



Tvorba 3D tiskových modelů z fotogrammetrických dat

DOPORUČENÝ POSTUP



01

Úvod

PRACOVNÍ POSTUP | SOFTWARE | DOPORUČENÍ

05

Sběr dat

SNÍMKY | SCÉNA A OBJEKT | PLÁN SNÍMÁNÍ

09

Bodová fáze

ZAROVNÁNÍ SNÍMKŮ | GENEROVÁNÍ MRAČNA | ZAROVNÁNÍ MRAČNA | OŘEZÁNÍ MRAČNA | DENOISING

16

Polygonová fáze

REKONSTRUKCE SÍTĚ | REDUKCE POLYGONŮ | GLOBÁLNÍ EDITACE | ODSTRANĚNÍ ZBYTKOVÝCH CHYB | TVAROVÁNÍ | RETOPOLOGIE | PODSTAVA

27

Texturování

UV MAPOVÁNÍ | ZAROVNÁNÍ MODELU | GENEROVÁNÍ TEXTURY | ÚPRAVA TEXTURY | BAREVNÁ ÚPRAVA PODSTAVY

34

Předtisková příprava

ZAROVNÁNÍ MODELU | DALŠÍ POSTUP

37

Závěr

O POSTUPU | STUDIE | POUŽITÝ SOFTWARE | INFO

NOVA



pracovní postup

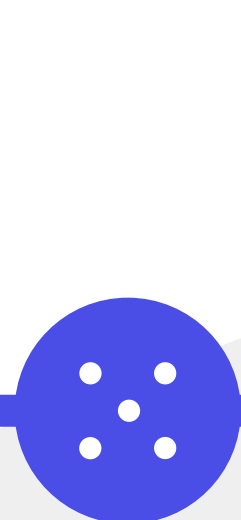
1. Sběr dat

Během sběru dat bude vytvořen dataset kvalitních snímků vhodných pro fotogrammetrické zpracování. V kapitole jsou uvedeny tipy a doporučení pro snímání modelu.



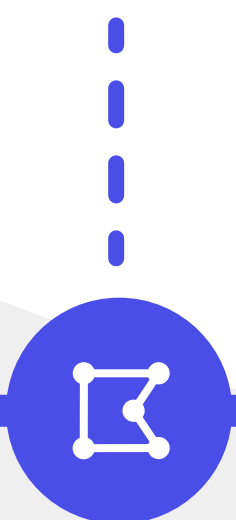
2. Bodová fáze

V bodové fázi bude z pořízeného datasetu vygenerováno husté mračno bodů, oříznuto na oblast zájmu a zbaveno chyb, které by znemožňovaly a komplikovaly další zpracování.



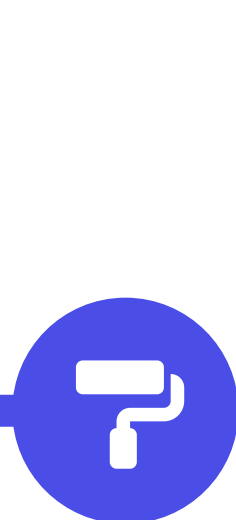
3. Polygonová fáze

Během polygonové fáze bude z mračna bodů vytvořena polygonová síť, opraveny její chyby, proběhne tvarování objektu, úprava topologie a v posledním kroku bude vymodelována podstava.



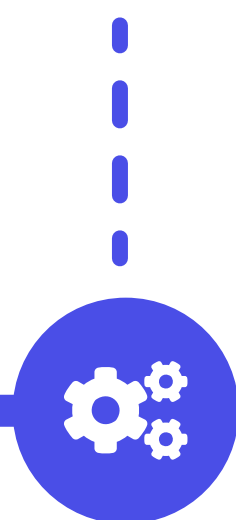
4. Texturování

Cílem texturování je vytvořit a barevně upravit texturu modelu. Tento krok je volitelný. Odvíjí se od technologie tisku a požadavků autora modelu.



5. Předtisková příprava

Předtisková příprava je finální fází přípravy modelu. Již hotový 3D model bude kompletně připraven na plnohodnotný tisk. Součástí této fáze je generování tiskového kódu a příprava tiskárny.



6. Tisk

Výsledkem 3D tisku je vytištěný fyzický model. Postup se odvíjí od použité technologie, výrobce a typu tiskárny. Popis tisku modelu již není součástí návodu.



software



Agisoft Metashape

Komplexní komerční software určený k fotogrammetrickému zpracování snímků a generování prostorových dat.



CloudCompare

Open-source software především pro zpracování mračna bodů a základní editaci polygonové sítě.



MeshLab

Open-source software umožňující pokročilou editaci, čištění, opravování a kontrolování polygonové sítě.



Autodesk Meshmixer

Volně stažitelný moderní software pro čištění, opravu a tvarování polygonové sítě. Hlavní předností je intuitivní GUI.



Instant Meshes

Jednoduchý otevřený software pro retopologii polygonové sítě. Umožňuje určit směr toku polygonů a jejich tvar.



Blender

Komplexní open-source software podporující modelování, animování, texturování, renderování a mnoho dalších.



GIMP

Free and open-source grafický editor. Umožňuje pracovat s rastrovou i vektorovou grafikou.



Ultimaker Cura

Volně stažitelný software pro předtiskovou přípravu 3D modelu. Generuje tiskový kód.

1 Průběžně ukládejte

V závislosti na výkonnosti používané PC sestavy se některé softwary mohou při nastavení enormních hodnot parametrů a při některých funkcích **potýkat s nestabilitou**. Aby nedošlo ke ztrátě modelu, je vhodné projekty průběžně ukládat.

2 Udržujte pořádek

Během zpracování bude uloženo větší množství modelů. Pro lepší orientaci je doporučeno ukládané **soubory v názvu krokovat** (například název prvního modelu 01_mujprojekt-dense-cloud, název druhého 02_mujprojekt-denoised, název třetího 03_mujprojekt-lowpoly atd.)

3 Ortografická projekce

Pro účely zpracování a úprav mračna bodů i polygonové sítě je výhodné pracovat v ortografické projekci. **Zamezí se tak zkreslení úhlů** vznikajícímu při perspektivní projekci. Přepnutí do ortografické projekce je vhodné především při obdélníkovém výběru bodů i polygonů.

4 Náповěda k softwaru

Před použitím softwaru je vhodné se zběžně zorientovat v GUI a **osvojit si základní ovládání**. Jedná se především o nástroje rotace, posun a přiblížení. V různých softwarech se ovládání liší, většinou se jedná o tlačítka myši, případně v kombinaci s klávesovou zkratkou.

středověk



snímky



Princip

Hlavním cílem při sběru dat je nasnímat objekt tak, aby byl **libovolný bod na jeho povrchu vidět na dostatečném množství pořízených snímků**. Čím více snímků tento bod obsahuje, tím větší je pravděpodobnost výpočtu jeho přesné prostorové polohy. Proto je hlavním faktorem při tvorbě modelu dostatečný počet kvalitních snímků s velkým překryvem.

Počet

Počet snímků je dán složitostí snímaného objektu a úrovní detailu, které chceme při rekonstrukci dosáhnout. Pro jednoduché objekty je referenční hodnotou počet 40-50 snímků. Vždy je však vhodné pořídit **větší množství než dostačující** a počet případně redukovat.



Rozlišení

Čím vyšší je rozlišení snímku, tím více prvků a detailů je software při zarovnání schopen identifikovat a rekonstruovat. Doporučené rozlišení je minimálně 5 Mpx. Horní hranice není stanovena.



Kvalita

Kvalitou snímků se myslí především jejich ostrost a rozlišení. Cílem je **zamezit smazu** vzniklým pohybem objektu ve snímané scéně i pohybem kamery. Rozmazané snímky z datasetu odstraňte.

scéna a objekt

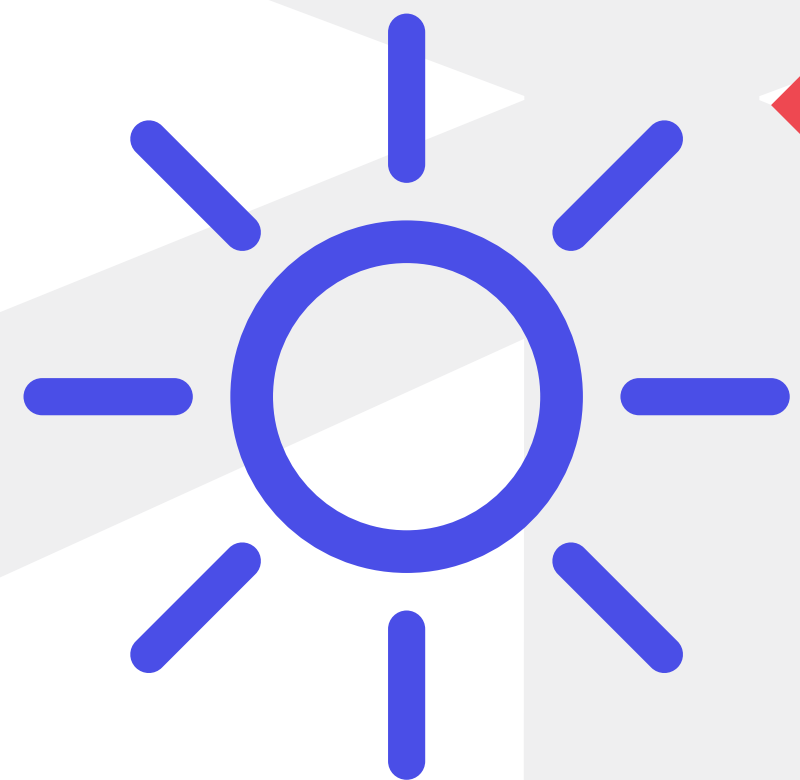


Světelné podmínky

Denní doba nebo sluneční svit mohou výrazně ovlivnit kvalitu a použitelnost pořízených snímků. Je vhodné **snímat během zataženého dne**, kdy je světlo difúzního charakteru a objekt je osvětlen rovnoměrně. **Za přímého osvětlení vznikají ostré stíny** a tmavá, expozičně neřešitelná místa, což je pro rekonstrukci mračna z fotogrammetrických dat nežádoucí.

Povrch objektu

Překážkou pro snímání objektu mohou být vlastnosti jeho povrchu. Mezi **těžko snímatelné** povrchy se řadí **vysoce odrazivé materiály** (např. karoserie auta), **průhledné materiály** (např. sklo), **netexturované materiály** (např. jednobarevná zed') nebo příliš **repetitivně texturované** (např. cihlová zed').



Špatně snímatelné objekty

Není vhodné snímat **pohybující se** a **příliš komplexní** objekty (např. koruna stromu)

Ideální objekty

Ideální vlastnosti povrchů mají například kameny, kmeny stromů, sochy nebo budovy.

plán snímání

Letový plán / osy záběru

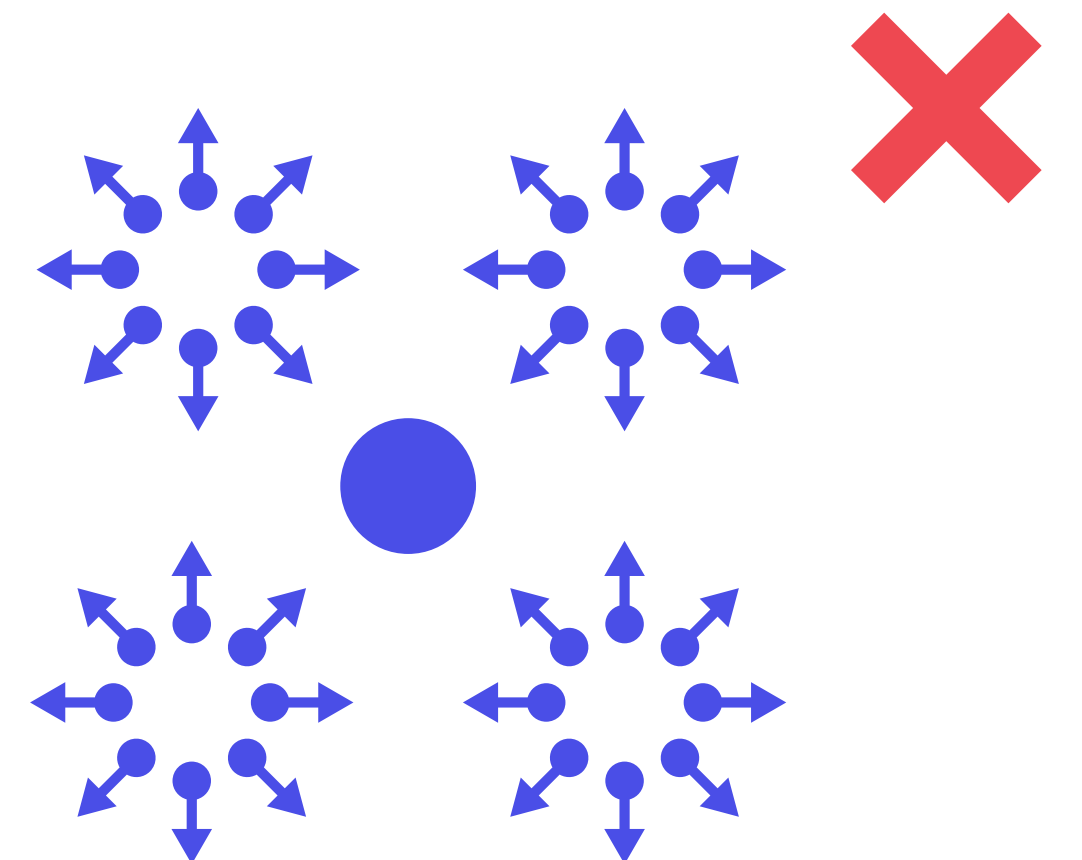
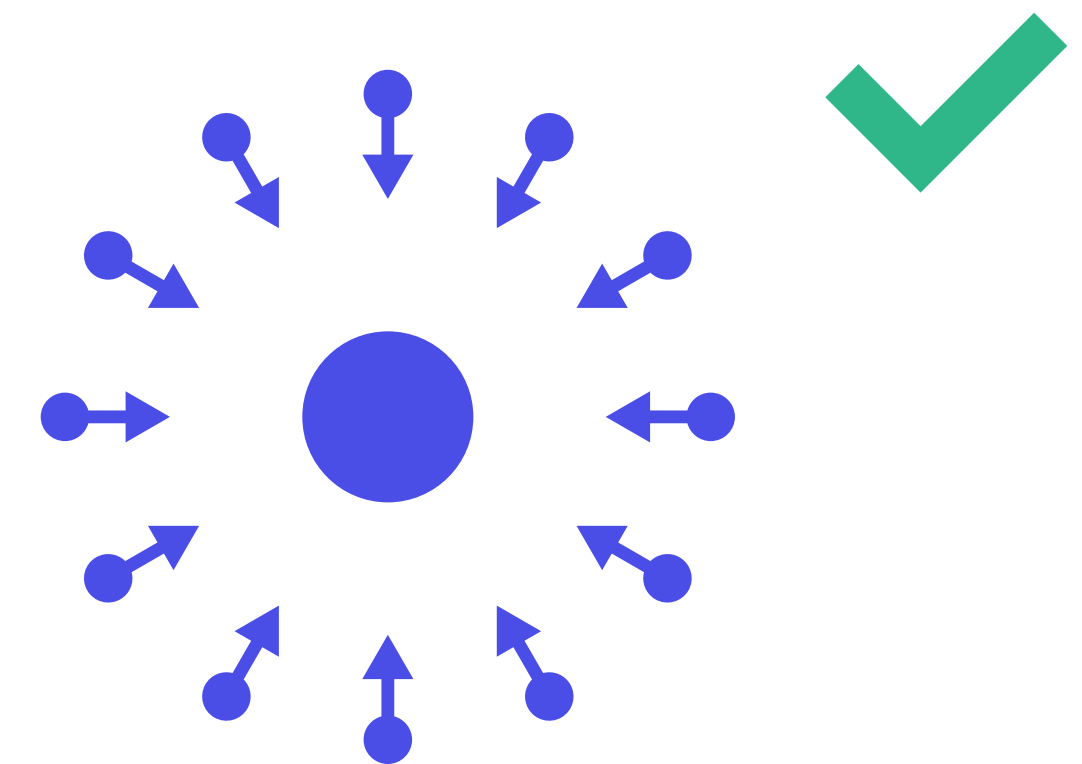
Před snímáním je vhodné alespoň zběžně naplánovat scénář snímání a osy záběrů. Snímky pořizujte v **eliptických drahách okolo modelu ve více vertikálních rovinách**. Není žádoucí objekt snímat ze stacionárního bodu pouze změnou úhlu záběru.

Překryv

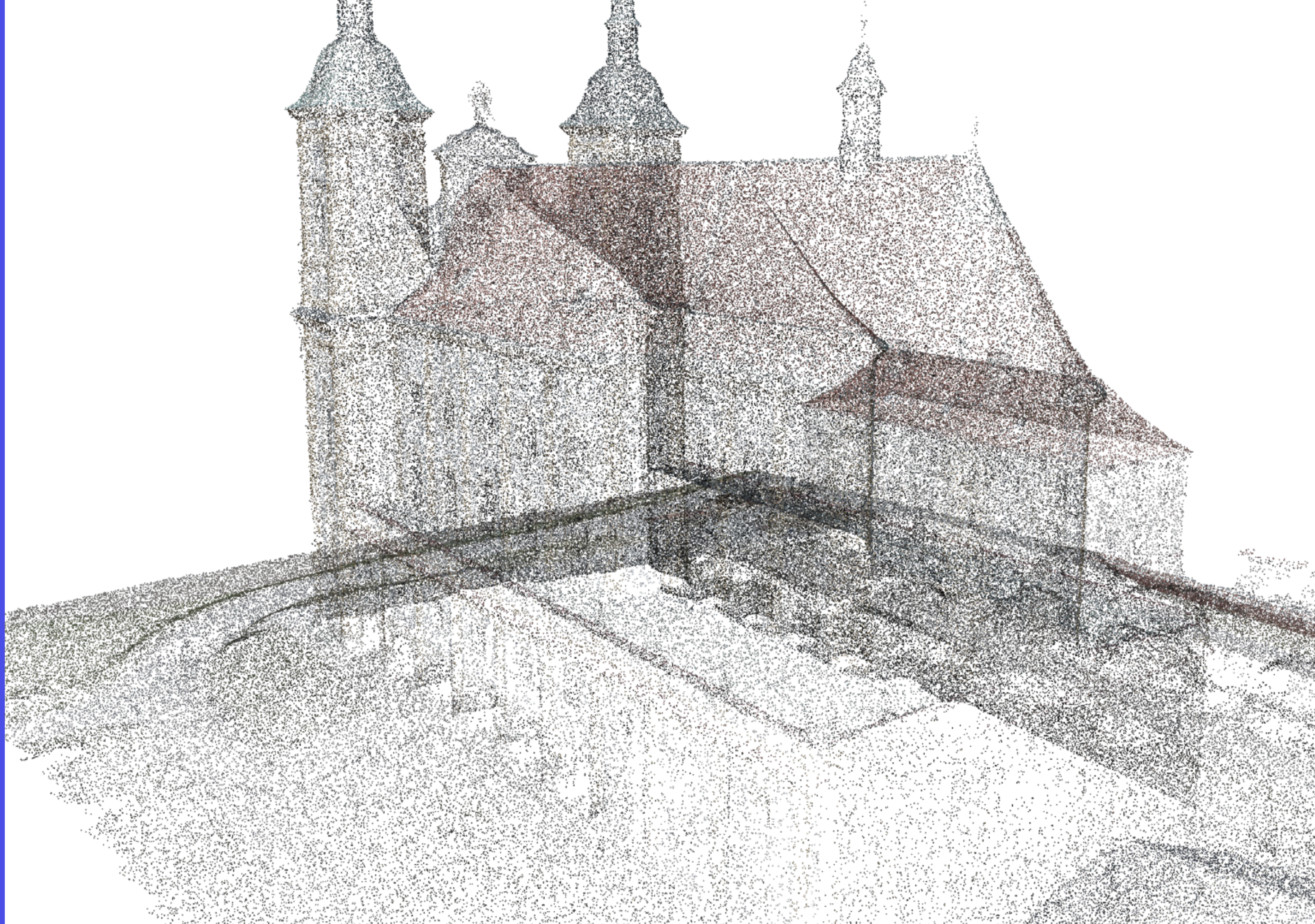
Bod na modelu, který není vidět minimálně na dvou snímcích, nelze rekonstruovat. Proto vždy dodržujte **dostatečný překryv snímků** a to minimálně 60 %.

