

Svět 3D modelování

Parametrické CAD · CSG · Polygony · Subdivision · Sculpting ·
NURBS · Voxel · Fotogrammetrie · Procedurální modelování · AI · BIM · LiDAR

Přehled metod:

01 Parametrické modelování

02 CSG modelování

03 Polygonové modelování

04 Subdivision Surface

05 Digitální sochařství

06 NURBS modelování

07 Voxelové modelování

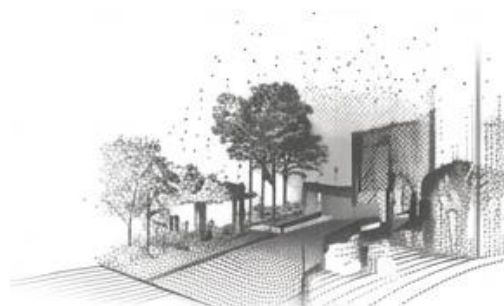
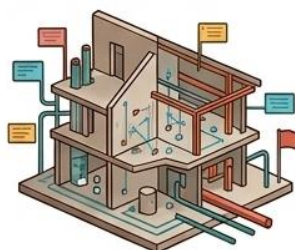
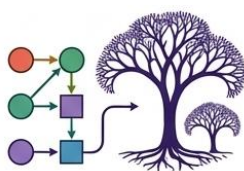
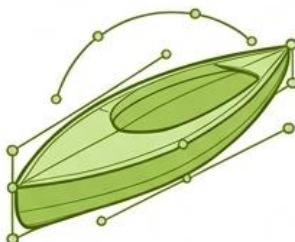
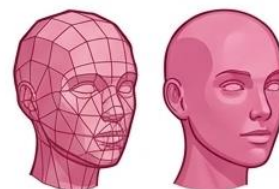
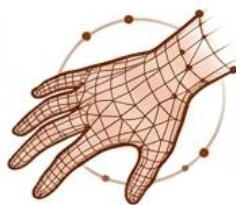
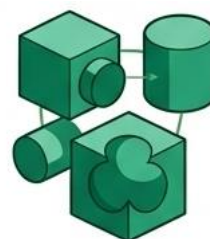
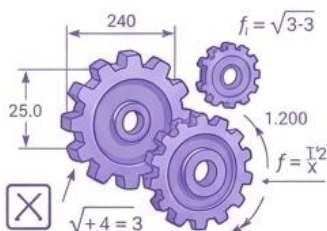
08 Fotogrammetrie

09 Procedurální modelování

10 AI generování 3D modelů

11 BIM modelování

12 Bodová mračka a LiDAR



JAKUB DVOŘÁK

Obsah

Úvod.....	3
Základní orientace v 3D prostředí	4
Parametrické modelování.....	5
CSG modelování.....	7
Polygonové modelování	9
Subdivision Surface.....	11
Digitální sochařství.....	13
NURBS modelování.....	15
Voxelové modelování	17
Fotogrammetrie.....	19
Procedurální modelování.....	21
AI generování 3D modelů	23
BIM modelování.....	25
Bodová mračna a LiDAR.....	27
Srovnání všech 12 metod 3D modelování	29
Závěr	30
Seznam obrázků a grafického podkladu	31
Použité zdroje a literatura	32

Úvod

Žijeme ve světě, který z velké části vznikl na obrazovce počítače dříve, než ho někdo vyrobil. Auto, které jede kolem. Sluchátka, která nosíme na uších. Budova, ve které sedíme. Dekorace na polici. Protéza, která někomu vrátila pohyb. Efekt v posledním díle Marvelu. Všechno tohle prošlo stejným krokem — někdo to nejdřív namodeloval ve 3D programu.

Tento text vás provede dvanácti různými světy 3D modelování. Ne proto, abyste je všechny ovládali — to by vydalo na celé studium (spíše studia...). Ale proto, abyste věděli, že existují. A taky abyste měli možnost si říct: tohle mě baví, chci vědět víc, nebo: tohle není pro mě, ale chápu, proč a jak to někdo dělá.

Není potřeba nic umět předem. Stačí zvědavost a počítač s internetem.

A jedno varování: 3D modelování je návykové. Hodně lidí, kteří se k němu dostali náhodou — přes školní hodinu, přes YouTube, přes kamaráda — dnes pracují v herních studiích, filmových produkčních společnostech nebo si tisknou vlastní vynálezy doma. Možná můžete být jedním z nich. Přeji pěkné čtení.

Základní orientace v 3D prostředí

Při práci ve 3D programech se můžeme setkat s různými způsoby ovládání pohledu v pracovní ploše. Každý software může používat jiné kombinace myši a kláves, ale obvykle se opakují stejné typy pohybů:

- Rotace pohledu (orbit) – otáčení kamerou kolem objektu nebo scény
- Posun pohledu (pan) – pohyb po pracovní ploše do stran nebo nahoru a dolů
- Přiblížení a oddálení (zoom) – změna vzdálenosti pohledu od objektu

Zmíněné funkce bývají ovládány různými způsoby, například:

- kolečkem myši
- stisknutým kolečkem myši
- levým nebo pravým tlačítkem myši
- kombinací kláves jako Alt, Shift nebo Ctrl spolu s myší

Například v různých programech se lze setkat s těmito variantami:

- Alt + levé tlačítko myši – rotace pohledu
- Alt + pravé tlačítko myši – přiblížení nebo oddálení
- Alt + prostřední tlačítko myši nebo Shift + tlačítko myši – posun pohledu
- držením kolečka myši – posun nebo rotace podle programu
- samostatným pravým tlačítkem myši – ovládání pohledu nebo otevření nabídky

Je proto důležité počítat s tím, že ovládání se může mezi programy lišit, i když základní principy zůstávají stejné.



Obr. 1: Ukázka profesionální myši pro 3D modelování (Michl, 2016)

01

Parametrické modelování

CAD · přesnost · strojírenství · průmysl

Typické nástroje Onshape, Fusion 360, SolidWorks, Autodesk Inventor	Výstupní formáty STEP, STL, IGES, DXF (výkresy)	Odvětví Strojírenství, letectví, elektronika
---	---	--

JAK TO FUNGUJE

Parametrické modelování vytváří 3D modely pomocí přesných čísel — **parametrů**. **Klíčová vlastnost:** změní-li se jeden rozměr, tak se celý model automaticky přepočítá. Pracuje se přes **strom operací** — historie každého kroku, ke které se lze kdykoliv vrátit a upravit.

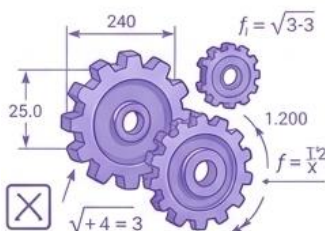
Základ je vždy **2D náčrt (Sketch)** přesně zakótovaný. Z něj vzniká 3D geometrie operacemi jako Extrude (vysunutí), **Revolve** (rotace), **Sweep** (tažení profilu) nebo **Loft** (přechod mezi profily). Každý krok je zapamatován a editovatelný ve zmíněném stromu operací.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Strojírenství** — navrhování strojů, nástrojů, dílů pro výrobu
- **Automobilový průmysl** — BMW, Tesla, Škoda navrhují každý díl v CAD
- **Letectví** — Airbus A380 má přes 4 miliony dílů, každý v parametrickém modelu
- **Spotřební elektronika** — design iPhoneu, MacBooku vznikl v CAD systémech
- **Medicína** — implantáty, protézy a chirurgické nástroje na míru

TYPICKÉ PROGRAMY A CENY

Program	Cena	Poznámka
Onshape	Zdarma (vzdělávání)	Běží v prohlížeči, žádná instalace
Fusion 360	Zdarma (osobní)	Windows/Mac, ke stažení
SolidWorks	~90 000 Kč/rok	Průmyslový standard
Autodesk Inventor	~70 000 Kč/rok	Oblíbený ve strojírenství



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si program **Onshape**: <https://www.onshape.com/en/>

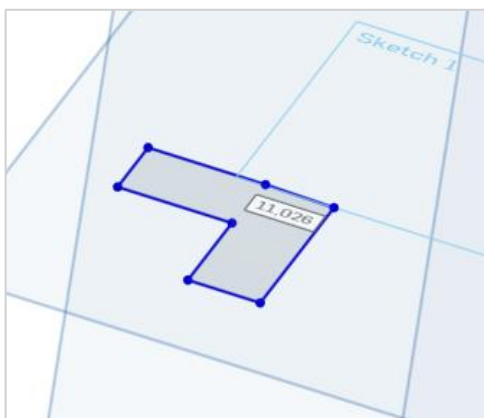
- Bezplatná registrace (education licence)
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ:

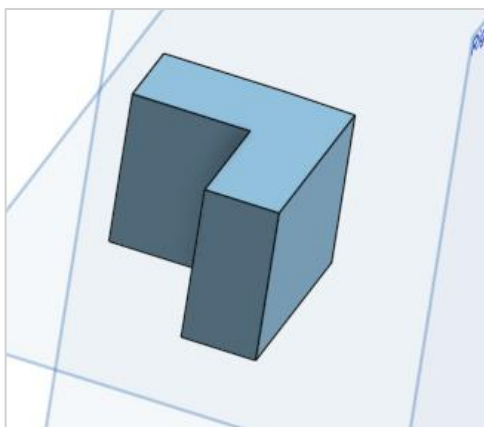
- Založte si nový dokument (**Create – Document**)
- Narýsujte 2D náčrt (**Sketch**) (libovolných rozměrů) profilu L na libovolnou z ploch
- Potvrďte dialogové okno zelenou fajfkou Sketch 1
- Použijte nástroj Extrude (vysunutí) pro vytvoření 3D tělesa
- Potvrďte dialogové okno zelenou fajfkou **Extrude 1**
- **HOTOVO**

Vyzkoušejte si změnit parametry v náčrtu (dvojklikem na Sketch 1 ve stromě operací) – 3D model se aktualizuje (síla parametrického modelování). Horní panel nástrojů se vám mění podle toho, jestli jste v režimu 2D (Sketch) nebo 3D pracovní ploše.

