ZÁKLADY 3D TISKU

s Josefem Průšou

Třetí vydání

ÚVOD

O 3D tisku jste už možná slyšeli v televizi nebo četli na internetu. Jako každá „nová“ technologie přitahuje pozornost médií a veřejnosti, většinou ale jen velmi povrchně a senzacechtivě. Kolem 3D tisku tak panuje celá řada mýtů – ostatně, už jen to, že jde o novou technologii, není tak úplně pravda. 3D tisk je známý už od 80. let minulého století a celkem běžně se dnes používá v celé řadě oborů, a dokonce i v domácnostech.

Jak sami brzy zjistíte, 3D tisk není žádnou složitou a běžnému smrtelníkovi nedostupnou technologií. Naopak, jeho principy jsou v zásadě velmi jednoduché a přímočaré. Na začátku vás možná mohou odradit některé specifické termíny a zkratky, ale nebojte se. Není jich zase tolik a zakrátko vám přejdou do krve.

V této knize se dozvíte, jaké technologie 3D tisku existují a jak fungují. Provedeme vás celým procesem 3D tisku od možností získání 3D modelu přes jeho přípravu k tisku až po finální opracování výtisku. Vysvětlíme si, co se skrývá za termíny jako slicer, extruder, perimetr nebo infill. Společně se podíváme na rozdíly mezi nejběžnějšími tiskovými materiály a na celou řadu praktických příkladů využití 3D tisku.

Po přečtení této knihy, budete mít obecný přehled o 3D tisku a budete schopni s 3D tiskem hravě začít. Pak už vám nebude nic bránit pořídit si 3D tiskárnu a začít s vaším prvním výtiskem!

Tisku zdar!

Josef Průša

Josef Průša

Josef Průša (* 23. 2. 1990) se o fenomén 3D tisku začal zajímat už před nástupem na Vysokou školu ekonomickou v roce 2009. Brzy se stal jedním z hlavních vývojářů mezinárodního open source projektu RepRap Adriana Bowyera. Dnes se s designem Prusa v různých verzích můžete potkat po celém světě, jedná se o jednu z nejpoužívanějších tiskáren a patří jí zásluhy o rozšíření povědomí o technologii 3D tisku mezi běžné lidi. V roce 2012 založil firmu Prusa Research, která pod značkou Original Prusa každý měsíc dodává víc jak 10 000 kusů 3D tiskáren zákazníkům po celém světě. Tiskáren Original Prusa i3 se prodalo víc jak 400 000, což z ní dělá nejpoužívanější 3D tiskárnu na světě.

EXPERTEM NA 3D TISK SNADNO A RYCHLE S PRUSA ACADEMY!

Prusa Academy pro vás má online kurzy na všemožná témata týkající se 3D tisku. Od naprostých základů přípravy a údržby až po tvorbu vlastních modelů – pomocí přehledných návodů, videí a kvízů se naučíte, jak s vaší 3D tiskárnou pracovat rychle, efektivně a tak, aby vás to bavilo! Najdete je v sekci Akademie na prusa3d.com.

OBSAH

Co je to 3D tisk? 5
Historie 3D tisku 6
Vynález stereolitografie 6
Projekt RepRap 6
Využití 3D tisku 7
Technologie 3D tisku 11
FDM/FFF 12
Komponenty FFF tiskárny 14
SLA (Stereolitografie) 17
Komponenty MSLA tiskárny 19
SLS / DMLS 21
Výběr 3D tiskárny 22
Proces 3D tisku od A do Z 24
Získání 3D modelu 26
Webové portály s 3D modely 26
Nástroje pro 3D modelování 27
Tinkercad 27
Autodesk Fusion 28
Blender 29
OpenSCAD 30
Co je dobré mít na paměti během návrhu a modelování? 31
3D skenování a fotogrammetrie 35
Volba tiskového materiálu 36
Slicování 36
PrusaSlicer 37
Simplify3D 38
Cura 38
Základní nastavení sliceru 39
Příprava tiskové podložky 42
Spuštění tisku 43
Postprocessing 43
Lepení a vyhlazování acetonem 44
Tiskové struny 45
PLA 47
PETG, ASA a PC (polykarbonát) 48
FLEX (TPU/TPE/TPEE) 49
Plněné/kompozitní materiály 49
Podpůrné materiály PVA, BVOH 50
Ostatní materiály 50
Barevný FFF tisk 51
Multimaterial 53
Fotopolymery / Resiny / Pryskyřice 55
Slovník pojmů 57
FAQ 61

CO JE TO 3D TISK?

3D tisk je automatizovaný proces, při kterém se z digitální předlohy (3D modelu) vytváří fyzický model. Technologií je nyní k dispozici více – ale ta nejpoužívanější, FFF, funguje velice jednoduše. Objekt vzniká postupně, vrstvu po vrstvě, natavováním tenkého proužku plastového materiálu. Představte si, že svůj model rozkrájíte na plátky, jako bramboru na chipsy, a poté nakreslíte tavnou pistolí jeden chips za druhým, až máte celou bramboru. Jedná se o takzvanou aditivní výrobu, kde se materiál postupně přidává, což je protipól ke způsobu subtraktivní výroby, která spočívá v obrábění materiálu.

3D tisk se i dnes pořád rozvíjí. Pokrok žene dopředu jak tiskárny, tak tiskové materiály a podobně jako se dřív 3D tiskárny dostaly z firemního prostředí mezi běžné uživatele – kutily, se dnes díky jejich popularitě mezi kutily rozšířily do mnoha dalších odvětví nejrůznějších průmyslů.

Historie 3D tisku

Zpočátku se 3D tisk primárně označoval jako Rapid Prototyping (rychlá výroba prototypů) a dodnes se s tímto označením můžeme setkat. Před příchodem dostupných tiskáren se totiž používal výlučně pro výrobu prototypů.

Typickým příkladem, kdy využijete Rapid Prototyping, může být výroba dálkového ovladače pro televizi. Základní příprava výroby se pohybuje ve stovkách tisíc korun (výroba forem, zadání výroby, testovací série,...), firma ale před takto velkou investicí potřebuje vyzkoušet, zda se tento ovladač pohodlně drží v ruce a uživatel dosáhne na všechna tlačítka. Aby se snížily náklady a nemuselo se čekat na zavedení výroby, vytiskne se nejdřív prototyp. Od toho se také odvíjela cena high-end tiskáren. I v případě, že výtisk ovladače stál 20 000 Kč, se stejně ušetřily stovky tisíc. Technologie se proto neměla šanci dostat do rukou běžných smrtelníků. To se naštěstí změnilo.

Vynález stereolitografie

3D tisk jako takový vznikl v roce 1984, kdy si pozdější zakladatel společnosti 3D Systems Charles W. Hull nechal patentovat technologii takzvané stereolitografie. Hull byl první, kdo vytiskl digitální 3D data. Tato technologie je běžně označována jako SLA a používá se dodnes. Podrobněji si ji popíšeme v kapitole o technologiích 3D tisku.

První komerční 3D tiskárna

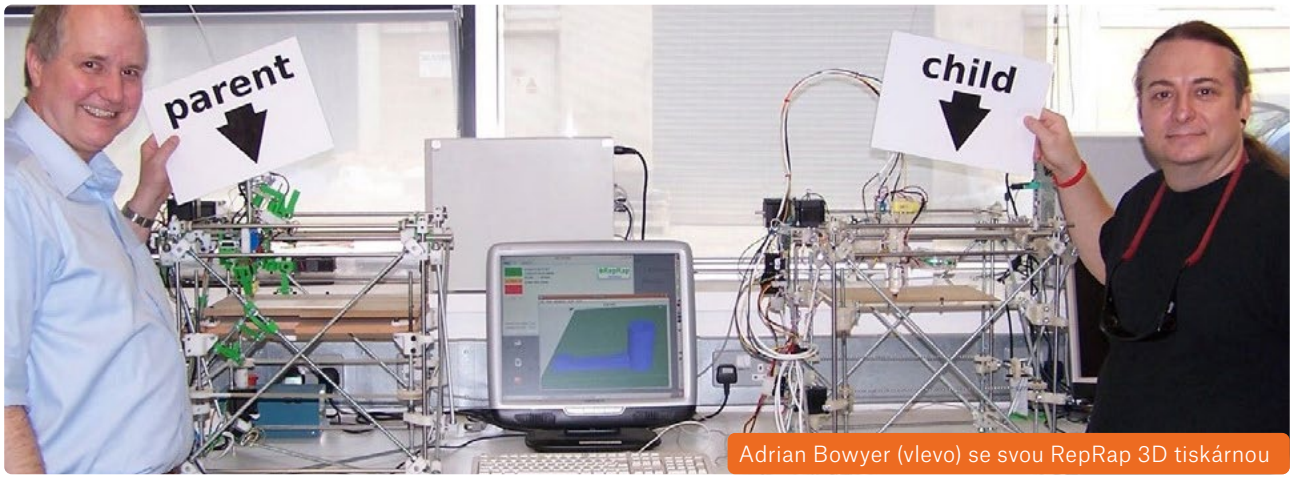
V roce 1992 začala firma 3D Systems vyrábět a prodávat první komerčně dostupnou 3D tiskárnu na technologii SLA.

Projekt RepRap

Rok 2005 byl pravděpodobně nejdůležitějším rokem v novodobé historii 3D tisku. Na University of Bath byl doktorem Adrianem Bowyerem založen projekt RepRap. Idea byla navrhnout 3D tiskárnu, která bude umět vytisknout co nejvíce vlastních součástek. Od začátku byl projekt koncipován pod licencí open source (všechny zdrojové kódy jsou veřejně a zdarma přístupné a modifikovatelné), což umožnilo zapojit se do spolupráce nadšencům z celého světa. Díky tomu jsou nyní RepRap tiskárny

nejrozšířenějším druhem tiskáren na celém světě a jim také vděčíme za všechny dnešní tiskárny v hobby a polo profi segmentu (do 100 tisíc Kč za tiskárnu).

Komunita okolo reprapových tiskáren je velmi široká. Pokud chcete porozumět tomu, jak tiskárna funguje, mít možnost provádět neustálá vylepšení a baví vás experimentovat, pak je pro vás RepRap tím správným řešením. Tiskárny je možné zakoupit jako stavebnici nebo již kompletně sestavené a zkalibrované.



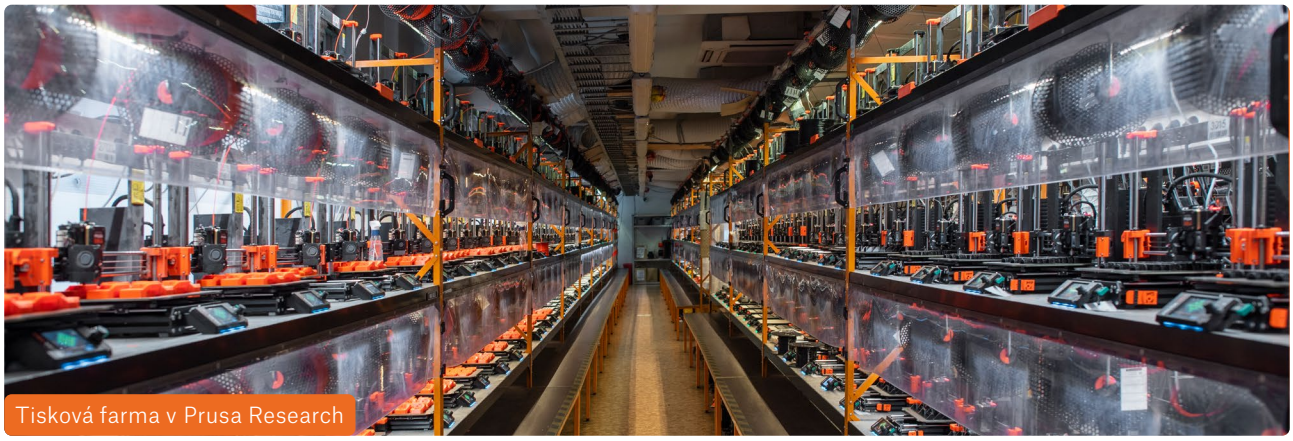
Adrian Bowyer (vlevo) se svou RepRap 3D tiskárnou

Využití 3D tisku

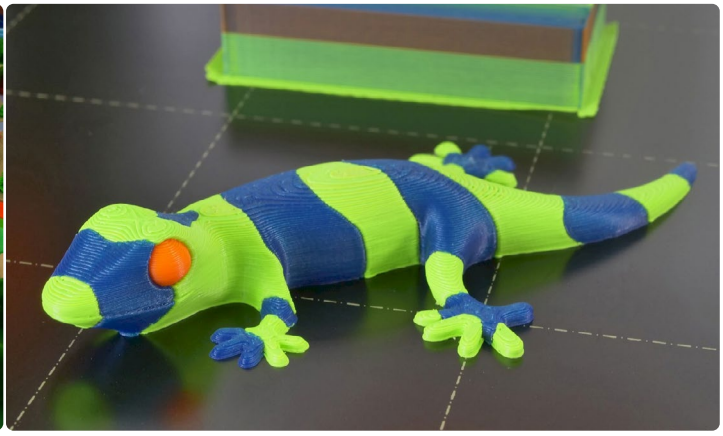
Jak už jsme si uvedli, 3D tisk byl zprvu využíván jako nástroj na výrobu rychlých a levných prototypů. S nástupem levnějších technologií, a také díky snížení cen, přišla i další využití.

Ukázkovým příkladem je malosériová výroba. Pokud firma plánuje vyrábět sérii produktů, která je příliš malá na odůvodnění vysokých nákladů spojených s přípravou standardní sériové výroby, je často levnější takové produkty vyrobit pomocí 3D tisku. Dalším benefitem je i fakt, že pokud získáme od zákazníků zpětnou vazbu na tuto první sérii a děláme u produktu změny, nemusíme znovu platit náklady na přípravu výroby. Stačí pouze upravit 3D model a tisknout novou verzi produktu. Díky tomu je možné provádět změny v produktech velmi často a rychle bez dalších nákladů.

Tyto výhody 3D tisku využíváme na maximum při výrobě tiskáren Original Prusa i3 na naší tiskové farmě, která čítá přes 700 tiskáren. Pokud vymyslíme novou modifikaci dílu, stačí nám jej pouze otestovat, nahrát nové podklady na tiskovou farmu a skoro okamžitě můžeme začít tisknout a odesílat vylepšené verze zákazníkům. Možnost rychlého iterování mezi verzemi je obrovskou výhodou 3D tisku.


Tisková farma v Prusa Research

Personalizovaná výroba, kde je každý jednotlivý kus či malá série přizpůsobena přání zákazníka, je dalším ideálním využitím 3D tiskárny. Příkladem může být obal na mobilní telefon s vlastním motivem, přívěsek na klíče se jménem nebo reklamní předměty, kde je pro zákazníka model specificky upravován.



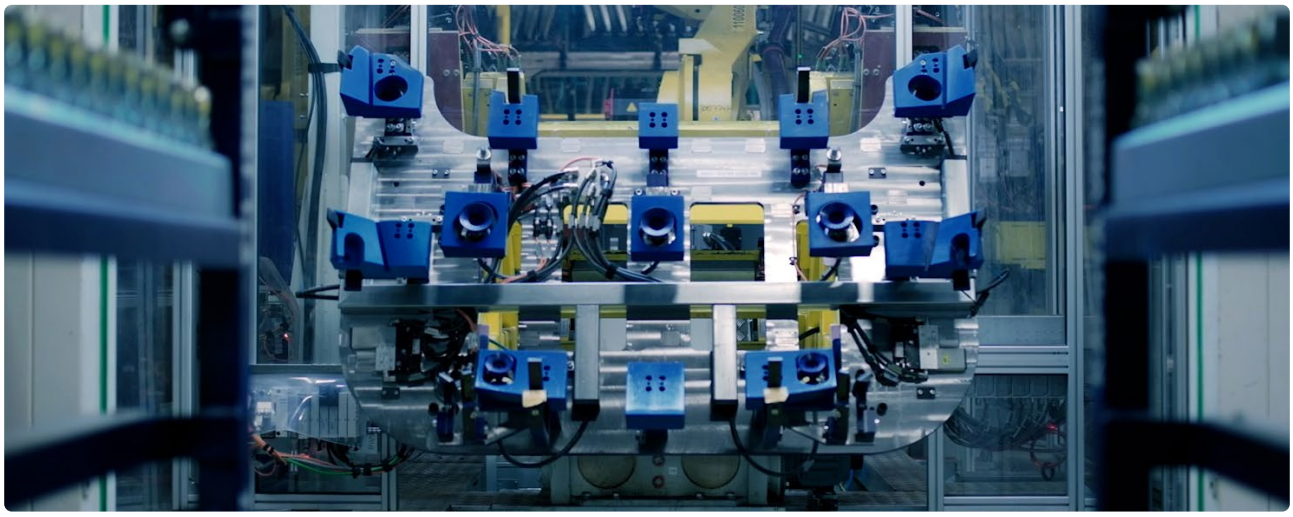
Tiskárna se skvěle hodí i pro **výrobu hraček a figurek**. Na internetu je zdarma k dostání nespočet modelů od postaviček až po celé deskové hry.

Lidem věnujícím se **cosplay*** 3D tiskárna umožní vytvářet základy nejrůznějších masek, propriet a doplňků, které dále opracovávají při takzvaném postprocessingu, během něhož model nabarví a vyhladí. Výsledkem jsou věrohodně vypadající předměty.

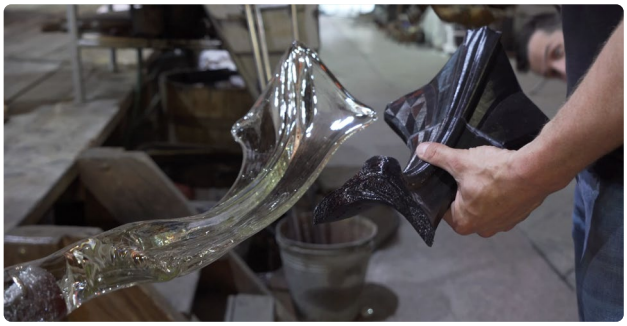
* Jako cosplay označujeme kostým, v němž se daný člověk snaží vypadat jako nějaká postava, ať už z fantasy nebo sci-fi obecně.

3D tiskárna je také úžasný pomocník v situacích, kdy jsou potřeba náhradní díly – ať už poskytované přímo výrobcem opravovaného produktu nebo takové, které již nejsou oficiální cestou dostupné. Počet tisknutelných dílů, které jsou pro běžné domácí spotřebiče oficiálně k dispozici, utěšeně roste, protože výrobci tento trend čím dál více podporují. Spoustu užitečných příkladů od různých značek najdete na stránkách printables.com/brands!

Co se profesionálního využití týče, najdeme zajímavé příklady využití 3D tisku v mnoha různých průmyslových odvětvích. Například automobilové společnosti používají 3D tiskárny pro výrobu specializovaných nástrojů pro výrobní linky, aby ušetřily náklady a čas. A některé tištěné díly dokonce vydrží déle než ty kovové!