Komplexní části

V případě snímání komplexní části k ní přistupujte jako k samostatnému objektu a snímky pořizujte z různých úhlů a v dostatečném množství a překryvu.



boodová fáze



bodová fáze

1 Zarovnání snímků

Cílem bodové fáze je z fotogrammetricky pořízených dat připravit mračno bodů. Nejprve budou určeny **prostorové polohy kamer** (tzv. zarovnání snímků). S tímto krokem bude zároveň vytvořeno řídké mračno bodů (sparse cloud).

2 Generování mračna

Ze zarovnaných snímků lze pro libovolný bod určit jeho **polohu v prostoru** (za předpokladu, že je tento bod viditelný alespoň na dvou různých snímcích). Takových bodů je výpočetní **algoritmus schopen určit nespočetně** (v závislosti na hloubce rekonstrukce). Všechny takto určené body dohromady dávají husté mračno bodů (dense cloud).

3 Zarovnání mračna

Vytvořené mračno je zpravidla **náhodně orientováno**. Pro další zpracování je vhodné orientovat ho tak, aby osy objektu odpovídaly osám X, Y a Z.

4 Ořezání mračna

Fotogrammetrické softwary běžně generují **mračno bodů větší, než je snímáný objekt**. Proto bude třeba mračno ořezat na požadovanou oblast. Současně s tímto krokem budou **odstraněny i hrubé chyby** (např. body volně v prostoru).

5 Denoising

V posledním kroku bodové fáze bude **odstraněn tzv. šum** (tj. body, které jsou nepatrně odchýleny od své skutečné polohy). Šum je poměrně relativní a způsob jeho odstranění je specifický pro každý model.

zarovnání snímků

Software

Zarovnání snímků a generování hustého mračna bodů probíhá v softwaru **Agisoft Metashape**.

Přidání snímků

V záložce **Workflow > Add Photos** přidejte všechny snímky, které mají být při rekonstrukci použity. Pomocí **Workflow > Add Folder** lze přidat všechny snímky ze zvolené složky přímo.

Zarovnání

Pro zarovnání snímků pokračujte v záložce **Workflow > Align Photos**. Tímto krokem budou určeny polohy a orientace kamer.

Nastavení

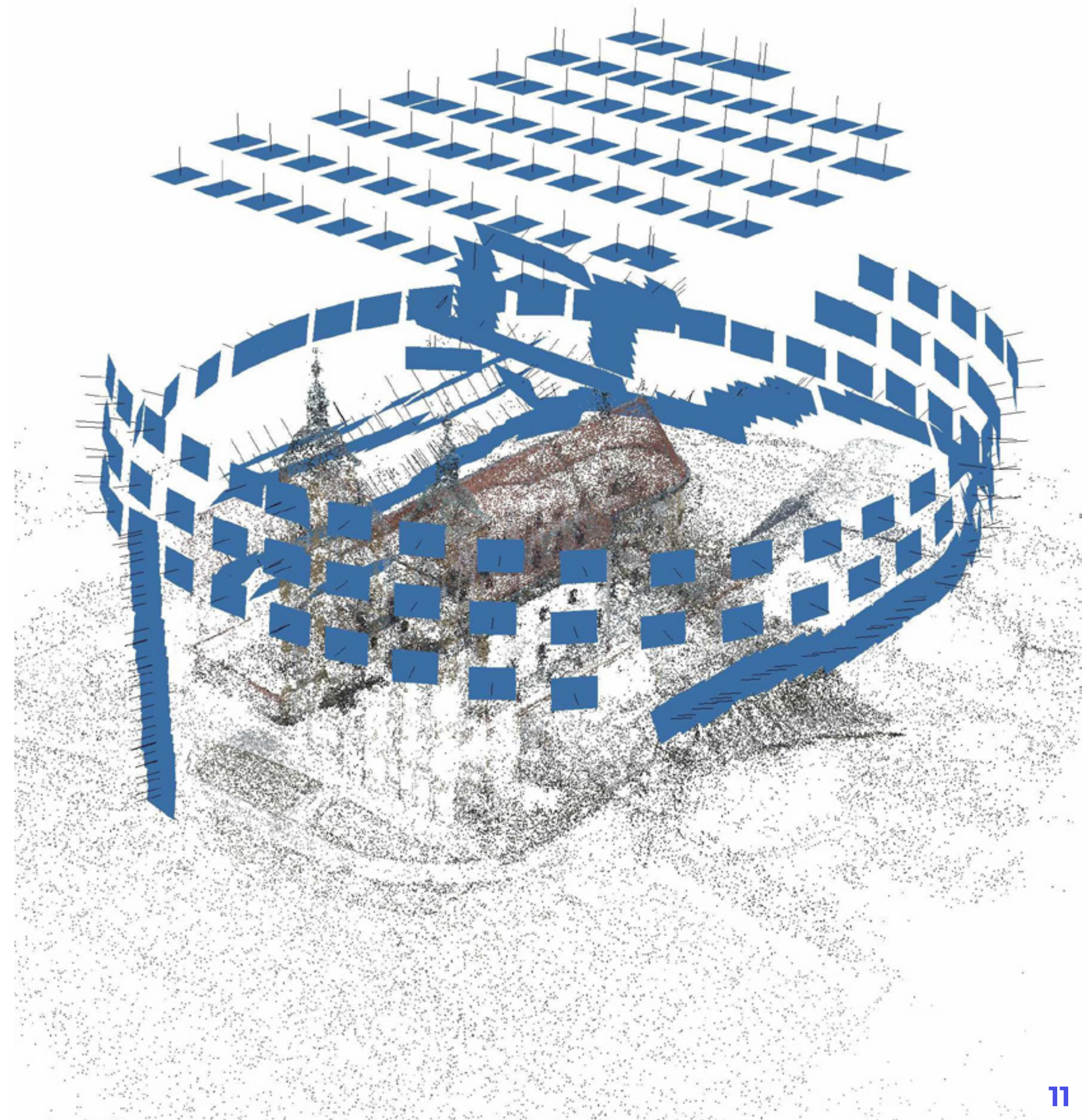
Položku **Accuracy** nastavte v závislosti na požadované přesnosti umístění kamer. Pro dosažení kvalitních výsledků použijte nastavení **Medium a vyšší** (doporučeno **High**). Ostatní položky ponechejte ve výchozím nastavení.

Náhled kamer

Po provedení výpočtu se zobrazí řídké mračno bodů a polohy kamer. Pokud se kamery nezobrazí, náhled aktivujte v horní liště pomocí ikony **Show Cameras**.

Řešení problémů

V závislosti na kvalitě datasetu může nastat situace, kdy nebudou zarovnané všechny snímky. Pokud není zarovnáno více než 10 % snímků, proces **opakujte s nastavením nižší přesnosti**.



generování mračna

Husté mračno

Pro generování hustého mračna bodů pokračujte v záložce **Workflow > Build Dense Cloud**.

Kvalita

Parametr Quality určuje úroveň detailů a geometrickou přesnost mračna (doporučeno **Medium až High**). Ostatní nastavení ponechejte výchozí.

Výpočetní náročnost

Generování hustého mračna bodů je **výpočetně náročný krok**. Doba rekonstrukce se odvíjí od počtu snímků, nastavené úrovně kvality rekonstrukce a konfigurace počítače. Celková doba výpočtu běžně přesahuje 30 minut. Po tuto dobu je **procesor počítače plně vytížen**.

Export mračna

Po provedení výpočtu mračno exportujte v záložce File > Export > Export Points (**doporučený formát PLY**). V nabídce exportu jako souřadnicový systém zvolte **Local Coordinates**. Jako zdrojová data použijte Dense Cloud.

Normály

Důležitým krokem je exportovat mračno **včetně normál bodů** (Point Normals). Bez normál nelze provést rekonstrukci povrchu modelu. Zahrnutí barev bodů (Point colors) může vizuálně pomoci při dalším zpracování, ale pro rekonstrukci není nezbytně nutné.



zarovnání mračna

Software

Zarovnání, ořezání a odstranění šumu mračna probíhá v softwaru **CloudCompare**.

Import

Dříve vytvořené mračno nahrajte pomocí záložky File > Open a zvolte soubor. Mračno bodů se zobrazí v náhledu.

Nastavení náhledu

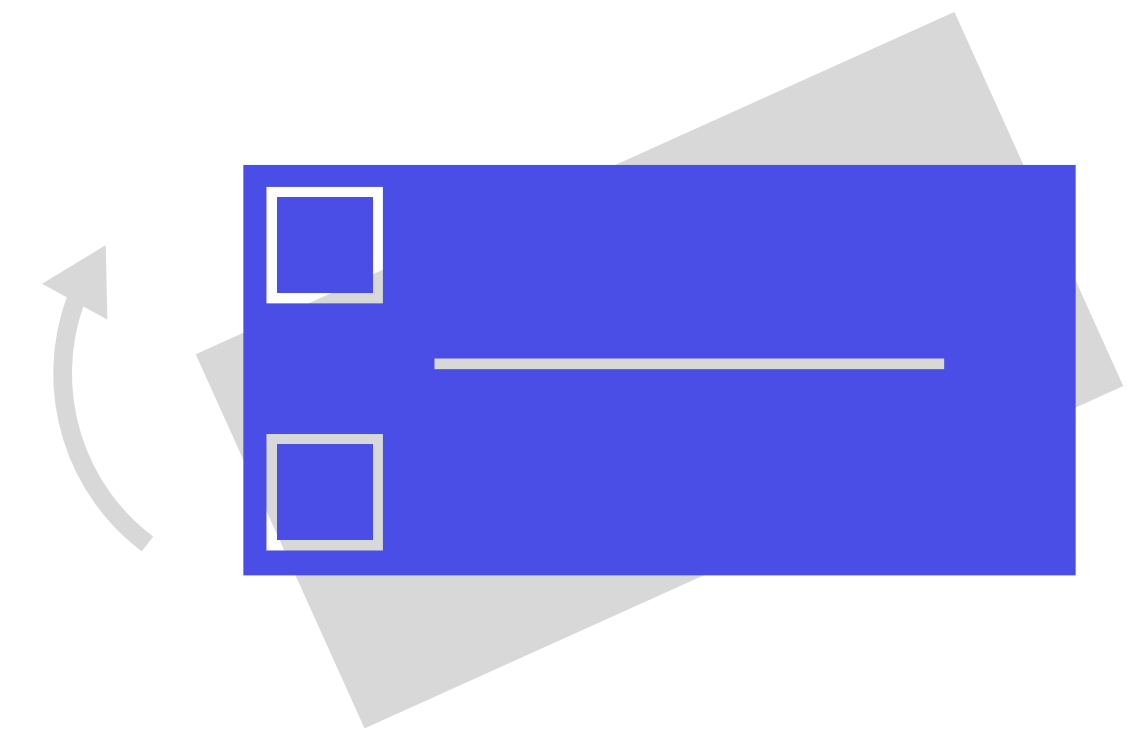
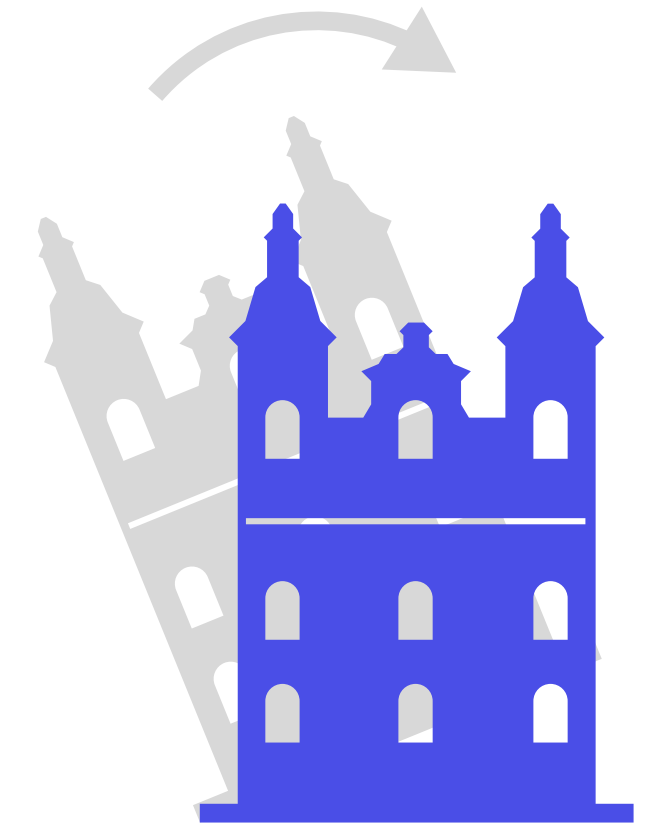
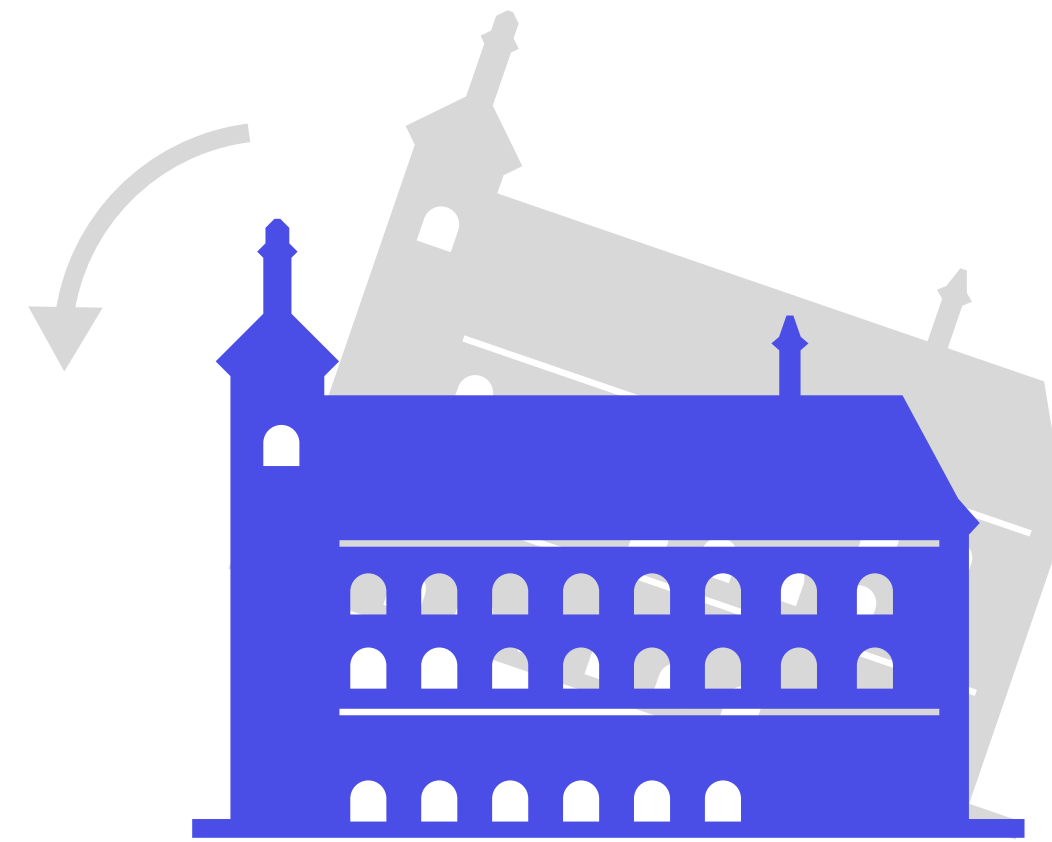
V případě, že mračno není stínované, označte jej v databázovém stromu (DB Tree) a v nastavení (Properties) **aktivujte náhled normál** (Normals). Rovněž je doporučeno **zvětšit velikost bodů** (Point size) tak, aby byly jednotlivé body v náhledu jasně zřetelné (např. velikost 3). Zamezí se tak případnému přehlédnutí chybného bodu.

Posun mračna

Prvním krokem k zarovnání je posunout mračno na **počátek souřadnicového systému**. V záložce Edit > Edit global shift and scale manuálně nastavte posun tak, aby v tabulce Point in original coordinate systém byly všechny **souřadnice rovny 0**. Nastavení Scale ponechte na hodnotě 1.

Rotace mračna

Dalším krokem je orientovat mračno tak, aby svou orientací prostorově odpovídalo skutečnosti. Tuto akci lze jednoduše provést funkcí **Pick three points to make cloud or mesh 'level'** (v levé postranní liště). Funkcí zvolíte tři různé body mračna, které mají být zarovnány vodorovně (stejná souřadnice Z). První dva zvolené body určují osu X. Pečlivým výběrem těchto bodů lze zarovnat mračno ve všech osách. Na základě zvolených bodů bude **vyrovnan zbytek mračna**.



ořezání mračna

Body k odstranění

Ořez mračna se skládá ze **dvou kroků** – ořez na požadovanou oblast rekonstrukce a ořez hrubých chyb. Oba kroky budou provedeny stejným nástrojem.