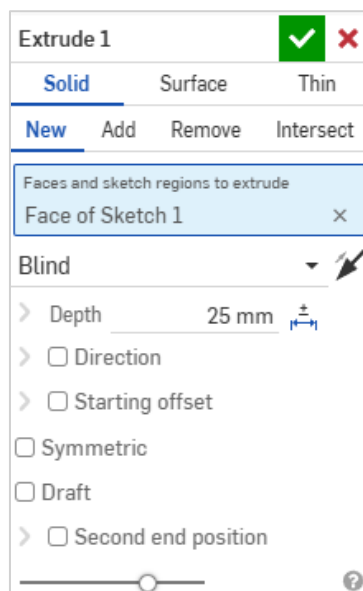
Názorné ukázky:



Obr. 2: 2D náčrt (Sketch)



Obr. 3: Vytvořený 3D objekt



Obr. 4: Dialogové okno Extrude 1



Obr. 5: Strom operací

Zajímavost

Každé auto na světě prošlo parametrickým CAD programem před tím, než vznikl první fyzický prototyp. Formule 1 mají v jednom návrhu přes **20 000 propojených parametrů**.

02

CSG modelování

Constructive Solid Geometry · stavebnice těles · Boolean operace

Typické nástroje TinkerCAD, OpenSCAD, FreeCAD	Výstupní formáty STL, 3MF, OBJ	Odvětví Výuka ZŠ, prototypy, gadgety
---	--	--

JAK TO FUNGUJE

CSG staví modely ze **základních geometrických primitiv** (kostka, válec, koule, kužel) pomocí tří logických operací: **Union** (sjednocení — spoj dva tvary), **Difference** (rozdíl — odečti jeden tvar od druhého), **Intersection** (průnik — zachovej jen překryv).

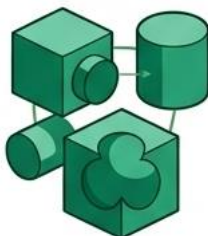
V TinkerCADu se tvar přepíná mezi režimem **Solid** (těleso) / **Hole** (díra). Při režimu **Hole** (díra) a po operaci Group (Seskupení) se od ostatních těles co jsou Solid odečte. V OpenSCADu se model píše jako kód — například ``difference() { cube([40,40,10]); cylinder(r=8,h=11); }`` vytvoří kvádr s dírou.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Výuka 3D modelování** — TinkerCAD je nejrozšířenější vstupní bod pro začátečníky
- **Maker komunita** — OpenSCAD pro generované držáky, adaptéry, krabičky
- **Rapid prototyping** — rychlé ověření tvaru před přechodem na CAD
- **Herní modding** — jednoduché objekty a dekorace bez složitého modelování a vazeb mezi objekty

TYPICKÉ PROGRAMY

Program	Cena	Poznámka
TinkerCAD	Zdarma	Browser, žádná instalace, od Autodesku (čistý bez parametricky)
OpenSCAD	Zdarma	Model se píše jako kód — parametrické vzory
FreeCAD	Zdarma	Open-source, obsahuje CSG i parametricku



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si program **TinkerCAD**: <https://www.tinkercad.com/>

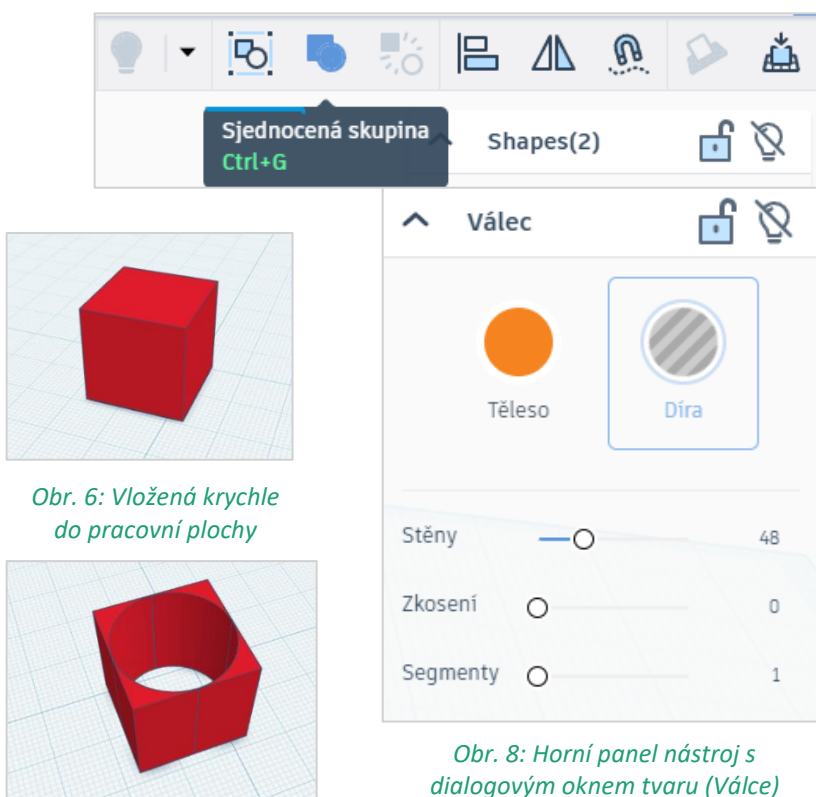
- Bezplatná registrace
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ:

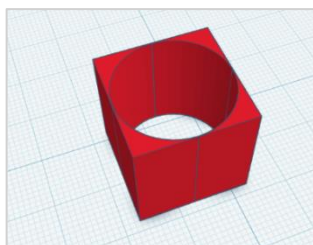
- Založte si nový projekt (**Vytvořit – 3D návrh**)
- Vložte do pracovní plochy dvě základní tělesa z postranní nabídky (Základní tvary)
- Označte jedno těleso a přepněte ho do režimu Díry (hole) v dialogovém okně tělesa
- Označte obě tělesa (držením klávesy SHIFT + levé tlačítko myši)
- Klikněte tlačítko Sjednocená skupina v horním panelu nástrojů (zkratka CTRL +G)
- **HOTOVO**

Vyzkoušejte si měnit rozměry těles a různé výšky zapuštění tělesa (Díra) do solid tělesa (Těleso). Vyzkoušejte si i ostatní operace v horním panelu (např. Zrušit seskupení) pro opětovné rozdělení na původní tvary.

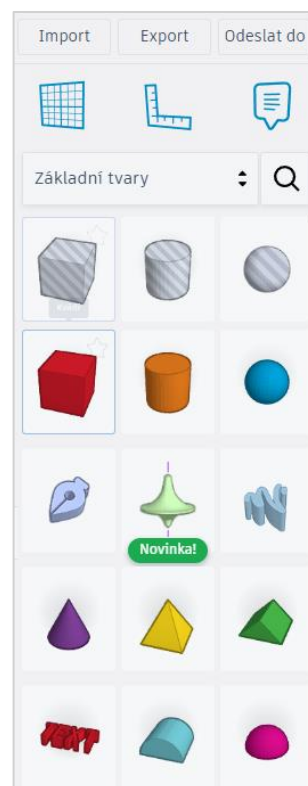
Názorné ukázky:



Obr. 6: Vložená krychle do pracovní plochy



Obr. 7: Výsledný tvar po seskupení objektů



Obr. 9: Základní nabídka tvarů (pravá lišta)

Zajímavosti

TinkerCAD má přes **50 milionů registrovaných uživatelů** — nejrozšířenější 3D editor pro začátečníky. OpenSCAD model je čistý textový soubor — umožňuje různé verze přes Git jako kód programu. Minecraft není technicky CSG, principem je mu velmi blízký — svět ze čtvercových bloků.