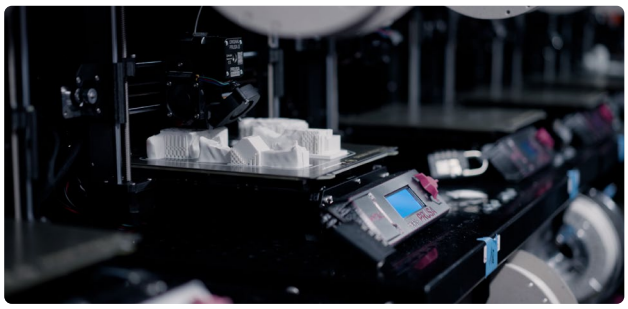
Shark, nejrychlejší ultralight, obsahuje více jak stovku 3D tištěných komponent!



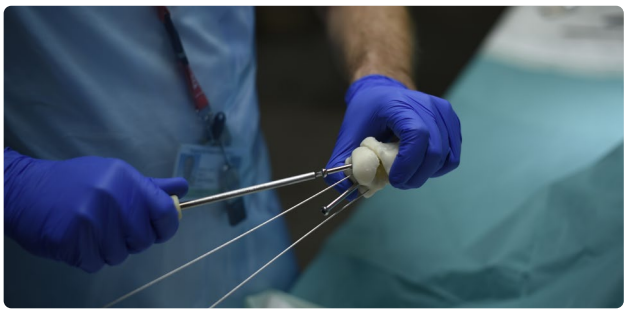
Designéři používají 3D tiskárny k vytváření prototypů a dolaďování nápadů před odesláním do výroby.

Určitě můžeme bez obav říct, že V **CERN**u pracují významné vědecké kapacity. A 3D tiskárny jim pomáhají vyrábět si vlastní zařízení a všemožné nástroje pro bádání po záhadách vesmíru.

3D tiskárny si také oblíbili tvůrci speciálních efektů ve filmovém průmyslu. Díky 3D tisku vznikají opravdu zajímavé kousky od modelů až po rekvizity a kostýmy.



V architektuře a stavebnictví 3D tiskárny přímo otřásly základy. :) Jednou z nejdůležitějších součástí architektonických projektů je totiž vizualizace modelu, která je s 3D tiskem výrazně snazší a rychlejší – stejně tak tvorba detailních koncepčních modelů a prezentací pro klienty. Na světově proslulých univerzitách už dokonce probíhá výuka 3D tisku pro architekty.



3D tisk se rychle rozšiřuje i do zdravotnictví, kde nachází využití například při výuce základů anatomie nebo přípravě chirurgů na operace – to vše díky 3D modelům vytištěným v měřítku 1:1 na základě CT snímků pacienta. Díky lepší přípravě pak léčba či zákrok trvá kratší dobu, vede k lepším výsledkům a může mít i výrazně vyšší šanci zachránit život pacienta!

3D tisk ve vzdělávání

S rostoucí popularitou a dostupností se 3D tisk dostává do škol po celém světě. Technologie umožňuje učitelům vytvářet vlastní vzdělávací nástroje – a studentům rozvíjet jak kreativní, tak praktické myšlení. Stačí málo a vzdělávání může být daleko názornější a bohatší než když se musíte spolehnout jen na knihy a poznámky. Studenti vytvářejí různé experimenty a projekty, učí se spolupracovat a aktivně vyhledávat informace.

Zapojte se do programu Prusa Education!

Všem školám, univerzitám a dalším vzdělávacím institucím nabízíme vzdělávací program Prusa Education, který vám pomůže se s 3D tiskem seznámit snadno a rychle. Na stránkách education.prusa3d.com najdete bližší informace o tom, co může náš program nabídnout vám a vaší škole.

TECHNOLOGIE 3D TISKU

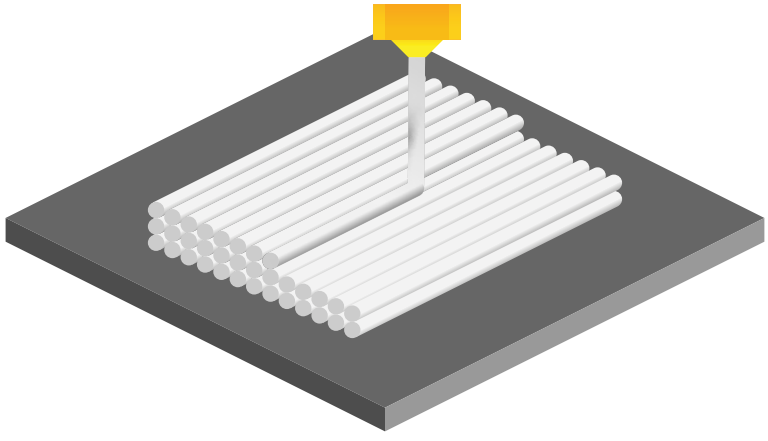
Všechny technologie 3D tisku jsou založeny na stejném principu – postupném nanášení vrstev na sebe. V současné době neexistuje žádná technologie 3D tisku, která by byla univerzální a vhodná pro všechna použití. Proto je třeba pečlivě zvážit, co budeme na tiskárně tisknout, a co od ní požadujeme. Nejznámější technologie 3D tisku je možné rozdělit do tří kategorií podle toho, jakou podobu má tiskový materiál, a jakým způsobem je zpracováván.

1. **Materiál v podobě tiskové struny je extrudovaný** (vytlačovaný) tiskovou hlavou skrz rozehřátou trysku. Příkladem je technologie FDM (fused deposition modeling) / FFF (fused filament fabrication). Oba tyto názvy lze považovat za synonyma. FDM je registrovaná známka firmy Stratasys.
2. **Tekutý materiál** je vytvrzován v rámci vrstvy na definovaných oblastech. Příkladem je technologie SLA stereolitografie). Materiál je vytvrzován světelným paprskem (UV laser či DLP projektor).
3. **Materiál v podobě jemného prášku** je sinterován (spékán, nikoliv roztavován) laserem. Představitelem tohoto principu je technologie SLS (selective laser sintering).

FDM/FFF

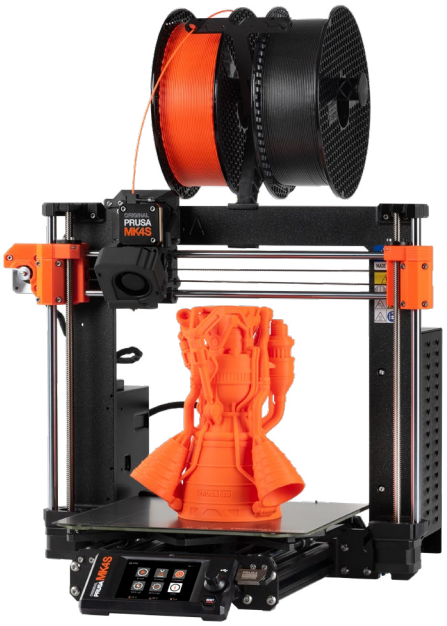
Mezi širokou veřejností se jedná o nejrozšířenější a nejdostupnější technologii 3D tisku. Je vhodná pro tisk funkčních modelů a prototypů. Stavebním materiálem je primárně roztavený plast. Ten je postupně nanášen na sebe vrstvu po vrstvě. Tiskovým materiálem je tisková struna (filament) nejčastěji průměru 1,75 mm. Dříve se používal také filament s průměrem 3 mm, nevýhodou byla ale menší přesnost v jeho dávkování. Oproti pryskyřici či jemnému prášku, které se využívají v dalších technologiích, je práce s filamentem jednoduchá a bezpečná. Na výtisku jsou patrné tiskové vrstvy. Jejich výška se při použití nejběžnější trysky průměru 0,4 mm pohybuje přibližně v rozsahu od 0,05 mm do 0,3 mm.

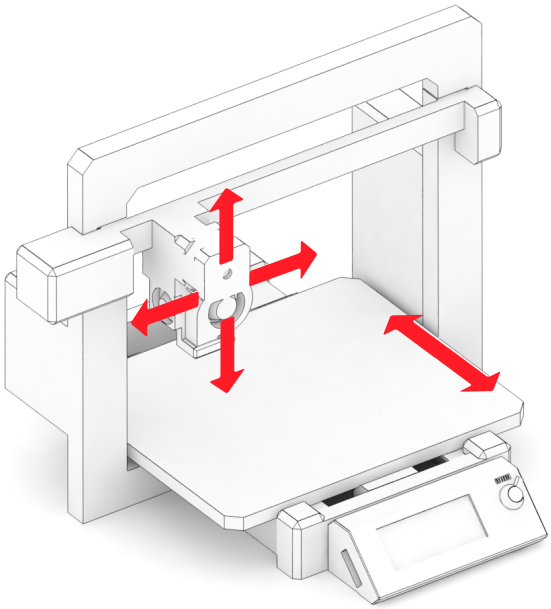
Cenové rozpětí FFF tiskáren se pohybuje v rozmezí od 2 500 Kč za levné tiskárny z Číny až po částky převyšující jednotky miliónů korun za profesionální tiskárny. Tiskárna Original Prusa MK4S v cenové relaci okolo 20 000 Kč je dobrým kompromisem mezi cenou a kvalitou.



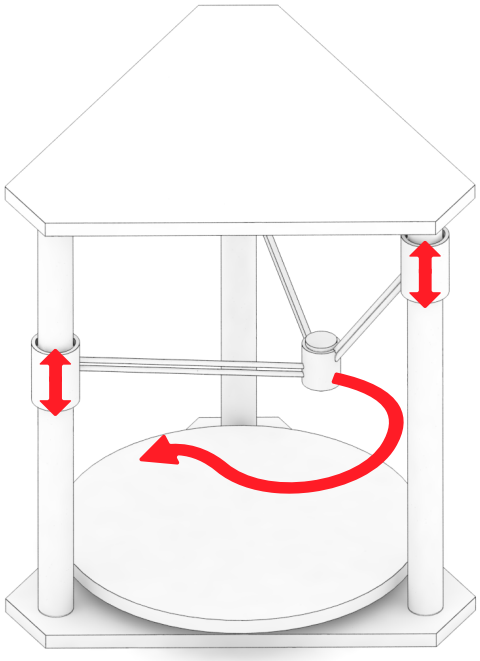
Způsob pohybu v trojrozměrném prostoru nám dává rozdělení na další podkategorie.

1. **Kartézská** tiskárna je založena na principu pohybu po třech lineárních osách, přičemž tisková hlava vytlačující materiál (extruder) se pohybuje ve dvou osách (X, Z) a podložka po jedné (Y). Tisková podložka je proto u většiny tiskáren pravoúhlého tvaru. Příkladem je tiskárna Original Prusa MK4S.





2. **Delta** tiskárna využívá zavěšeného extruderu na třech ramenech, která jsou spolu spojená právě v místě extruderu. Výhodou jsou rychlé pohyby a velký tiskový prostor především v ose Z. Na druhou stranu Delta tiskárna vyžaduje vysokou přesnost při stavbě a následné kalibraci. Složitá geometrie vyžaduje náročné výpočty pro pohyby krokových motorů jednotlivých ramen.



3. **3D tiskárny CoreXY** jsou variantou, která je čím dál oblíbenější. Využívají konstrukci ve tvaru krychle, která obsahuje systém řemenů a kladek se dvěma krokovými motory, které extrudérem pohybují v osách X a Y. Vyhřívaná tisková podložka je upevněna na ose Z a pohybuje se nahoru a dolů. To přináší řadu výhod – například vyšší rychlost a velmi dobrou kvalitu tisku, protože se tisková podložka nepohybuje tam a zpět. V naší nabídce tiskárny CoreXY zastupují modely Prusa Core ONE a Original Prusa XL.

Komponenty FFF tiskárny

Všechny FFF tiskárny jsou si konstrukčními prvky velmi podobné. Na jednotlivé části a jejich funkci se podíváme níže.

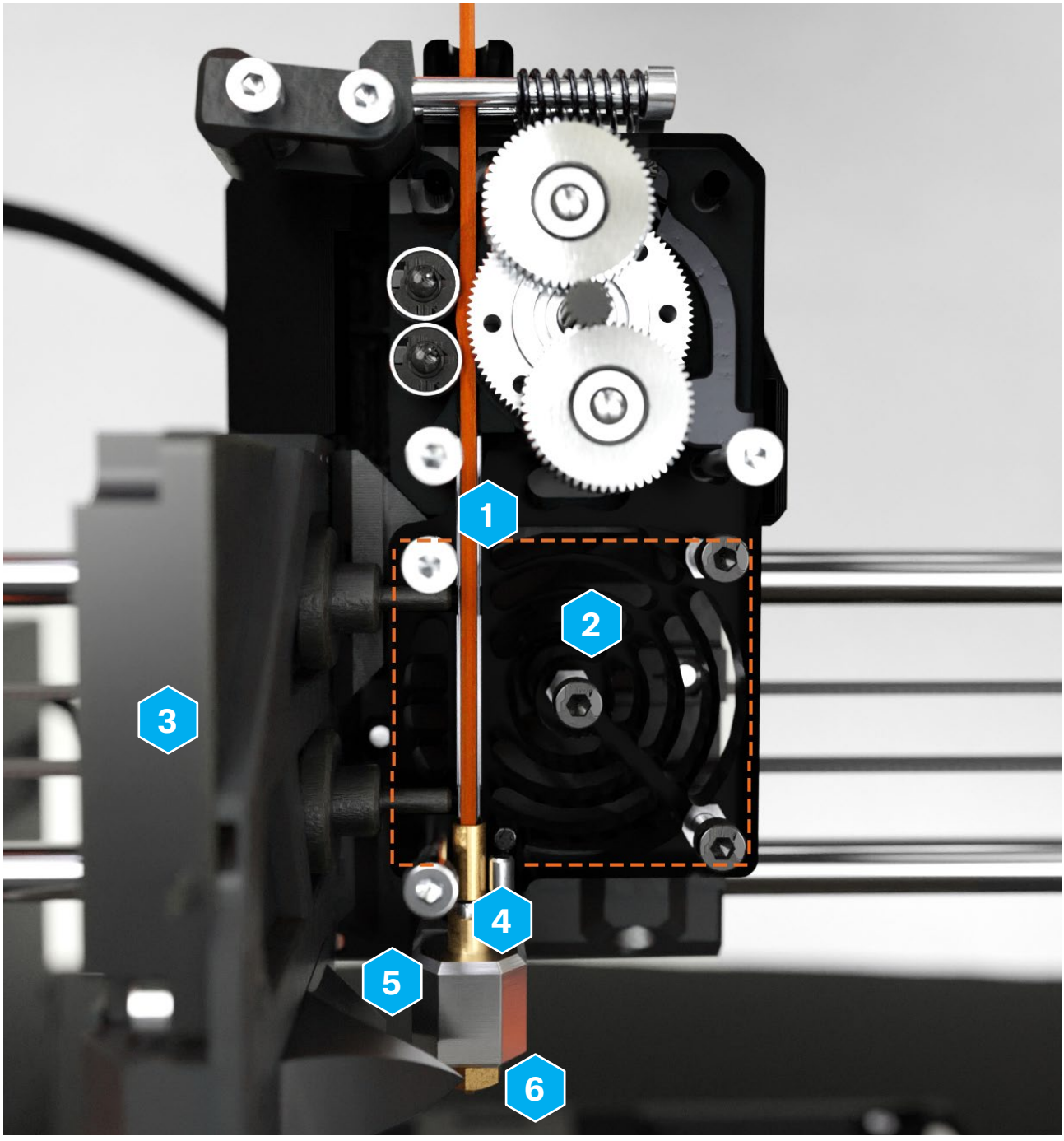
Extruder

Extruder, neboli tisková hlava, slouží k nanášení jednotlivých tiskových vrstev. Skládá se z celé řady dílů. Popíšeme si, jakou funkci plní každý z nich.

Do extruderu putuje filament teflonovou trubičkou. V té chvíli má pokojovou teplotu a je v pevném stavu. Ten dále prochází přes heat sink, neboli chladič. Má za cíl odvést teplo, které se šíří přes heat break a co nejvíce tak zmenšit oblast mezi pevným a roztaveným filamentem. Pro vyšší účinnost bývá na heat sink montován ventilátor. Heat break je ve své podstatě kus trubičky s vnějším závitem, která je v jednom místě výrazně zúžená, aby bylo docíleno co nejmenšího možného průřezu a tím pádem omezení přenosu tepla směrem nahoru, kde má být filament neroztavený. Heater block je kus materiálu, který dobře vede teplo (nejčastěji hliník). V něm je umístěné elektrické topné těleso a termistor pro zpětnou vazbu o aktuální teplotě. Na jeho úrovni je již materiál roztavený a je vytlačován přes trysku ven. Moderní extrudery jsou navíc vybaveny dalšími senzory a hardwarem s pokročilými funkcemi, které uživateli práci s tiskárnou ještě více usnadní. Například 3D tiskárny Original Prusa vybavené Nextruderem využívají technologii Loadcell, která plně automatizuje kalibraci první vrstvy a zajišťuje, že bude vždy dokonalá. Nicméně tryska je pravděpodobně jediná součást extruderu, se kterou bude uživatel interagovat přímo – můžeme ji totiž snadno vyměnit a výběrem různých průměrů trysky ovlivnit dobu a kvalitu tisku. Více informací o tryskách s různými průměry a jejich výhodách si můžete přečíst v článku na prusa.io/nozzles.

Extruder

1 Teflonová (PTFE) trubička
2 Heatsink (chladič)
3 Tiskový ventilátor
4 Heat break (izolátor)
5 Heater Block
6 Tryska



Vyhřívaná podložka
Vyhřívaná podložka je důležitou součástí každé moderní 3D tiskárny, která má tisknout ze všech dostupných materiálů. Zabraňuje efektu postupného kroucení součástek při tisku z materiálů s výraznější tepelnou roztažností.

Rám
Rám tvoří nosnou konstrukci 3D tiskárny. Jeho tuhost a přesnost zpracování má významný vliv na výslednou kvalitu tisku. Robustní a pevný rám omezuje vibrace a tím umožní rychlejší tisk bez známek snížení kvality tisku.

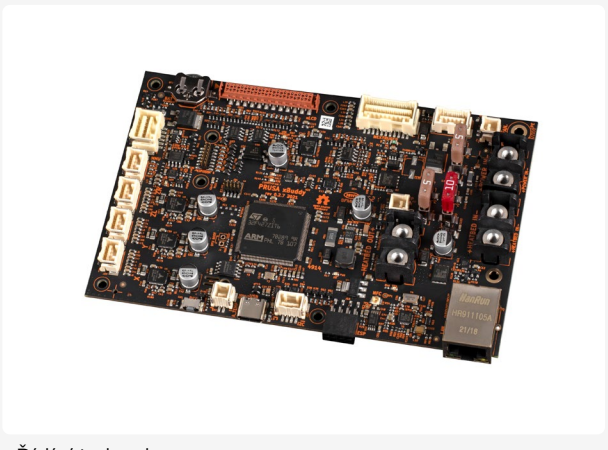
Krokové motory
Krokové motory zajišťují veškeré mechanické pohyby extruderu a tiskové podložky v 3D prostoru. Další motor zajišťuje podávání tiskového materiálu do extruderu. Výhodou krokových motorů je definovaná velikost kroku.

Řídící jednotka
Řídící jednotka se stará o chod celé tiskárny. Její primární funkcí je čtení a zpracovávání vstupního textového souboru (G-code), podle kterého se řídí pohyby jednotlivých krokových motorů, a který ovládá nahřívání podložky a trysky.