Oblast zájmu

Pro ořez na požadovanou oblast v levé postranní liště aktivujte **ortografickou projekci** (Orthographic projection) a **vrchní náhled** (Set top view). Ořez bude proveden nástrojem **Segment** (horní lišta). V nástroji zvolte obdélníkový výběr a vyberte body, které mají být zachovány. Okolo objektu je vhodné **ponechat rezervu**. Ořez provedte příkazem Segment In.

Hrubé chyby

Ořez hrubých chyb bude taktéž proveden nástrojem Segment. Mezi tyto chyby se řadí body **umístěné volně v prostoru** a body znatelně **chybně vygenerované**. Pro odstranění použijte opačný postup – výběr chybných bodů a odstranění nástrojem **Segment Out**. Pro tento postup je vhodné používat polygonální výběr a dle potřeby rotovat náhled okolo objektu. Pro rotaci lze nástroj pozastavit stiskem mezerníku.

Potvrzení segmentace

Pro dokončení operace ořez potvrďte nástrojem **Confirm and delete hidden points**.



denoising

Filtry

K denoisingu, neboli odstranění šumu, budou použity nástroje **Noise Filter** a **SOR Filter**.

Noise Filter

Pro nástroj Noise Filter v záložce Tools > Clean zvolte položku Noise Filter. Algoritmus pro každý bod z mračna vybere nejbližší přilehlé body, kterými proloží rovinu. V případě, že je daný bod od této roviny příliš vzdálen, je považován za šum a odstraněn. Pro fotogrammetricky pořízená mračna je vhodné volit způsob výběru **Radius (Sphere)**. Vždy volte možnost **Remove isolated points**. Tato funkce odstraní osamocené body.

SOR Filter

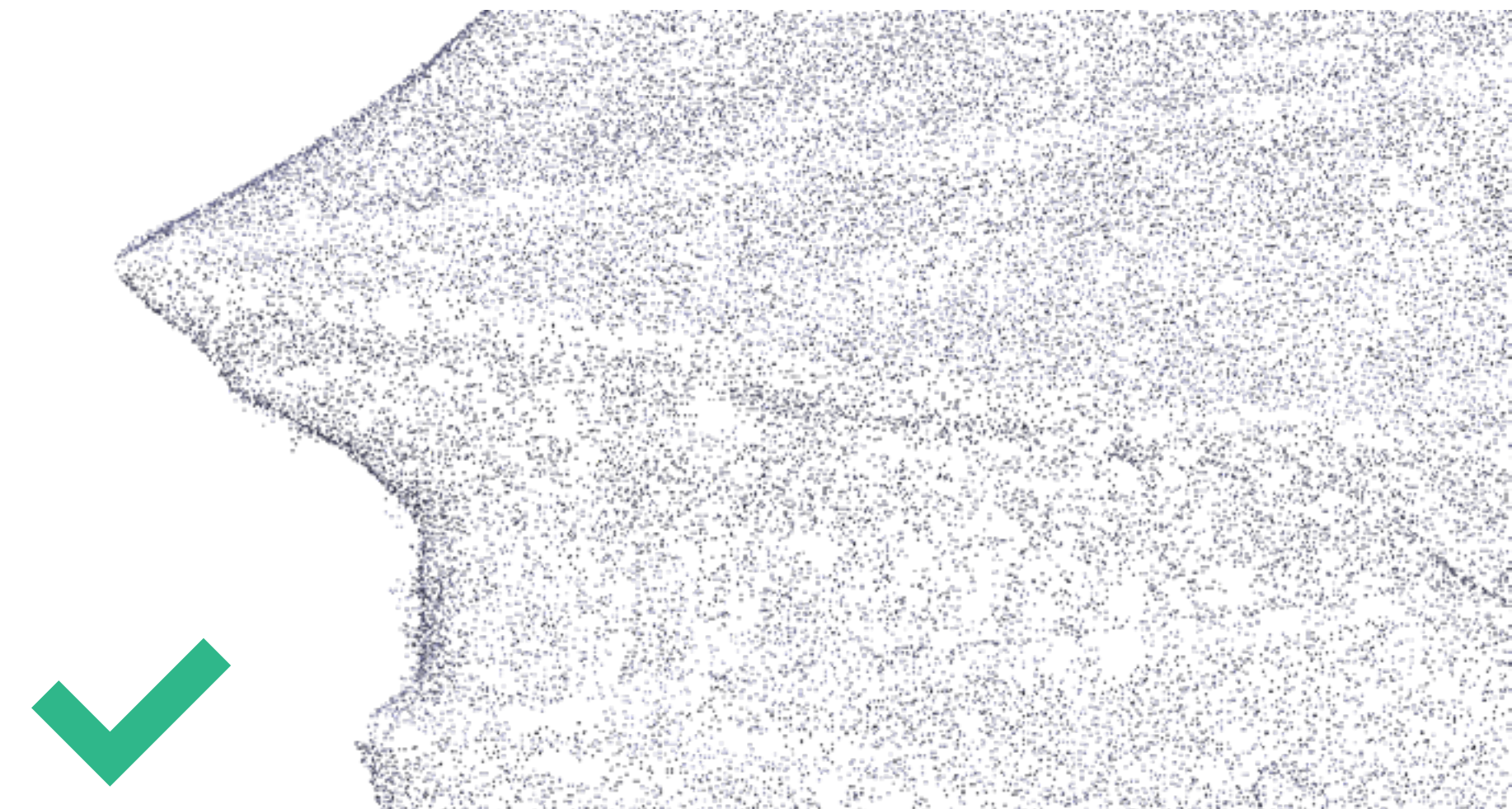
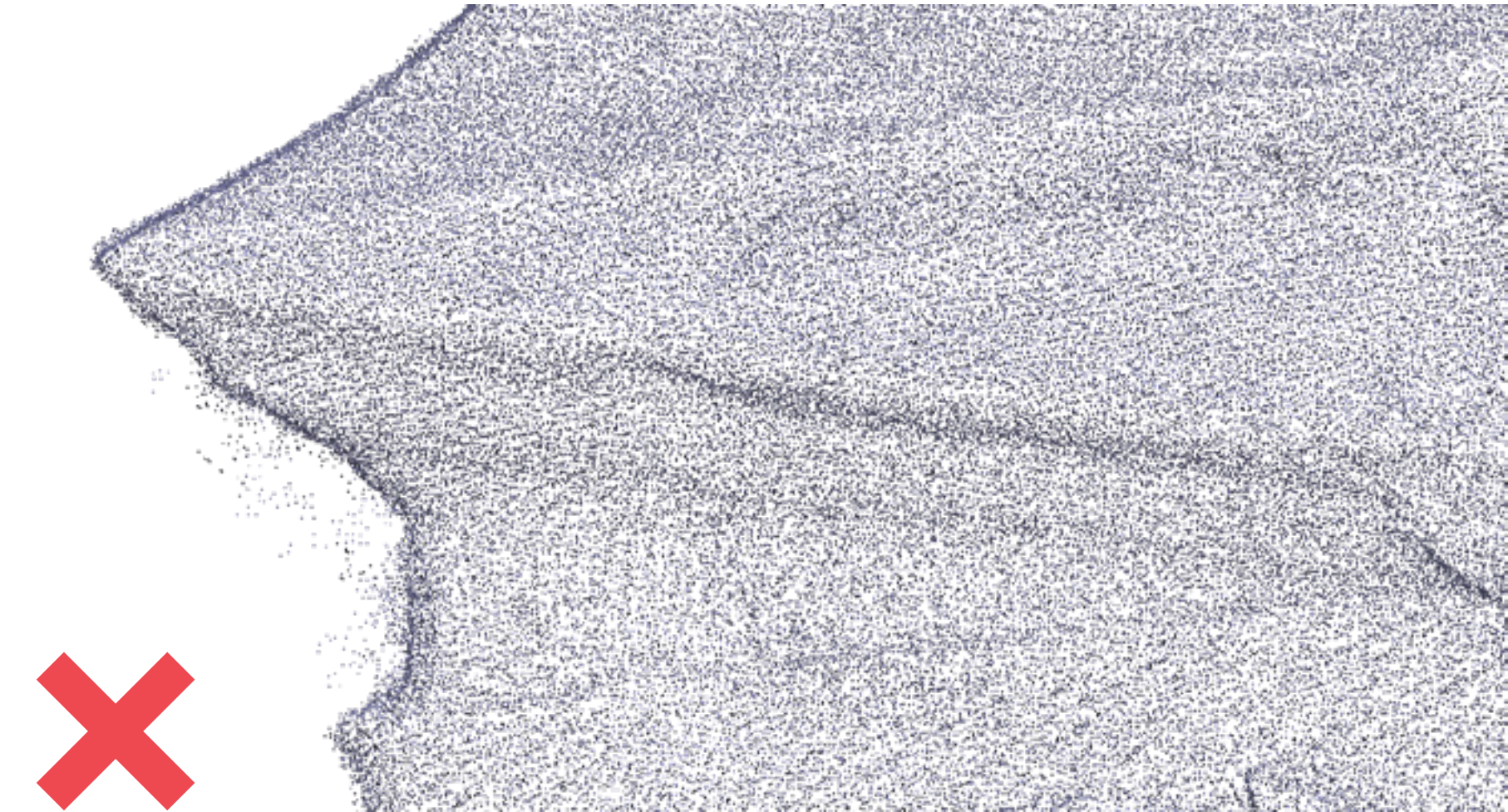
Nástroj SOR Filter (Statistical Outlier Removal) se rovněž nachází v záložce Tools > Clean. Algoritmus pro každý bod vypočítá průměrnou vzdálenost ke každému z nejbližších sousedících bodů (počet sousedících bodů udává první parametr). Jako šum vyhodnotí všechny body, které jsou dál než průměrná vzdálenost plus n-násobek směrodatné odchylky (druhý parametr).

Nastavení

U obou nástrojů **nelze obecně stanovit optimální hodnoty parametrů**. Jejich nastavení je specifické pro konkrétní mračno bodů a do jisté míry experimentální. Dobrých výsledků lze dosáhnout i za použití výchozích hodnot.

Export

Upravené mračno bodů exportujte v záložce File > Save (**doporučený formát PLY**).



polygonová fáze



polygonová fáze

1 Rekonstrukce sítě

Prvním krokem je z mračna bodů vytvořit primární polygonovou síť. K rekonstrukci je třeba využít **vhodného algoritmu** a zvolit takovou **hloubku rekonstrukce**, aby byl zachován detail o požadované úrovni.

2 Redukce polygonů

V závislosti na hloubce rekonstrukce se síť často skládá z nadbytečného počtu polygonů. Pro další zpracování je třeba tento počet **redukovat na minimum**, a to s ohledem na největší možnou míru **zachování detailu**.

3 Globální editace

Primárně vytvořená síť obsahuje velké **množství topologických chyb**, které by znemožňovaly další úpravy modelu. Je nezbytné tyto chyby opravit. Tento krok probíhá automaticky.

4 Odstranění zbytkových chyb

Dále je třeba opravit ty části sítě, která byly tvarově **chybně rekonstruovány** nebo by **nebylo možné je vytisknout**. Tento krok je třeba provést manuálně.

5 Tvarování

Během tvarování probíhá manuální úprava polygonové sítě. Tento krok zahrnuje opravu špatně rekonstruovaných částí, **vyhlazování sítě** a případné **přidávání vlastních prvků**. Způsob tvarování je specifický pro konkrétní model.

6 Retopologie

V oblasti 3D modelování je vždy výhodnější **kontrolovat topologii** (tvar a velikost polygonů, směr toku polygonů...). Špatná topologie vede ke vzniku artefaktů způsobujících **problémy při tisku**. Bude vytvořena kompletně nová topologie (provedena tzv. retopogie).

7 Podstava

Posledním krokem polygonové fáze je modelování podstavy objektu. Jedná se o **pokročilejší operaci, volitelnou**, nicméně **doporučenou**. Podstava slouží jako základna modelu při tisku a má estetický význam.

rekonstrukce sítě

Software

Tvorba a část editace polygonové sítě probíhá v softwaru **MeshLab**.

Import mračna

V záložce File > Import Mesh nahrajte upravené mračno bodů.

Algoritmus

V záložce Filters > Remeshing, Simplification and Reconstruction zvolte **Screened Poisson Surface Reconstruction**. Tento algorismus je v oblasti rekonstrukce sítě z mračna bodů obecně považován za nejlepší.

Hloubka rekonstrukce

Stěžejní parametr algoritmu je hloubka rekonstrukce (**Reconstruction Depth**) udávající stupeň detailu, kterého má být dosaženo. S úrovní detailu však **roste počet polygonů** vytvořené sítě. Příliš mnoho polygonů je z hlediska výpočetní i zobrazovací náročnosti nežádoucí. **Optimální hodnota hloubky je 8 až 10**. Je vhodné s hodnotou experimentovat a zvolit výsledek zachycující úroveň požadovaného detailu při zachování minimálního počtu polygonů.

Pre-clean

Dále zvolte možnost Pre-Clean. Tato funkce aktivuje **předčištění mračna** a odstraní body nevhodné pro zahrnutí do výpočtu.

Další nastavení

Ostatní nastavení ponechte výchozí a nástroj spusťte.



redukce polygonů

Wireframe

Náhled hran polygonové sítě lze aktivovat v okně vrstev akcí **Wireframe**.

Redukce

Vytvořená polygonová síť se často skládá z více polygonů, než je pro dosažení požadovaného detailu třeba a pro další zpracování je vhodné jejich počet redukovat. Nástroj je **destruktivní a nevratný**. Vytvořenou polygonovou síť **před redukcí uložte**.

Algoritmus

V záložce Filters > Remeshing, Simplification and Reconstruction zvolte **Simplification: Quadric Edge Collapse Decimation**.

Počet polygonů

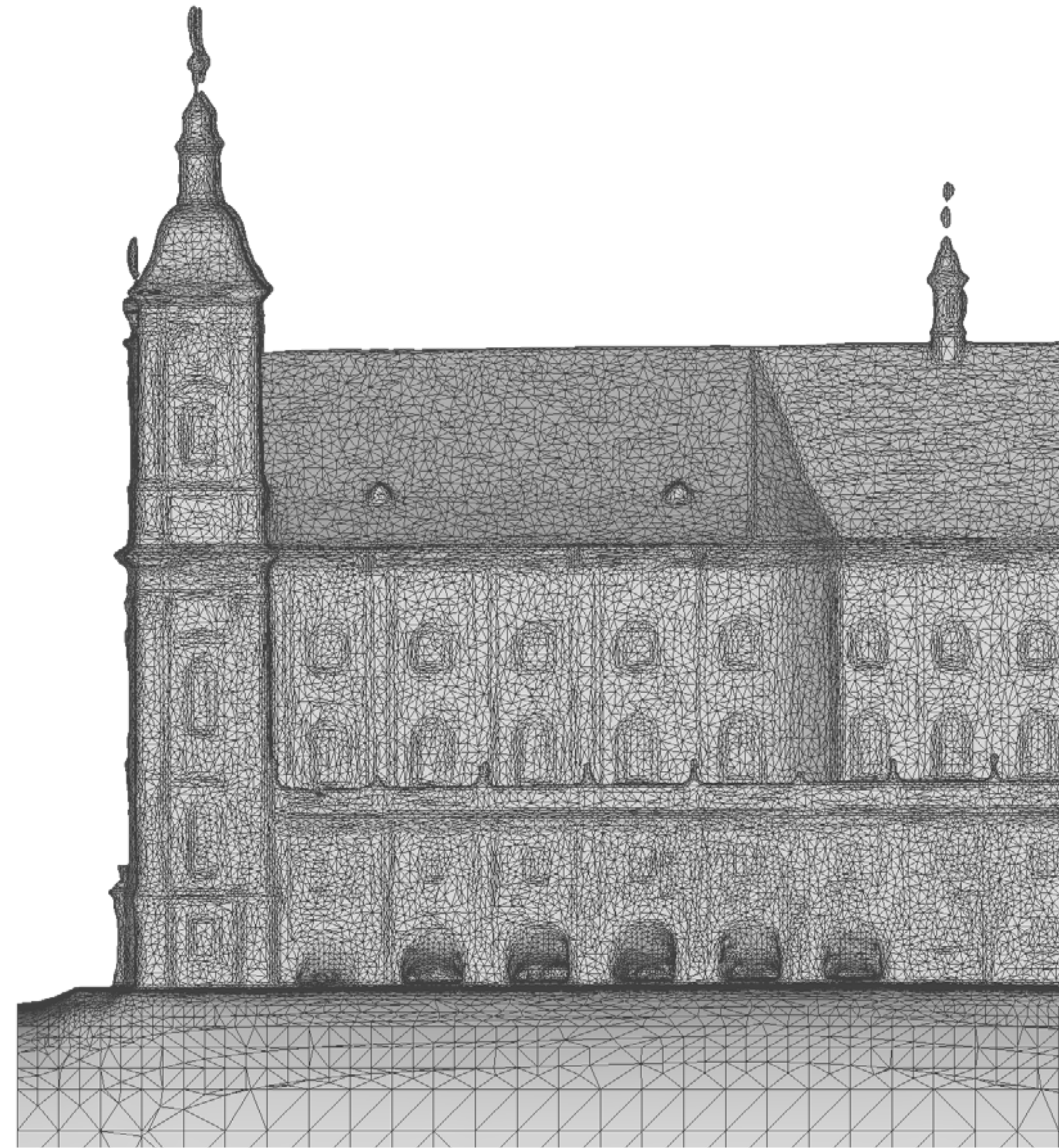
Cílový počet polygonů (Target number of faces) je hodnota specifická pro daný objekt. Referenční hodnotou je **20 % původního počtu** polygonů. Hodnotu upravte dle potřeby a opět vyberte výsledek zachycující úroveň požadovaného detailu při zachování minimálního počtu polygonů.

Další nastavení

Dále zvolte následující parametry: Quality threshold: 1; Preserve Boundary of the mesh; Preserve Normal; Planar Simplification. Ostatní nastavení ponechte výchozí a nástroj spusťte.

Řešení problémů

V případě potřeby opakování nástroje s jiným nastavením aktuální vrstvu odstraňte a v záložce File > Import Mesh nahrajte dříve uloženou.



globální editace

Chyby

Redukovaná polygonová síť obsahuje množství, na první pohled neviditelných, topologických chyb. Cílem globální editace je **hromadně** tyto chyby odstranit.