03

Polygonové modelování

mesh · vrcholy · hrany · plochy · herní grafika

Typické nástroje Blender, Maya, 3ds Max	Výstupní formáty OBJ, FBX, GLTF, STL	Odvětví Hry, film, VFX, architektura
---	--	--

JAK TO FUNGUJE

Model se skládá z **vrcholů (vertices)**, **hran (edges)** a **ploch (faces)** — obvykle trojúhelníků nebo čtyřúhelníků. Celé tomuhle mřížoví říkáme **mesh** (sít). Modelář začíná s jednoduchým primitivem a postupně ho tvaruje přidáváním edge loops, vytahováním ploch (extrude) a zaoblováním hran (bevel). Na rozdíl od CAD zde nejsou přesné kóty — pracuje se **vizuálně**. Klíčový pojem je **topologie** — způsob uspořádání polygonů. Špatná topologie vede k ošklivým deformacím při animaci. Správná sleduje tvary svalů a kloubů.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Videoherní průmysl** — každá postava, zbraň i auto v GTA, Fortnite nebo Cyberpunk
- **Filmové VFX** — dinosauři ve světě Jurského parku, superhrdinové v Marvelu
- **Architektonické vizualizace** — fotorealistické interiéry a exteriéry pro klienty
- **VR a AR** — optimalizované low-polygonální modely pro hladký běh v headsetech

TYPICKÉ PROGRAMY A CENY

Program	Cena	Poznámka
Blender	Zdarma	Open-source, průmyslová kvalita
Maya	~7 500 Kč/rok	Studenti zdarma na autodesk.com/education
3ds Max	~7 500 Kč/rok	Populární v architektonických vizualizacích
Cinema 4D	~28 000 Kč/rok	Oblíbený v reklamě a motion graphics



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Stáhněte si program **Blender**: <https://www.blender.org/download/>

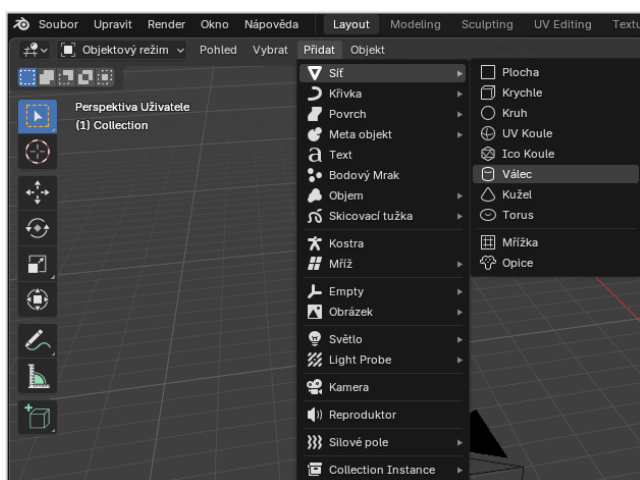
- Musíte správně zvolit verzi vašeho OS (Windows, macOS, Linux)
- Nainstalujte a spusťte program, při prvním spuštění si můžete nastavit češtinu

ZADÁNÍ:

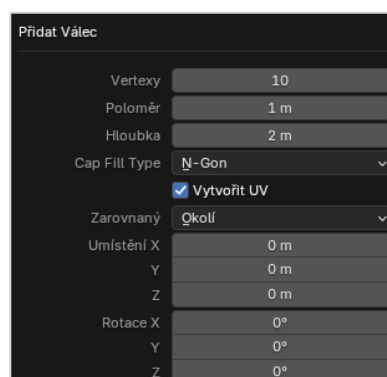
- Založte si nový soubor (**Nový soubor – Obecné**)
- Vyzkoušejte si orientaci v prostoru (držet kolečko na myši)
- Odstraňte krychli z pracovního prostoru pomocí klávesy Delete nebo klávesy X
- Poté v horní liště klikněte **Přidat – Síť – Válec**
- Hned po přidání válce můžete kliknout na dolní liště Přidat Válec – zde si vyzkoušejte měnit Vertexy, pokud jste omylem klikli vedle a tlačítko Přidat Válec nevidíte – klikněte klávesu **F9**
- Nyní jste nastavili polygonální síť tvaru
- Stisknutím klávesy **Tab** (tabulátor) přepínáte mezi Objektovým režimem a Režimem úprav
- **HOTOVO**

Blender je technicky náročnější prostředí a pro technicky nezdatného uživatele zbytečně složitý. Pokud chcete výzvu, modelujte dle videa: <https://www.youtube.com/watch?v=peSv5IT5Ve4>
Manuál k blenderu: <https://docs.blender.org/manual/en/5.1/index.html>

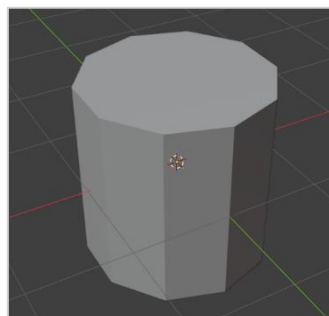
Názorné ukázky:



Obr. 10: Horní lišta nástrojů – přidání objektu



Obr. 11: Nastavení polygonové sítě



Obr. 12: Výsledný válec

Zajímavosti

Postava v moderní hře: **5 000–30 000 polygonů**. Filmová postava ve stejné scéně: až 5 milionů. Blender používají CD Projekt Red, ILM (Star Wars), Ubisoft a mnoho dalších. Herní průmysl vydělává **více než filmový a hudební průmysl dohromady**.

04

Subdivision Surface

vyhlazování · organické tvary · Catmull-Clark · Pixar

Typické nástroje Blender, Maya, Cinema 4D, Modo	Klíčový algoritmus Catmull-Clark (Pixar, 1978)	Odvětví Animační filmy, herní charaktery, šperky, organické tvary
---	--	---

JAK TO FUNGUJE

Subdivision surface bere hrubou polygonovou síť (**control cage**) a automaticky ji rozdělí na stále jemnější vrstvy, dokud nevznikne hladký povrch. Každá úroveň (level) čtyřnásobí počet polygonů — level 3 = 64× více polygonů než originál.

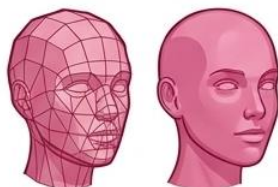
Algoritmus **Catmull-Clark**: ke každé ploše přidá nový bod, ke každé hraně přidá nový bod, každý vrchol se přesune na vážený průměr svého okolí. Výsledek: matematicky hladký povrch. Modelář pracuje s hrubou mřížkou (snadno editovatelnou), ale výsledek je dokonale hladký.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Animační filmy** — Pixar používá SubD ve všech filmech od roku 1997
- **Herní cinematiky** a předrenderované scény s postavami
- **Šperkařský design** — hladké organické tvary pro SLA tisk
- Tvorba **postav** a **Monster designu** pro **hry** (The Last of Us, God of War)

ÚROVNĚ SUBDIVIZE — POČET POLYGONŮ Z KOSTKY (6 PLOCH)

Level	Počet polygonů	Typické použití
0 (originál)	6	Hrubý koncept
1	24	Mírné vyhlazení
2	96	Střední detail
3	384	Hladký povrch — standard
4	1 536	Velmi hladký — tisk, šperky



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Rozklikněte si webovou stránku: <https://www.khanacademy.org/computing/pixar/modeling-character/modeling-subdivision/pi/interactive-subdivision-in-3d>

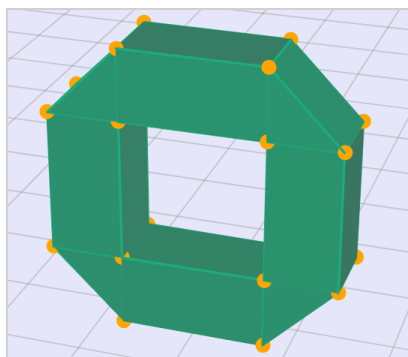
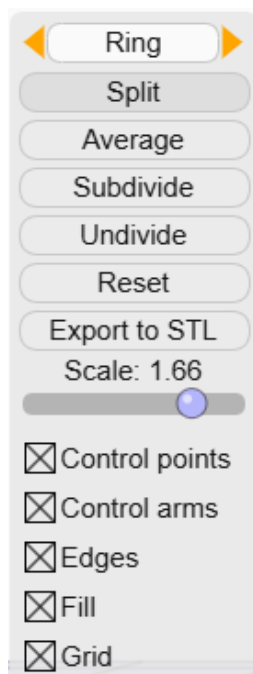
- Není potřeba registrace, avšak tuto stránku velice doporučuji.
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ

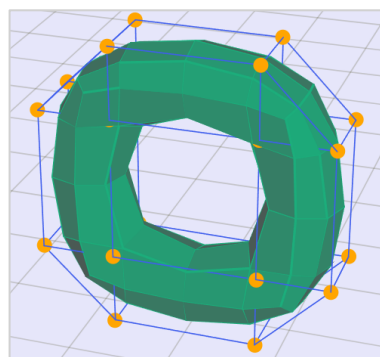
- Nastavte tvar Ring (kruh)
- Nastavte si izometrický pohled
- Postupně klikajte tlačítko **Subdivide** a sledujte provedené půlení hran
- **HOTOVO**

Vyzkoušejte si i ostatní tvary v tomto prostředí. Změňte i různé parametry na postranní liště. Dále doporučuji si dokončit lekci **Lesson 1: Modeling with subdivision surfaces**, kterou máte vlevo na navštíveném webu. Na odkazu: <https://www.khanacademy.org/computing/pixar/modeling-character/modeling-subdivision/pi/interactive-build-your-own-shape>, máte možnost si vyzkoušet Subdivison 2D modelu.