Vyhřívaná podložka

Rám

Krokové motory

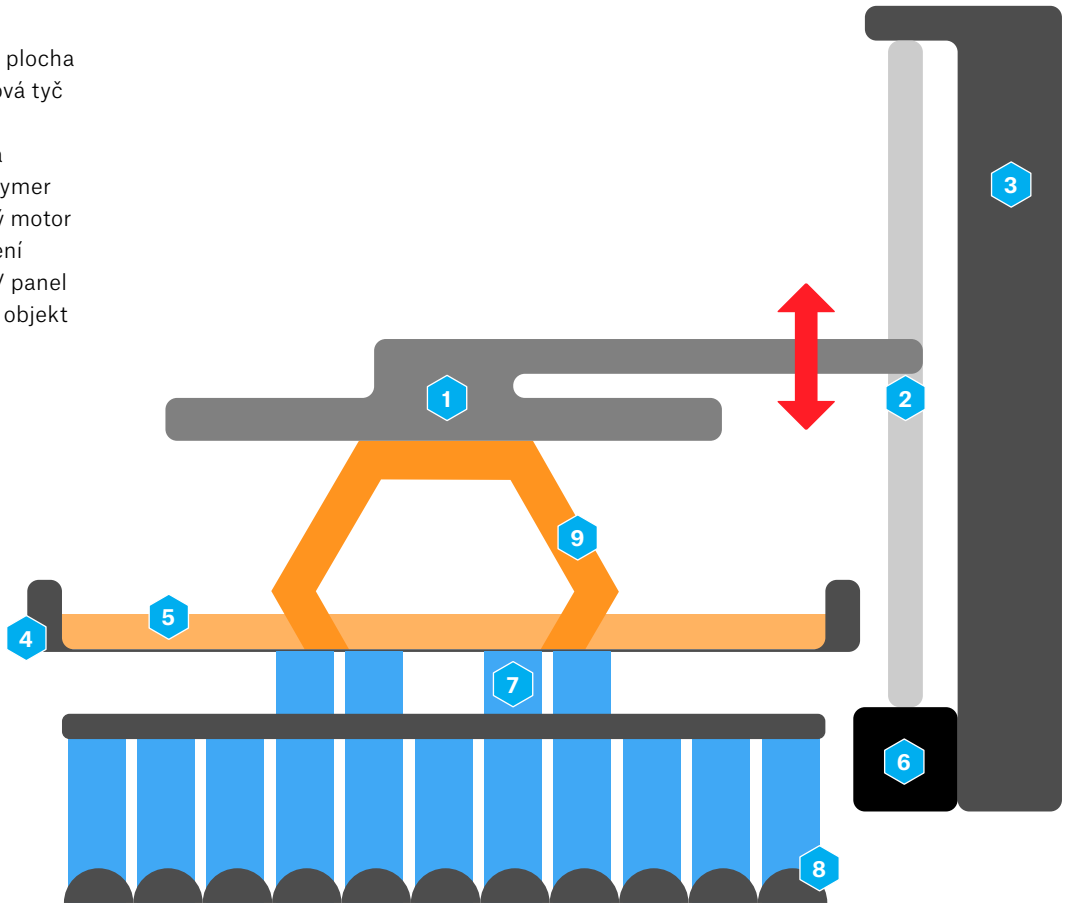

Řídící jednotka

SLA (Stereolitografie)

SLA technogie je založena na principu vytvrzování světlocitlivé pryskyřice pomocí světla (specificky UV záření). SLA 3D tiskárny mají tiskovou podložku, která se po dostatečném vytvrzení jedné vrstvy pohne o výšku vrstvy tak, aby se vytvořil prostor pro další vrstvu, která pak přilne k té předchozí. Vrstvy se tvoří tak, že nádrž s pryskyřicí má průhledné dno, po kterým je umístěn LCD panel. Na LCD panelu se zobrazí šablona tisknuté vrstvy, kterou zdroj UV záření prosvítí – tím se pryskyřice exponuje (a tímpádem vytvrzuje) pouze v požadovaném tvaru.

SLA tiskárny tak umí vytvořit neuvěřitelně detailní a hladké 3D výtisky s vrstvami pro lidské oko téměř neviditelnými. Jsou ideální pro miniatury, prototypy a jakákoliv další využití, kde je důležité zachovat i ty nejdrobnější detaily – nejen hobby ale i v mnoha průmyslových oborech a zejména v zubním lékařství.

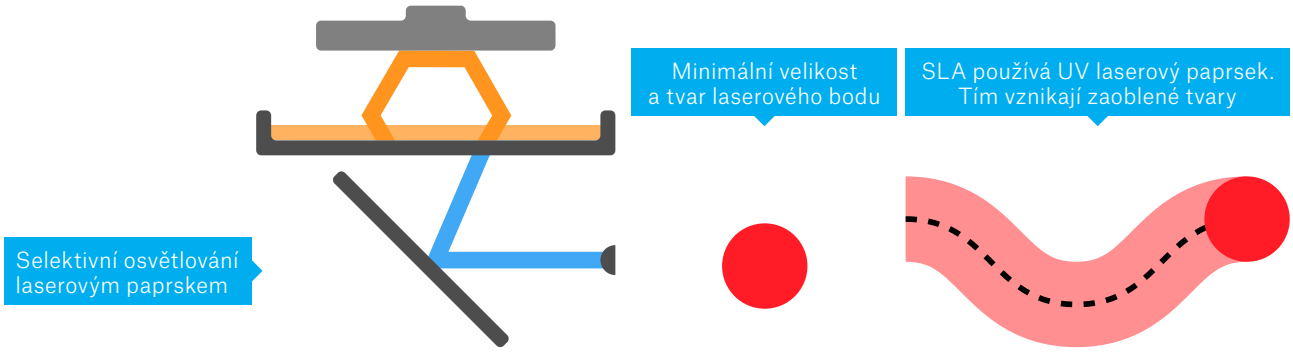
1 Tisková plocha
2 Trapézová tyč
3 Osa Z
4 Vanička
5 Fotopolymer
6 Krokový motor
7 UV záření
8 LED UV panel
9 Tištěný objekt



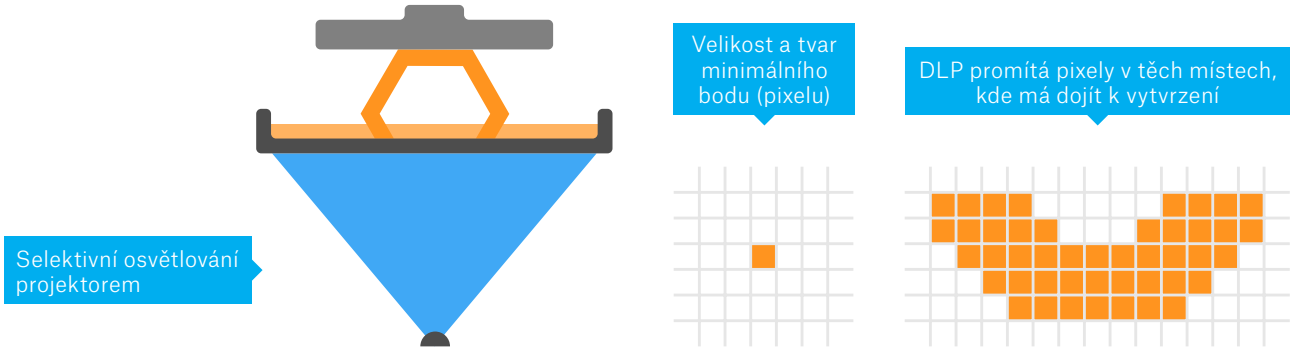
Nicméně SLA tiskárny jsou ve srovnání se svými FFF/FDM protějšky o něco složitější na obsluhu. Pryskyřice jsou, narozdíl od filamentů, kapaliny, a tak se snadno stane, že se rozlijí. Navíc je důležité, aby nepřišly do styku s kůží nebo očima. Výtisky tištěné technologií SLA bývají po odstranění z tiskárny mokré a lepkavé (vytahujete je přímo z nádrže stále naplněné tekutou pryskyřicí). Obvykle je tedy nutné výtisky umýt v izopropylalkoholu a ještě dodatečně vytvrdit pomocí UV záření. Tento zdlouhavý proces usnadní specializované zařízení. V Prusa Research jsme proto vyvinuli CW1S – „mycí a vytvrzovací zařízení" k tiskárně SL1S SPEED. CW1S předehřeje pryskyřici, umyje, vysuší a vytvrdí výtisky za pár minut s minimem úsilí.

Existují tři hlavní kategorie SLA procesu, které se liší způsobem osvitu a vytvrzováním fotopolymeru. Ačkoliv se mohou zdát velmi podobné, kvalita a doba tisku se mohou významně lišit.

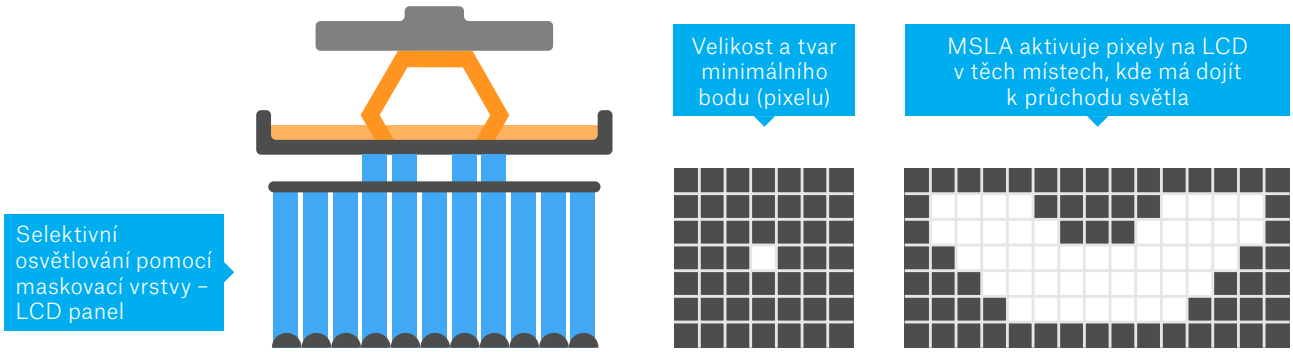
1. **SLA – Laser** – osvit pomocí UV laserového paprsku, kdy je paprsek směrován dvěmi zrcadly a postupně vykresluje tiskovou vrstvu. Doba tisku jedné vrstvy je závislá na ploše, která se v dané vrstvě vytvrzuje. Zjednodušeně řečeno: čím více objektů se tiskne, tím déle tisk trvá.



2. **DLP (Digital Light Processing) – SLA** – osvit celé tiskové vrstvy najednou pomocí digitálního projektoru. V místech osvitu dochází k vytvrzení. Výhodou této technologie je nezávislost doby tisku jedné vrstvy na počtu tištěných objektů a jejich ploše v dané vrstvě. Jeden model se bude tisknout stejně dlouho jako modely dva. Tiskový čas jedné vrstvy je fixní.



3. **MSLA (Mask Stereolithography)** – osvit pomocí UV LED a maskování celé tiskové vrstvy LCD displejem. UV světlo prostoupí jen tam, kde jsou pixely aktivované (svítí bíle) a jen tam dojde k vytvrzení pryskyřice. Protože se LCD displej skládá ze čtvercových pixelů o pevně daném rozlišení, rozlišení objektu je v osách X a Y pevně dané rozlišením LCD displeje – jediným faktorem kterým pak můžete ovlivnit vzhled výsledného výtisku je zvolená výška vrstvy. Díky vytvrzování celé vrstvy najednou je i tato technologie časově nezávislá na počtu tištěných objektů. Tiskový čas jedné vrstvy je pořád stejný. Original Prusa SL1S SPEED používá právě tuto technologii a přidává k ní speciální nakláněcí mechanismus pro vyšší spolehlivost a rychlost tisku.



Obrázky výše jsou pro přehlednost zjednodušené. U technologií DLP a MSLA pro názornost opomíjíme fakt, že se k vyhlazování hran zobrazovaného obrazce používá takzvaný antialiasing. Bez něj by se promítal obrázek se zubatými hranami. Antialiasing zjednodušeně řečeno odstraní ostrý přechod v oblasti hran díky zprůměrování barev okolních pixelů. V našem případě není hrana tvořená pouze rozhraním černého a bílého pixelu, ale vznikne postupný přechod z černého pixelu na šedý a následně na bílý.

Komponenty MSLA tiskárny

Stejně jako u FFF tiskáren existují různé druhy konstrukcí, i SLA tiskárny se dělí podle toho, jakým způsobem je docíleno selektivního vytvrzování tiskové vrstvy. V závislosti na tom se mění i některé jejich komponenty. My se detailně zaměříme na technologii MSLA, kterou používá naše tiskárna Original Prusa SL1S.

Panel UV LED diod

K vytvrzování pryskyřice v nádrži se používají vysoce výkonné UV LED. SL1S SPEED používá namísto jedné LED diody celý velký panel, díky čemuž je distribuce UV záření výrazně rovnoměrnější. To, v kombinaci s vysoce kvalitní soustavou čoček, umožňuje pracovat s extrémně krátkými expozičními časy a tím pádem tisknout výrazně rychleji.

LCD panel

V současné době je nejžádanějším typem LCD pro SLA tisk displej monochromatický. Používá se totiž pro „maskování". Co to znamená? UV LED panel během vytvrzovacího procesu osvicuje celou tiskovou plochu. Bez LCD maskovacího panelu by tedy výsledkem tisku byl kvádr o rozměrech tiskového objemu. LCD panel nám umožní si u jednotlivých pixelů určovat, kterými z nich UV záření projde (těmi vypnutými) a kterými ne (zapnutými). Proto také rozlišení displeje (počet pixelů na jeho ploše) ovlivňuje kvalitu tisku.

Ovládací displej

Tohle je další displej na tiskárně, nicméně tentokrát není přímou součástí samotného procesu tisku. Slouží pro uživatelskou obsluhu tiskárny a naleznete jej na předním panelu tiskárny.

Vanička a naklápěcí mechanismus

Vanička slouží jako zásobník tekutého tiskového materiálu (pryskyřice). Je ale specifická tím, že její dno je průhledné, aby skrz něj mohlo procházet UV světlo a naše tiskárna Original Prusa SL1S SPEED má navíc speciální mechanismus naklápění nádrže pro vyšší kvalitu i rychlost tisku. Jak to funguje? Po vytvrzení (ztuhnutí) každé vrstvy je třeba, aby přilnula ke zbytku tištěného objektu, ale má také tendenci se přilepit ke dnu nádrže. Většina 3D tiskáren k oddělení vrstvy od dna používá jednodušší pohyb směrem nahoru (vertikální), při kterém je daleko vyšší riziko poškození vrstvy nebo rovnou odlepení celého výtisku. Naklápěcí mechanismus umožňuje mnohem jemnější, „odlupovací" pohyb, takže se vrstva odděluje postupně a ve srovnání s vertikálním pohybem je také mnohem rychlejší.

Posun osy Z

K mechanickému posuvu dochází pouze ve směru osy Z. Díky maskování na LCD panelu nejsou třeba žádné další mechanické posuvy v osách X a Y.

Zakrytování

SL1S má průhledný kryt (typicky zabarvený do červena, oranžova, zelena či žluta). Omezuje přístup UV světla ze slunečního svitu směrem do tiskárny, (aby nedocházelo k nechtěnému samovolnému vytvrzování pryskyřice) a zabraňuje tomu, aby UV světlo vyzařované diodou neprocházelo směrem ven. V neposlední řadě také zamezuje šíření výparů z pryskyřice do okolí.

Filtrace vzduchu

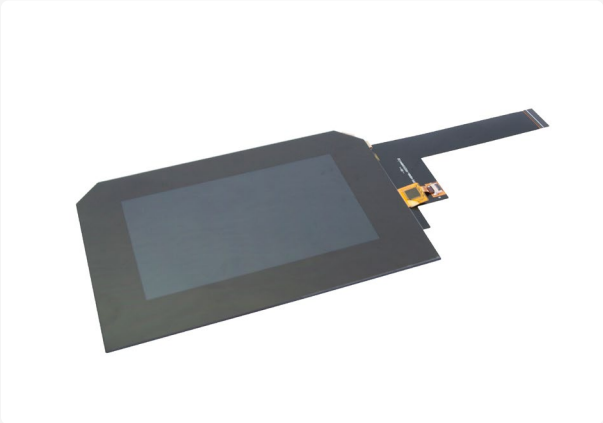
Nepříjemný zápach pryskyřice je eliminovaný filtrem vzduchu.

Masivní hliníkový rám

Pro kvalitu a spolehlivost tisku je potřeba, aby tiskárna měla pevnou a stabilní konstrukci. Pokud by rám byl měkký (např. plastový), mohlo by snadno dojít ke kroucení, deformacím a dalším potížím s tiskem.

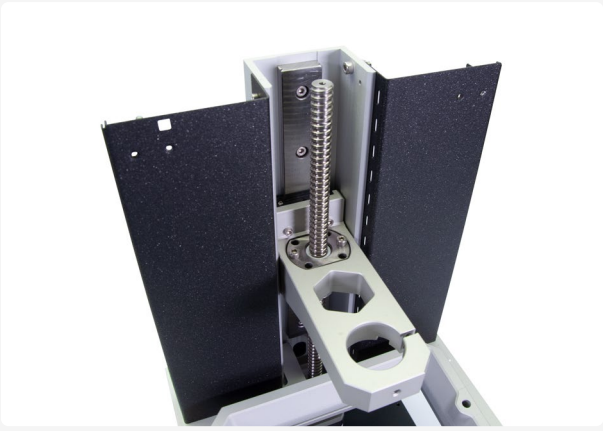
UV LED panel

LCD panel



Ovládací displej

Vanička



Posun osy Z

Zakrytování

Filtrace vzduchu

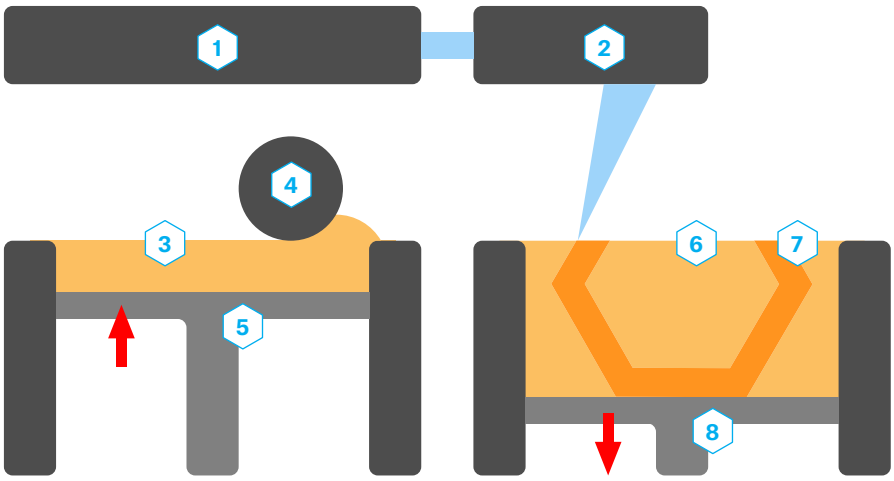
Masivní hliníkový rám

Vzato obecně jsou ceny 3D SLA tiskáren přibližně dvakrát vyšší než ceny FFF tiskáren. Nejlevnější (ty opravdu, opravdu levné) SLA tiskárny dnes najdete za pár tisíc, profesionální řešení se pohybují ve stovkách až miliónech korun.
Naše tiskárna Original Prusa SL1S SPEED stojí 49 990 Kč. A pozor! Při výběru SLA 3D tiskárny je dobré si vybrat takovou, která je kompatibilní i s pryskyřicemi třetích stran, abyste nebyli ve všem odkázáni pouze na jednoho výrobce.

