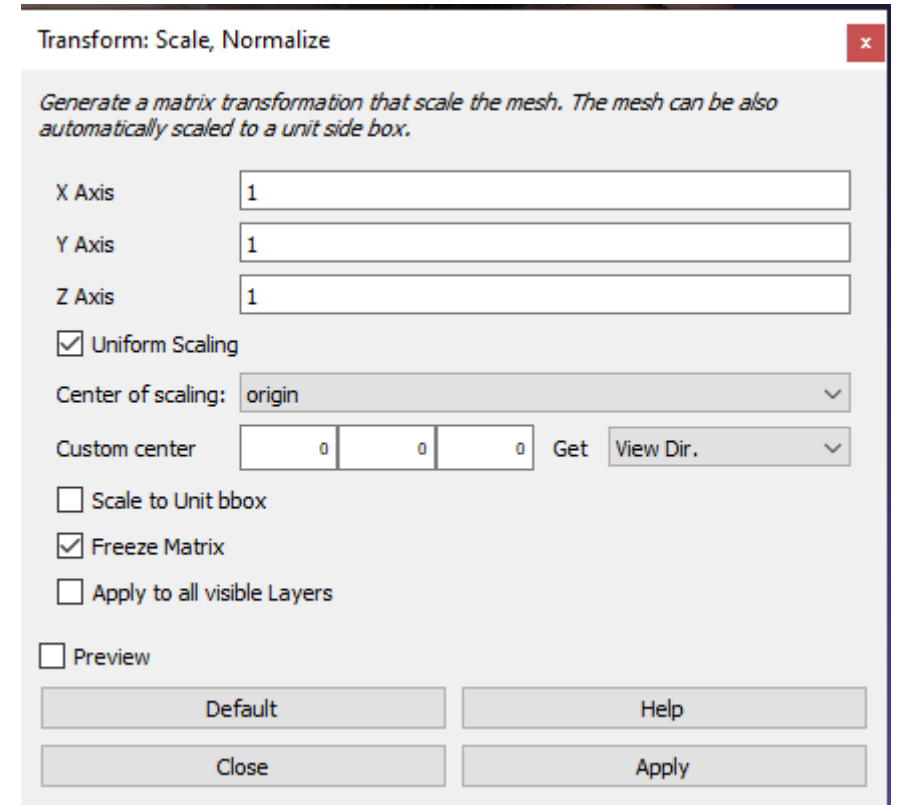
Volby zabraňující větším změnám v geometrii modelu. Při aktivaci bude zachováno směřování polygonů, redukce rozlišení nepovede ke změnám topologie modelu, např. vyplnění děr v modelu, a ke změnám tvaru děr v polygonální síti.

MeshLab – měření a škálování modelů

Škálování

- 1) změřte referenční vzdálenost na modelu
- 2) vydělte skutečnou referenční vzdálenost naměřenou vzdáleností
- 3) o získaný koeficient zvětšete nebo zmenšete model

Filters > Normals, curvatures and orientations > Transform: scale...

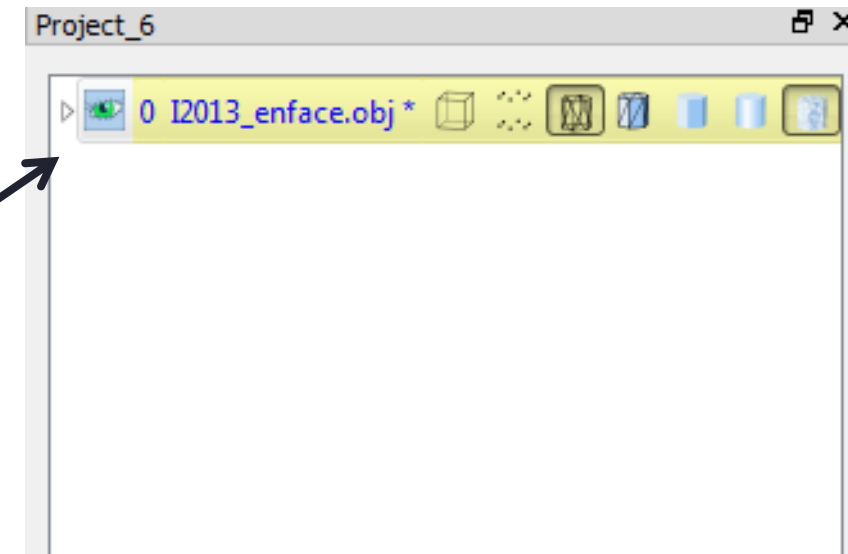


uniform scaling – velikost změněna stejně ve všech třech dimenzích – nedochází ke změně tvaru