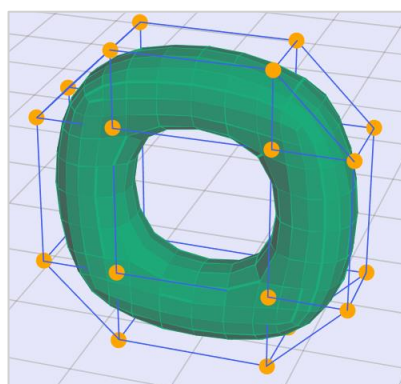
Názorné ukázky:



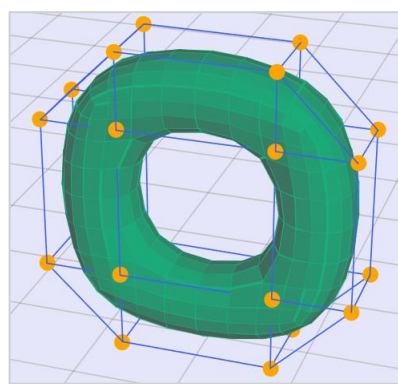
Obr. 13: Tvar Ring – původní



Obr. 14: Tvar Ring – Subdivison 1



Obr. 15: Tvar Ring – Subdivison 2



Obr. 16: Tvar Ring – Subdivison 3

Zajímavosti

Algoritmus vynalezl v roce 1978 **Edwin Catmull** — ten samý člověk, který spoluzaložil Pixar (CEO). Buzz Lightyear, WALL-E, Joy z Naruby — všechny Pixar postavy jsou SubD modely. I když je Subdivision samo o sobě jen zobrazovací matematickou operací, dalo to vzniknout celému **pracovnímu postupu (workflow)**, kterému se říká Sub-D modeling.

05

Digitální sochařství

sculpting · štětec · ZBrush · organická forma

Typické nástroje ZBrush, Blender, Nomad Sculpt	Vstup Sphere, DynaMesh, imp. mesh	Odvětví Film, hry, figurky, protézy na míru
--	---	---

JAK TO FUNGUJE

Digitální sochařství napodobuje práci s hlinou. Místo čísel pracuješ se **štětci (brushes)** — Clay Strips přidává hmotu, Dam Standard vytváří rýhy, Smooth vyhlazuje. Pracuješ s **miliony polygonů** najednou, díky čemuž zachytíš extrémní detaily: póry kůže, texturu kamene, šupiny.

DynaMesh (ZBrush) a **Voxel Remesher** (Blender) automaticky přerozdělují polygony — sochař neřeší topologii a může volně přidávat nebo ubírat hmotu. High-poly sculpt (5–50M polygonů) slouží jako zdroj pro normálové mapy do herních low-poly modelů.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Hollywoodské filmové efekty** — Weta Workshop, ILM, všechna velká studia používají **ZBrush**
- **Herní charaktery** — Naughty Dog (The Last of Us), Santa Monica (God of War)
- **Sběratelské figurky a miniatury** — tisíce Kickstarter projektů, HeroForge.com
- **Medicína** — 3D modely anatomie, individuální protézy a implantáty SLA tiskem

TYPICKÉ PROGRAMY A CENY

Program	Cena	Poznámka
ZBrush	39,95 USD/měs nebo 899 USD/rok	Průmyslový standard — 95 % filmových produkcí
Blender Sculpt	Zdarma	Solidní sculpting, stačí pro školu i střední práce
Nomad Sculpt	~400 Kč jednorázově	iPad/Android — překvapivě výkonný
SculptGL	Zdarma	Funguje přímo v prohlížeči — žádná instalace



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si program **SculptGL**: <https://stephaneginier.com/sculptgl/>

- Není potřeba registrace
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

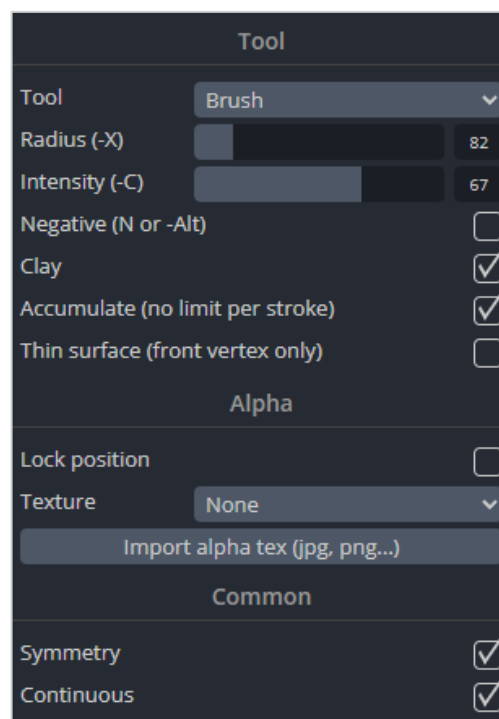
ZADÁNÍ

- V pravé postranní liště si vyzkoušejte tři základní nástroje: **Brush, Smooth, Crease**
- Vyzkoušejte si u nástroje **Brush** jeho modifikátory: Radius, Intensity, Negative, Symmetry a Continuous
- Pomocí těchto nástrojů tří nástrojů a jejich modifikátorů udělejme nestvůru, dejme si 5 minut
- **HOTOVO**

Názorné ukázky:



Obr. 17: Sculpt model vytvořen třemi nástroji – 5 minutovka



Obr. 18: Zvolený nástroj s jeho modifikátory

Zajímavosti

Weta Workshop vytvořil pomocí ZBrushu všechna monstra pro Pána Prstenů, Avatar a Planetu Opic.

Jedno sculpting sezení může vygenerovat model s **50 miliony polygonů** — více, než zobrazí průměrný herní PC. **Gollum** z Pána Prstenů (2002) byl historicky první plně digitální herec — sculpting + motion capture.

06

NURBS modelování

křivky · plochy · průmyslový design · matematická přesnost

Typické nástroje Rhino 3D, Alias, Catia, ICEM Surf	Základ B-spline, Bézierovy křivky, funkce	Odvětví Automobilový design, lodě, spotřební elektronika
--	---	--

JAK TO FUNGUJE

NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) popisuje křivky a plochy **matematicky přesně** — bez aproximace trojúhelníky. Kdykoli přiblížíš NURBS křivku, zůstane dokonale hladká. Základ jsou **kontrolní body s váhami** — pohybem bodu měníš tvar plynule a intuitivně.

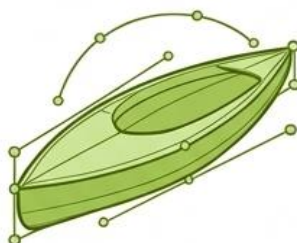
Z křivek vznikají plochy: **Loft** (spoj profily), **Rail Sweep** (profil podél vodící křivky), **Network Surface** (sít křivek). V automobilovém designu se vyžadují **plochy třídy A** (G2/G3 spojitost) — odrazy světla na karosérii musí být vizuálně dokonalé.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Automobilový design** — BMW, Ferrari, Lamborghini navrhují karosérie v Alias nebo Catia
- **Design plachetnic a jachet** — trup jako jedna NURBS plocha pro minimální odpor vody
- **Spotřební elektronika** — design iPhoneu, MacBooku a AirPodsů vznikl v NURBS CAD
- **Letecké komponenty** — přesné aerodynamické profily křídel a motorových gondol

TYPICKÉ PROGRAMY — VELMI VELKÝ CENOVÝ ROZPTYL

Program	Cena	Typické použití
Rhino 3D	995 USD (edu 195 USD)	Architekti, designéři, šperkáři
Shapr3D	Zdarma (free tier)	Browser + iPad, NURBS-like modelování
Alias	~400 USD/měsíc	Automobilový průmyslový design
Catia	Enterprise (desítky tisíc USD)	Boeing, Airbus — aerospace standard



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si program **Spline**: <https://spline.design/>

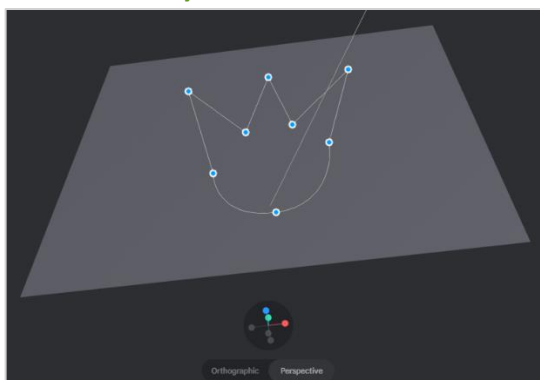
- Bezplatná registrace
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ

- Založte 3D Design
- Vyzkoušejte si pohyb po pracovní ploše (držení ALT + levé tlačítko myši, držením kolečka a pohybem myši)
- V dolní části pracovní plochy můžete měnit pohled – Orthographic a Perspective
- Pomocí nástroje Pen Tool v horní liště nakreslete tvar koruny. Kreslíte pomocí Bézierovy křivky tedy vždy po kliknutí kotevního bodu můžete táhnutím nastavit náklon křivky.
- Po spojení koncového bodu s počátečním (uzavření tvaru) nastavíme parametry v pravé liště: Extrusion na 53, a vyzkoušíme měnit: Bevel, Subdivison a Bevel Sides.
- **HOTOVO**

Pokud máte problémy s kreslením bézierových křivek doporučuji si projít: <https://bezier.method.ac/>, procvičíte si tím kreslení těchto křivek.