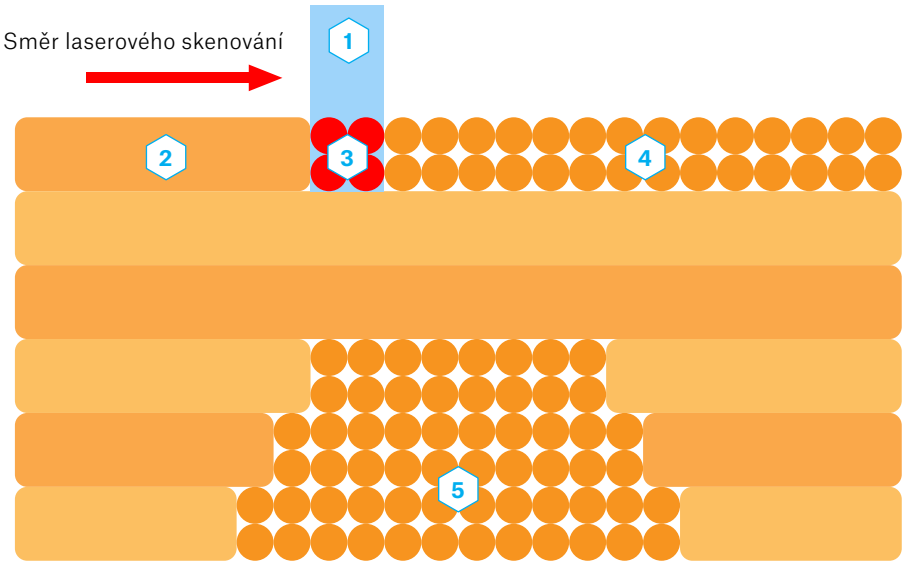
SLS / DMLS

Mezi další technologie 3D tisku patří SLS a DMLS. Během tisku nové vrstvy vždy válec nanese vrstvu jemného prášku a ten se laserem sintruje (spéká, materiál se neroztaví do tekuté podoby) v místech, která mají být součástí konečného výtisku. Tisk končí tak, že je celý model zasypaný v tiskovém materiálu. Proto je třeba při tvorbě dutého modelu vytvořit otvory umožňující vysypání nevytvrzeného materiálu. Ten je poté možné použít pro další tisk. Odpad tiskového materiálu je u této technologie minimální. Výhodou je velmi nevýrazné vrstvení materiálu.

Tyto tiskárny zatím nejsou rozšířené mezi širokou veřejností tak, jako je tomu například u FFF tiskáren. Jejich využití je zejména v průmyslu a od toho se odvíjí i jejich cena, která začíná od 150 000 Kč.



1 Laser
2 Systém skenování
3 Zásobník s práškem
4 Váleček
5 Systém podávání prášku
6 Práškové lůžko
7 Tištěný objekt
8 Pohyblivé dno



1 Laserový paprsek
2 Sintrované práškové částice
3 Sintrování laserem
4 Předem připravené práškové lůžko
5 Nesintrovaný materiál v předešlých vrstvách

VÝBĚR 3D TISKÁRNY

Pokud rozmýšlíte koupi 3D tiskárny, je vždy důležité myslet v prvé řadě na vaše potřeby a na zamýšlený účel. Možná jste čekali, že zde uvidíte jeden seznam s tiskárnami seřazenými od nejlepší k nejhorší. Takový seznam ale nelze sestavit. Poskytneme vám pouze několik otázek, které byste si měli před koupí položit a podle toho se rozhodovat.

Zakoupíte si tu nejdražší tiskárnu na trhu? Vyberete si tu nejlevnější stavebnici z čínského obchodu?

Je dobré mít na vědomí, že do ceny se promítá jak kvalita provedení a očekávaná životnost tiskárny, tak množství funkcí zpříjemňujících její používání. Můžete narazit i na extrémně levné tiskárny, ke kterým ale také dostanete dlouhý seznam nezbytných uživatelských úprav, které je doporučeno provést ještě předtím, než stroj vůbec začnete používat. Pokud tedy hledáte něco, co bude fungovat hned po vybalení z krabice, možná budete muset trochu upravit svá očekávání.

Jakou má tiskárna uživatelskou podporu? Existuje okolo tiskárny aktivní komunita, která mi dokáže pomoci s případnými problémy? Je tiskárna Open Source? Lze tiskárnu upgradovat?

Podpora komunity hraje klíčovou roli při výběru 3D tiskárny. Stejně jako u chytrých telefonů, kde aktivní komunita prodlužuje životnost zařízení aktualizacemi, open-source 3D tiskárny těží z nadšených uživatelů, kteří vyvíjejí vylepšení a náhradní díly a tím zvyšují jejich životnost.

Jaké jsou provozní náklady?

Někteří výrobci tiskáren neumožňují použití jiných tiskových materiálů než jejich vlastních a čipovaných. To významně prodražuje provoz a navíc je množina dostupných materiálů omezená.

Záleží vám i na rychlosti tisku?

Při výběru 3D tiskárny se nenechte zmást čísly o rychlostech a podobnými údaji. I když vypadají působivě, většina z nich je jen teoretická. Tisková hlava ve skutečnosti zpomaluje, otáčí se a různě se pohybuje, takže proklamovaných desítek tisíc mm/s nedosáhne. Omezením jsou i tepelné vlastnosti materiálu a tvar modelu. Při extrémní rychlosti tisku vrstvy nemusí držet a tisk selže. Místo čísel rychlosti se raději zaměřte na spolehlivost a komunitu kolem tiskárny.

Jak velkou tiskovou plochu potřebujete?

Ač se může na první pohled zdát, že je lepší mít co největší plochu na tisk, většinou jde spíše o plýtvání financemi. Prakticky jen z PLA je možné tisknout objekty větší než 20 cm v jedné ose. Tepelná roztažnost u větších modelů způsobuje nadměrné kroucení a znemožňuje tisk. Nezapomínejte, že modely je možné vytisknout na více dílů a následně slepit.

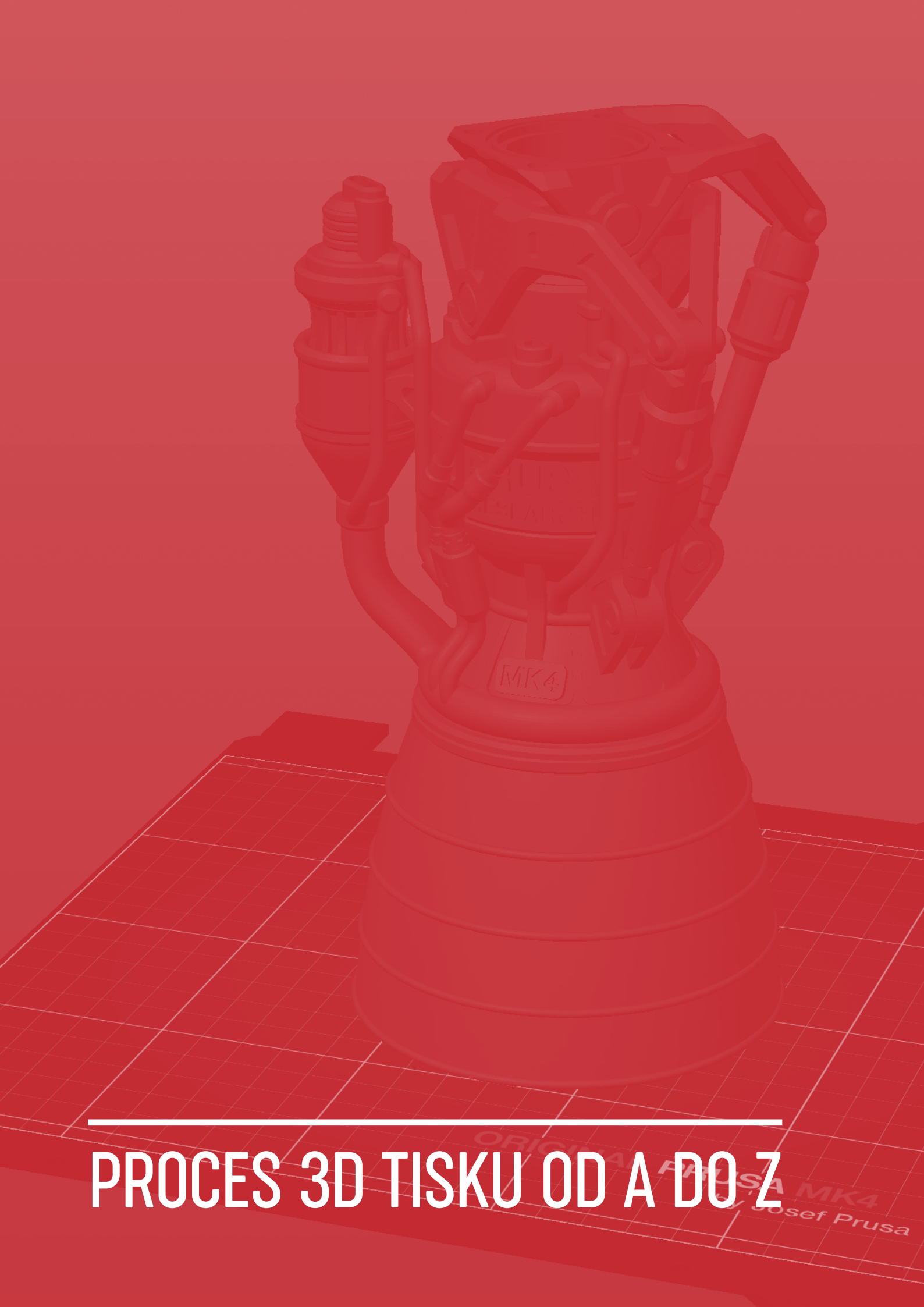
Jak detailní a kvalitní tisk požadujete?

Kvalitu a detail tisku lze ovlivnit u FFF tisku tryskou, použitým materiálem, rychlostmi a teplotami. Avšak je pravdou, že oproti technologiím SLA či SLS, je kvalita a detailnost u FFF tisku nižší.

Vystačíte si s jedno-materiálovým a jednobarevným tiskem, anebo potřebujete tisk více-materiálový či dokonce plnobarevný?

Více o barevném tisku se dozvíte v pozdější kapitole.

Téma výběru ideální tiskárny jsme pro vás podrobněji rozvedli v článku na prusa3d.com. Najdete jej v sekci 3D tiskárny – > „Jak vybrat 3D tiskárnu?“



PROCES 3D TISKU OD A DO Z

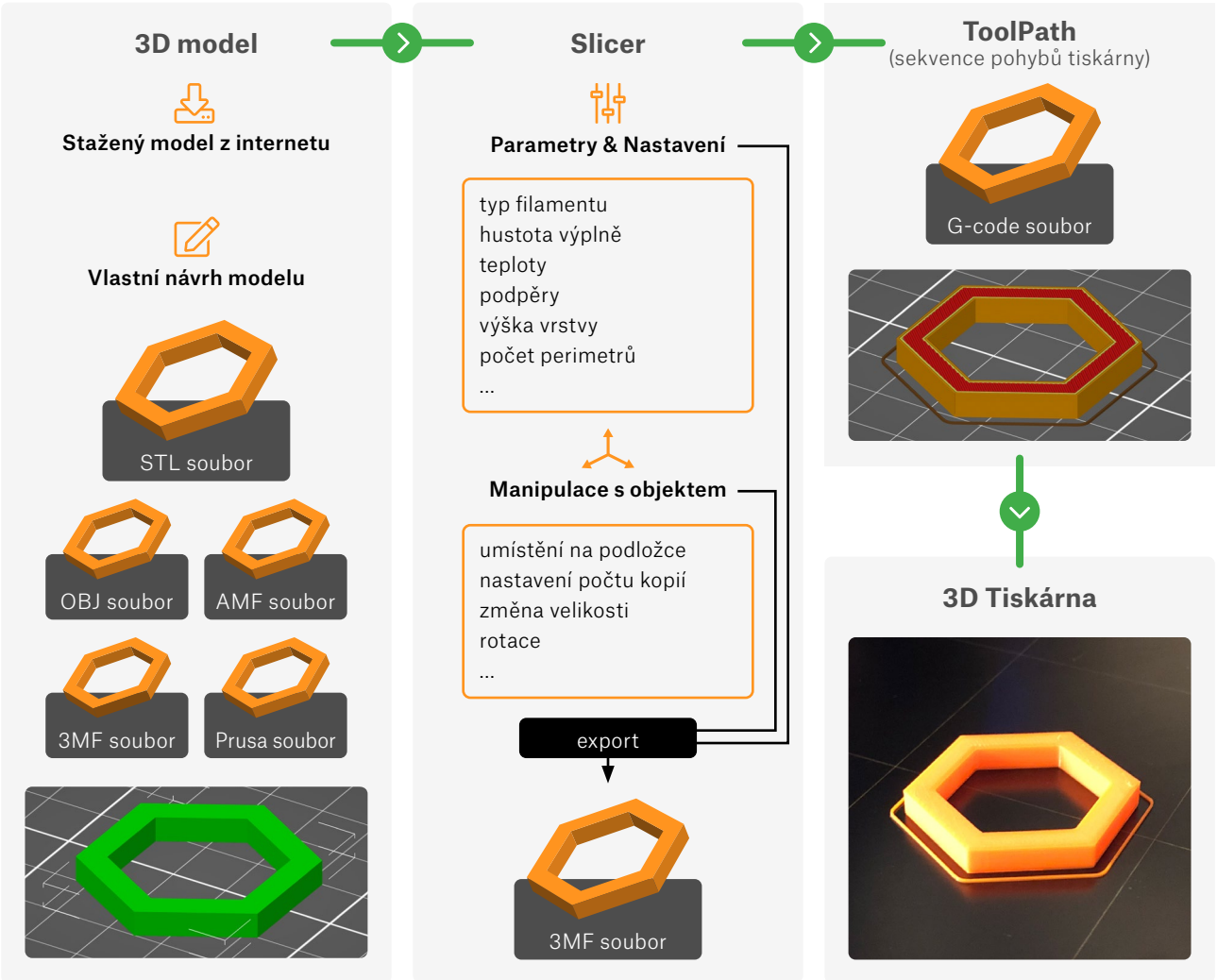
VÍCE INFORMACÍ NAJDETE V KURZECH NA PRUSA ACADEMY!

Následující kapitola má sice několik stránek, ale pořád se jedná jen o stručné shrnutí celého tématu. Pokud se chcete pustit do tvorby vlastních modelů, doporučujeme kurz „Principy modelování 3D tištěných dílů“, který najdete v sekci Akademie na prusa3d.com

Proces 3D tisku se skládá ze tří hlavních, na sebe navazujících, kroků. Nejprve se třeba si obstarat samotný model, který budeme tisknout. Poté je nutné připravit jej pro tisk. A až posledním krokem je samotný tisk. Pojďme si nejdříve popsat postup jako celek, a až poté se podíváme na jednotlivé kroky detailněji.

Prvním krokem je získání požadovaného 3D modelu, který je typicky ve formátu STL. Takový formát je však pro tiskárnu nesrozumitelný a nelze jej tedy rovnou tisknout. **STL** soubor **je vstupem pro** program zvaný obecně **slicer** (PrusaSlicer, Simplify3D, Cura). Dalším vstupem do sliceru jsou nastavení a parametry, které určují kvalitu tisku, teploty, chlazení a další. **Výstupem sliceru je soubor ve formátu G-code**. Slicer provede převod z formátu STL do formátu G-code, který spočívá v rozřezání modelu na tenké vrstvy a vytvoření cest pohybů extruderu v jednotlivých vrstvách. Takto vygenerovaný soubor je již specifický pro konkrétní typ tiskárny. To je důvodem, proč jsou 3D modely šířeny nejčastěji ve formátu STL a je již na každém uživateli, aby si model tzv. naslicoval podle svých potřeb v závislosti na použitém materiálu a tiskárně.

Diagram znázorňuje, jakými kroky prochází 3D model od jeho vzniku až po vytištění.



Získání 3D modelu

3D model lze získat v zásadě třemi způsoby:

1. **Stažení hotového modelu z internetu**
2. **Vymodelování vlastního modelu**
3. **3D skenování existující věci**

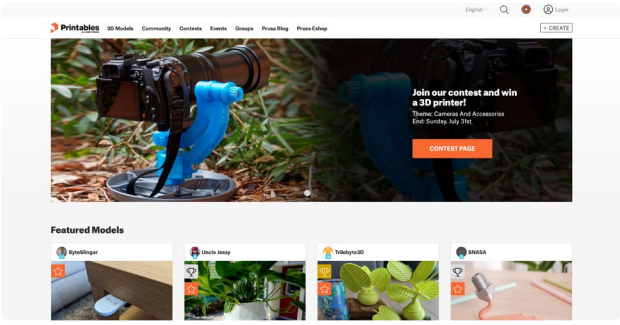
Webové portály s 3D modely

Nejsnazší způsob, jak začít s 3D tiskem, je najít si volně dostupné 3D modely na internetu ve formátu .stl nebo .obj. Databází s 3D modely existuje celá řada a naleznete v nich nepřeberné množství hotových modelů od tvůrců z celého světa. Mezi nejoblíbenější patří:

Printables

modely placené i zdarma

www.printables.com

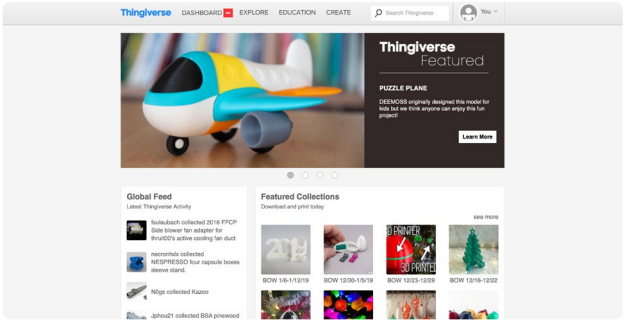


Online databáze modelů pro všechny majitele 3D tiskáren, kterou neustále rozvíjíme. Najdete tu spoustu příjemných funkcí – komunitní kanál, přímý 3D náhled modelů, uživatelské trofeje, možnost získat i skutečné odměny a komunitní soutěže. Jsme si celkem jistí, že Printables pokryje všechny vaše potřeby v oblasti 3D tisku! :)

Thingiverse

Free models

www.thingiverse.com

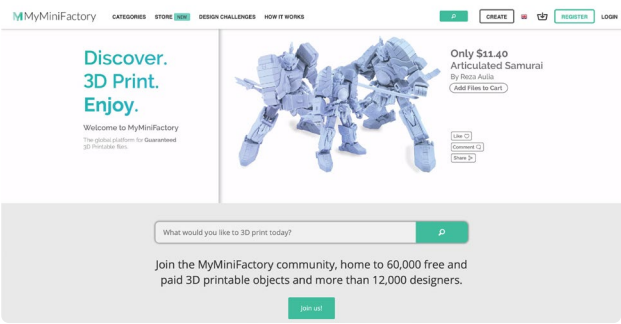


Populární online knihovna s rozsáhlou sbírkou tisknutelných modelů rozdělených do kategorií. Najdete tu například Hobby, Vzdělávání, Hračky a hry a mnoho dalších. Databáze dostupných modelů roste prakticky každý den.