Příkazy

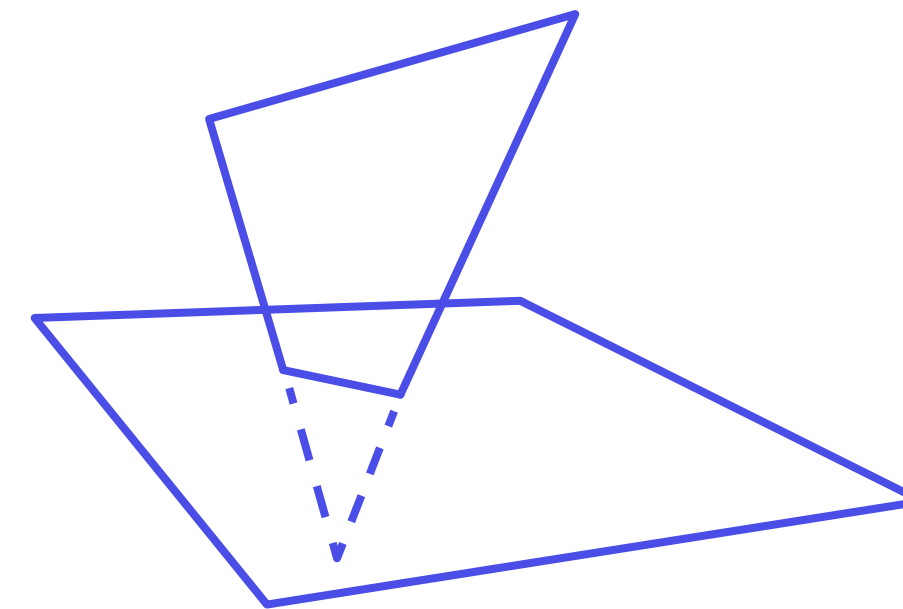
V záložce Filters > Cleaning and Repairing **postupně proveďte tyto příkazy**:

1. Merge Close Vertices
2. Remove Duplicate Faces
3. Remove Faces from Non Manifold Edges
4. Remove Isolated Folded Faces by Edge Flip
5. Remove Unreferenced Vertices
6. Remove Zero Area Faces
7. Select Self Intersecting Faces (pouze provede výběr)
> odstraňte v záložce Filters > Selection > Delete Selected Faces
8. Select Non Manifold Vertices (pouze provede výběr)
> odstraňte v záložce Filters > Selection > Delete Selected Vertices

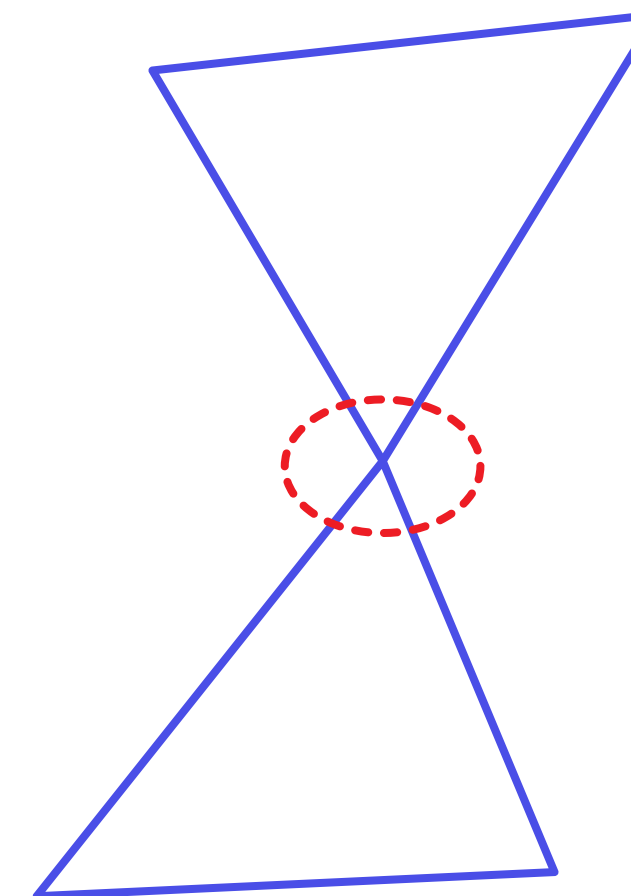
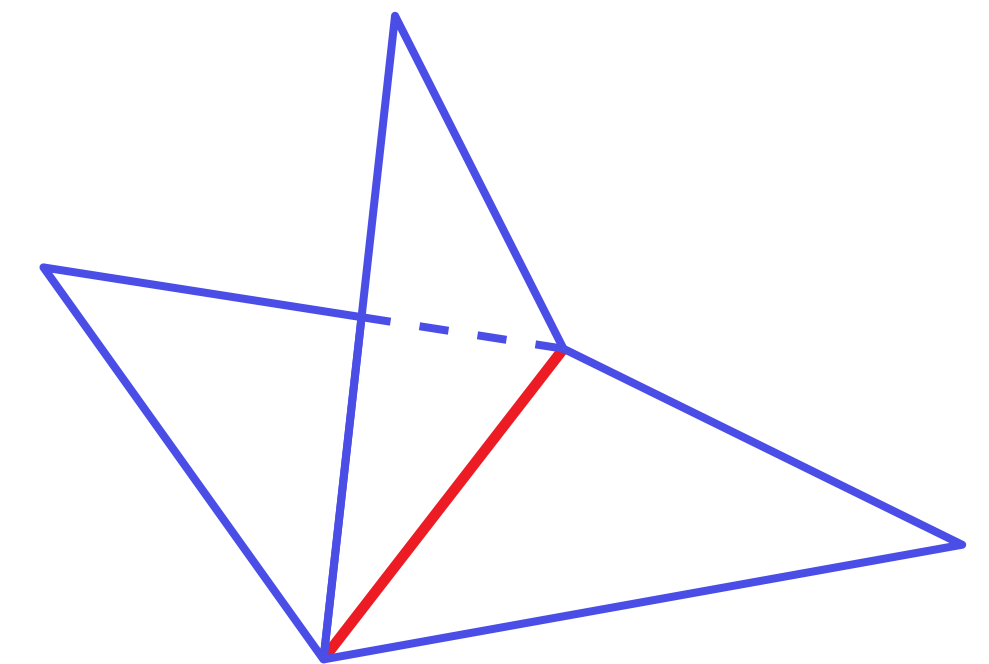
Export

Upravenou polygonovou síť exportujte v záložce File > Export Mesh As (**doporučený formát OBJ**). Zachovejte normály.

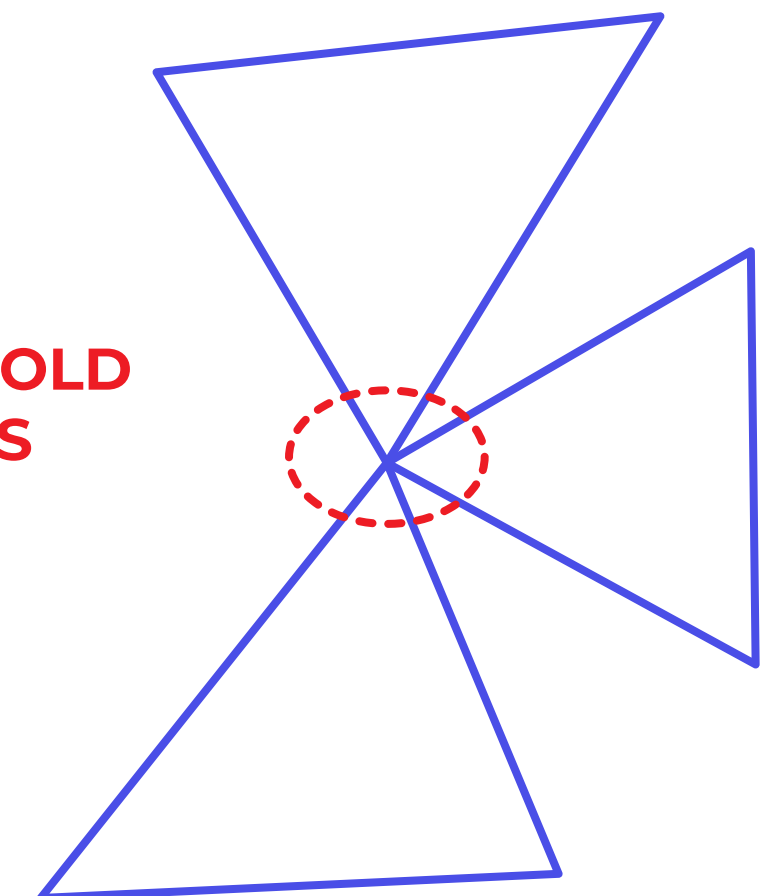
**SELF INTERSECTING
FACES**



**NON MANIFOLD
EDGE**



**NON MANIFOLD
VERTICES**



odstranění zbytkových chyb

Software

Odstranění zbytkových chyb a tvarování probíhá v softwaru **Autodesk Meshmixer**.

Import

V záložce File > Import nahrajte upravenou polygonovou síť.

Nástroj Inspector

V levé postranní liště zvolte Analysis > Inspector. Nástroj je schopen **rozpoznat a opravit** tři typy chyb. Každá chyba je označena koulí. Klikem na kouli bude chyba automaticky opravena. Barva koule identifikuje typ chyby:

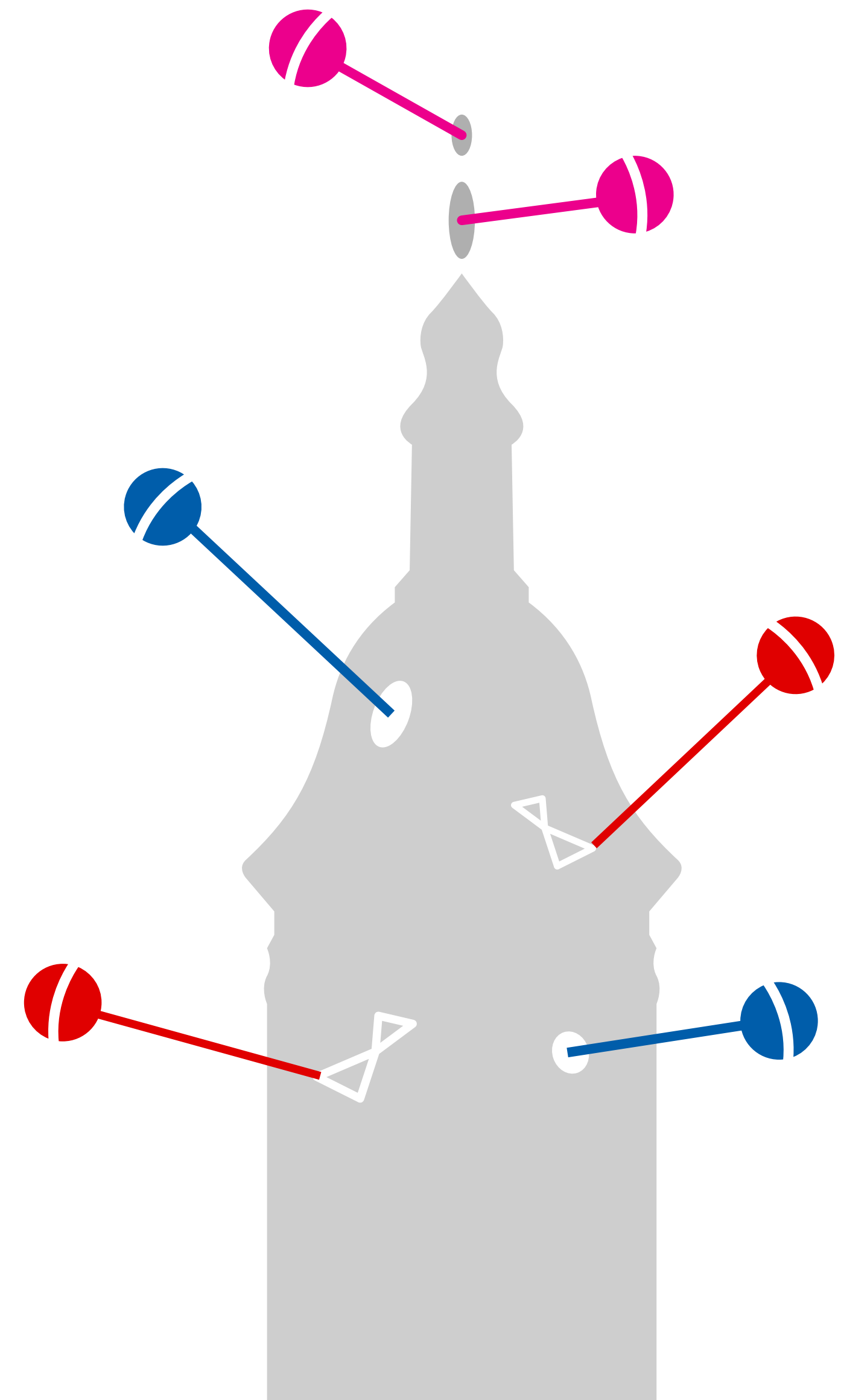
1. **Modrá** – díra v polygonové síti (model není tzv. vodotěsný – nelze vytisknout)
2. **Červená** – hranu sdílí 3 a více polygonů (ang. non-manifold) – nežádoucí
3. **Purpurová** – oddělená součást (většinou se jedná o malé nepotřebné části sítě)

Odstranění

Neopravujte díru na spodní straně objektu (modrá koule). Chyba bude později manuálně odstraněna při modelování podstavy modelu. Všechny ostatní chyby odstraňte.

Vyvolané chyby

Může nastat případ, kdy **opravená chyba vyvolá další chybu**. Proto nástroj Inspector proveďte v několika iteracích a **postup opakujte**, dokud nebudou všechny chyby odstraněny.



tvarování

Chyby

Pojmem tvarování se myslí manuální odstranění všech **lokálních vad** sítě. Cílem je dotvarovat síť podle potřeby a specifik konkrétního objektu. Pro tento krok nelze stanovit obecný postup nebo návod. Jedná se o odstranění těchto chyb:

1. Kompletně zdeformovanou část sítě, kterou předchozími kroky nebylo možné opravit
2. Část sítě, kterou není možné vytisknout nebo nemá být vytištěna
3. Vyhlazení ploch
4. Další modelování a manuální zásahy

Nástroje

Je doporučeno používat nástroj **Sculpt** a to především štětce **Drag**, **Flattern** a **Bubble Smooth**. Sílu a velikost nastavujte podle potřeby. Je vhodné pracovat i s funkcí **Refinement**. V případě použití této funkce pracujte s **klávesovou zkratkou W** (pro zobrazení hran sítě). Snažte se docílit konstantní velikosti polygonů.

Kompletní deformace

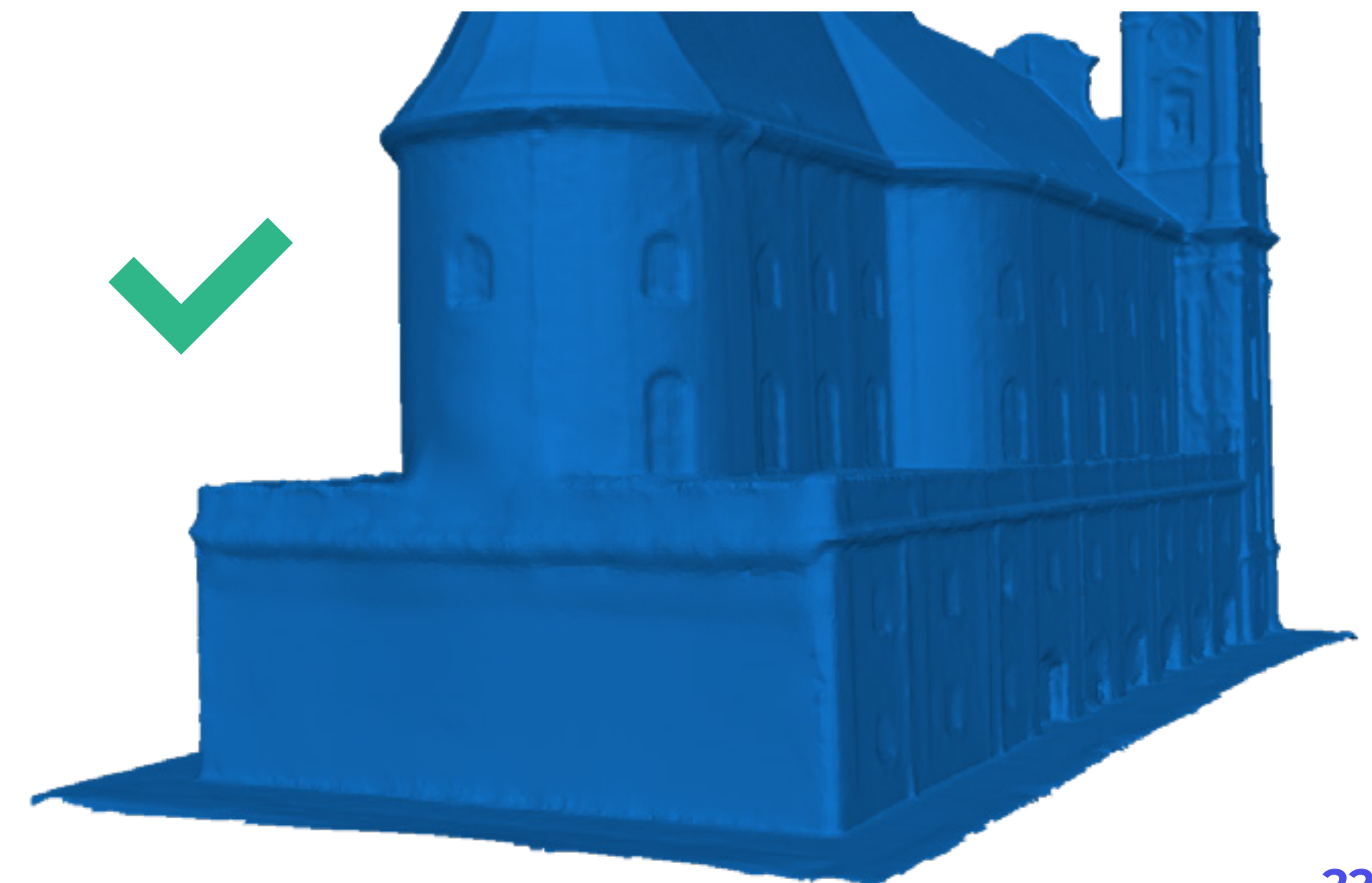
V případě kompletně zdeformované části sítě je vhodné celou tuto část nástrojem **Select** vybrat, klávesou **Delete** odstranit a pomocí dříve použitého nástroje **Inspector** díru vyplnit. Podobně postupujte v případě odstranění částí, které nemohou nebo nemají být vytištěny.

Zbytkový šum

Na polygonové síti se může projevit zbytkový šum, patrný především na původně rovných plochách. Vhodným nástrojem pro shlazení je štětec **Flattern**.