freeze matrix – dojde rovnou k přepočtu modelu, bez rototranslační matice

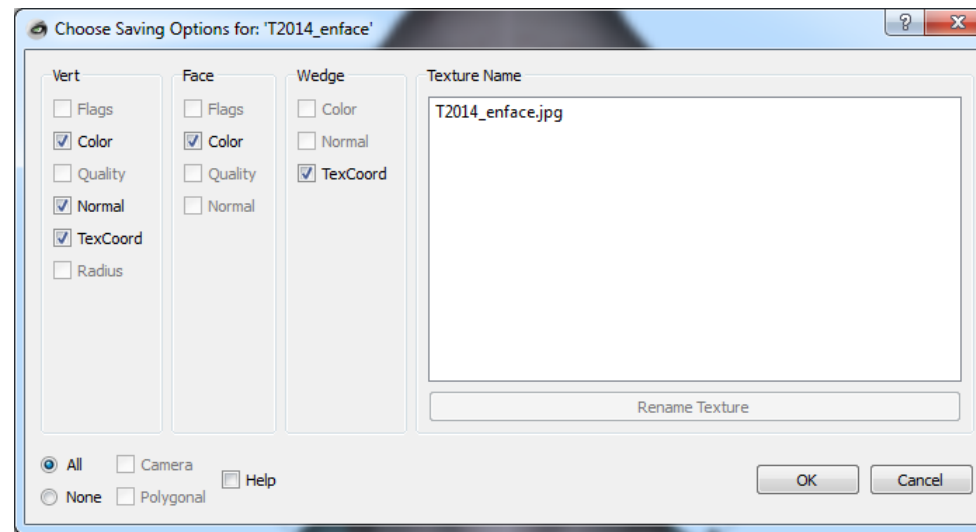
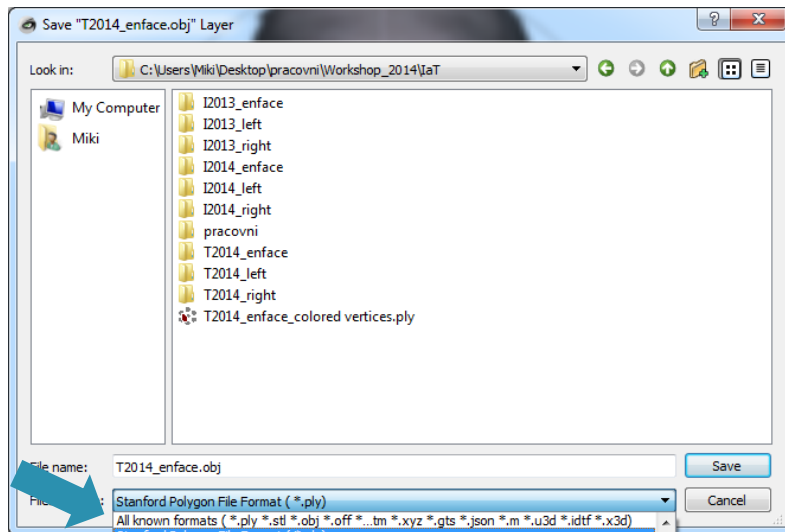
MeshLab – export dat

- změny modelu nepřepisují hned původní soubor
- změněný, ale neuložený model je v *Layer Dialog* **onačen hvězdičkou**
- pro změnu souboru modelu musí být změněný **model exportován**