MyMiniFactory

modely placené i zdarma

www.myminifactory.com

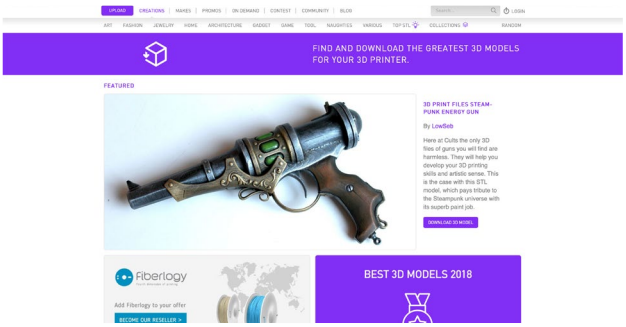


Další oblíbená alternativa. Najdete zde 3D modely pro tisk od profesionálních designérů. Všechny modely jsou před zveřejněním testovány, takže si můžete být jisti, že získáváte kvalitní STL. Cena placených modelů se obvykle pohybuje mezi 4 a 40 USD (tj. cca 100–1 000 Kč).

Cults

modely placené i zdarma

www.cults3d.com



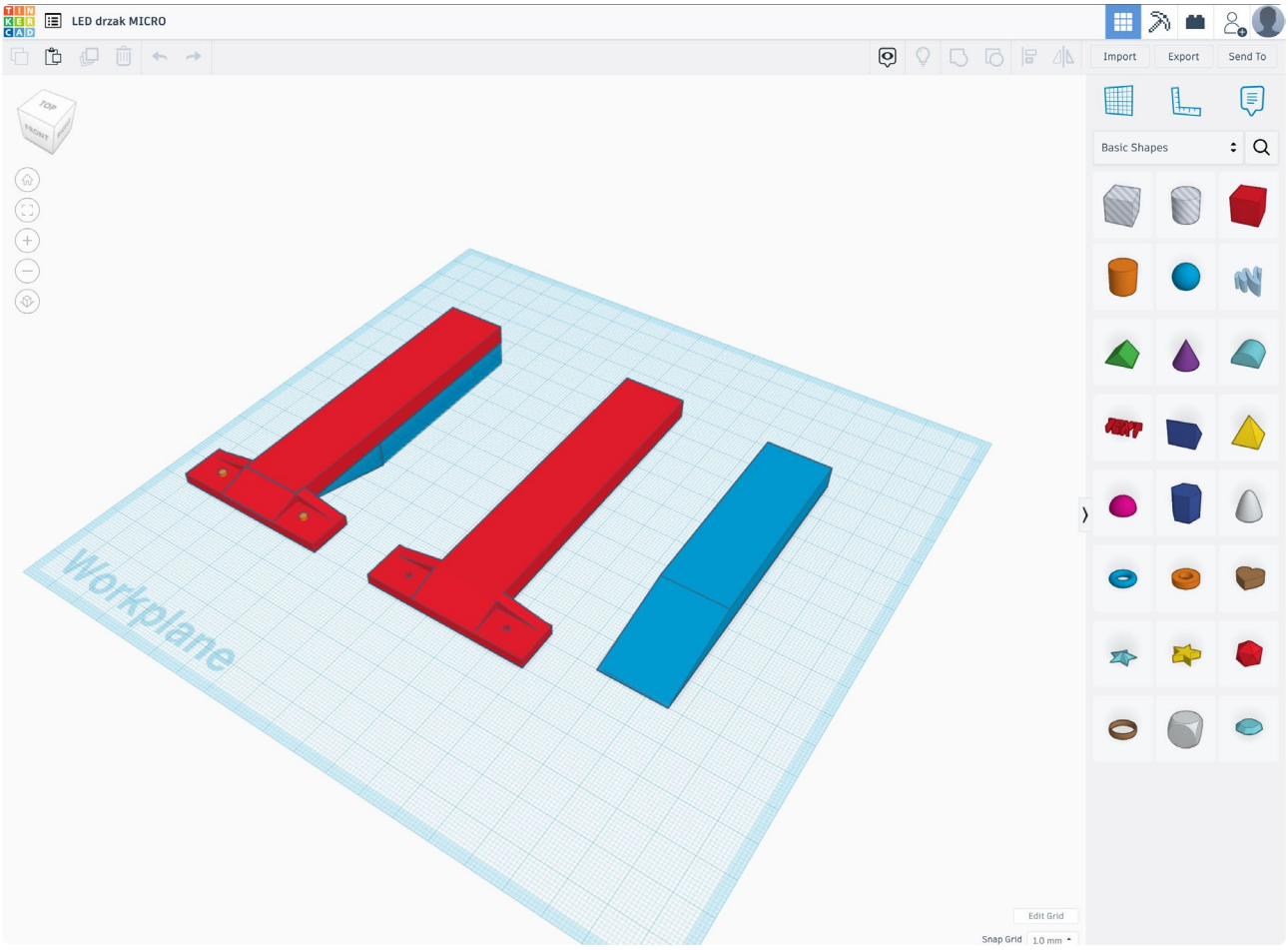
Tržiště se soubory 3D modelů, kde mohou tvůrci své STL soubory sdílet zdarma nebo je prodávat. Zajímavostí oproti ostatními stránkám jsou kolekce založené na na produktech populárních značek jako jsou Lego, IKEA nebo GoPro.

Nástroje pro 3D modelování

Paleta nástrojů pro 3D modelování je velmi široká a stále se rozšiřuje. Od jednoduchých webových aplikací, jako je například Tinkercad, přes parametrické modelování pomocí zdrojového kódu v OpenSCAD, až po profesionální nástroje, jako je například oblíbený Autodesk Fusion. Všechny tyto aplikace umožňují exportovat vytvořený model do souboru STL.

Tinkercad

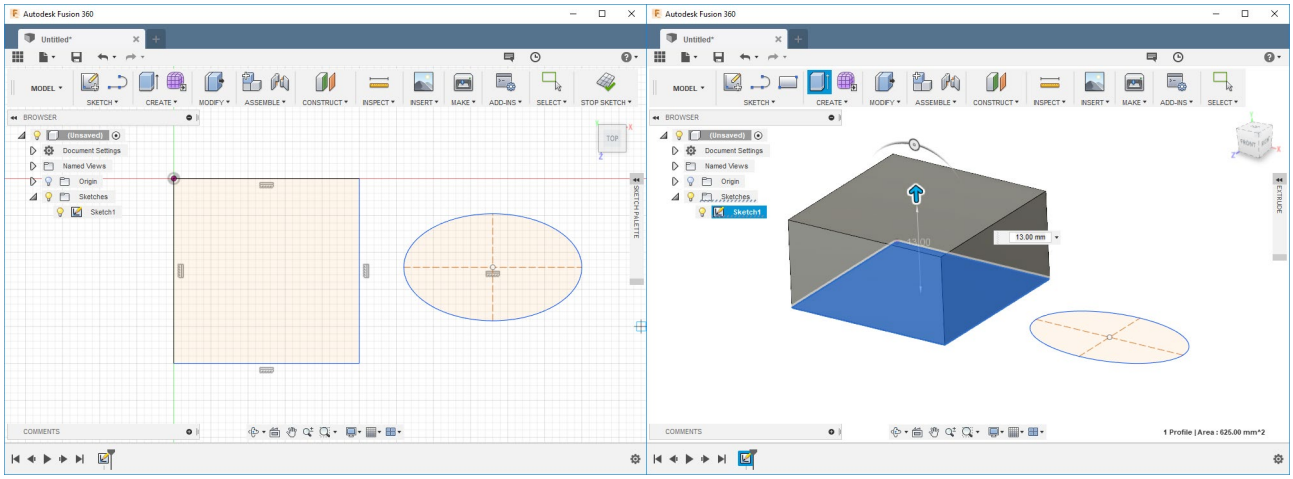
Tinkercad je vhodný pro začátky s modelováním. Nástroj je po registraci zdarma, jeho ovládání je intuitivní a naleznete k němu celou řadu návodů a výukových videí. Základními stavebními bloky jsou trojrozměrné tvary, které snadno myší přetáhneme z knihovny po pravé straně obrazovky na pracovní plochu. Tam je dále posouváme, měníme jejich rozměry, otáčíme a aplikujeme operace průniku či rozdílu. Užitečnou funkcí je import a modifikace STL souboru.
Aplikaci naleznete na www.tinkercad.com.



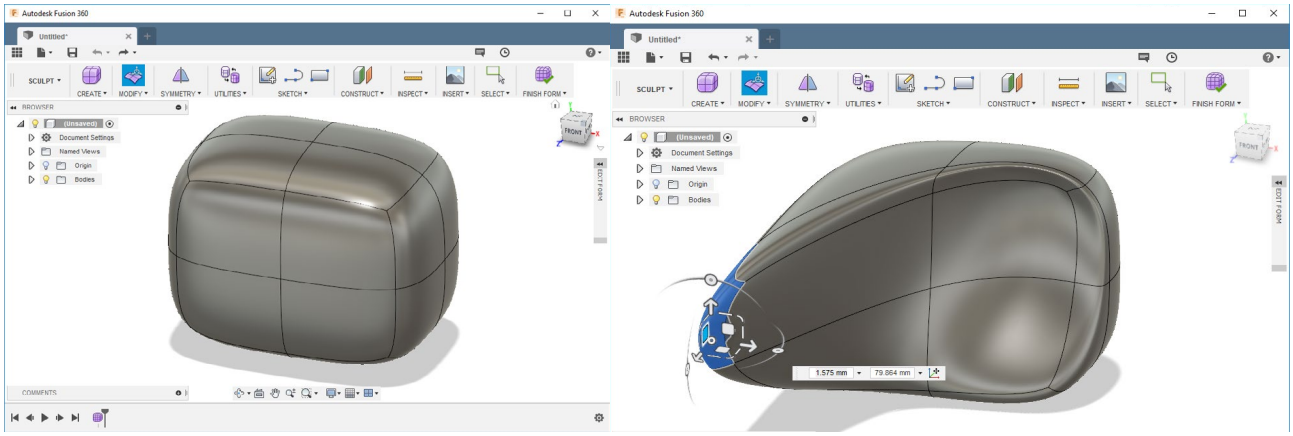
Autodesk Fusion

Pokud potřebujete vytvářet komplexnější modely, či sestavy z více dílů pasujících do sebe, pak je na místě zvolit některý z profesionálních modelovacích nástrojů. Fusion umožňuje pracovat nejen v režimu počítačem podporovaného navrhování (CAD), ale nabídne také obrábění (CAM), analýzy pevnosti či vizualizace. Kromě tradičního prostředí pro parametrické modelování nalezneme ve Fusionu ještě další užitečné prostředí pro volnoplošné modelování. Na prusa3d.com najdete v Prusa Academy celý rozsáhlý kurz modelování ve Fusion, takže tady se na tyto dvě metody podíváme jen stručně. O co tedy jde?

Parametrické modelování je běžný postup tvorby konstrukčních modelů. Nejprve se na zvolené rovině vytvoří 2D náčrt. K tomu poslouží primitivní prvky (čára, čtverec, obdélník, bod a další).



Následně se provede takzvané vytažení náčrtu do prostoru, čímž vznikne objemové těleso. Představme si situaci, kdy potřebujeme vymodelovat psa. Vytvoření takového modelu klasickým parametrickým modelováním by bylo velmi složité až skoro nemožné. Proto existuje možnost modelovat takzvaně volně. Lze si to představit jako tvarování plastelíny (primitiva), ale v počítačovém programu. Primitivy jsou v tomto případě rovnou objemová tělesa (krychle, koule, válec, toroid a další). Tyto objekty je možné volně vytahovat, protahovat, tvarovat. Více napoví ukázka.

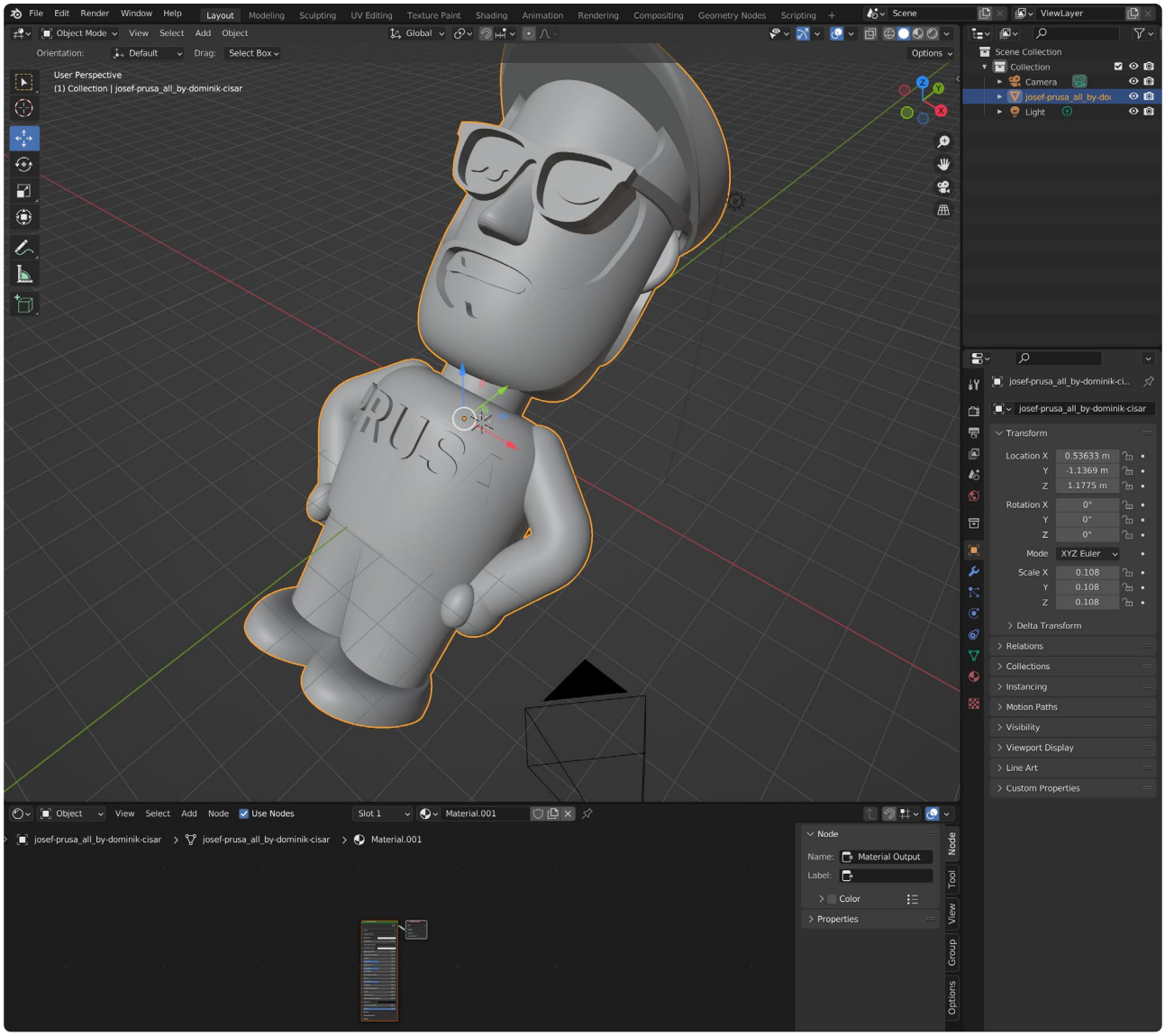


LÉPE TO ZVLÁDNETE S KURZEM NA PRUSA ACADEMY!

Pokud vás možnost tvorby vlastních modelů v Autodesk Fusion opravdu zaujala, určitě se podívejte na kurz 3D modelování ve Fusion, který najdete na prusa3d.com, v sekci Akademie.

Blender

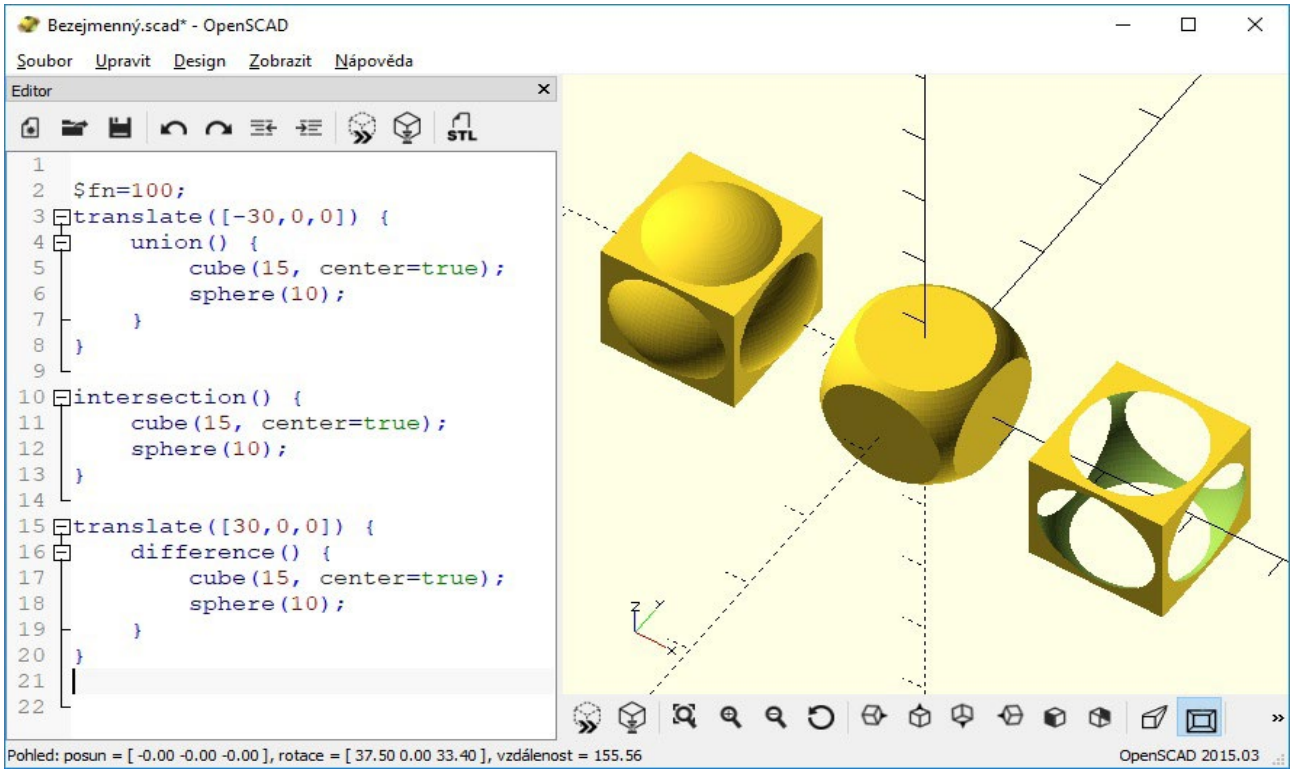
Blender je celkem bezkonkurenčně nejmocnější a funkčně nejvybavenější 3D modelovací nástroj pro práci s objekty v podobě 3D meshe. Je vyvíjený pod open source licencí pro všechny operační systémy a je zdarma. Pro začátečníka je ale vzhledem k jeho komplexnosti velmi složitý až chaotický. Své uživatele si našel zejména u lidí umělecky založených, kteří se nechtějí omezovat technickým přístupem, ale naopak oceňují volné sochání a modelování v prostoru, práci s texturami a tvorbu animací. Blender je zaměřený především na práci s modely v podobě 3D meshe a parametrické modelování podporuje v omezenější formě.