Export

Vytvarovanou síť exportujte v záložce File > Export (**doporučený formát OBJ**).



retopologie

Retopologie

Cílem retopologie je vytvořit síť o požadovaném **tvaru a velikosti** polygonů. Retopologií rovněž lze kontrolovat **počet** polygonů a směr jejich toku.

Software

Tento krok bude proveden v softwaru **Instant Meshes**.

Import

V záložce Open mesh > PLY, OBJ nahrajte vytvarovanou síť.

Nastavení

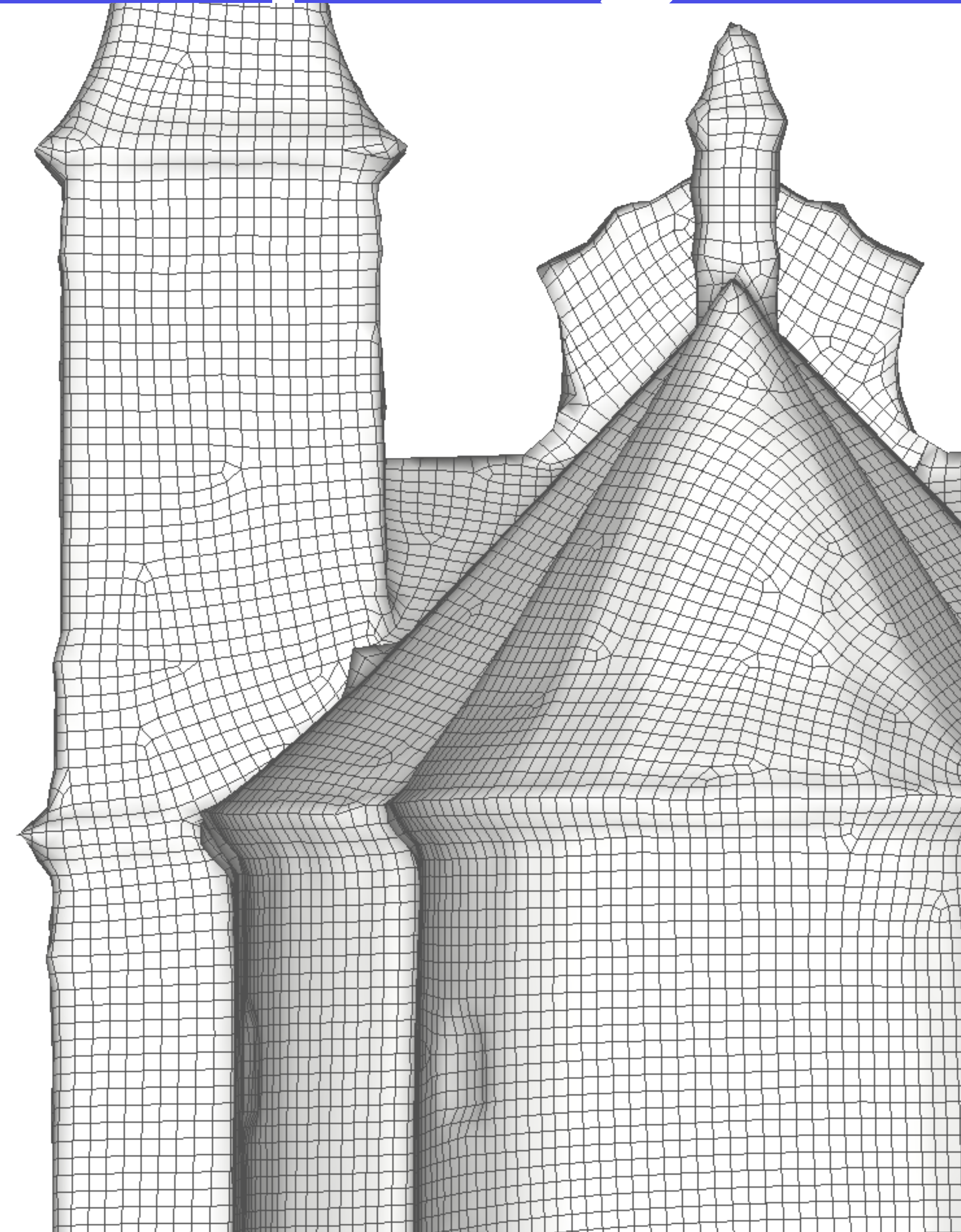
Nastavení Remesh as zvolte **Quads 4/4**. V nastavení Configuration details zvolte Align to boundaries. Target vertex count určuje výsledný počet polygonů. Hodnotu nastavte **dle potřeb konkrétního objektu**. Referenční hodnotou je 100 až 200 tisíc.

Provedení retopologie

V sekci Orientation Field zvolte **Solve**, poté v sekci Position Field opět zvolte **Solve**. Po dokončení výpočtu pokračujte v záložce **Export mesh > Extract mesh**.

Export

Topologicky upravenou síť exportujte v záložce Export mesh > Save (**doporučený formát OBJ**). V případě potřeby za název souboru **připište i souborovou příponu** (.obj).



podstava: část 1

Podstava

Modelování podstavy je volitelným krokem, nicméně **doporučeným**. Podstava slouží především jako základna tiskového modelu. V neposlední řadě má také estetický význam. Modelování podstavy je pokročilejší a **časově náročnější** operace, proto je její modelování **rozděleno do 3 částí**.

Software

Podstava bude modelována v softwaru **Blender**.

Příprava scény a import

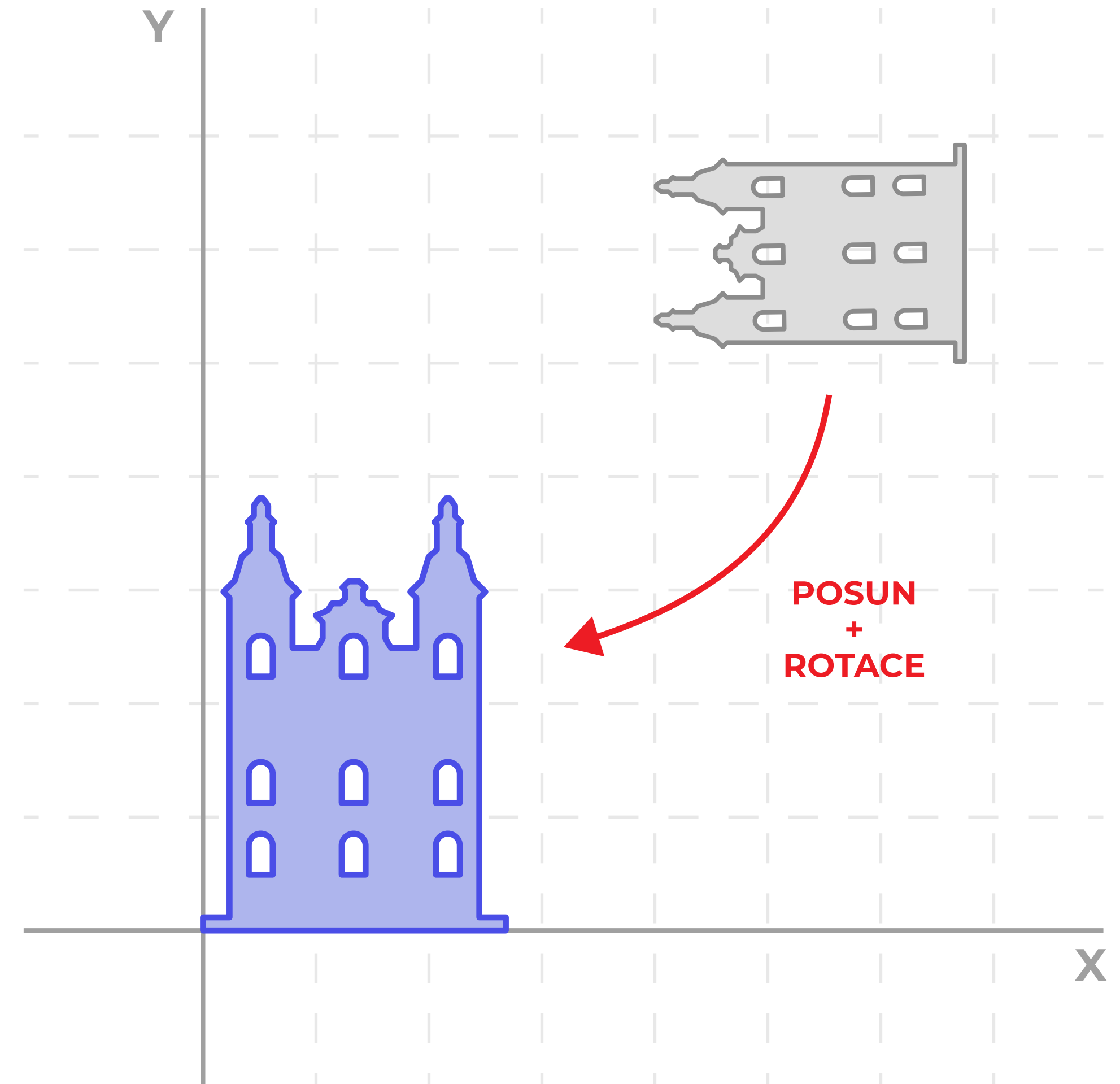
Po spuštění softwaru **odstraňte výchozí objekt** umístěný ve scéně. V záložce File > Import zvolte formát vytvořeného topologicky upraveného souboru a nahrajte.

Posun modelu

V případě, že se načtený model nachází mimo počátek souřadnicového systému, klávesovou zkratkou **Shift + Ctrl + Alt + C** vyvolejte menu „Set Origin“ a zvolte možnost „**Geometry to Origin**“. Tímto krokem přesunete objekt do počátku souřadnicového systému.

Rotace modelu

Je pravděpodobné, že objekt bude orientován v jiné ose, než byl původně definován a tedy pootočen o 90 °. Pro opravu orientace zvolte **vrchní náhled** (Numpad 0) a objekt **rotujte** (klávesová zkratka R) v požadovaném směru (rotaci lze omezit pouze na požadované osy, klávesové zkratky X, Y, Z). Při držení klávesy Ctrl lze rotovat **v 5° inkrementech** a docílit tak rotace přesně o 90 °.



podstava: část 2

Cíl

V následujícím kroku budou **zarovnány hrany** polygonové sítě.

Nastavení scény a režimu

Pro následující krok je doporučeno pracovat ve **vrchním pohledu** (Numpad 0) a v **ortografickém režimu** (Numpad 5). Přepněte do **editovacího módu** (klávesa Tab) a do **režimu hran** (Ctrl + Tab > Edges).

Nástroj Bisect

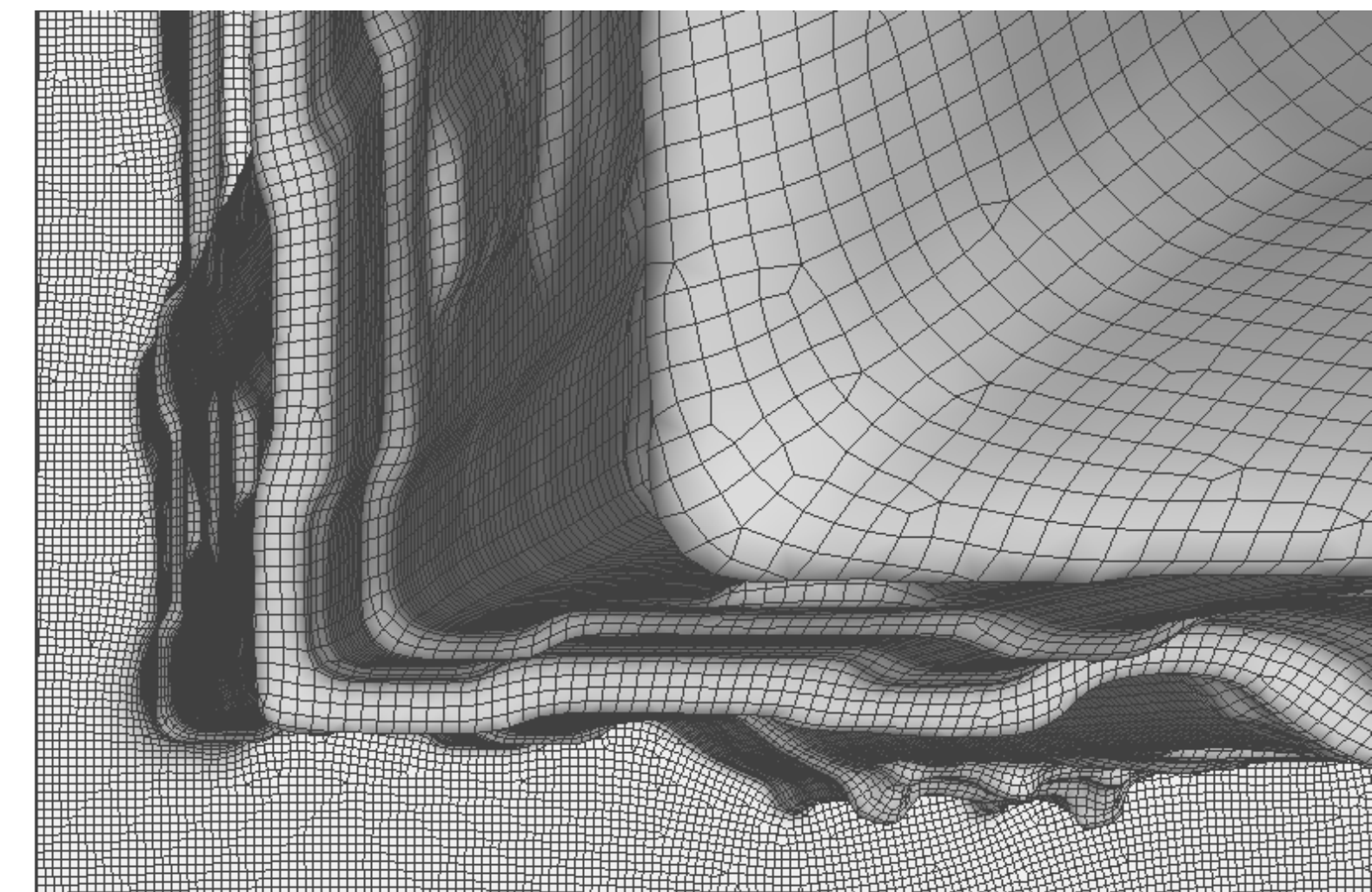
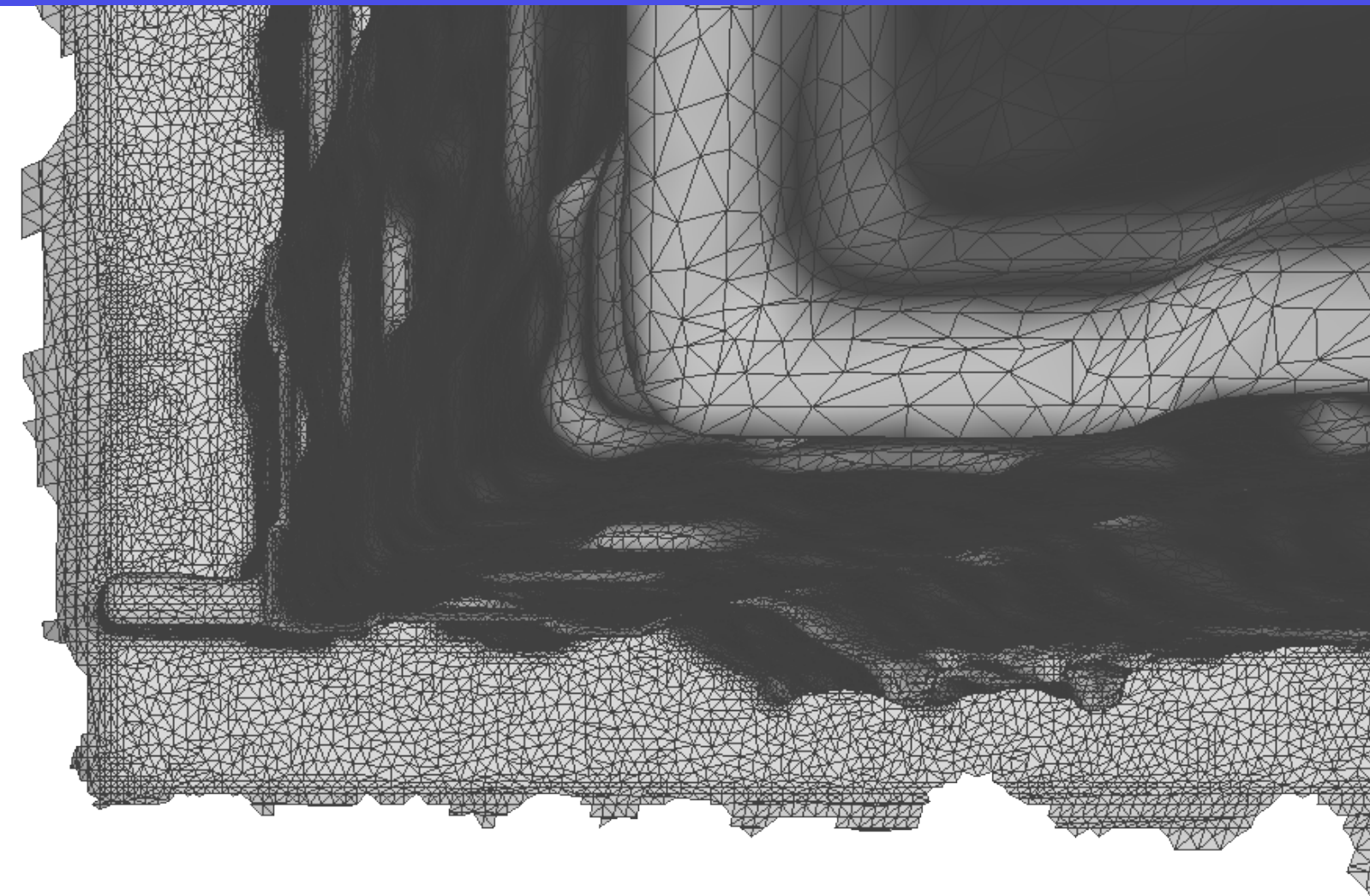
Následně použitý nástroj ovlivňuje pouze vybrané hrany. Proto nejprve vyberte **všechny hrany** (klávesa A), poté mezerníkem vyvolejte kontextové vyhledávání a vyhledejte **nástroj Bisect**.

Nastavení nástroje

Nakreslete linii řezu. V parametrech nástroje (typicky vlevo dole) aproximujte směr roviny řezu v nastavení **Plane Normal** (normálu roviny, ve které je řez veden, nastavte na 1, ostatní dvě na 0) a v závislosti na směru řezu zvolte možnost **Clean Inner** / **Clean Outer**. Tato možnost odstraní nepotřebnou část polygonové sítě.