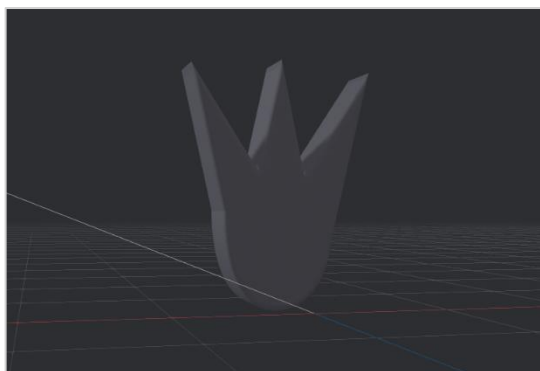
Názorné ukázky:



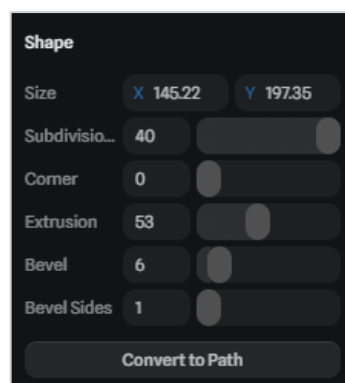
Obr. 19: Náčrt tvaru pomocí křivek – koruna



Obr. 20: Horní panel nástrojů – Pen Tool



Obr. 22: Vytvořená ukázka 3D modelu



Obr. 21: Pravá postranní lišta – parametry

Zajímavosti

Design každého iPhoneu, MacBooku a AirPodsů vznikl v NURBS CAD systémech.

Alias licence pro automobilový design: ~5 000 USD/měsíc — jeden designér v automobilce platí za software ročně více než průměrný plat. Je jako konstrukční rýsování v prostoru. Je to o absolutní matematické přesnosti a kontrole nad zakřivením.

07

Voxelové modelování

3D pixel art · kostičky · MagicaVoxel · Minecraft

Typické nástroje MagicaVoxel, Goxel, Qubicle, 3D-Coat	Výstupní formáty VOX, OBJ, STL, PLY	Odvětví Indie hry, pixel art 3D, medicína (CT/MRI)
---	---	--

JAK TO FUNGUJE

Voxel (Volume + Pixel) je 3D ekvivalent 2D pixel-artu. Základní kostička prostoru, která je buď prázdná nebo vyplněná barvou. Voxelový model je mřížka takovýchto kostiček. Výsledek vypadá jako 3D pixel-art nebo stavba z drobného LEGA.

Model nemá povrch definovaný matematicky — povrch je hranicí mezi vyplněnými a prázdnými voxely. Boolean operace jsou triviální: přidáš kostičky = **Union**, odebereš = **Difference**. Žádné křivky, žádné kóty. Zajímavé uplatnění: CT a MRI skenery produkují přímo voxelová data (DICOM formát), která jdou převést na 3D tisknutelné modely.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Indie videohry** — Minecraft (nejprodávanější hra všech dob), Crossy Road, Teardown
- **Voxel art jako autonomní umělecká forma** — galerie, NFT, vizuální identita her
- **Medicínská vizualizace** — CT/MRI data jsou přirozeně voxelová, lze přímo 3D tisknout
- **Rapid prototyping** jednoduchých tvarů — bez nutnosti znát CAD nebo polygonové modelování

TYPICKÉ PROGRAMY

Program	Cena	Poznámka
Goxel	Zdarma	Stáhnete za 2 minuty a můžete si kostičkovat
MagicaVoxel	Zdarma	Ke stažení, Windows/Mac — nejpopulárnější
Qubicle	~500 Kč	Pokročilejší animační funkce



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si program **Voxel-paint**: <https://voxelpaint.online/>

- Není potřeba registrace
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ

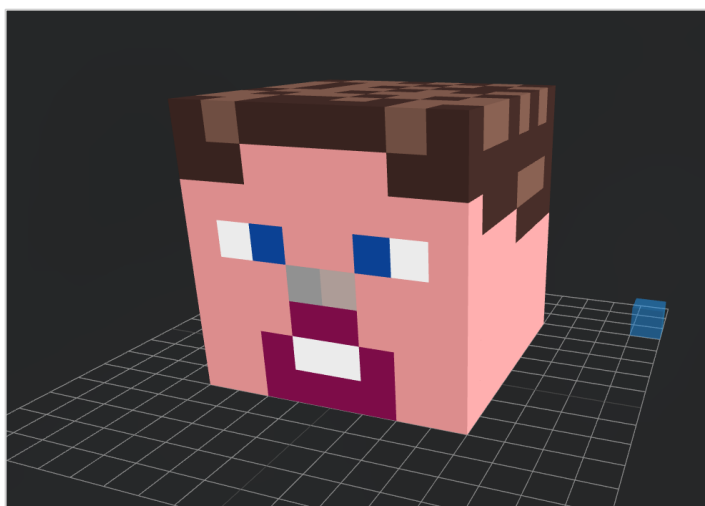
- Zjistěte si jaký má rozměr hlava ve hře **Minecraft**
- Pomocí horního panelu nástrojů a pracovní plochy udělejte design hlavy do Minecraft
- Pravým tlačítkem můžete nastavit další parametry – průhlednost, metalický vzhled apod.
- Dokončete váš model hlavy
- **HOTOVO**

Pokud vás tento styl zaujal a baví, tak si určitě stáhněte: <https://goxel.xyz/>. V jednoduchosti je krása, a tak právě 3D i 2D pixelarty a grafika má ve světě PC a designu právem své místo.

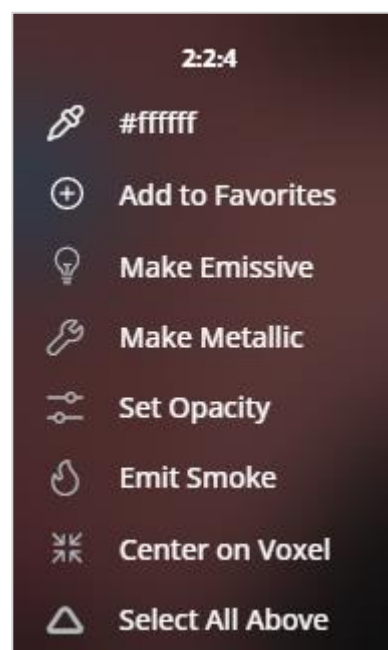
Názorné ukázky:



Obr. 23: Horní lišta panelu nástrojů



Obr. 25: Výsledný model 8x8x8 kostek – Minecraft hlava



Obr. 24: Nabídka – po kliknutí pravého tlačítka na kostku

Zajímavosti

Minecraft — **238 milionů prodaných kopií**, nejprodávanější hra všech dob. Celý svět z voxelů.

Hra **Teardown** (2020): celé prostředí z voxelů — každou stěnu lze fyzikálně demolovat, protože každý voxel je samostatná fyzikální jednotka.

CT skener v nemocnici dělá v podstatě totéž — skenuje tělo po tenkých vrstvách a ukládá data jako 3D matici hodnot. V roce 2026 vyšla v předběžném přístupu nová voxelová hra s názvem Hytale.

08

Fotogrammetrie

fotografie 3D · skenování · digitalizace

Typické nástroj	Výstup	Odvětví
Metashape, Polycam, Meshroom, RealityCapture	Polygonová síť + fotorealistická textura	Archeologie, filmové VFX, real estate, herní asety

JAK TO FUNGUJE

Fotogrammetrie rekonstruuje 3D model z překrývajících se fotografií. Algoritmus **SfM (Structure from Motion)** identifikuje shodné body na různých snímcích, vypočítá polohy kamer a souřadnice bodů v prostoru. Výsledkem je nejprve **bodové mračno** (miliony barevných bodů) — z toho vznikne polygonová síť otexturovaná skutečnými fotografiemi.

Nejlepší výsledky: **matné, texturované povrchy** za rovnoměrného osvětlení (zatažený den). Lesklé, průhledné nebo jednobarevné objekty jsou problematické — algoritmus nenajde shodné body. Na takovéto objekty se používá křídový spray (scanning spray).

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Archeologie a kulturní dědictví** — digitalizace vzácných artefaktů pro archiv a muzeum
- **Filmové VFX** — skenování reálných prostředí pro CGI pozadí (The Mandalorian)
- **Kriminalistika** — 3D dokumentace míst činu bez fyzického kontaktu
- **Real estate** — virtuální 3D prohlídky nemovitostí (Matterport technologie)

TYPICKÉ NÁSTROJE — OD TELEFONU PO PROFESIONÁLNÍ

Nástroj	Cena	Poznámka
Polycam	Zdarma (basic)	iOS/Android, využívá kameru i LiDAR iPhone Pro
Meshroom	Zdarma	Desktop, open-source — potřebuje NVIDIA GPU
Metashape	~25 000 Kč/rok	Profesionální — archeologický standard
RealityCapture	0,25 USD/model	Nejrychlejší zpracování



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Stáhněte si na mobilním telefonu aplikaci **KIRI Engine**: <https://www.kiriengine.app/>

- Nainstalujte a spusťte aplikaci na vašem mobilním zařízení
- Bez registrace pouze možnost vygenerovat jeden 3D model (doporučuji registraci)

ZADÁNÍ

- Vezměte si nějaký matný objekt a dejte ho na jednobarevný povrch
- Otevřete na mobilním telefonu aplikaci **KIRI Engine**
- Klikněte velké tlačítko + a dále zvolte **Photo Scan**
- Následně zvolte **Take Photos / Video** (povolte používání fotoaparátu)
- Přepněte na video a pomalu natočte váš objekt kolem dokola
- Následně zvolte formát **OBJ** a klikněte dole **Upload**.
- Vyčkejte, než program zpracuje váš 3D sken.
- Až se proces dokončí můžete na váš model kliknout v aplikaci a následně si ho i prohlédnout v 3D náhledu a poté i exportovat na váš e-mail.
- **HOTOVO**

V případě, kdy jste jako soubor zvolili .obj tak po exportu obdržíte tři soubory ve složce zip. Soubor .obj, .mtl a .jpg. V .obj je geometrie, samotná kostra modelu definovaná body v prostoru a jak jsou propojená. V .mtl jsou uloženy materiály říká programu tohle je lesklý tohle je matný a takováto struktura a poslední .jpg je textura modelu.