OpenSCAD

Aplikace OpenSCAD je open source projekt, který je k dispozici zdarma na www.openscad.org. Uživatelské rozhraní je členěno na dvě části. V levé pomocí zdrojového kódu definujete objekty a v pravé části vidíte vyrenderovaný náhled. Pracuje se v zásadě jen s několika primitivy (kvádr, válec, koule, jehlan,...) a základními booleovskými operacemi (sjednocení, průnik, rozdíl). To správné scriptování přichází ve chvíli, kdy použijeme cykly for a while, podmínku if, logické operátory a mnoho dalších. Pokud je vám programování blízké, jistě si tento nástroj pro tvorbu jednodušších parametrických modelů oblíbíte..

Návod jak s modelováním v OpenSCAD začít si můžete přečíst v článku na: prusa.io/openscad.



Další modelovací nástroje, které můžete vyzkoušet:

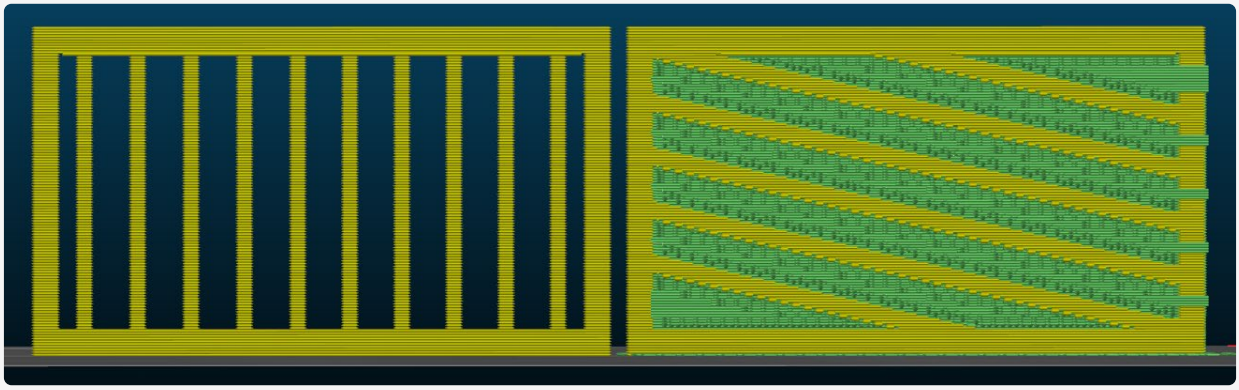
Microsoft 3D Builder
Meshmixer
Rhinoceros 3D
FreeCAD
Autodesk Inventor
SolidWorks
Autodesk AutoCAD
SketchUp

Co je dobré mít na paměti během návrhu a modelování?

1. Minimalizujte podpěry. Vhodným návrhem a modelováním můžete ovlivnit množství a nutnost podpěrného materiálu. Omezením podpěr ušetříte jak materiál, tak tiskový čas a v některých případech dosáhnete lepšího povrchu. Pamatujte na to, že 3D tiskárna nemůže tisknout „do vzduchu".

Pro demonstraci si vezměme příklad, kdy máme vytvořit jednoduchý model plotového dílce bez bližší specifikace o jeho výplni. Níže jsou dva příklady možné realizace. Uvažujeme omezující podmínku tisku pouze na výšku. Nejlepším možným řešením je orientovat tento model na plocho.

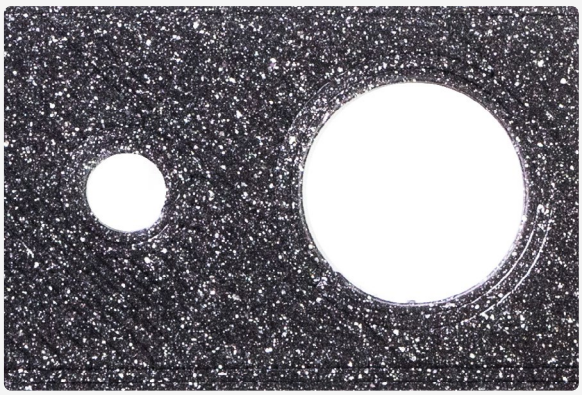
Vizualizace modelu ve sliceru – zelená barva značí podpůrný materiál, žlutá samotný model.



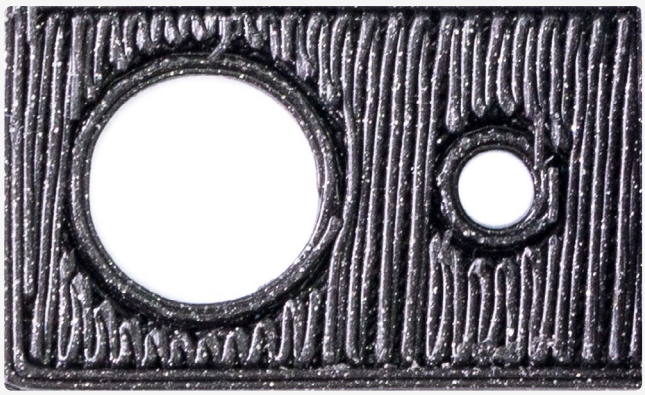
Tisk modelu je možný bez podpěr.

Podpěry jsou nezbytné pro tisk tohoto modelu. Jejich následné odstranění bude pracné a hrozí poškození samotného modelu.

2. Rozmyslete si, jaká bude **orientace modelu na podložce** – plochy umístěné na podpěrách nebudou tak hladké a rovné jako plochy umístěné na podložce.



Povrch umístěný na tiskové podložce. Je dokonale rovný a hladký.



Povrch umístěný na podpěrách. Povrch je nekonzistentní a hrubý. Jedná se o ukázkový nejhorší možný případ. Plochy s menším úhlem převisu jsou i s podpěrami mnohem hladší.

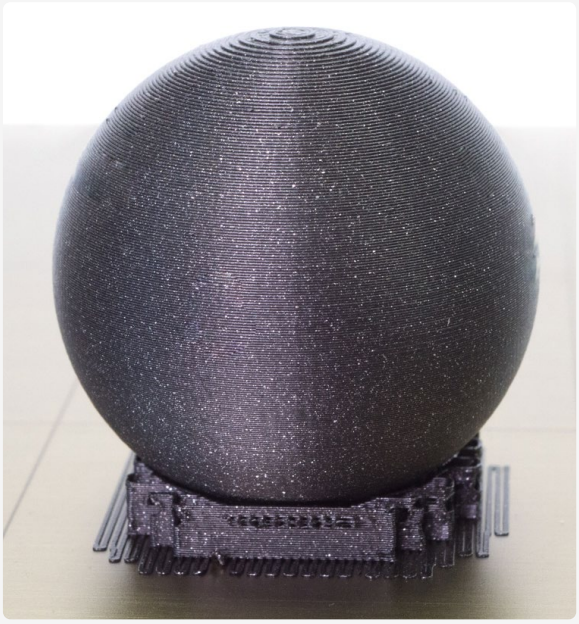
I TADY VÁM MŮŽE POMOCT KURZ NA PRUSA ACADEMY!

Asi vás nepřekvapí, že informací, postupů, tipů a triků pro 3D modelování je daleko víc, než se nám vejde do této kapitoly. Pokud se tedy chcete problematice tvorby vlastních modelů věnovat podrobněji, doporučujeme kurz „Principy modelování 3D tištěných dílů" v sekci Akademie na prusa3d.com.

3. Výtisk má **menší pevnost ve směru rovnoběžném s vrstvami**, než kolmo na vrstvy. Berte tento fakt v potaz u dílů, u kterých očekáváte pevnost.

4. Zvažte **rozdělení modelu na více částí**, a ty si na podložce natočte nejvhodnějším způsobem. Příkladem může být obyčejná koule. Vytisknout ji jako jeden kus je náročné, protože má velmi malou styčnou plochu s podložkou. Samozřejmě je možné přidat podpěry, ale povrch koule zespodu nebude ideálně hladký (povrch je vidět na obrázku vpravo). Možným řešením je rozdělení koule na dvě polokoule a jejich následné slepení.

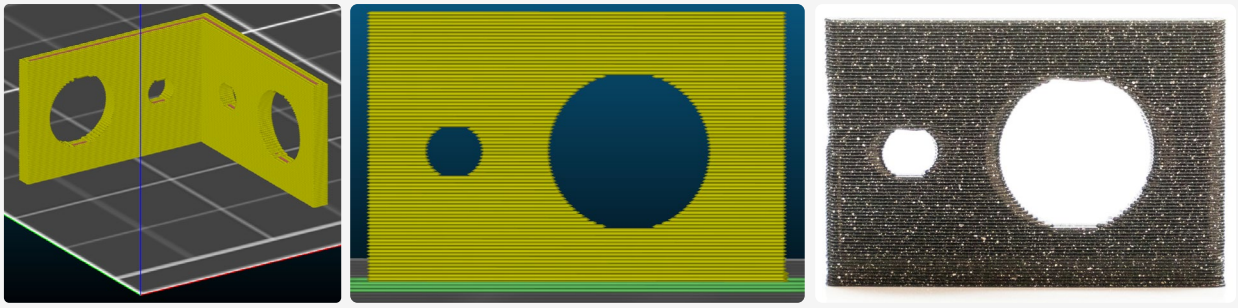
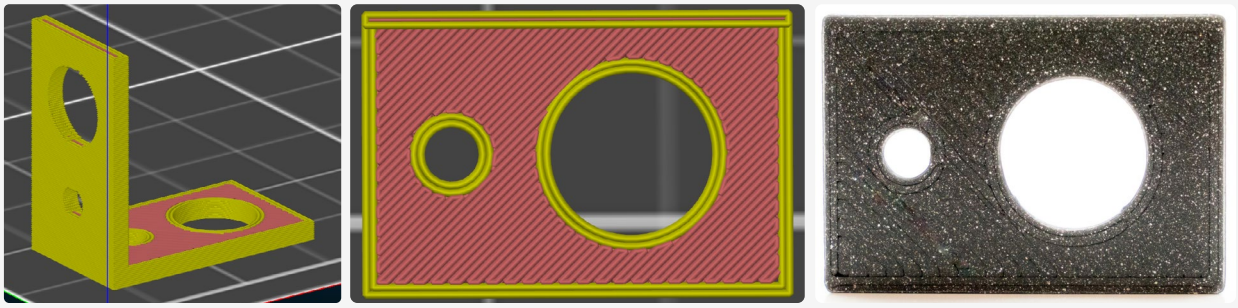
Tisk s podpěrami jako jeden kus. Na spodní části koule v místě podpěr jsou patrné nerovnosti.



Tisk dvou polokoulí bez podpěr a jejich následné slepení.

5. Při modelování částí, které do sebe mají zapadat je třeba **kalkulovat s tolerancí**. Díly s nulovou tolerancí do sebe nebude možné vsadit. Se správnou hodnotou tolerance je třeba experimentovat. Liší se zejména podle velikosti modelu, směru vrstev do sebe zapadajících dílů, kalibrací, nastavením vaší tiskárny a řadou dalších aspektů. Postupem času získáte potřebný odhad. Tiskárna má sloužit k prototypování, proto nezoufejte, pokud toleranci neodhadnete na první pokus. Model upravte a zkuste to znovu.
Pro představu: pokud chceme, aby do vytištěné trubky vnitřního průměru 10 mm bylo možné volně vložit jinou trubku, tak by měla by mít venkovní průměr přibližně o 0,15 mm menší.

6. Kulatý otvor tištěný ve směru rovnoběžném s podložkou nebude dokonale kulatý. Při orientaci otvoru kolmo k tiskové podložce bude otvor o poznání lepší.

	Náhled ve sliceru	Reálný výtisk
Otvor tištěný ve směru rovnoběžném s podložkou		
Otvor tištěný ve směru kolmém na podložku		

7. Šířka jednoho perimetru (s nejčastěji používanou tryskou 0,4 mm) je cca 0,45 mm. To ovlivňuje možné šířky stěn modelu a plyne z toho následující:

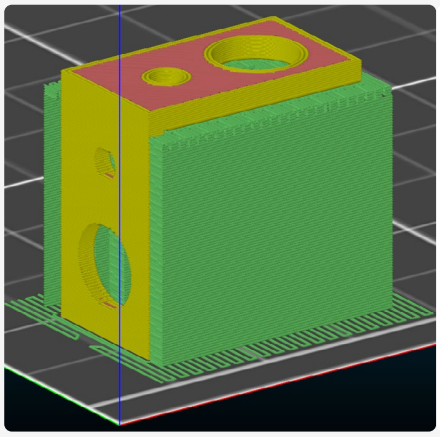
Šířka stěny modelu	Je možné vytisknout?
méně než šířka jednoho perimetru	✗
jeden perimetr	✓
více než šířka jednoho perimetru a méně než dvojnásobek šířky perimetru	✗
více než dvojnásobek šířky perimetru	✓

Příklady možných orientací modelu na tiskové podložce a jejich dopady na výtisk

Jako ukázkový model si vezmeme jednoduchý úhelník se dvěma dírami na každém rameni. U každé možné orientace si uvedeme výhody a nevýhody. Stejný model s jinou orientací vůči tiskové ploše má odlišné vlastnosti z pohledu pevnosti, odlišné doby tisku a různou spotřebu materiálu.

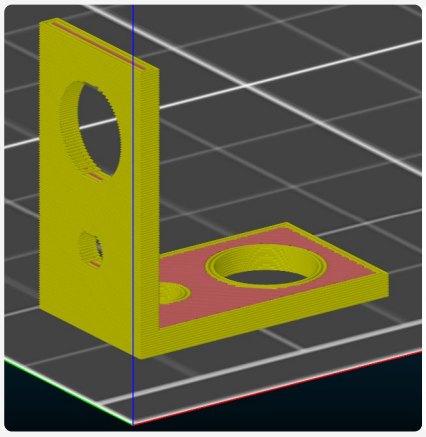
Náhled ve sliceru | **Reálný výtisk**

- ⊕ Rameno úhelníku tisknuté rovnoběžně s tiskovou podložkou bude mít hezky kulaté otvory.
- ⊖ Zbytečně velké množství odpadního materiálu v podobě podpěr.
- ⊖ Pevnost úhelníku v místě pravého úhlu bude malá.
- ⊖ Rameno tisknuté kolmo na podložku bude náchylné na zlomení ve směru tiskových vrstev.
- ⊖ Rameno úhelníku tisknuté kolmo na podložku bude mít mírně oválné otvory.
- ⊖ Povrch tisku na podpěrách nemusí být hezký.



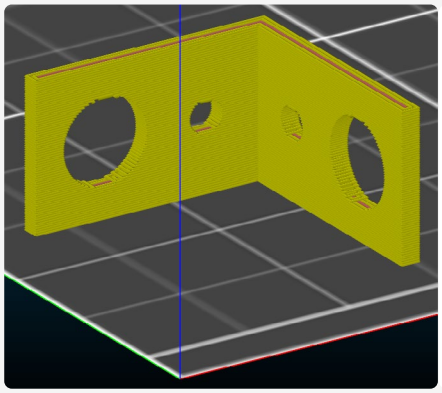
Nejedná se o optimální orientaci modelu.

- ⊕ Rameno úhelníku tisknuté rovnoběžně s tiskovou podložkou bude mít hezky kulaté otvory.
- ⊕ Žádné podpěry.
- ⊖ Pevnost úhelníku v místě pravého úhlu bude malá
- ⊖ Rameno tisknuté kolmo na podložku bude náchylné na zlomení ve směru tiskových vrstev.
- ⊖ Rameno úhelníku tisknuté kolmo na podložku bude mít mírně oválné otvory.



Nejedná se o optimální orientaci modelu.

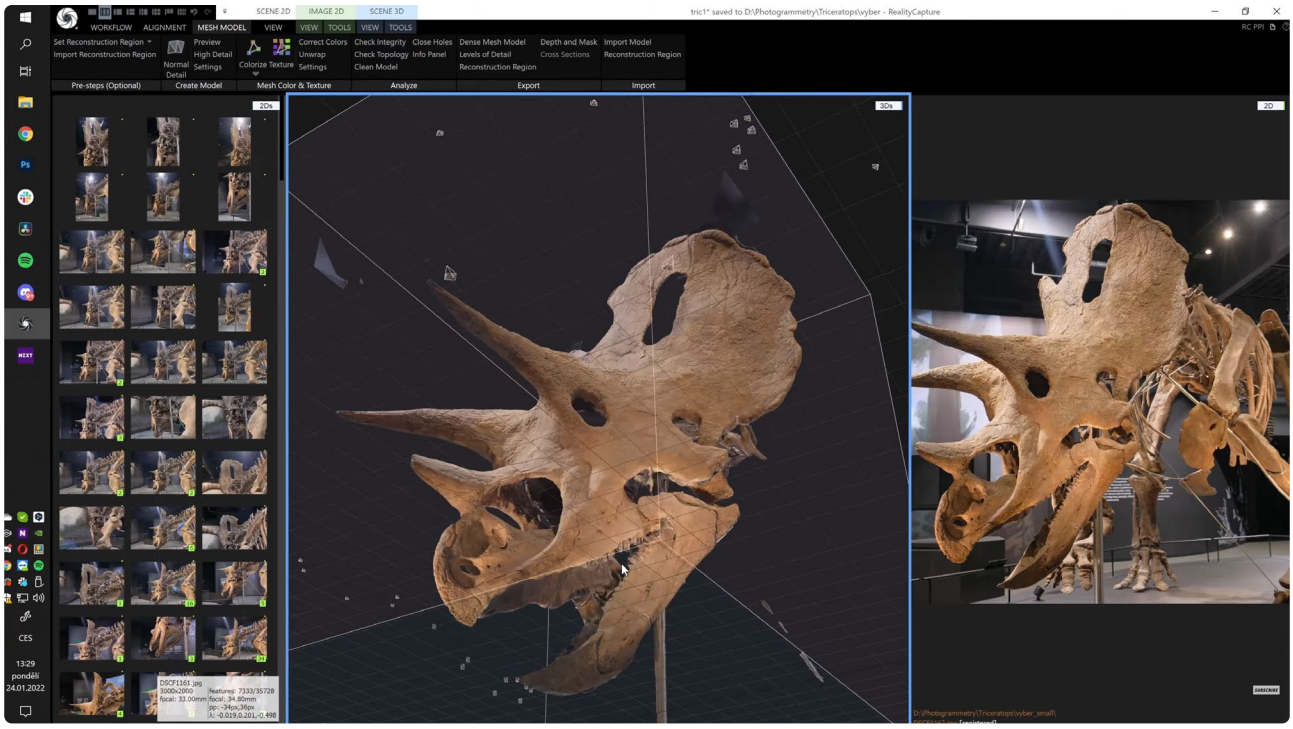
- ⊕ Pevnost úhelníku v místě pravého úhlu bude nejlepší možná.
- ⊕ Žádné podpěry.
- ⊖ Otvory budou mírně oválné.