Export polygonálních modelů

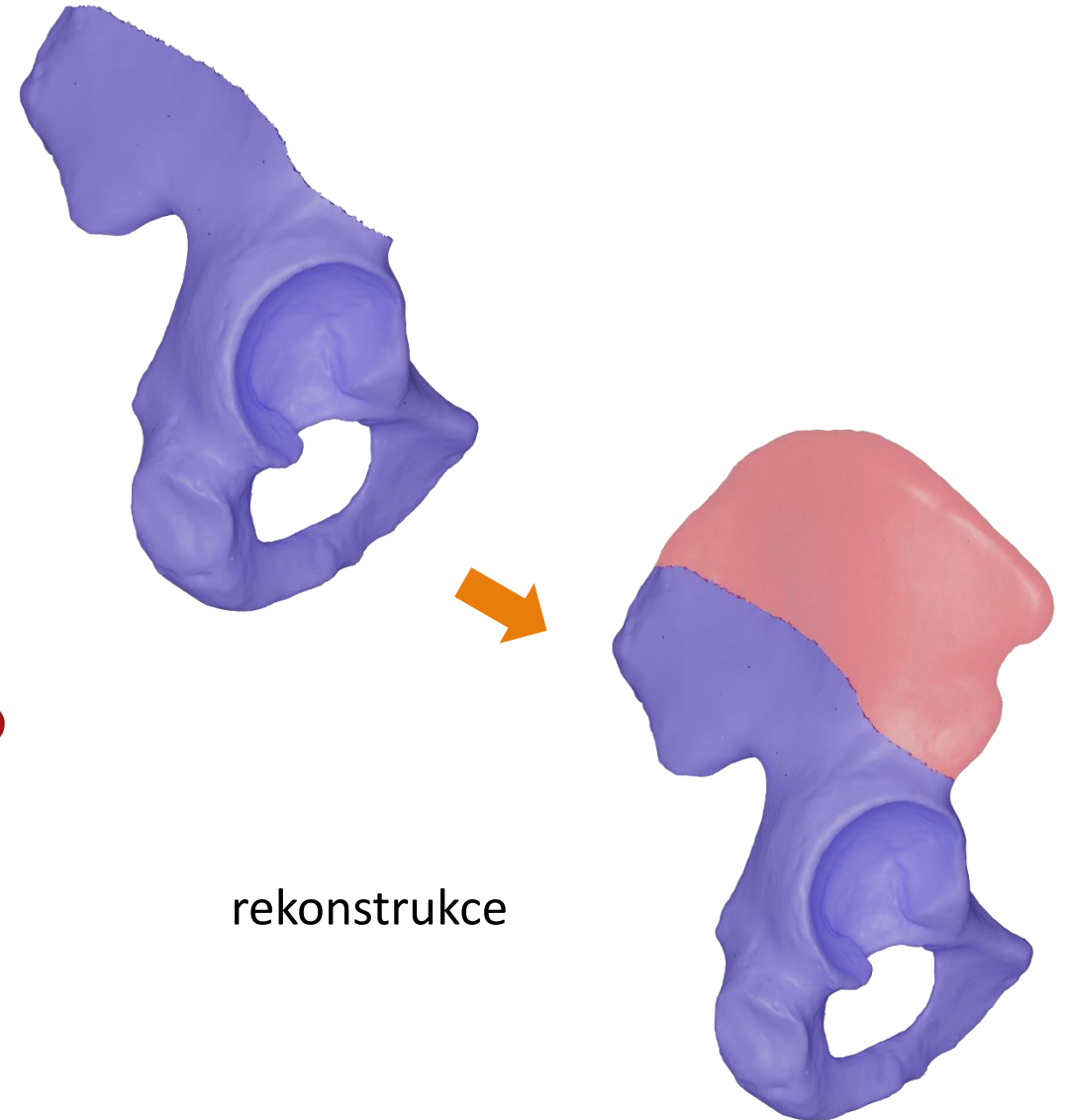