Názorné ukázky:



Obr. 26: Textura 3D modelu – Soubor .jpg



Obr. 27: Náhled 3D modelu – zepředu



Obr. 28: Náhled 3D modelu – zezadu

Zajímavosti

V roce 2018 vědci pomocí leteckého LiDARu/fotogrammetrie odhalili pod junglí v Guatemale **60 000 dosud neznámých Mayských staveb** — přepsali historii.

Skenování Kolosea v Římě: 3 dny, 400 000 fotografií, **2 terabajty** dat.

The Mandalorian (Disney+) skenuje reálné lokace fotogrammetrií a promítá je na obří LED stěnu místo natáčení v exteriéru.

09

Procedurální modelování

algoritmy · uzly · Houdini · Geometry Nodes

Typické nástroje Houdini, Blender Geometry Nodes, Grasshopper	Přístup Nodový / skriptovací — model = algoritmus	Odvětví Filmové VFX, hry, generativní architektura
---	---	--

JAK TO FUNGUJE

Procedurální modelování nevzniká ručním taháním vrcholů — model je definovaný **algoritmem nebo sítí uzlů (nodes)**. Modelář zapojuje uzly jako stavebníci: „Rozmístí stromy po terénu“, „Deformuj povrch fraktálním šumem“, „Opakuj okno 50× po fasádě“. Změníš jedno číslo a tisíce prvků se okamžitě aktualizují.

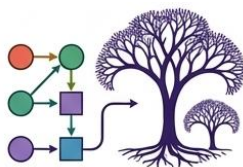
Houdini je průmyslový standard pro VFX — každá exploze, kapalina a simulace v hollywoodském filmu pravděpodobně pochází z **Houdini**. **Blender Geometry Nodes** přinesl stejné myšlenky zdarma. **Grasshopper** (plugin pro Rhino) slouží architektonickému parametrickému designu fasád.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Filmové VFX** — destrukce, kapaliny, pyrotechnika, simulace v každém hollywoodském velkofilmu
- **Herní průmysl** — procedurálně generované mapy, lesy, budovy (No Man's Sky)
- **Architektura** — parametrické fasády měnící se podle slunečního úhlu
- **Generativní umění** a parametrické šperky tisknuté na 3D tiskárně

TYPICKÉ PROGRAMY A CENY

Program	Cena	Poznámka
Blender Geometry Nodes	Zdarma	Zabudované od verze 2.92 — ideální začátek
Houdini Apprentice	Zdarma (nekomerční)	Plná sada s vodoznakem na výstupu
Houdini Indie	~6 500 Kč/rok	Pro menší komerční projekty
Houdini Production	~110 000 Kč/rok	Filmový průmyslový standard
Grasshopper	Zdarma s Rhinem	Architektonická parametrika



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si program **TinkerCAD**: <https://www.tinkercad.com/>

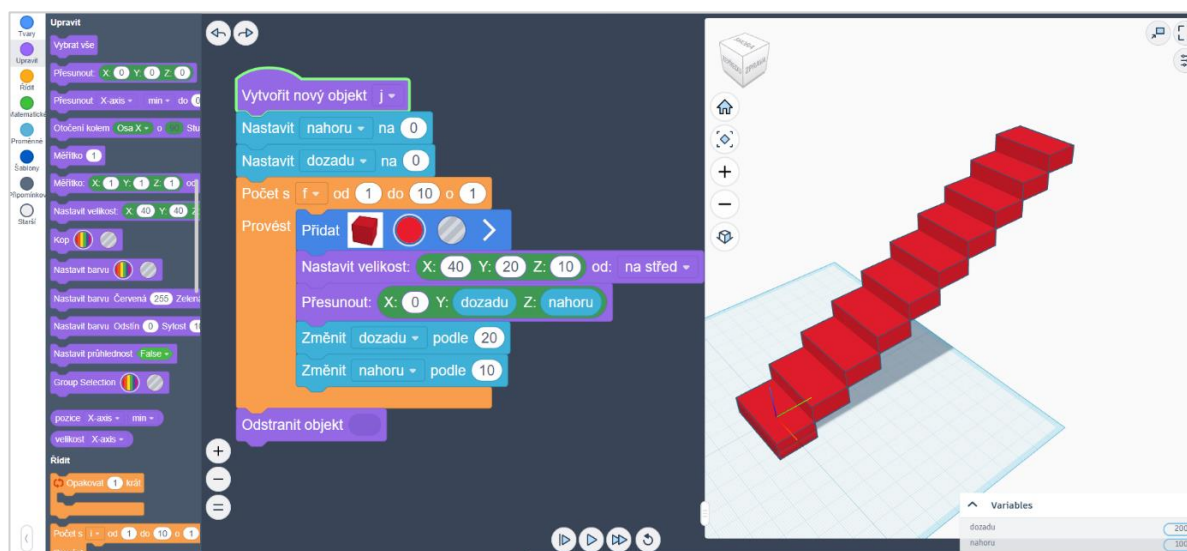
- Bezplatná registrace
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ

- Založte si nový projekt (**Vytvořit – Bloky kódu**)
- Pomocí levého panelu nástrojů a pracovního prostředí se pokuste navrhnout proceduru, která nám na zadaný argument udělá X schodů.
- Rozměr schodu 40x20x10.
- Pomocí procedur (algoritmů) vytvořte schody, místo toho abyste deset schodů dělali pomocí 10-ti kvádrů jeden po jednom, tak napište algoritmus, který nám může dělat kolik schodů chceme.
- Algoritmus vyzkoušíte pomocí dolní lišty, případně zde i resetujete.
- **HOTOVO**

Vyzkoušejte si měnit parametry a vyzkoušejte si napsat i jiné procedury. Šli by udělat točité schody s vnitřním sloupem a proměnnou, která nám definuje počet schodů a přizpůsobí výšku sloupu...

Názorné ukázky:



Obr. 29: Ukázka procedury (algoritmu) společně s 3D modelem pomocí ní vygenerován

Zajímavosti

No Man's Sky má 18 kvintilionů (18×10^{18}) různých planet — všechny procedurálně generované. Tým měl 13 lidí.

Disney+ seriál **The Mandalorian** (Baby Yoda) používá Houdini pro všechny VFX efekty.

Procedurální principy nejsou jen pro 3D — **generativní hudba, architektura i textil** fungují na stejném principu.

10

AI generování 3D modelů

text → 3D · fotografie → 3D · neuronální sítě · budoucnost

Typické nástroje	Výstup	Odvětví
Luma AI, Meshy AI, Point-E, Shap-E, TripoSR, Tripo3D	Low-poly mesh s baked texturou, GLB/OBJ	Herní asety, e-commerce vizualizace, koncepty, prototypy

JAK TO FUNGUJE

AI 3D generátory využívají dvě technologie. **NeRF (Neural Radiance Field)** — síť se naučí rekonstruovat 3D scénu z mála fotografií nebo videa. Nevzniká klasická polygonová síť, ale neuronová reprezentace prostoru. **Difuzní modely pro 3D** — adaptace technologie za Stable Diffusion nebo Midjourney pro přímé generování 3D geometrie ze slovního popisu nebo jednoho obrázku.

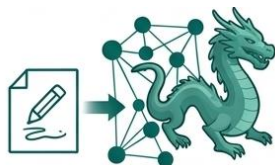
Výsledky jsou zatím **low-poly s baked texturou** — vhodné pro koncepty a hry, méně pro technické použití. Geometrie bývá nepřesná, vyžaduje post-processing. Ale vývoj je rychlý — modely z roku 2024 jsou znatelně lepší než z roku 2022. Dnešní AI nástroje umí ze slovního popisu nebo referenčního obrázku vygenerovat 3D model v řádu sekund. Přesnost a výsledná kvalita jsou zatím nižší než u ručního modelování, ale rychlost je bezkonkurenční.

TYPICKÁ VYUŽITÍ

- **Rychlé koncepty pro game art** — základ pro detailní zpracování lidským modelářem
- **E-commerce** — 3D produktové modely z jediné fotografie bez photostudia
- **Vzdělávání** — demonstrace konceptů bez nutnosti modelovacích znalostí
- **Architektonické vizualizace** — AI generuje referenční materiály pro klienty

TYPICKÉ AI NÁSTROJE (VŠE ZDARMA NEBO FREE TIER)

Nástroj	Cena	Popis
Meshy.ai	Zdarma (3/den)	Foto nebo text → 3D, funguje v prohlížeči
Luma AI Genie	Zdarma	Text → 3D nebo video → NeRF, lumalabs.ai
Tripo3D	Zdarma (free tier)	Obrázek → 3D za 30 sekund, tripo3d.ai
Rodin (Hyperhuman)	Zdarma (free tier)	Vyšší kvalita, pomalejší zpracování



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si aplikaci **Meshy.ai**: <https://www.meshy.ai/>

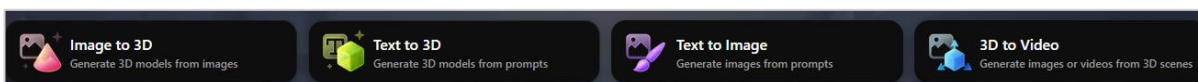
- Bezplatná registrace
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ

- Otevřete si **Workspace** – z nabídky si vyberte **Text to 3D**
- Připravte si příkaz (prompt) libovolné věci co chcete vygenerovat (nejlépe v angličtině).
- Dejte generovat model
- Počkejte až **AI** udělá práci za vás
- **HOTOVO**

Můžete si vyzkoušet i ostatní možnosti tohoto **AI** nástroje například do tématu nám krásně zapadá i obrázek převedený do **3D** modelu. K bezplatné registraci jste dostali omezený počet modelů, tak modelujte, nebo spíše generujte s rozvahou. Zatím **MeshyAI** nabízí za sdílení vašeho modelu coins (měnu), za které můžete generovat vaše 3D modely.