Optimální orientace modelu jak z pohledu spotřeby materiálu, tak z pohledu pevnosti.

3D skenování a fotogrammetrie

Jedná se o způsoby, jak přenést reálný předmět do počítačového modelu. 3D skenery na trhu existují už relativně dlouho, ale jejich cena a dostupnost není přívětivá. Pohybují se v rozmezí od desítek tisíc až po statisíce korun. Kvalita výstupu je zpravidla přímo úměrná ceně. Existuje však i levnější způsob zvaný fotogrammetrie, který je založený na sérii fotografií z různých úhlů pohledu. Ty jsou následně počítačovým programem zpracovány do 3D modelu. Více o fotogrammetrii s použitím volně dostupného software se dozvíte v článcích „Fotogrammetrie – 3D skenování s použitím fotoaparátu či mobilu“ na https://blog.prusa3d.com/cs/?s=fotogrammetrie



3D skener Sense od firmy 3D systems

Zdroj: https://3dprint.com/58221/3d-systems-sense-plus

Volba tiskového materiálu

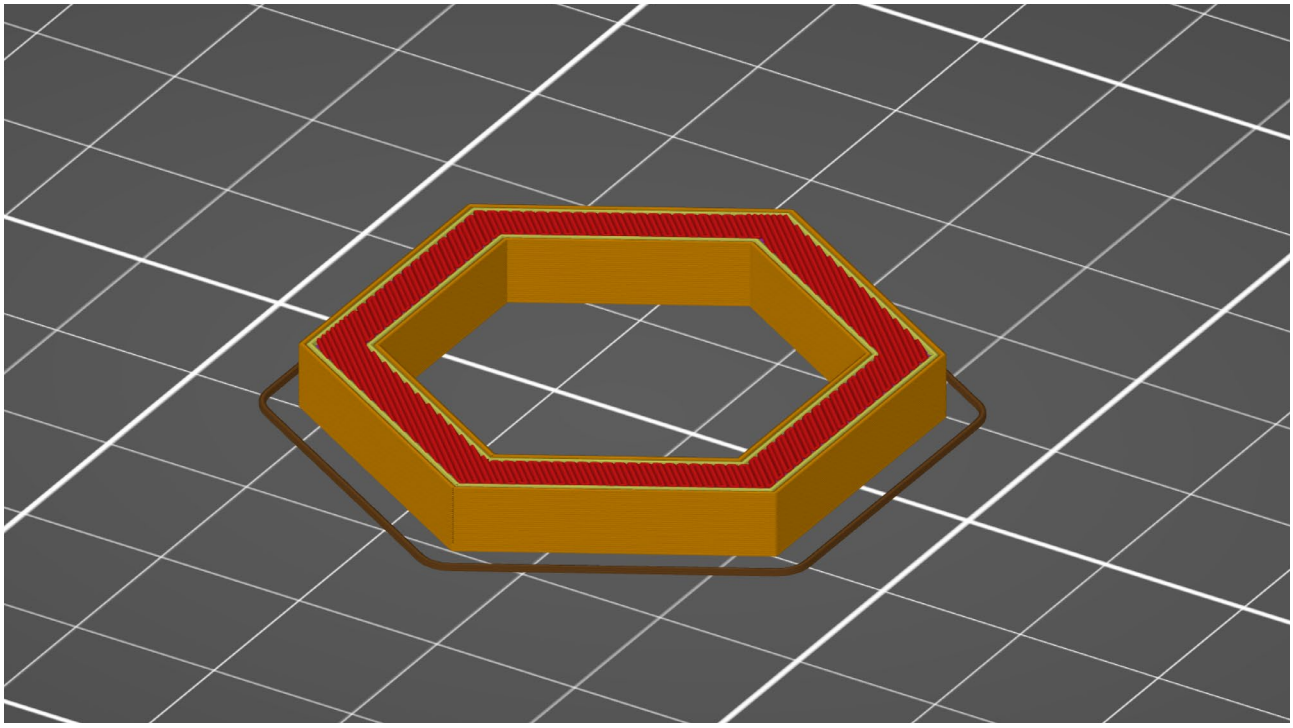
Volba materiálu není pouze o barvě, jak si mnozí začátečníci mohou myslet. Je třeba myslet především na jeho fyzikální vlastnosti vzhledem k zamýšlenému použití výsledného výtisku. Z některých materiálů se tiskne snadno a tisk je velmi detailní, ale teplotní odolnost je nízká (PLA). Jiné materiály se chovají naprosto opačně (PC Carbon Fiber).

Více informací o používaných materiálech a jejich vlastnostech se dočtete v sekci „Tiskové struny“.

Slicování

Jedná se o proces převodu 3D modelu na strojový kód G-code. K převodu slouží software zvaný obecně slicer. Mezi nejznámější slicery pro FFF tiskárny patří PrusaSlicer, Simplify3D a Cura. Vstupem programu je nejenom 3D model, ale také celá řada nastavení, která mají vliv na kvalitu, pevnost a dobu tisku. Modely je většinou možné také modifikovat v rozsahu zmenšování či zvětšování, otáčení dle os, řezání či rozdělování na separátní objekty. V neposlední řadě slouží slicer také k tomu, abychom si jednotlivé 3D modely rozmístili po tiskové ploše. Slicer a jeho správné nastavení je stejně důležité jako kvalita a mechanické zpracování samotné tiskárny.

Slicerů existují desítky, každý má své přednosti a nedostatky. Většina z nich je k dispozici zdarma. Začínajícím uživatelům doporučujeme alespoň v začátku používat takový slicer, pro který již existují hotové a odladěné tiskové profily pro vaši tiskárnu. Až později zkoušejte a experimentujte s dalšími slicery. Obvykle každý solidní výrobce 3D tiskárny má svůj slicer, do kterého dodává profily pro svoje tiskárny. Podíváme se na tři nejpoužívanější zástupce slicerů, které používají majitelé tiskáren Original Prusa.

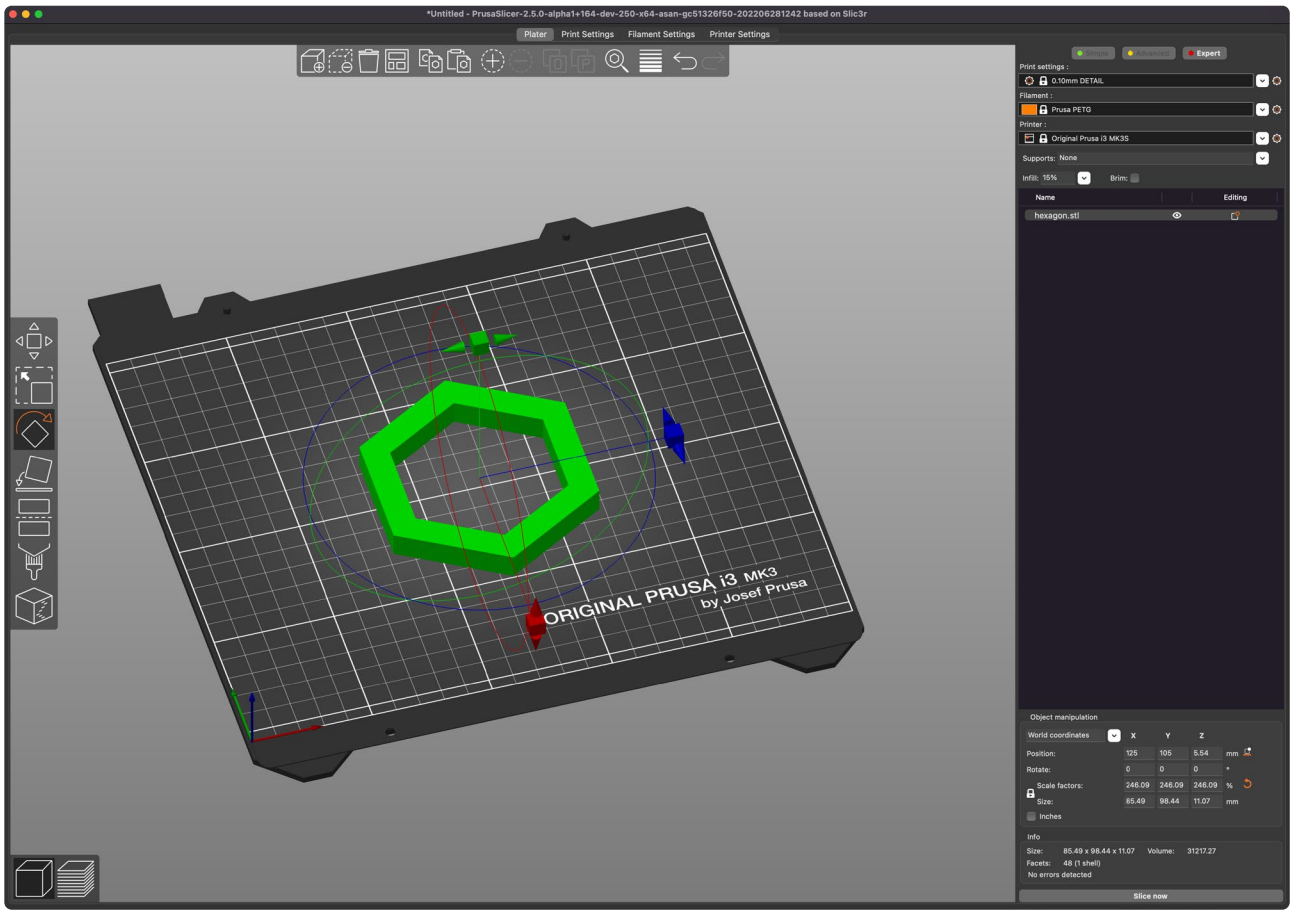


PrusaSlicer

PrusaSlicer vychází z open source projektu Slic3r. Je to také náš výchozí slicer pro použití s tiskárnami Original Prusa. Nejnovější stabilní verzi vždy najdete na prusa3d.com/prusaslicer. Nabízí spoustu vylepšení a optimalizací jak pro produkty Prusa Research, včetně slicovacích profilů pro multi-materiálový tisk, tak podporu 3D tiskáren třetích stran. Součástí PrusaSlicer je také řada otestovaných tiskových profilů pro širokou škálu filamentů. Je dobrou volbou pro začínající majitele tiskáren Original Prusa.

Klíčové charakteristiky:

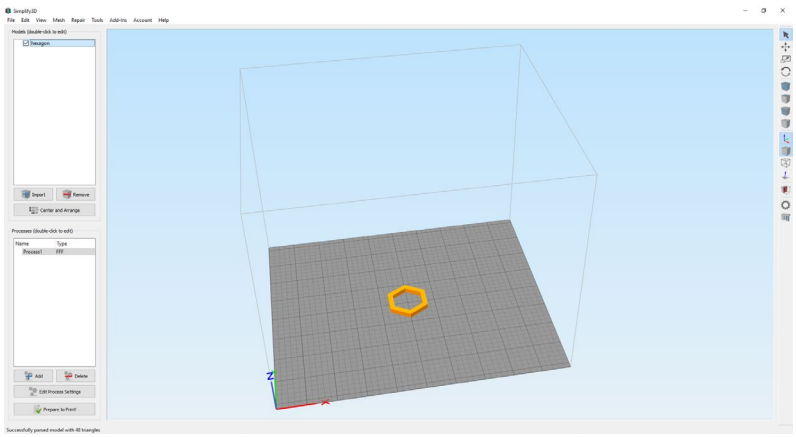
- **Zdarma a open source.**
- Obsahuje přes 300 otestovaných tiskových profilů pro nejrůznější tiskové materiály – jak filamenty, tak resiny, od běžných (PLA) až po všemožnou „exotiku" jako například Woodfill filamenty. Tiskové profily jsou navíc automaticky aktualizovány.
- Vestavěný nástroj pro nahrávání firmware do produktů Original Prusa.
- Podpora Multi Materiálového tisku.
- Integrace s Octoprint.
- Široké možnosti tiskového nastavení včetně modifikátorů pro generování podpěr.
- Náhled naslicovaného modelu po jednotlivých vrstvách.
- Nastavení variabilní výšky vrstvy, díky čemuž je možné strukturálně jednoduché části modelu tisknout s vyšší výškou vrstvy, než oblasti, kde je požadovaný vysoký detail tisku.
- Podpora SLA 3D tiskáren.
- Možnost použití organických podpěr.
- Podpora profilů pro 3D tiskárny třetích stran.



Simplify3D

Simplify3D je slicovací software, který je vyvíjený bez spojitosti s konkrétním typem či výrobcem tiskárny. Obsahuje profily pro stovky různých tiskáren. Díky tomu je možné pro různé typy tiskáren používat pořád stejný slicovací program bez toho, aby si uživatel musel sám pro každou tiskárnu vytvářet tiskový profil.

Klíčové charakteristiky:

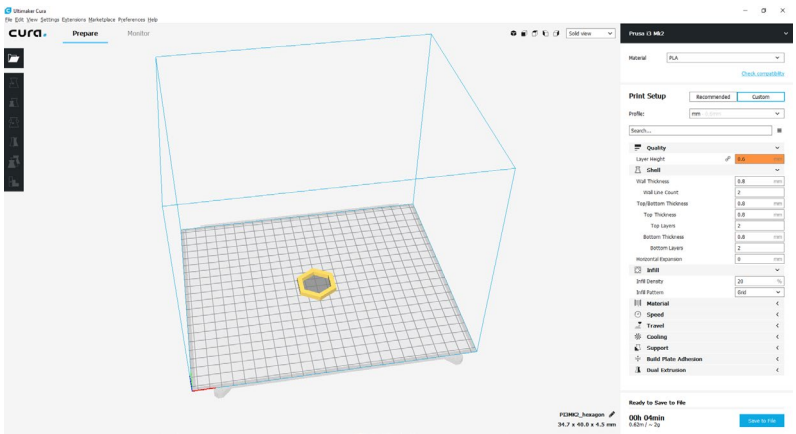


- **Placený software.**
- Realistická simulace pohybů extruderu už ve vygenerovaném náhledu.
- Náhled již naslicovaného 3D modelu ve formátu G-code.
- Automatické generování podpěr a jejich následná uživatelská editace.
- Široké možnosti nastavení tisku.
- Umožňuje v různých oblastech modelu používat jiné tiskové nastavení. Stejně tak je možné pro každý objekt na tiskové ploše použít jiné tiskové nastavení.

Cura

Slicovací software vyvíjený výrobcem 3D tiskáren Ultimaker. Proto je pro majitele tiskáren Ultimaker tou nejčastější volbou. Program obsahuje desítky dalších profilů pro ostatní tiskárny.

Klíčové charakteristiky:



- **Zdarma a open source.**
- Jednoduchý pro začátečníky a zároveň s dostatečným množstvím nastavitelných parametrů.
- Optimalizované profily pro oficiální materiály a tiskárny Ultimaker.
- Tisk více modelů najednou, každý s vlastním tiskovým nastavením.
- Náhled již naslicovaného 3D modelu ve formátu G-code.
- Umožní zobrazit rozpis kolik tiskového času zaberou dílčí části modelu (tisk perimetrů, podpěr, výplně a dalších).

Základní nastavení sliceru

Teplota filamentu a podložky – každý výrobce filamentu udává teplotní rozsah nejvhodnější pro konkrétní typ filamentu. V tomto rozmezí byste se měli držet. Úpravami teplot se budou měnit především vizuální vlastnosti výtisku. Teplota trysky se pohybuje nejčastěji v rozmezí od 200°C do 240°C a teplota podložky od 60°C do 100°C.

Layer height (výška vrstvy) – významně ovlivňuje dobu tisku a kvalitu detailů výsledného výtisku (rozlišení v ose Z). Čím je výška vrstvy vyšší, tím více jsou jednotlivé vrstvy patrné. Nejvíce je to viditelné na plochách, které jsou skoro rovnoběžné s tiskovou plochou. Nejběžnější výškou vrstvy je 0,15 mm. Nižší vrstvy volíme proto, abychom dosáhli detailnějšího výtisku, ale současně s tím se prodlužuje tiskový čas. V PrusaSliceru je také k dispozici funkce pro nastavení variabilní výšky vrstev – s tou si můžete nastavit, které části modelu chcete vytisknout s menší výškou vrstvy (například detaily a plochy se sklonem) a kde naopak stačí méně detailní, rychleji tisknuté vyšší vrstvy. V závislosti na specifické geometrií modelu můžete také ušetřit značný kus doby tisku použitím možnosti Adaptivní výšky vrstev, kde výpočet přesného rozmístění různých výšek vrstvy necháte na PrusaSliceru – podobně jako u manuálního nstavení se budou vertikální plochy tisknout s vyšší vrstvou a zakulacené části modelu budou hladší díky použití nižší výšky vrstvy. Stačí kliknout na tlačítko Variabilní výška vrstvy, v nově otevřeném menu si vybrat poměr kvalita/rychlost a pak kliknout na tlačítko “Adaptivní”.

Ukázka rozdílu povrchu výtisku při změně výšky vrstvy.