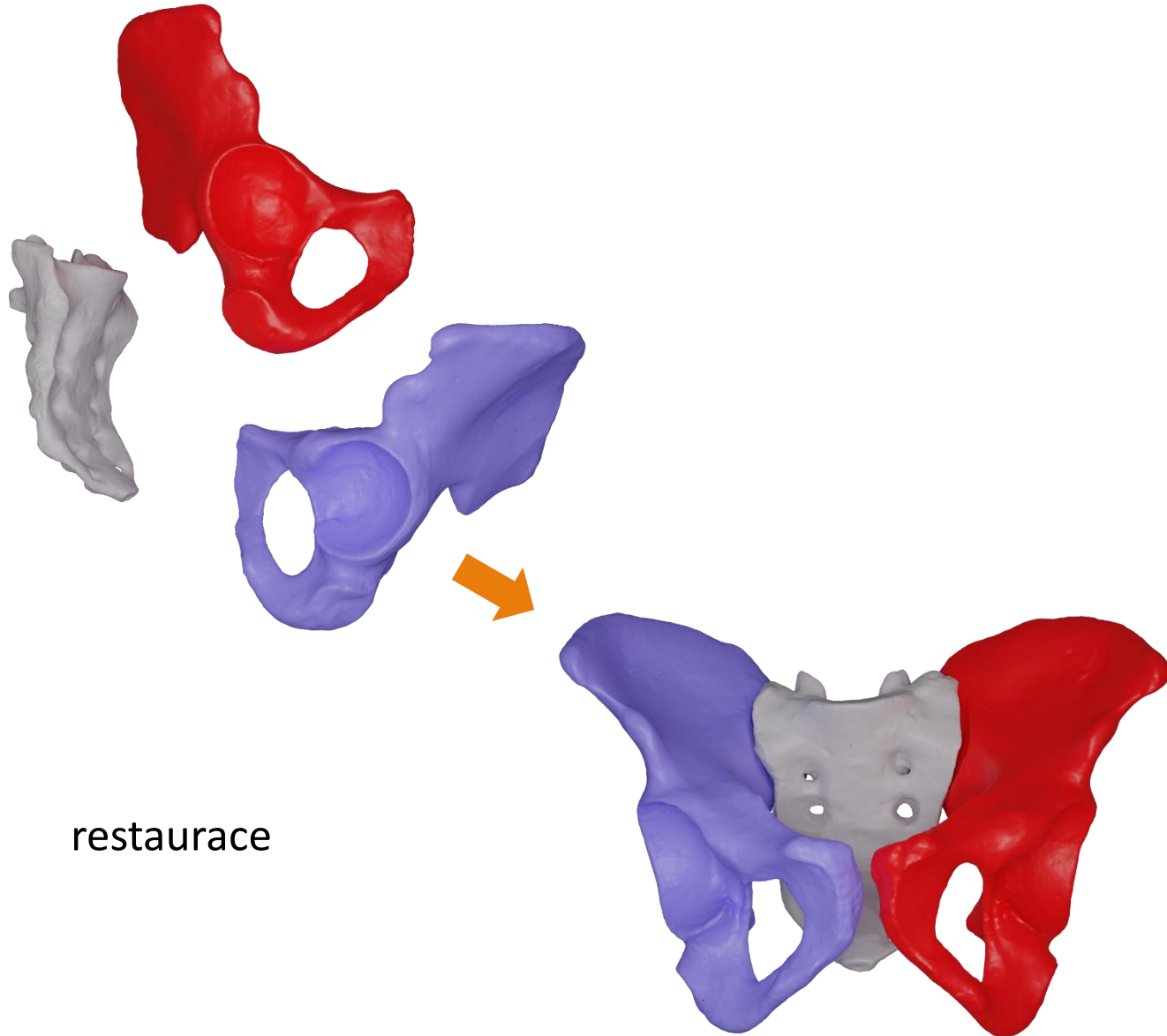
File > Export Mesh...