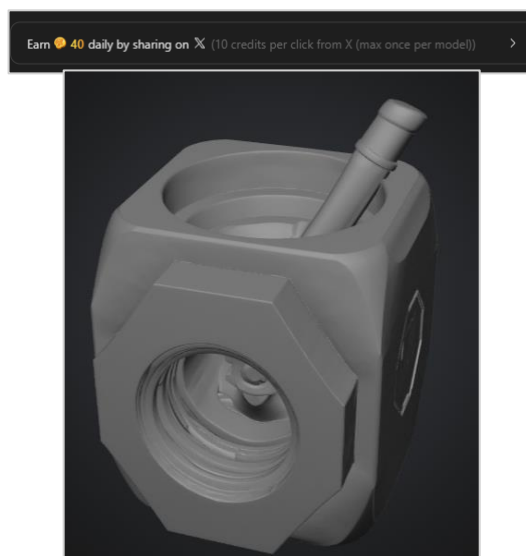
Názorné ukázky:



Obr. 30: Nabídka dalších možností AI generátoru.



Obr. 31: Ukázka AI 3D modelu goblina



Obr. 32: Ukázka AI 3D modelu – stojan tužek

Zajímavosti

Copyright AI výstupů je v roce 2024–2025 **právně nevyjasněný** v EU i USA — soudy právě řeší, zda AI trénovaná na dílech umělců porušuje autorská práva.

30 sekund až 5 minut generování pomocí AI -> Ruční model stejné kvality: 2–20 hodin. Největší společnosti na design už generují do svých programů AI pomocníky.

11

BIM modelování

Building Information Modeling · stavebnictví · digitální dvojče budovy

Typické nástroje Revit, ArchiCAD, BricsCAD BIM, Autodesk Revit	Standardy IFC (ISO 16739), COBie	Odvětví Budovy, infrastruktura, facility management, pozemní stavby
---	--	--

JAK TO FUNGUJE

BIM (Building Information Modeling) není jen 3D model budovy — je to **databáze propojená s geometrií**. Každá zeď, okno, nosník nebo trubka nese metadata: materiál, výrobce, cena, datum instalace, tepelné vlastnosti, plánovaná výměna. „Okno“ ví, do které stěny patří a kdy ho je třeba vyměnit.

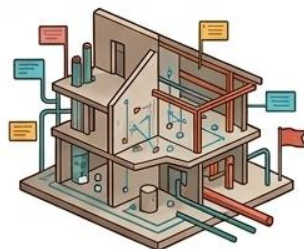
Dimenze BIM: **3D** (geometrie) → **4D** (+ časový harmonogram stavby) → **5D** (+ náklady) → **6D** (+ udržitelnost a energetika) → **7D** (facility management — správa budovy na 50–100 let). Z modelu jde automaticky vygenerovat výkaz materiálů, energetická analýza nebo harmonogram.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Česká republika** — BIM povinný pro veřejné zakázky nad 150 milionů Kč od roku 2023
- Celá nová linka metra D v Praze se projektuje kompletně v **BIM**
- **Betonový 3D tisk** — firma ICON tiskne celé čtvrti domů, BIM model řídí pohyb tiskové hlavy
- **Facility management** — správci budov sledují stav každého prvku budovy přes model

TYPICKÉ PROGRAMY A CENY

Program	Cena	Poznámka
ArchiCAD	Zdarma (vzdělávání)	graphisoft.com/education/ — doporučeno pro školy
BIMvision	Zdarma	Jen prohlížeč IFC souborů, bimvision.eu
SketchUp	~5 000 Kč/rok	Jednodušší, oblíbený u architektů
Revit	~72 000 Kč/rok	Autodesk — nejrozšířenější průmyslový standard



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Otevřete si program Planner5D: <https://planner5d.com>

- Bezplatná registrace
- Není potřeba instalace (běží v prohlížeči)

ZADÁNÍ

- Po přihlášení z nabídky klikněte **Templates** (šablony) a vyberte si libovolnou šablonu
- Zkuste si nahoře v horní liště přepínat mezi **2D** a **3D** návrhem
- Z levé lišty přidejte nějaké věci do šablony jak ve 2D, tak i v 3D
- Vraťte se do hlavního menu aplikace
- Klikněte tlačítko **Create**
- Zadejte adresu vašeho budoucího modelu (nemusíte reálnou)
- Pusťte se do tvoření vašeho návrhu **2D** i **3D**.
- **HOTOVO**

V aplikaci si můžete všimnout, že lze i objednat designéra. Tyhle aplikace spolupracují s podnikateli (firmami) v designu a architektuře. Je to opravdu mocný a užitečný nástroj.

Názorné ukázky:



Obr. 33: 2D zobrazení modelu – šablona domu



Obr. 34: 3D zobrazení modelu – šablona domu

Zajímavosti

Burj Khalifa v Dubaji (828 m, nejvyšší budova světa) byl navržen a koordinován kompletně v BIM — přes 1 milion m² plochy.

Americká firma **ICON** vytiskla betonem celou čtvrť rodinných domů v Texasu — BIM model řídil pohyb tiskové hlavy.

UK, Skandinávie a Singapur mají BIM **povinný** pro všechny veřejné projekty již roky — Česko se připojilo v roce 2023.

12

Bodová mračka a LiDAR

laserové skenování · reality capture · miliardy bodů v prostoru

Typické nástroje CloudCompare, Autodesk Recap, Faro Scene, Leica Cyclone, Polycam	Výstup Bodové mračko XYZ+RGB, PLY, E57, LAS	Odvětví Průmysl, geodzie, archeologie, autonomní auta, kulturní dědictví
---	--	---

JAK TO FUNGUJE

LiDAR (Light Detection And Ranging) vysílá laserové paprsky a měří čas jejich návratu. Ze zpoždění vypočítá vzdálenost. Otočením skeneru o 360° a opakováním milionkrát za sekundu vznikne **bodové mračko** — soubor milionů až miliard barevných bodů přesně rozmístěných v 3D prostoru.

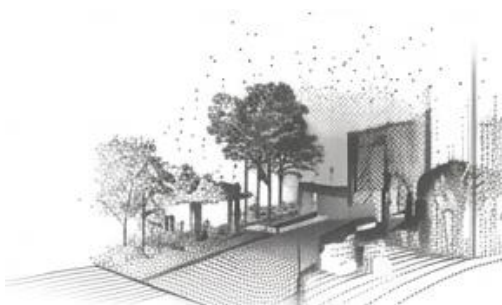
Z bodového mračka lze metodou **scan-to-BIM** nebo **scan-to-CAD** rekonstruovat přesný 3D model existující budovy nebo továrny. **iPhone a iPad Pro** obsahují miniaturní LiDAR od roku 2020 — dosah 5 metrů, přesnost ~1 cm. Aplikace Polycam nebo Scaniverse umožňují skenovat komukoli.

TYPICKÁ ODVĚTVÍ A VYUŽITÍ

- **Autonomní vozidla** — Tesla a Waymo používají LiDAR pro vnímání okolí v reálném čase
- **Archeologie** — detekce skrytých struktur pod vegetací bez vykopávek
- **Kriminalistika** — 3D sken místa činu bez fyzického kontaktu, zmrazí scénu digitálně
- **Stavební průmysl** — přesné zaměření existujících budov před rekonstrukcí

SROVNÁNÍ TYPŮ LIDAR SKENERŮ

Typ	Přesnost	Dosah	Orientační cena
iPad/iPhone Pro	~1 cm	5 m	Součást telefonu
Ruční SLAM zařízení	~5 mm	30 m	150 000–500 000 Kč
Stacionární TLS	1–2 mm	330 m	500 000–2 000 000 Kč
Letecký ALS	5–15 cm	kilometry	Letový provoz + skener



PRAKTICKÁ ÚLOHA

Stáhněte si na mobilním telefonu aplikaci **Polycam**: <https://play.google.com/store/apps/polycam> (android, existuje verze i na iOS)

- Nainstalujte a spusťte aplikaci Polycam 3D Scanner na vašem mobilním zařízení
- Bezplatná registrace

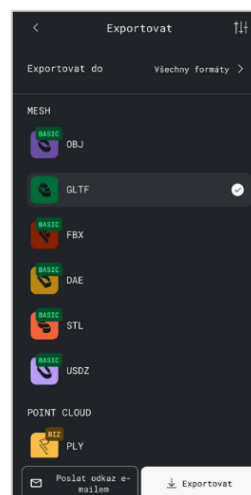
ZADÁNÍ

- Spusťte aplikaci
- Kliknete tlačítko **+** (**Create**) – **Object**
- Proveďte 50+ fotografií (skenování) prostoru kolem vás (360 režim pouze v exteriéru)
- Exportuje soubor ve formátu **GLTF** (na váš PC)
- Spusťte online program na PC: <https://gltf-viewer.donmccurdy.com/>
- Nahrajte zde váš exportovaný soubor (z e-mailu)
- V pravé liště zapněte **wireframe**, ať vidíte jednotlivé body (bodová mračna)
- **HOTOVO**

Názorné ukázky:



Obr. 35: Zobrazení bodových mračen skenovaného interiéru



Obr. 36: Export modelu – soubor .GLTF

Zajímavosti

V roce 2018 letecký LiDAR odhalil pod guatemalskou junglí **60 000 Mayských staveb** — přepsal historii civilizace.