4 hrany

Celý postup opakujte **pro každou hranu** modelované podstavy. (označit hrany > Bisect > nastavit normálu roviny řezu > odstranit nepotřebnou část).



podstava: část 3

Výběr hran

V režimu editace hran klávesovou zkratkou **Shift + Ctrl + Alt + M** vyberte obrysové hrany polygonové sítě.

Vytažení hran

Nástrojem **Extrude > Edges Only** hrany vytáhněte o požadovanou výšku (směr vytažení lze opět klávesou X, Y nebo Z **omezit na požadovanou osu** – typicky Z).

Potenciální chyby

Pro tento krok je důležitá **správnost sítě**. Je-li v síti jiný otvor, než otvor pro podstavu, budou vytvořeny nežádoucí artefakty. V takovém případě se vraťte do softwaru Meshmixer a díru opravte.

Zarovnání hran

Označené hrany je nutné **výškově srovnat do roviny**. Nejvhodnějším postupem je nástrojem **Scale**. Nástroj aktivujte a klávesou Z **omezte na vertikální osu**. V parametrech nástroje poté všechny vektory **aproximujte přesně na 0**.

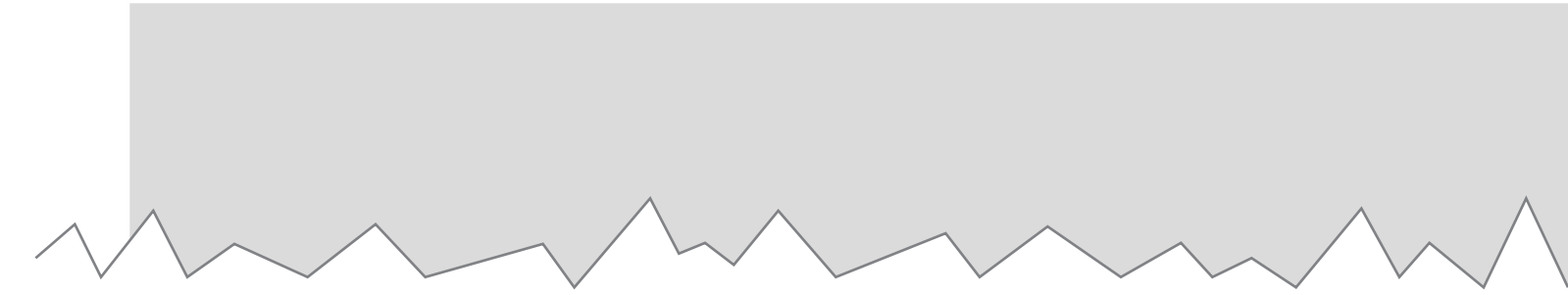
Vyplnění

Posledním krokem k uzavření modelu je **vyplnění díry** v podstavě. V kontextovém vyhledávání vyhledejte nástroj **Fill** a spusťte.

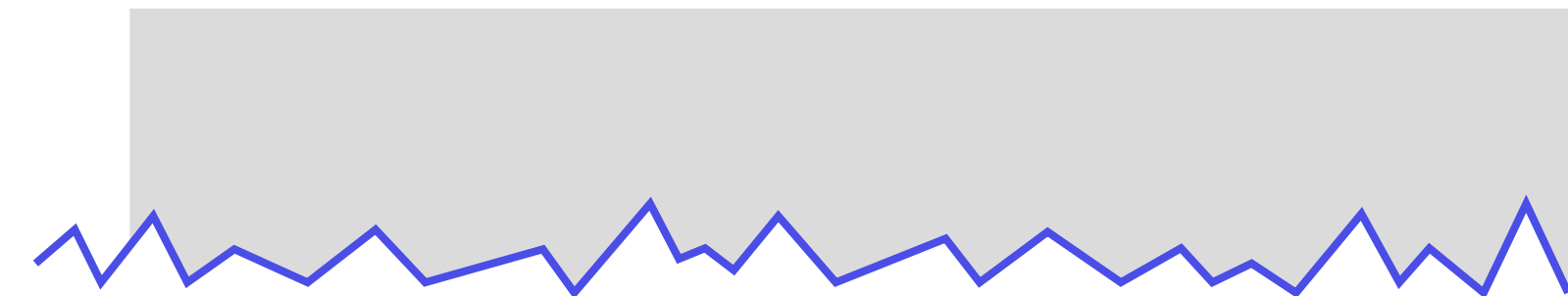
Export

Po dokončení editace klávesou Tab přepněte do režimu objektu a model v záložce File > Export uložte (**doporučený formát OBJ**).

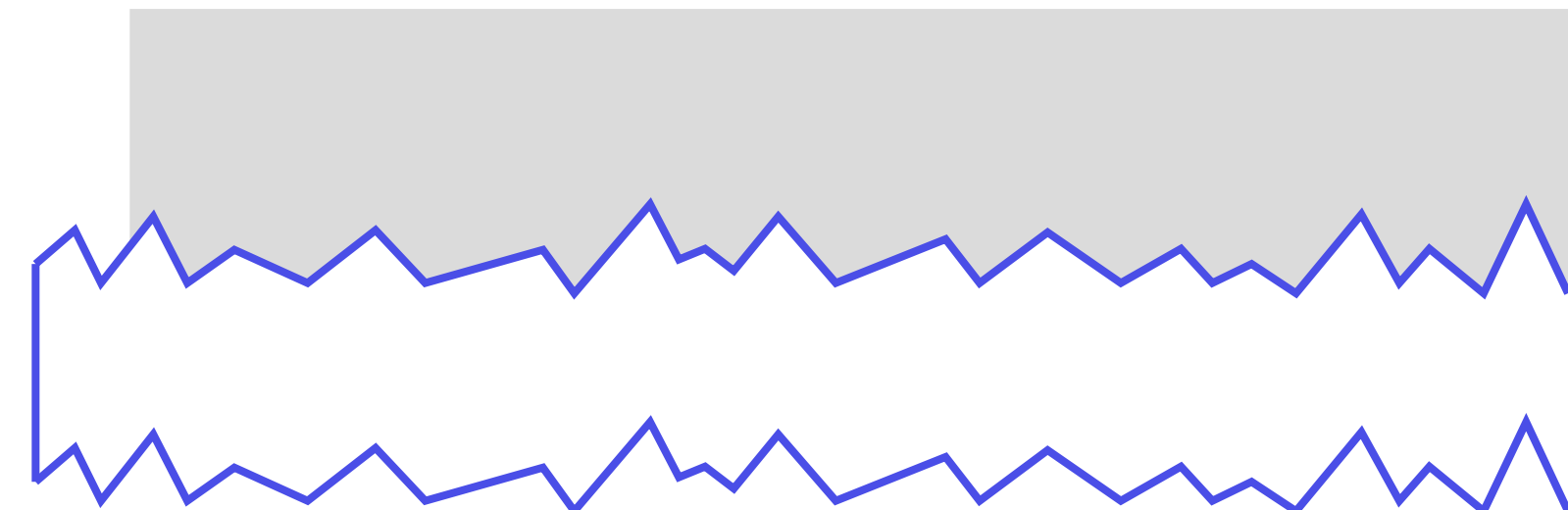
1



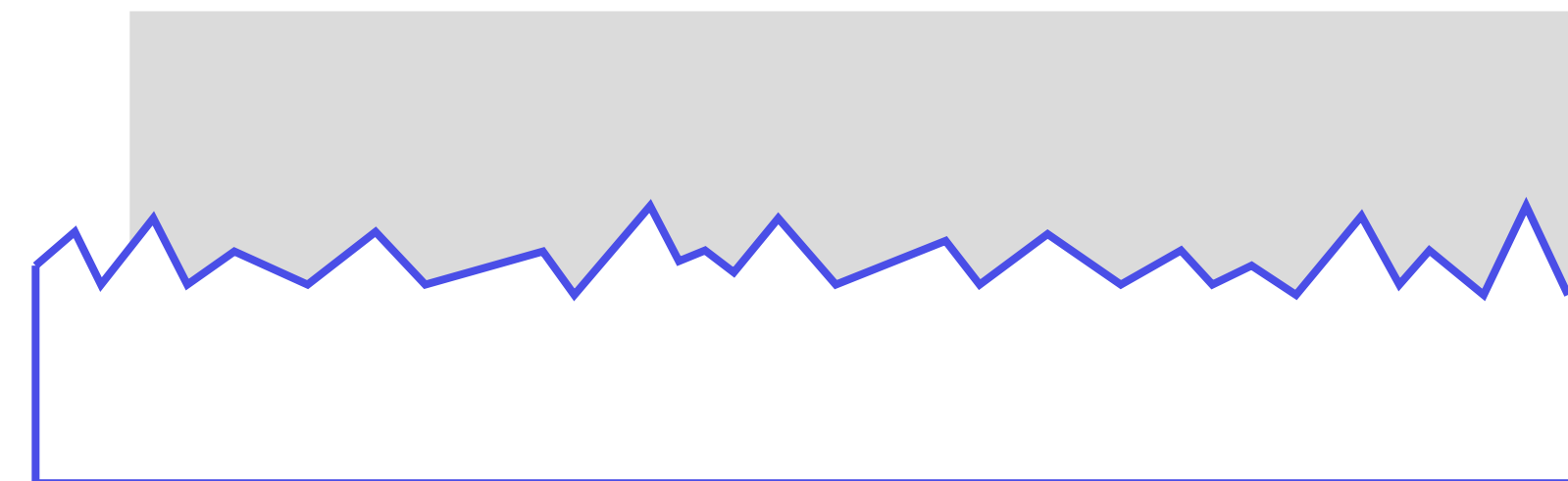
2



3



4



texturování



texturování

1 UV mapování

Pro plnohodnotně editovatelnou texturu bude nejprve potřeba provést tzv. UV mapování (tj. dle potřeb **rozložit polygonovou síť na plátno** textury). Tento krok zajistí pozdější pohodlné upravování textury v grafickém editoru.

2 Zarovnání modelu

Protože bude textura generována v již **existující scéně** rozmístěných a orientovaných snímků, je potřeba upravený model umístit **do původního postavení** (během tvorby došlo k posunu a rotaci). Zarovnání modelu s referencí bude provedeno v softwaru CloudCompare.

3 Generování textury

Po zarovnání bude model načten do softwaru Agisoft Metashape a **nahradí referenční model** (ve stejném postavení, velikosti i rotaci). Na načtený model bude z orientovaných snímků vygenerována textura.

4 Úprava textury

Vytvořená textura není nic jiného než běžný bitmapový soubor (**rastr o zadaném rozlišení**). Lze ji uložit v několika různých rastrových formátech a tedy upravit v libovolném grafickém rastrovém editoru. Cílem je odstranit vady jako **např. stíny**.

5 Barevná úprava podstavy

Protože během generování textury v Agisoft Metashape nelze kontrolovat, které polygony mají být texturovány, s největší pravděpodobností **bude otexturována i podstava**. A protože podstava není původně součástí polygonové sítě, textura bude vytvořena chybně. To je z estetického hlediska nežádoucí a na těchto polygonech je třeba **vytvořenou texturu přebarvit**.

UV mapování

UV mapa

UV mapu lze definovat jako rozložení polygonů 3D modelu na **2D plátně**. Písmena UV značí horizontální a vertikální souřadnice plátna (X a Y již vyhrazeno pro 3D prostor). Software Agisoft Metashape současně s texturou **generuje vlastní UV mapu**, ta však nemusí být pro následné zpracování textury vyhovující. Proto je vždy mít lepší **nad rozložením plnou kontrolu** a mapu přizpůsobit dle potřeb.

Příprava rozhraní a režimu

V softwaru Blender z pravého horního rohu **vytáhněte druhé zobrazovací okno** a přepněte jej do editoru typu **UV/Image Editor** (vlevo dole). Přepněte do **editovacího módu** (Tab) a do **režimu hran** (Ctrl + Tab > Edge).

Smart UV Project

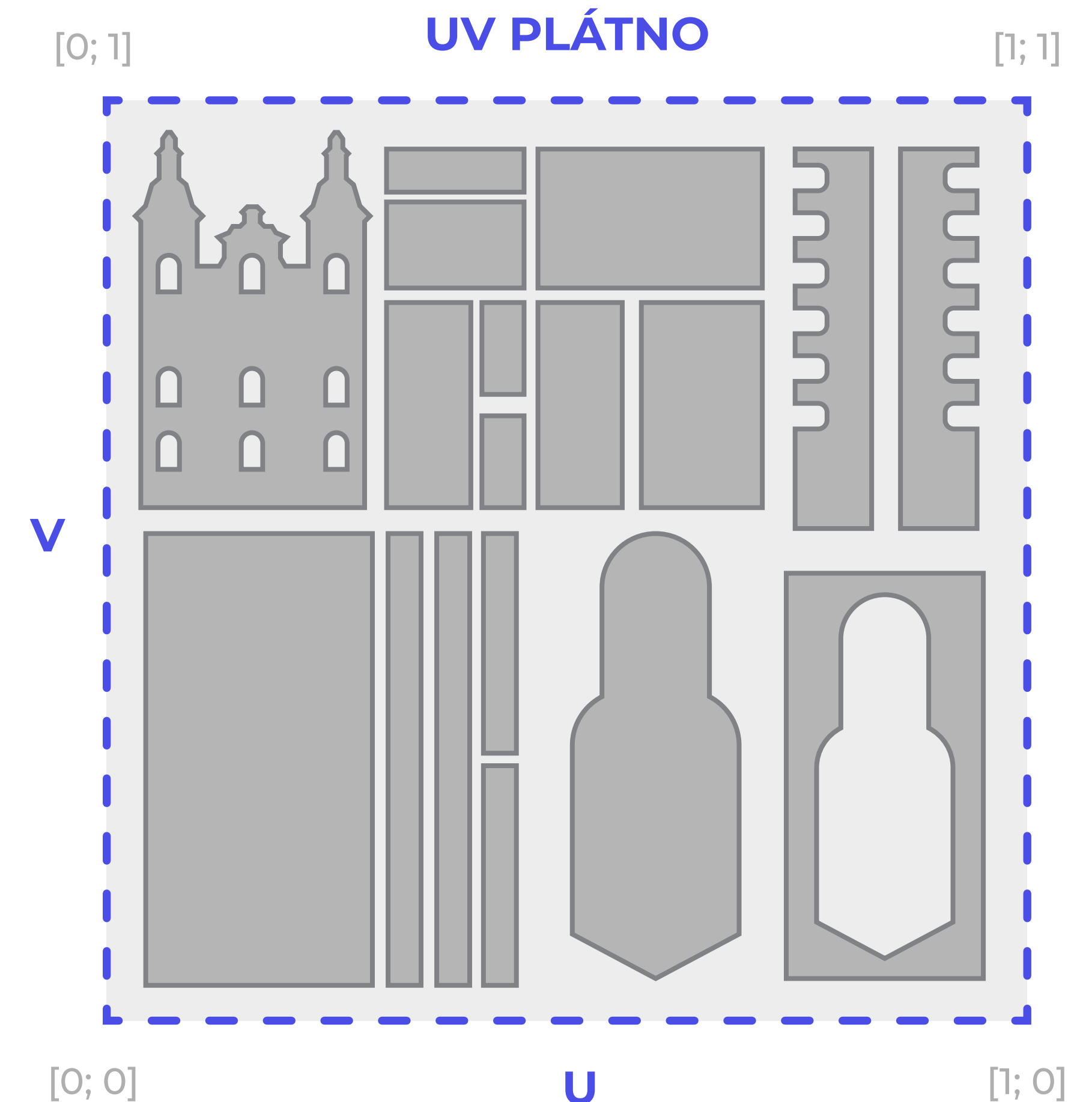
Dále ve 3D náhledu **označte všechny hrany** (klávesa A), klávesou U vyvolejte menu **UV Mapping** a zvolte položku **Smart UV Project**.

Parametry

Stěžejním parametrem je **Angle Limit**. Tento parametr nastavte dle potřeb (doporučené rozmezí 50 až 90 °). Výchozí nastavení **66 ° je vhodná referenční hodnota**. Ostatní parametry ponechte výchozí a nástroj spusťte. Po výpočtu se ve 2D okně zobrazí náhled na mapu. V případě, že s výsledkem nejste spokojeni, nástroj opakujte s rozdílným nastavením Angle Limit.

Export

Po dokončení mapování model včetně mapy exportujte v záložce File > Export ve **formátu OBJ**. V nastavení exportu je **nutné označit položku Include UVs**. V opačném případě nebude mapa uložena.



zarovnání modelu

Postavení modelu

Protože během zpracování došlo k posunu a rotaci modelu, je potřeba model v rámci **souřadnicového systému** umístit do takového postavení, aby odpovídal mračnu bodů ve vytvořené scéně v softwaru Agisoft Metashape. Zarovnání bude docíleno umístěním upraveného modelu přesně **do pozice referenčního modelu**. Referenční model je nejprve třeba vytvořit.

Vytvoření referenčního modelu

V původní scéně softwaru Agisoft Metashape v záložce Workflow > Build mesh **vytvořte model**. Protože bude model sloužit pouze jako reference, není nutné, aby byl detailní. Je vhodné použít nižší nastavení rekonstrukce (př. Source data: Dense Cloud; Surface Type: Arbitrary; Face Count: Low). V záložce File > Export model exportujte v **lokálním souřadnicovém systému**.

Import referenčního modelu

V softwaru CloudCompare v záložce File > Open nahrajte **referenční i upravený** model.