Nastavení součástí exportu
TexCoord – zásadní pro zachování textury!

Zadáme formát souboru a umístění

Rekonstrukce a restaurace digitálních modelů



MeshLab – posun a rotace modelu



nástroj *Manipulator tools*



Manipulator
Rotate around Mesh Origin
viewport - 27.9411
LEFT CLICK and DRAG to rotate - hold SHIFT to snap
press X Y Z to select an axis - press SPACE or C to pivot on BBox center
press RETURN to apply, BACKSPACE to cancel

informace o zvoleném modu a nápověda nástroje

aktivovaný model v Layer dialog

ovládací gizma nástroje

translační matice (neaplikovaná na model)

FOV: 60
FPS: 78.7
BO_RENDERING

Mesh: femur.obj
Vertices: 473,033
Faces: 946,062
Selection: v: 0 f: 0

0.90	0.10	-0.43	0.00
-0.17	0.98	-0.13	0.00
0.41	0.19	0.89	0.00
0.00	0.00	0.00	1.00

Project_1
0 femur *
1 2 3 4 1 2 3 4
femur.obj
Color Mesh User-Def
Measure Info On Off
apply to all visible layers
Opened mesh C:/Users/nikol/OneDrive - MUNI/Vyuka/ZADÁ/3D modely/femur.obj in 5132 msec
All files opened in 5136 msec
Started Mode Manipulators Tool

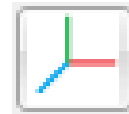
UNRECOGNIZED CARD

MeshLab – transformace modelů

- každý model je umístěn na konkrétním místě vzhledem ke svému souřadnicovému systému (dáno hodnotou souřadnic vrcholů modelu)
- při změně pohledu (LMB atd.) se pohybuje kamerou!, poloha modelu vůči souřadnicové ose se musí změnit k tomu určenými nástroji

MeshLab – Manipulators Tools

- T, R, S – zvolíme požadovanou transformaci
- transformujeme při stisknutí LMB
- transformaci potvrdíme *Enter*



Transformací je na objekt aplikována tzv. **roto-transformační matice**

Current Mesh: H115_molar_apex_reduced.obj
Vertices: 6251 (12502)
Faces: 12114 (24228)
VC EC WT

1.00	0.00	0.00	-2.00
0.00	1.00	0.00	-5.00
0.00	0.00	1.00	1.00
0.00	0.00	0.00	1.00

MeshLab – transformace modelů

Current Mesh: H115_molar_apex_reduced.obj	1.00	0.00	0.00	-2.00
Vertices: 6251 (12502)	0.00	1.00	0.00	-5.00
Faces: 12114 (24228)	0.00	0.00	1.00	1.00
VC EC WT	0.00	0.00	0.00	1.00

- model je zobrazován s aplikovanou rototranslační maticí

Maticе jsou součástí projektu MeshLab. Při načtení je objekt podle ní orientován, ale samotné souřadnice jeho vrcholů zůstávají nezměněny!!!

proč? – například proto, že se při smazání matice „vrátí“ do původní polohy

Aby se změnil samotný model, musí být na něj matice aplikována!!!

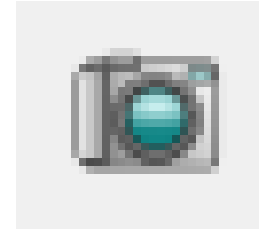
- LMB na název objektu v *Layer Dialog* > *Freeze Current Matrix* (některá dialogová okna toto nabízejí rovnou)
- některé funkce (např. záznam souřadnic bodů) bez aplikace rototranslační matice nefungují

MeshLab – vytváření náhledů

Export náhledového okna ve formě obrázku (bitmapa)

1) nastavte požadovaný náhled v pracovním okně

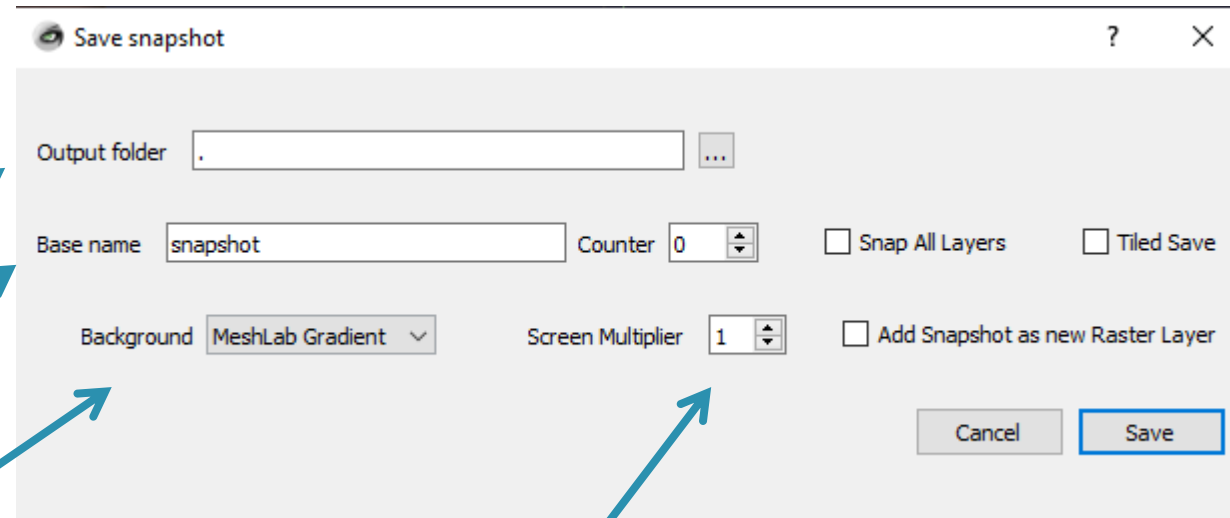
2) otevřete dialogové okno *Save snapshot*