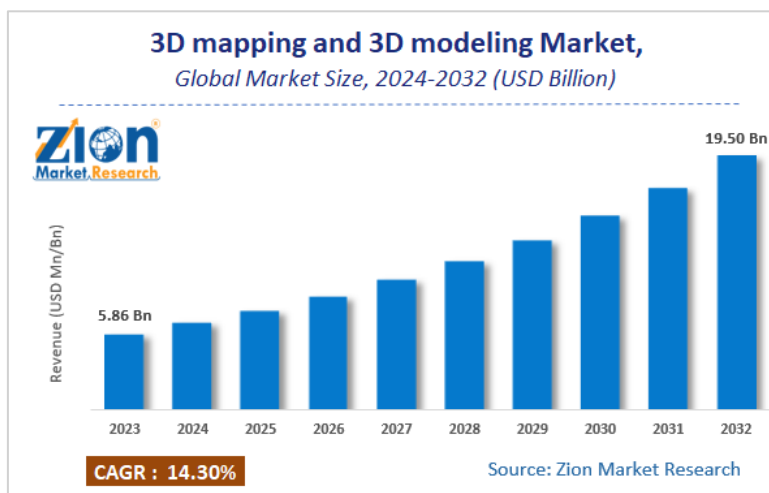
Google Street View používá na střeše auta rotující LiDAR — přes 360 milionů km zmapované sítě silnic. Autonomní auta od Waymo generují **1 gigabajt dat za sekundu** z LiDAR, kamera a radar senzorů dohromady.

Srovnání všech 12 metod 3D modelování

Hodnocení je orientační: ★★★ = výborné · ★★☆☆ = dobré · ★☆☆ = horší

Metoda	Přesnost	Rychlost tvorby	Pro 3D tisk	Užitečný program (zdarma)
Parametrické	★★★	★★☆	★★★	Onshape
CSG	★★☆	★★★	★★★	TinkerCAD
Polygonové	★★☆	★★☆	★★☆	Blender
Subdivision	★★☆	★★★	★★☆	Blender
Sculpting	★☆☆	★★★	★★☆	SculptGL (prohlížeč)
NURBS	★★★	★☆☆	★★☆	Rhino trial
Voxelové	★☆☆	★★★	★★★	Goxel (prohlížeč)
Fotogrammetrie	★★☆	★★★	★★☆	Kiri Engine (prohlížeč)
Procedurální	★★★	★★☆	★★☆	Blender Geometry Nodes
AI generování	★☆☆	★★★	★☆☆	Meshy.ai (prohlížeč)
BIM	★★★	★★☆	★★☆	ArchiCAD (edu zdarma)
LiDAR	★★★	★★★	★★☆	Polycam (mobil)

Tabulka 1: Srovnání metod 3D modelování ve zvolených kategoriích



Obr. 37: Předpokládaný růst globálního trhu 3D mapování a 3D modelování (Zion Market Research, 2024)

Doporučení pro vás – Jak začít?

Úplný začátečník → **TinkerCAD** (browser, zdarma, 10 minut k prvnímu modelu)

Technicky zaměřený → **Onshape** (browser, zdarma, parametrické CAD)

Kreativní a umělecký → **Blender** (zdarma, sculpting + polygonové modelování)

Skenování reality → **Polycam** nebo **Kiri Engine** (mobil/browser, zdarma)

Architektura a stavby → **ArchiCAD** (zdarma vzdělávací licence)

Závěr

Právě jste prošli dvanácti různými světy. Od přesných strojírenských výkresů až po laserové paprsky měřící mayské ruiny pod guatemalskou džunglí. Od virtuální hlíny, ze které sochaři tvarují filmové monstry, až po algoritmy generující celé vesmíry planet.

Tento text neměl za cíl, abyste všechno pochopili. Ani abyste všechno vyzkoušeli. Měl jediný účel, a to ukázat vám, co existuje.

Pokud vás aspoň jedna z dvanácti metod zaujala natolik, že jste se zastavili, přečetli odstavec dvakrát nebo si řekli „to by mě zajímalo víc“ — text splnil přesně to, co měl. Tohle je ten moment, od kterého se dá někam jít.

A pokud jste prošli všemi dvanácti kapitolami a žádná vás nenadchla? I to je cenná informace. Vědět, co vás nebaví, je stejně užitečné jako vědět, co vás baví. Ušetříte si hodiny zbytečného hledání.

Pro ty, kteří se rozhodli jít dál — ať už směrem k parametrickému, více kreativnímu programu, fotogrammetrii nebo k čemukoli jinému — platí jedno: začátek je vždy nejtěžší část.

Hodně štěstí. A hlavně — bavte se.

Seznam obrázků a grafického podkladu

Obecné prohlášení:

Není-li u konkrétního obrázku v textu uvedeno jinak, jsou všechny grafické materiály, snímky obrazovky z příslušných programů a aplikací vlastní tvorbou autora.

Využití umělé inteligence:

Ilustrační grafika a doplňkové vizuální prvky (např. úvodní obrázky kapitol) byly vygenerovány pomocí nástroje generativní umělé inteligence Google Gemini (model Gemini 3 Flash) na základě zadání autora.

Zdroje:

Obr. 1: Michl, Vladimír. Nová 3D myš SpaceMouse Enterprise. CAD Studio blog, 27. 4. 2016. [online]. Dostupné z: <https://blog.cadstudio.cz/2016/04/nova-3d-mys-spacemouse-enterprise.html>

Obr. 37: ZION MARKET RESEARCH. *3D Mapping and 3D Modeling Market: By Application (3D Projection Mapping, Mapping and Navigation, and Others); By Vertical (Healthcare, Automotive, and Others) - Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis, and Forecast, 2024 – 2032*. Zion Market Research [online]. Dostupné z: <https://www.zionmarketresearch.com/report/3d-mapping-and-3d-modeling-market>

Použité zdroje a literatura

Pixar Animation Studios (1978). *Catmull, E., Clark, J.: Recursively Generated B-Spline Surfaces on Arbitrary Topological Meshes*. Computer-Aided Design, 10(6), 350–355.

Autodesk Inc. (2024). *Autodesk TinkerCAD — Documentation*. <https://www.tinkercad.com/learn>

Onshape (PTC Inc.) (2024). *Onshape Learning Center*. <https://learn.onshape.com>

Blender Foundation (2024). *Blender Reference Manual — Sculpting, Geometry Nodes*. <https://docs.blender.org>

McNeel & Associates (2024). *Rhino 3D — NURBS Modeling Guide*. <https://www.rhino3d.com/learn>

SideFX (2024). *Houdini Documentation — Procedural Modeling*. <https://www.sidefx.com/docs>

Agisoft (2024). *Metashape User Manual — Photogrammetry Workflow*. https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf

OpenAI (2023). *Nichol, A. et al.: Point-E: A System for Generating 3D Point Clouds from Complex Prompts*. arXiv:2212.08751

Autodesk (2024). *Revit — Building Information Modeling Documentation*. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024>

buildingSMART International (2024). *IFC Standard — Technical Documentation (ISO 16739)*. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes>

CloudCompare (2024). *CloudCompare — Open Source LiDAR Processing Documentation*. <https://www.cloudcompare.org/doc/wiki>

Epic MagicaVoxel (2024). *MagicaVoxel — User Guide*. <https://ephtracy.github.io>

Lévy, B., Mallet, J.-L. (2010). *N-Symmetry Direction Field Design*. ACM Transactions on Graphics, 27(2)

De Berg, M. et al. (2008). *Computational Geometry: Algorithms and Applications (3rd ed.)*. Springer-Verlag.

Mildenhall, B. et al. (2020). *NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis*. ECCV 2020, arXiv:2003.08934

Faro Technologies (2024). *FARO Focus Laser Scanner — Technical Specifications*. <https://www.faro.com>

Snavely, N., Seitz, S. M., Szeliski, R. (2006). *Photo Tourism: Exploring Photo Collections in 3D*. SIGGRAPH 2006, ACM Transactions on Graphics.

Foley, J. D. et al. (1996). *Computer Graphics: Principles and Practice (2nd ed.)*. Addison-Wesley.

Rhino McNeel Forum / Discourse (2024). *Class A Surfacing Discussion Threads*. <https://discourse.mcneel.com>

Loop, C. (1987). *Smooth Subdivision Surfaces Based on Triangles (Master Thesis)*. University of Utah.