Zarovní modelu s referencí

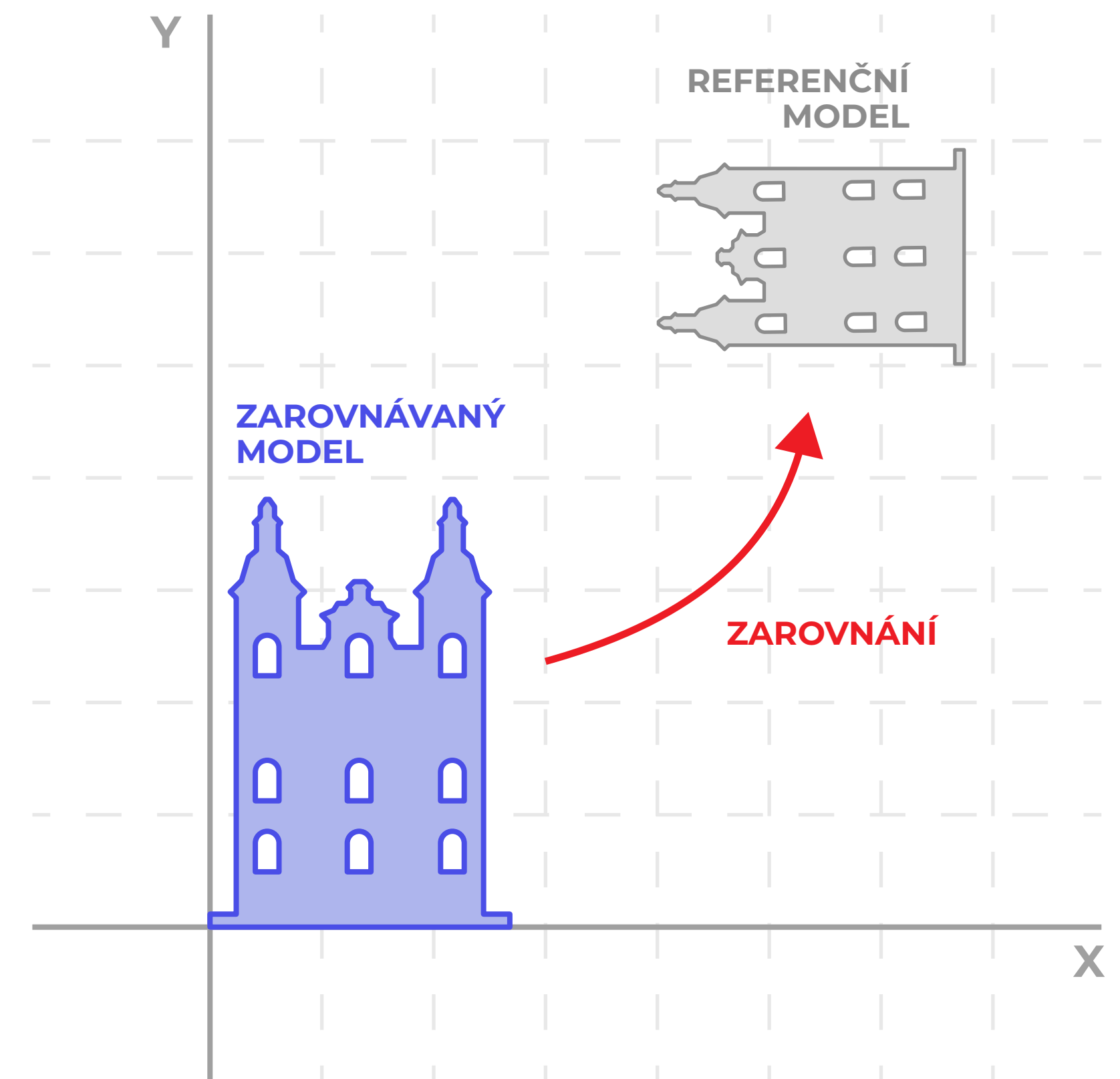
V databázovém stromu označte oba modely a nástrojem **Align two clouds by picking equivalent point pairs** (horní lišta). V okně výběru role nastavte jako zarovnávaný model (**Aligned**) upravený model a druhý model jako referenční (**Reference**). Toto nastavení určuje, který model bude posouván a který bude přichycen.

Výběr bodů

Nyní na obou modelech vyberte **alespoň 4 odpovídající body** a potvrďte akcí Align. Tímto upravený model přesunete do stejné pozice, jako referenční.

Export

Upravený model exportujte v záložce File > Save ve **formátu OBJ**.



generování textury

Software a import

V softwaru Agisoft Metashape v záložce File > Import > Import model nahrajte **upravený referencovaný** model v **lokálním souřadnicovém systému**. Původní model **nenahrazujte**. Zkontrolujte, zda se modely nachází na stejné pozici.

Generování textury

Ve stromové struktuře přepněte na upravený model a v záložce Workflow > **Build Texture** vytvořte texturu.

Mapping mode

Jako Mapping mode nastavte **Keep uv**.

Velikost textury

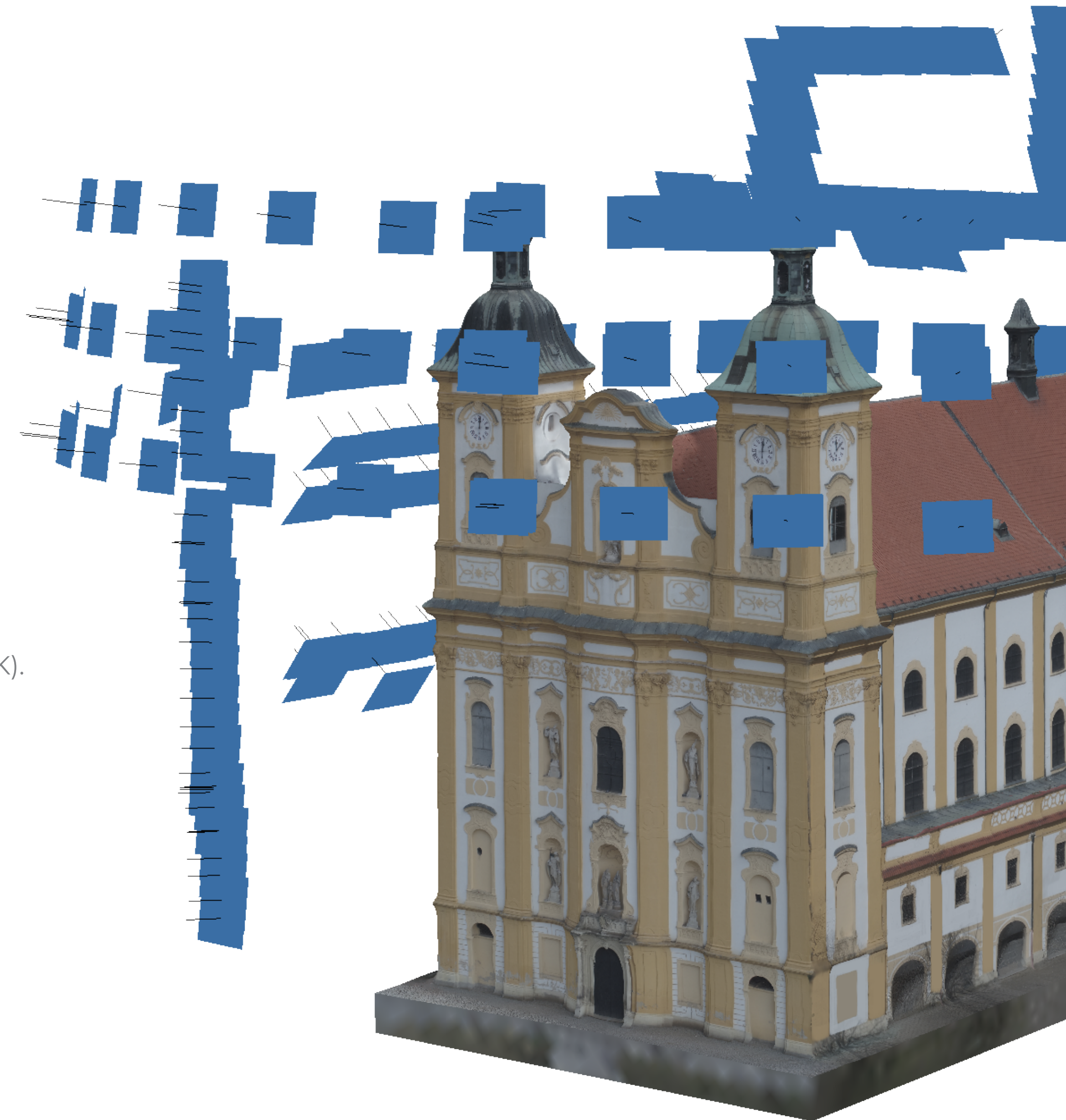
Velikost textury je volitelná. Doporučenou hodnotou je **4096 (tzv. 4K)** nebo 2048 (tzv. 2K).

Další parametry

Ostatní parametry ponechte výchozí a nástroj spusťte.

Export

Model **včetně textury** exportujte v záložce File > Export > Export Model v lokálním souřadnicovém systému, **včetně normál**. Texturu zahrňte označením položky Export texture (**doporučený formát TIFF**).



úprava textury

Úprava

Cílem úpravy textury může být barevné vyvážení, odstranění stínů na modelu, přidání vlastních prvků atd.

Software

Texturu lze upravit v **libovolném** grafickém rastrovém editoru (např. Photoshop, GIMP, Krita)

Zálohování

Před úpravou nezapomeňte originální **neupravenou texturu zálohovat** pro případ, že byste se k ní chtěli vrátit.

Nástroje

Způsob opravy se odvíjí od typu chyby. Nicméně vhodné nástroje pro úpravu jsou především **štětce** v různých nastaveních v kombinaci s **kapátkem**. Kapátko slouží pro výběr barvy a štětec pro „přemalování“ nežádoucích prvků.

Neopravitelné chyby

Ne všechny nedostatky lze jednoduše opravit. Je běžné, že při opravě budete **limitováni možnostmi softwaru**.

Název upravené textury

Upravenou texturu uložte místo původní neupravené textury **ve stejném názvu**. Pokud texturu uložíte pod jiným názvem a v jiném formátu, je potřeba cestu přepsat v **MTL souboru**.



barevná úprava podstavy

Chybná textura

Protože je podstava součástí modelu a Agisoft Metashape generuje texturu **po celém povrchu** modelu, nachází se **části textury i na podstavě**. To je pro výsledný model nežádoucí a neestetické. Proto je potřeba texturu na bočních a spodní části podstavy **přepsat** vhodnou barvou.

Software

V softwaru **Blender** v záložce File > Import model nahrajte a klávesou Home přemístěte náhled na model.

Příprava scény

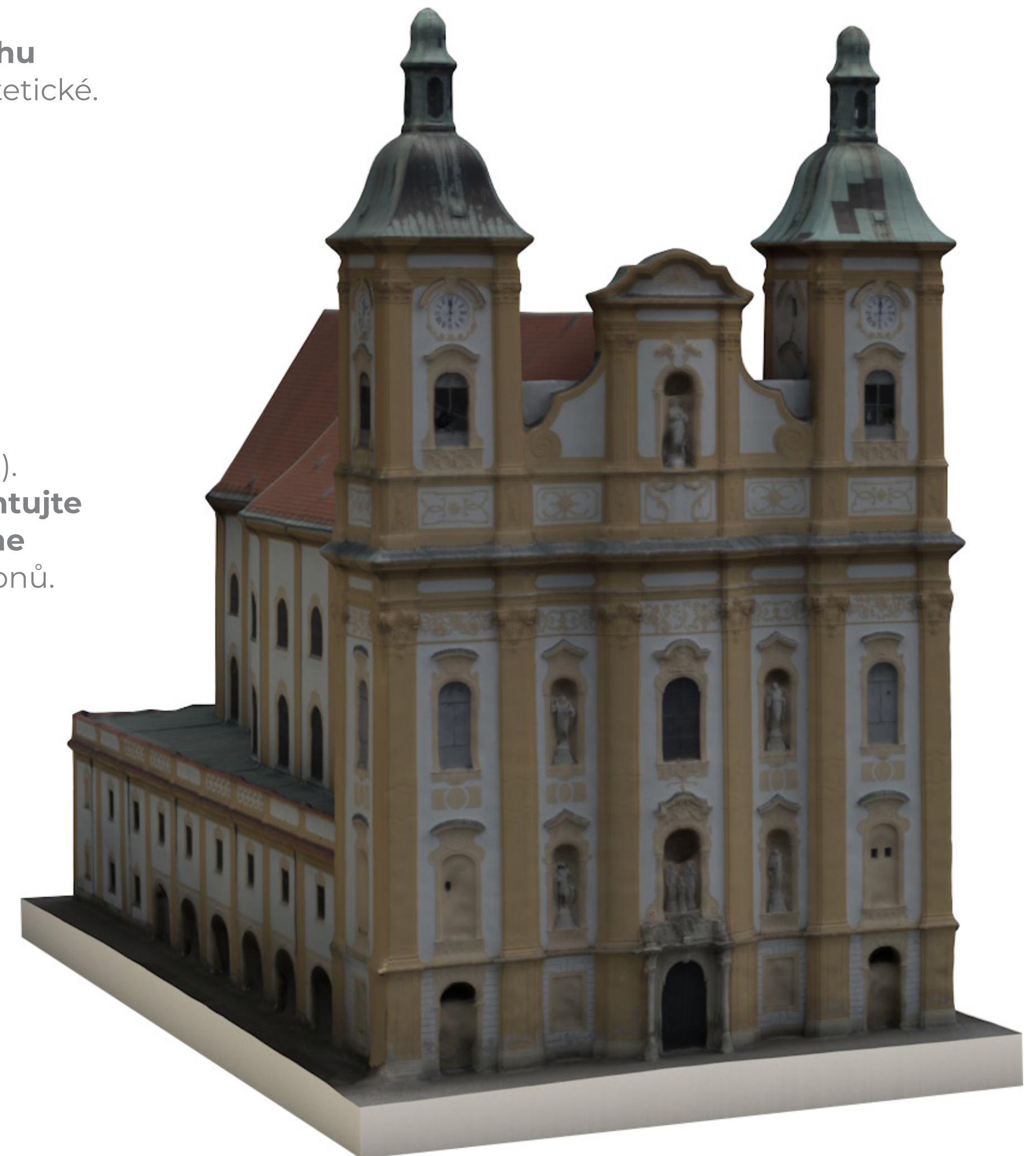
Pro vizuální posouzení ve spodní liště aktivujte **náhled textury** (Method of display > Texture). Přepněte do editovacího režimu (Tab) a do režimu polygonů (Ctrl + Tab > Face). Pohled **orientujte na boční** a přepněte do **ortografické perspektivy** (Num 5). Přepnutím do režimu **Wireframe** (Method of display > Wireframe) lze vybrat i polygony nacházející se v zákrytu dalších polygonů.

Výběr

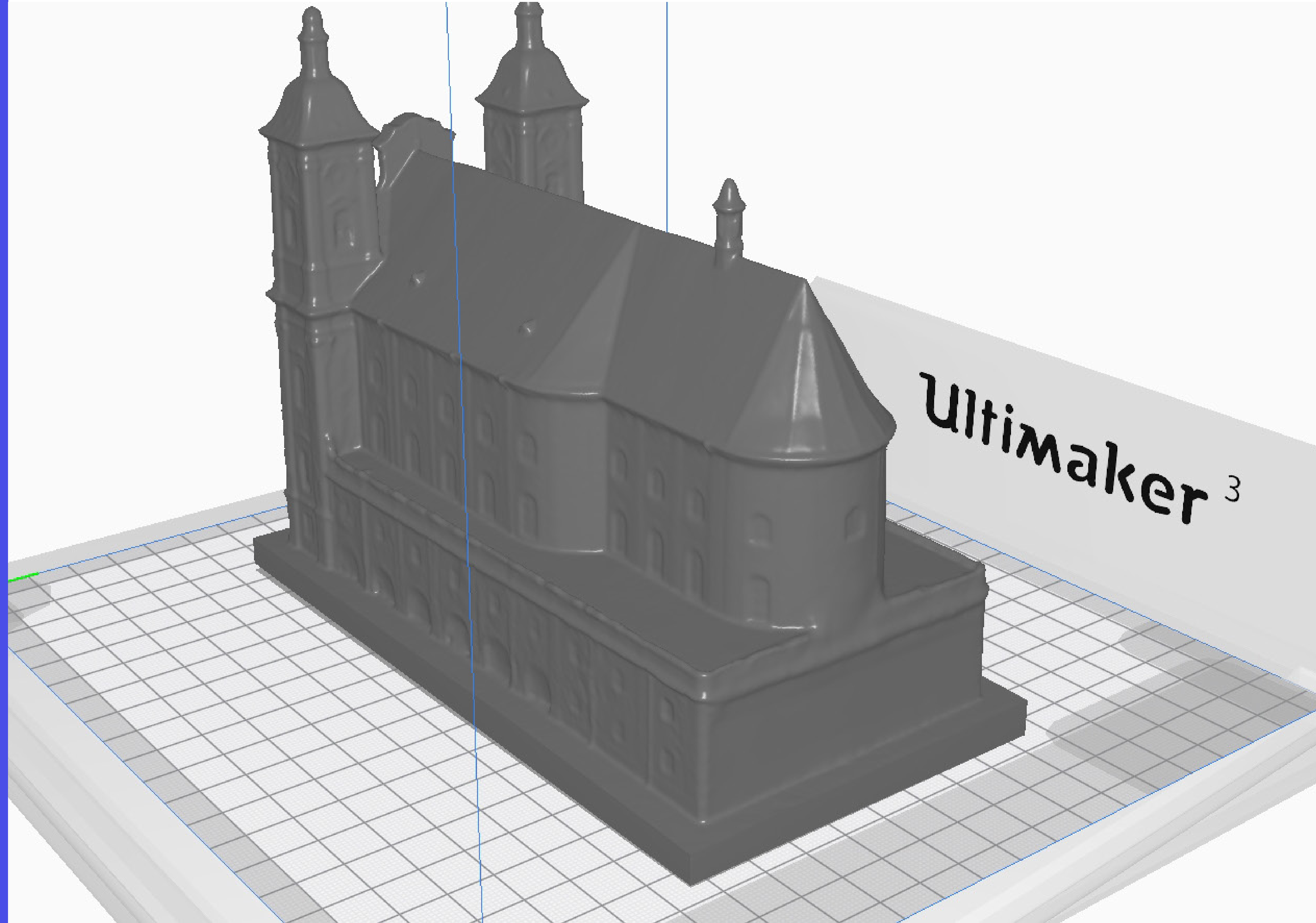
Obdélníkovým výběrem (klávesa B) vyberte celou spodní část podstavy, tj. polygony, kterým bude změněna barva.

Přiřazení materiálu

Po výběru polygonů v pravé boční liště přejděte do **nastavení materiálů** (Materials), vytvořte barvu dle požadavků a akcí **Assign** barvu přiřadte vybraným polygonům. Po provedení tohoto kroku model uložte.



předtisková příprava



zarovnání modelu

Zarovnání

Protože byl model při vytváření textury do scény umístěn v původním postavení, je potřeba ho **opět zarovnat**.

Software a posun

V softwaru **Blender** klávesovou zkratkou **Shift + Ctrl + Alt + C** vyvolejte menu „Set Origin“ a zvolte možnost „**Geometry to Origin**“. Tímto krokem přesunete model do počátku souřadnicového systému.

Rotace

Přepněte náhled do **ortografického režimu** (Num 5) a postupně model zarovnejte ve všech osách (klávesa R). Je doporučeno **zamykání os** (klávesy X, Y a Z) a **detailní krokování** (při rotaci přidržet klávesu Shift). V softwaru Blender nelze docílit naprosto přesného zarovnání s osami.

Papírová tiskárna

V případě použití papírové tiskárny lze nepřesné **zarovnání ignorovat**, protože model je obestoupen papírem a nemusí tedy stát na tiskovém plátu.