cílový adresář

název souboru

nastavení pozadí



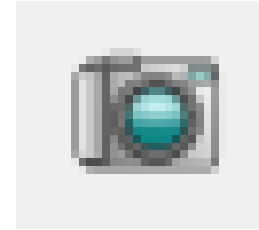
Nastavení rozlišení výsledného snímku v násobcích rozlišení náhledového okna

MeshLab – vytváření náhledů

Export náhledového okna ve formě obrázku (bitmapa)

1) nastavte požadovaný náhled v pracovním okně

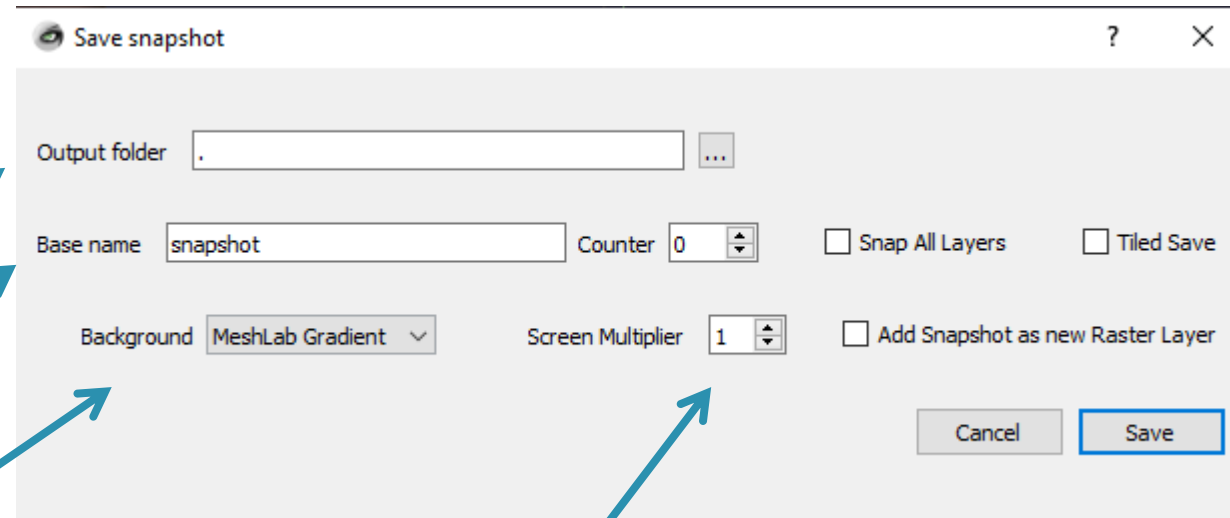
2) otevřete dialogové okno *Save snapshot*



cílový adresář

název souboru

nastavení pozadí



Nastavení rozlišení výsledného snímku v násobcích rozlišení náhledového okna

MeshLab – záznam 3D souřadnic bodů




- 1) spusťte nástroj *PickPoints*
- 2) body umísťujte kliknutím RMB na model. Dalším kliknutím RMB umístíte další bod

tyto volby slouží pro **uložení a nahrání souborů se souřadnicemi**

tyto volby slouží k **editaci zaznamenaných dat** (názvů jednotlivých bodů)

tyto volby slouží pro **uložení a tvorbu šablony**, do které se body zanášejí

Point Name	X	Y	Z	active
0	-15.721	-142.455	78.1659	<input checked="" type="checkbox"/>
1	-22.4496	-164.948	82.6979	<input checked="" type="checkbox"/>

 pokud potřebujete změnit polohu kamery, aktivujte volbu *Not editing*

Pro záznam bodů si můžete předpřipravit šablonu přidáním řádků pro body (*Add point*), jejich pojmenováním (*Rename Point*) a uložením konečné šablony (*Template Controls > Save*)

nastavení **viditelnosti a způsobu zobrazení normály**