Plastová tiskárna

V případě použití plastové tiskárny je vhodné, aby model celou plochou podstavy **ležel na tiskovém plátu**. V softwaru Ultimaker Cura lze tento problém opravit příkazem Rotate > **Lay Flat**.



další postup

Další kroky

Obecně jsou další kroky následující:

1. změna velikosti modelu
2. rotace modelu
3. výpočet tiskových vrstev
4. generování tiskového kódu
5. příprava tiskárny

Technologie

Konkrétní řešení již záleží na **použité technologii** tisku, výrobci a modelu tiskárny. Většinou se jedná o intuitivní nenáročné kroky.

Tiskový kód

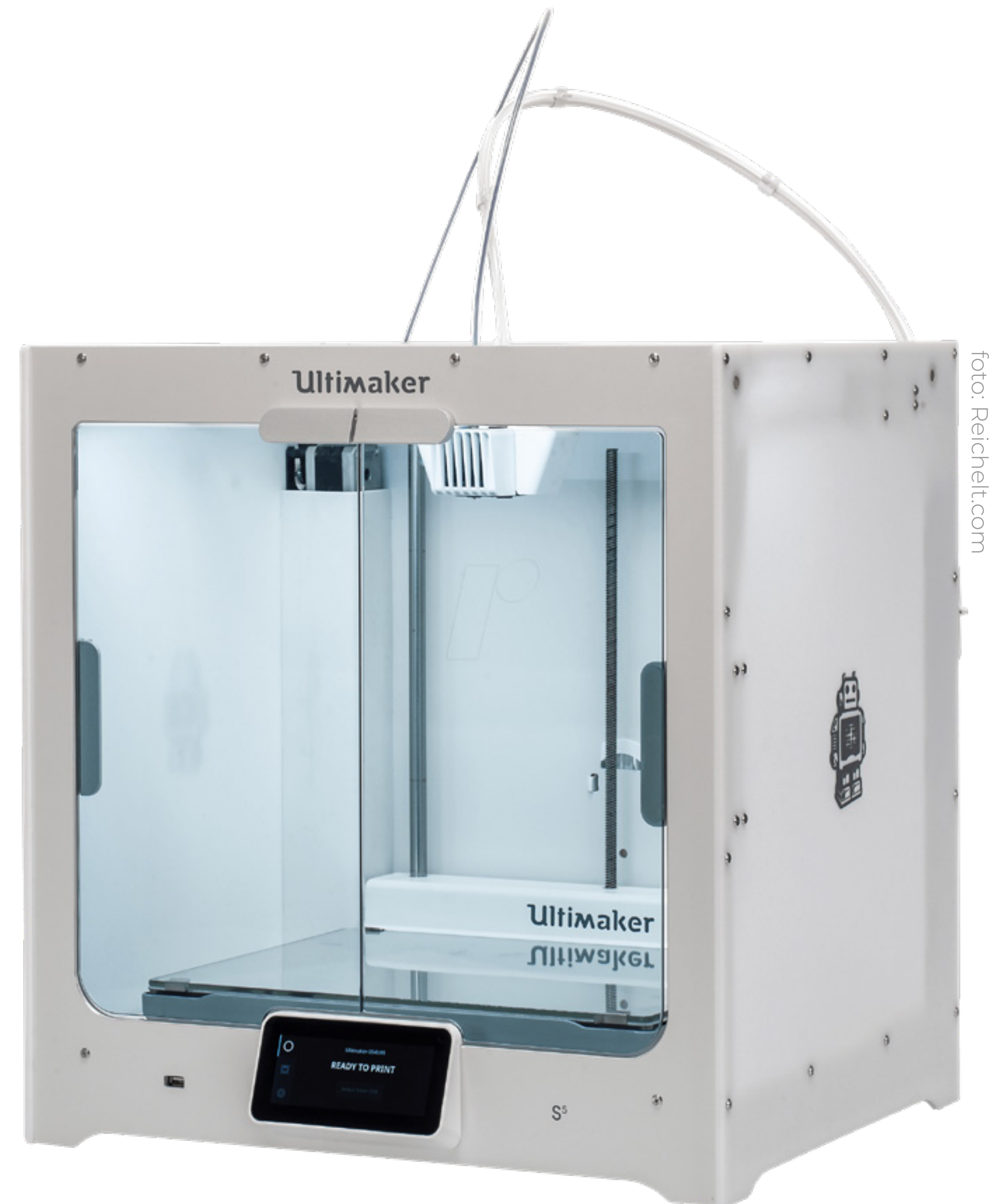
Po provedení zmíněných kroků zbývá tiskový kód **načíst do tiskárny** a tisk spustit.

Časová náročnost

Tisk ve většině případů trvá v řádech **hodin až desítek hodin**.

Vytištěný model

Po vytištění model **opatrně sejměte z tiskového plátu** a případně upravte potřebnými nástroji nebo ošetřete požadovanými prostředky.



zaver



o postupu

Postup

Uvedený postup je výsledkem a zároveň hlavní přílohou bakalářské práce “**Tvorba 3D tiskových modelů z fotogrammetrických dat**”. Postup byl tvořen s ohledem na uživatelskou přívětivost a relativní časovou nenáročnost.

Free and open source

Postup byl vytvořen s úmyslem v co největší možné míře pracovat ve **free and open source softwarech**. Takový postup umožní **nízkonákladově** vytvářet 3D modely a tiskové 3D modely **z reálných objektů**. Uplatnění by mohl najít zejména v řadách studentů či u široké veřejnosti.

Případové studie

Sestavený postup byl **testován a laděn** na několika případových studiích, na jejichž základě bylo **optimalizováno nastavení** některých parametrů a doporučených hodnot. Stručné informace k vybraným případovým studiím jsou **uvedeny dále**.



studie č. 1



65 snímků

použitých při rekonstrukci



4M bodů

neupraveného hustého mračna



640K polygonů

upravené polygonové sítě



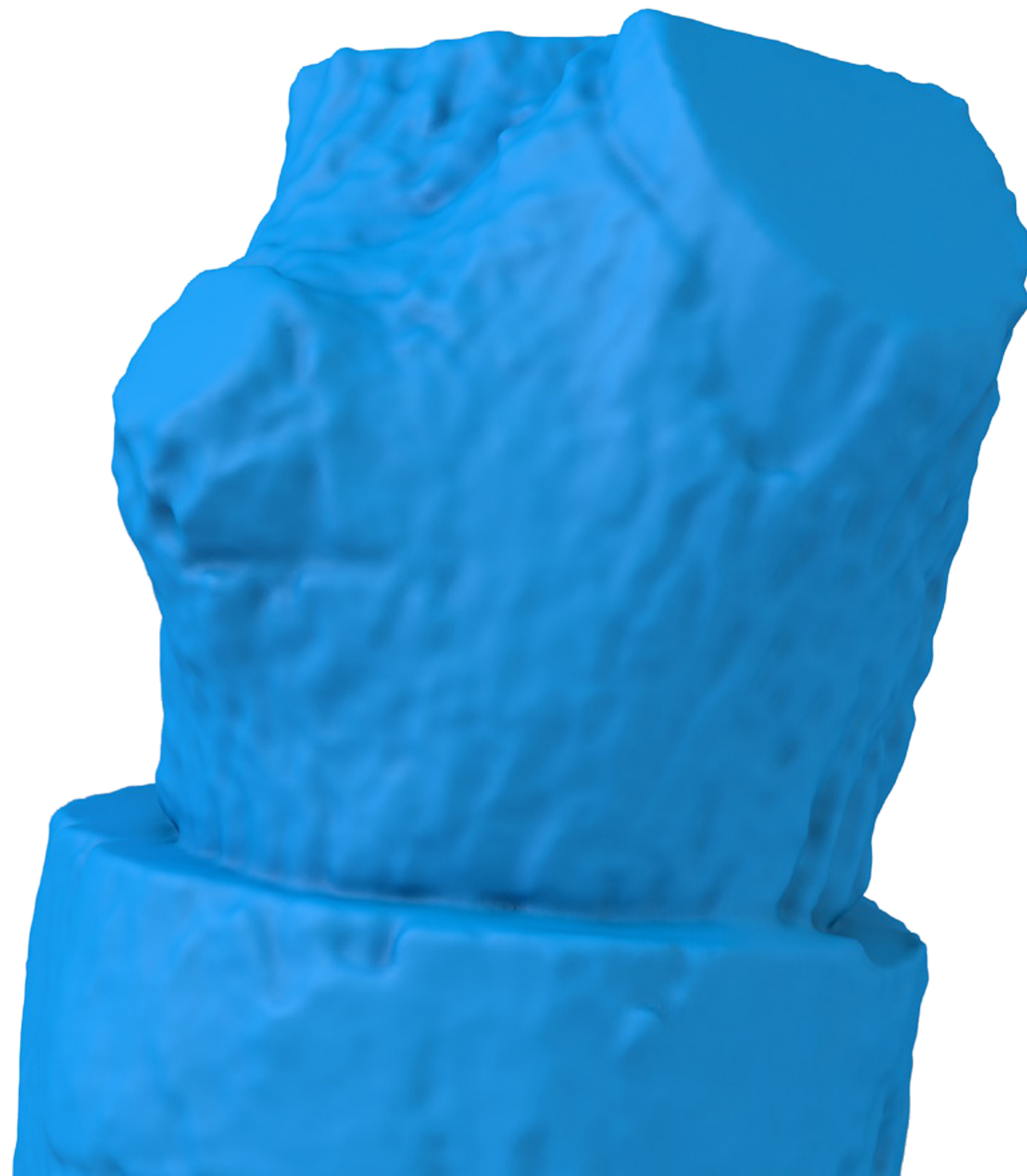
4K rozlišení

vygenerované a upravené textury



119 megabytů

celkové velikosti souboru (obj+mtl+tiff)





52 snímků

použitých při rekonstrukci



3M bodů

neupraveného hustého mračna



680K polygonů

upravené polygonové sítě



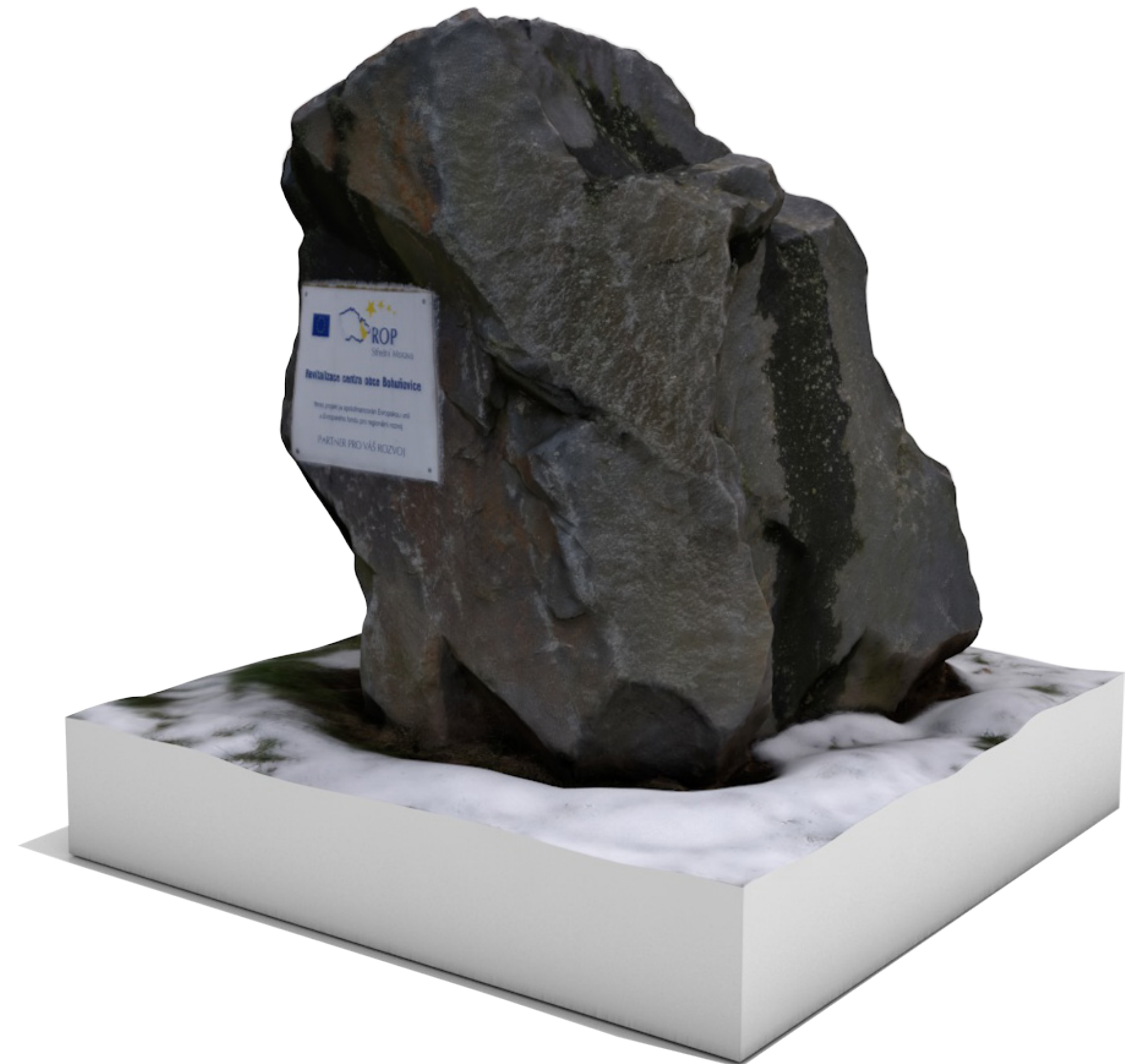
4K rozlišení

vygenerované a upravené textury



112 megabytů

celkové velikosti souboru (obj+mtl+tiff)



studie č. 3



406 snímků

použitých při rekonstrukci



41M bodů

neupraveného hustého mračna



850K polygonů

upravené polygonové sítě



4K rozlišení

vygenerované a upravené textury



154 megabytů

celkové velikosti souboru (obj+mtl+tiff)



použitý software



Agisoft Metashape

www.agisoft.com/downloads/installer/
verze: Agisoft Metashape 1.5.2
licence: proprietární



CloudCompare

www.cloudcompare.org/release/
verze: CloudCompare 2.10.2 Zephyrus
licence: GNU GPL



MeshLab

www.meshlab.net/#download
verze: MeshLab 2016.12
licence: GNU GPL



Autodesk Meshmixer

www.meshmixer.com/download.html
verze: Autodesk Meshmixer 3.5.474
licence: free software



Instant Meshes

github.com/wjakob/instant-meshes
latest commit: Jan 26, 2018
licence: BSD



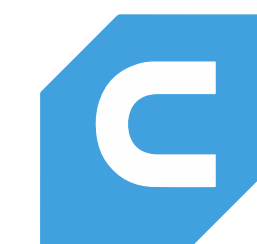
Blender

www.blender.org/download/
verze: Blender 2.79b
licence: GNU GPL



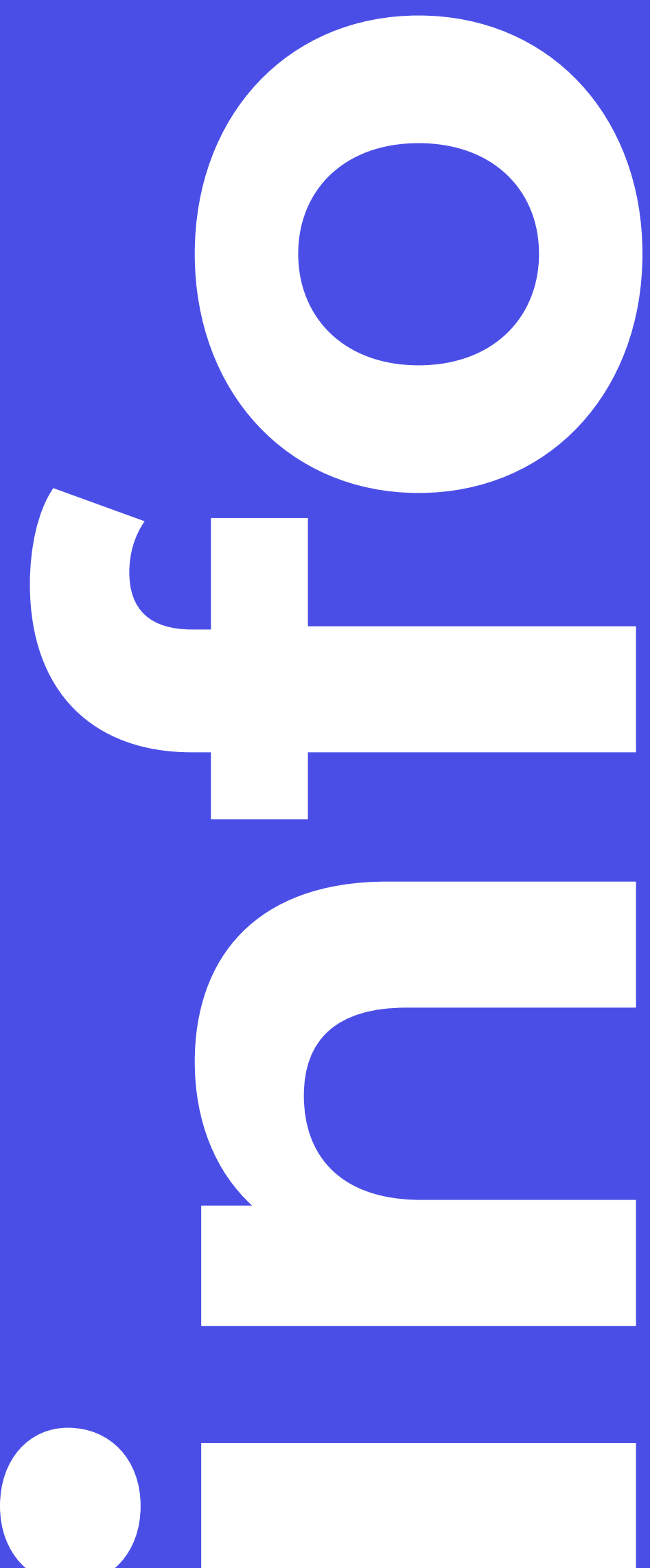
GIMP

www.gimp.org/downloads/
verze: GIMP 2.10.8
licence: GNU GPL



Ultimaker Cura

www.ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software
verze: Ultimaker Cura 4.0
licence: GNU LGPL



příloha k bakalářské práci

Tvorba 3D tiskových modelů z fotogrammetrických dat

autor: Filip FRYČÁK

vedoucí práce: RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2019

filip.frycak@gmail.com



Univerzita Palackého
v Olomouci



Přírodovědecká
fakulta



katedra
geoinformatiky