0,2 mm
18 minut

0,1 mm
33 minut

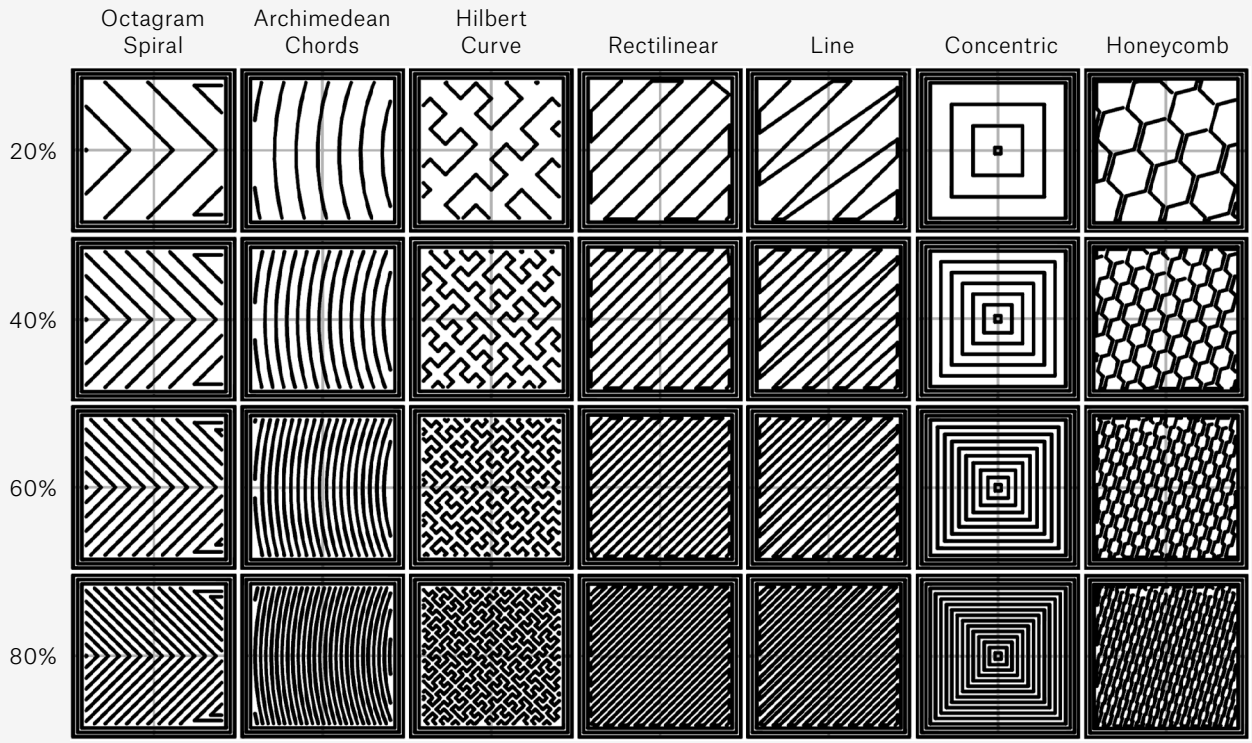
0,05 mm
75 minut

Vertical shells / Perimeters (perimetry) – jedná se o obvodové stěny modelu a nastavujeme jejich počet. Výsledná stěna modelu bude mít šířku přibližně: počet perimetrů × průměr trysky.
Více informací o perimetrech se dozvíte v článku „K čemu slouží nastavení perimeters?“ na https://help.prusa3d.com/cs/article/vrstvy-a-perimetry_1748.

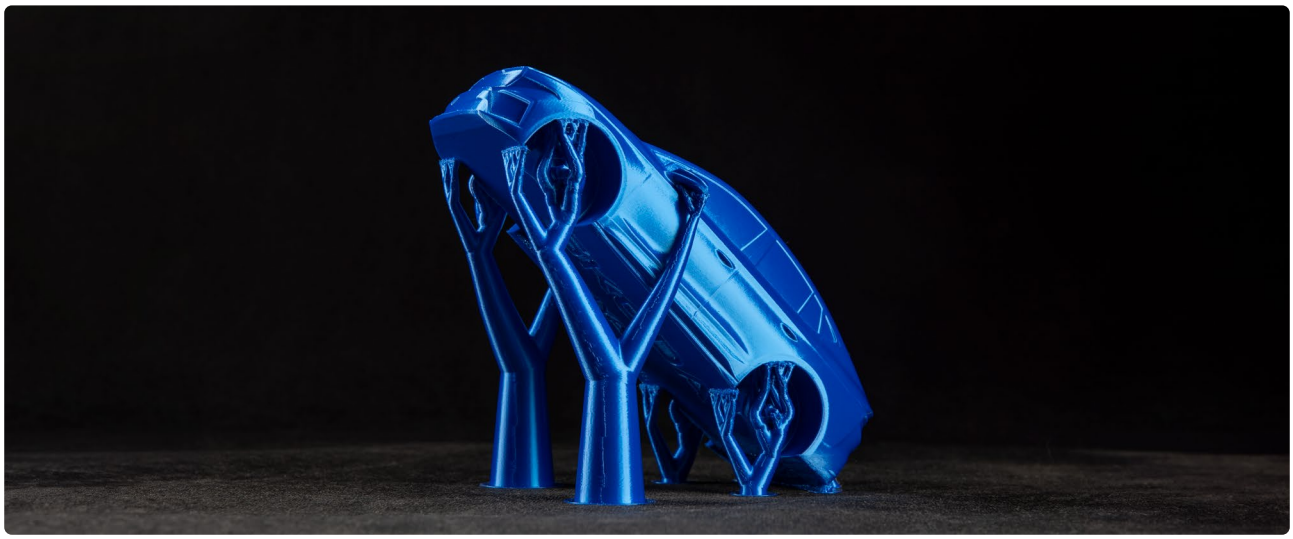
Horizontal shells / Solid layers (plné vrstvy) – umožňuje nastavit počet spodních a vrchních vrstev modelu, které budou plné (100% infill).

Infill (výplň) – ovlivňuje dobu tisku, pevnost výtisku a spotřebu filamentu. Nastavuje se procentuální hodnotou – 0% pro duté objekty a přibližně 10–20% pro běžné tisky. Je také možnost si zvolit vzor výplně (každý slicer nabízí různé vzory).

Vzory výplně v závislosti na jejich hustotě.



Supports (podpěry) – umožňují tisknout části modelu, které by jinak visely ve vzduchu, či taková místa, která svírají s podložkou úhel menší než cca 45°. Podpěry jsou následně odlámány. Naším cílem je však množství podpěr minimalizovat, respektive použít jich dostatek, aby byl tisk úspěšný, ale zároveň to s jejich množstvím nepřehnat. Čím méně budeme mít podpěr, tím bude tisk rychlejší a spotřeba materiálu menší. S tím opravdu výrazně pomohlo zavedení organických podpěr – vylepšeného typu podpěr, které napodobují růst stromů. Organické podpěry umožňují rychlejší tisk a menší plýtvání filamentem při zachování skvělého kontaktu s převisem.

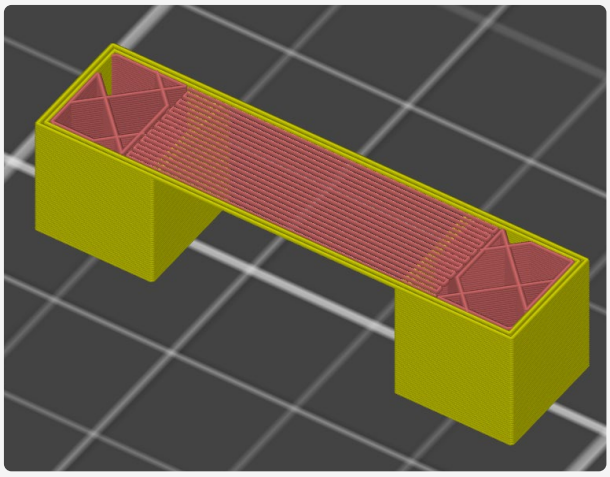


Bridging (přemosťování) – jediný případ, kdy lze tisknout „do vzduchu“ bez podpěr. Tiskárna natahuje vlákna taveného materiálu mezi dvěma body ve stejné výšce. Kvůli tomu musí jakékoliv přemostění být rovnoběžné s tiskovou plochou. Jeho maximální délka pak závisí na výkonu chlazení vaší tiskárny.

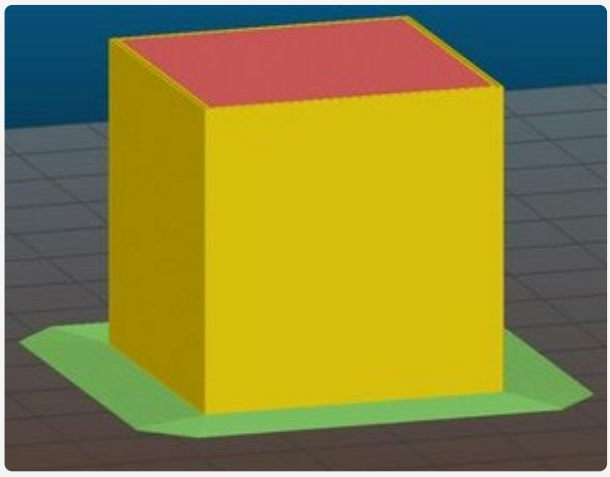
Brim (límec) – udává šířku límce, který bude vytištěný okolo objektů v první vrstvě. Brim se dotýká objektu. Je vhodný ke zvýšení přilnavosti tištěného objektu k podložce. Po vytištění se odlomí.

Skirt (obrys) – Skirt se na rozdíl od brimu objektu nedotýká a netiskne se pouze v první vrstvě. Používá se nejčastěji u materiálu ABS, který se při chladnutí významně smršťuje a má tendence praskat. Přidáním skirtu se okolo objektu vytvoří mikroklima a kolem objektu přestane proudit chladný okolní vzduch. Jeho další praktické využití je v podobě několika málo vrstev. Ty se tisknou vždy dříve, než objekty samotné v dané vrstvě. Díky tomu máme možnost si zkontrolovat přichycení první vrstvy a případně doladit výšku osy Z.

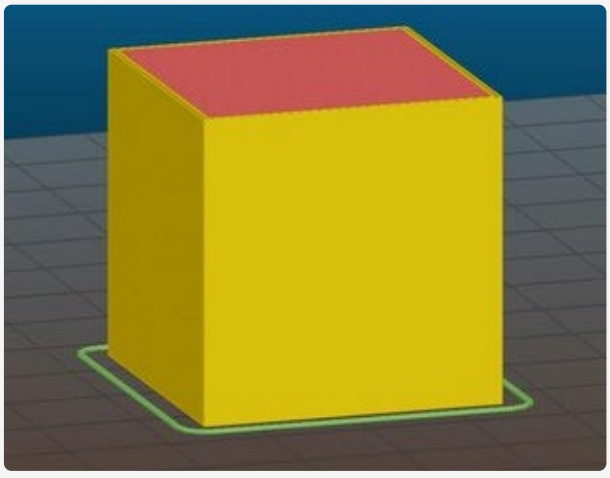
Raft – jedná se o typ podpěry, která se nachází pod celou kontaktní plochou modelu s podložkou. Model tak nebude ležet přímo na podložce, ale bude zvednutý o definovanou výšku raftu. Primárně se používá u materiálu ABS, aby se omezilo kroucení výtisku a zvýšila se jeho přilnavost k podložce.



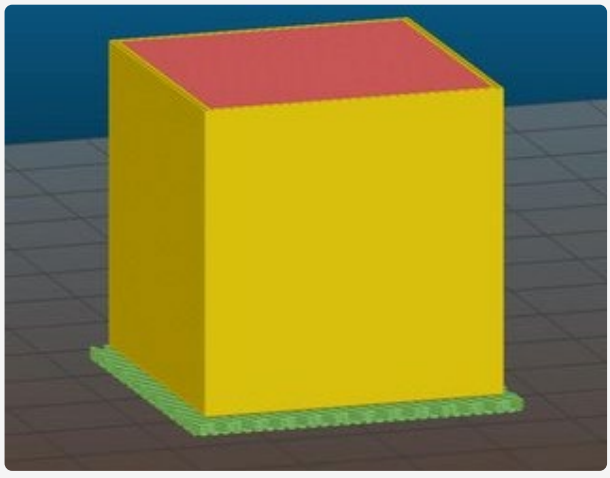
Bridging



Brim



Skirt



Raft

Cooling (chlazení) – chladit model během tisku je vhodné v případech, kdy je tiskový čas vrstvy velmi malý a předchozí vrstva se nestíhá dostatečně samovolně ochladit a ztuhnout. Typicky se jedná o vysoké a úzké objekty.

Pokročilá nastavení
Slicovací programy nabízí celou řadu dalších nastavitelných parametrů, jako jsou rychlosti tisku perimetrů, infilu, mostů a tak dále. Tato nastavení již bývají odladěná a dostupná v podobě tiskových profilů od výrobce tiskárny. Proto do nich ve většině případů není potřeba vůbec zasahovat.

Více informací o slicování si můžete přečíst v článku na prusa.io/prusaslicer.

Příprava tiskové podložky

Správně připravený povrch tiskové položky je základním krokem úspěšného tisku. Odlepení výtisku od podložky má za následek neúspěšný tisk. Věnujte mu tedy náležitou pozornost.

Vývoj 3D tiskáren probíhal mimo jiných částí také na tiskové podložce. Zprvu nevyhřívané podložky nahradily vyhřívané podložky. Tisklo se na sklo či zrcadlo. Pro zvýšení adheze se používal především lak na vlasy, ABS juice (rozpuštěné zbytky ABS v acetonu), kaptonová páska a lepidlo na papír (tyčinka Kores). Práce s tiskárnou proto nebyla čistá a snadná. S příchodem povrchu v podobě PEI folie se vše změnilo. PEI povrch nalezneme na všech modelech 3D tiskáren Original Prusa i3 od verze MK2. Tento povrch není třeba nikterak zvlášť upravovat před tiskem. Pouze je potřeba zajistit jeho odmaštění. Drží na něm velice dobře většina dostupných materiálů. Lepidlo Kores se stále používá, ale naopak jako separační vrstva mezi podložkou PEI a výtiskem z materiálu PET, kde by naopak přilnavost mohla být extrémní a bylo by obtížné model sundat z podložky bez jejího poškození.

Dnes už pro tiskárny Original Prusa existuje široká nabídka různých tiskových plátu s odlišními tiskovými vlastnostmi – pro každého a každou situaci něco. Některé z nich mohou dokonce pozměnit vzhled vašeho výtisku! Například zrnitý vzor povrchu texturovaného tiskového plátu se otiskne na spodní část vašich výtisků.

Spuštění tisku

Spustit tisk znamená začít číst vygenerovaný G-code a posílat ho do tiskárny. Níže se podíváme na to, jaké máme možnosti, a jaké jsou výhody a nevýhody jednotlivých řešení.

Během celé doby tisku musí být zaručeno, že tiskárna bude sekvenčně dostávat instrukce z G-code souboru. Nejspolehlivějším řešením je tisk z SD karty, USB, či obdobného média, ze kterého si tiskárna sama G-code čte. Moderní 3D tiskárny sice už mají Wi-Fi, LAN, a možnost vzdáleného ovládání tisku, ale „tradiční" SD karty a USB jsou natolik spolehlivé a jednoduše se používají, že nám ještě nějakou dobu zůstanou. Nemluvě o prostředích, kde je žádoucí být offline nebo sítích s omezeným přístupem.

Zástupci řešení pro vzdálenou správu tiskáren jsou například Prusa Connect a OctoPrint.

Postprocessing

Výtisky je možné ve většině případů ihned po vytištění použít jako funkční díly. Pokud však máme vyšší nároky na vzhled výtisku, přichází řada na takzvaný postprocessing.

Postprocessing je celá řada technik a dílčích prací na modelu s obecným cílem získat hladký, barevný a hezky vypadající povrch modelu. Plastové modely je možné ručně brousit (broušení elektrickými vysokootáčkovými nástroji typicky vede spíše k tavení plastu než jeho broušení), kytovat karosářským tmelem, stříkat plničem, laminovat, malovat akrylovými barvami, stříkat barvou ve spreji a mnoho dalšího. Při nanášení tmelu či kytu ve větší vrstvě je třeba počítat se ztrátou detailu modelu.

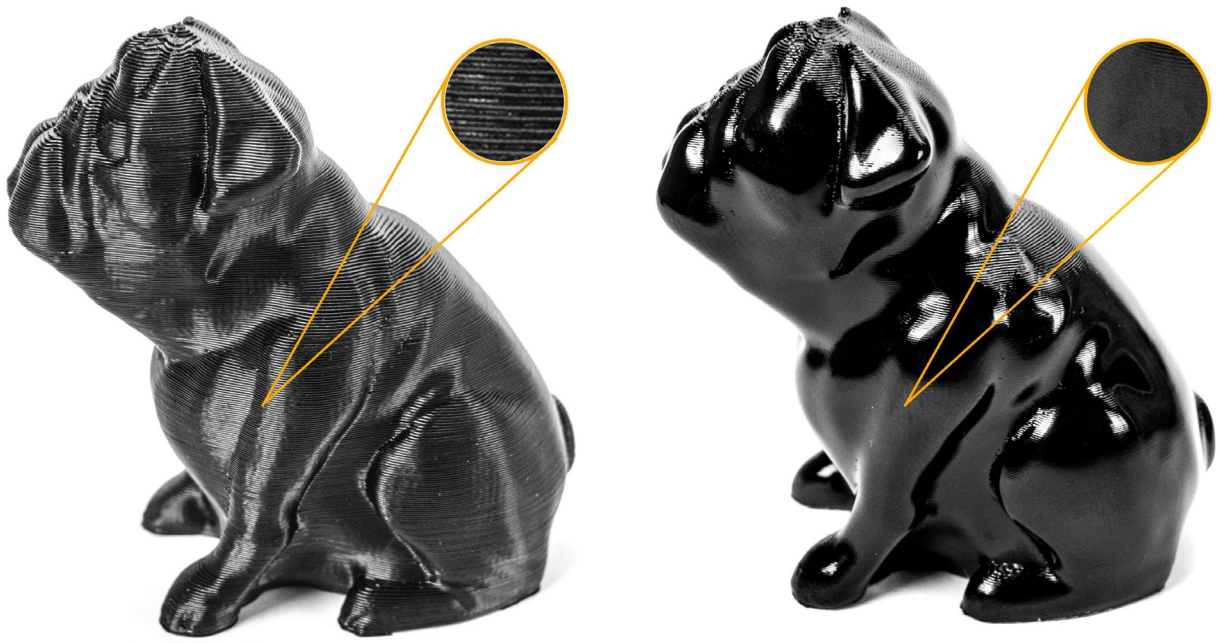
Více o postprocessingu se dozvíte v článkuna: prusa.io/postprocessing.

Lepení a vyhlazování acetonem

Materiály ABS a ASA jsou rozpustné v acetonu. Toho lze využít k lepení jednotlivých dílů k sobě. Stačí obě plochy lehce potřít acetonem a přiložit je k sobě.

Aceton je dále možné využít k vyhlazování povrchu modelu. Buď je možné model na krátkou chvíli (5–10 s) do acetonu ponořit, nebo model uzavřít do nádoby s acetonem po dně. Acetonové páry budou pomalu model vyhlazovat.

Mějte na paměti, že vyhlazováním přijdete o jemné detaily modelu a povrch se stane lesklým.



POZOR!
S acetonem pracujte pouze v dobře větraném místě. Používejte ochranné rukavice a ochranné brýle. Aceton je hořlavá kapalina a její výpary spolu s kyslíkem tvoří výbušnou směs.

Další tipy:

- Takzvané stringování (tenké vlásky na výtisku) lze do jisté míry odstranit horkovzdušnou pistolí. Výtisk ofukujte horkým vzduchem pouze krátce, jinak hrozí deformace.
- Materiály jako je PLA a PETG se dobře lepí kyanoakrylátovým (vteřinovým) lepidlem. Pro zrychlení procesu vytvrzení můžete použít aktivátor.

Materiál PLA je rozpustný chloroformem (trichlormethanem). Není však vhodný k vyhlazování jako aceton pro ABS z důvodu, že hodně naleptává povrch modelu. Hodí se spíše pro lepení PLA dílů, i když je snazší použít vteřinové lepidlo. Mějte na paměti, že práce s chloroformem je nebezpečná a je třeba s ním pracovat v dobře větraných prostorech.

TISKOVÉ STRUNY

Společně se stoupající dostupností a oblibou 3D tiskáren se na trhu objevují nové materiály v nejrůznějších barvách a se specifickými vlastnostmi. Spektrum materiálů je již velmi široké: snadno použitelný a velmi populární PLA, univerzální PETG, vhodný pro tisk mechanických částí, velmi pevný a teplotně odolný PC Carbon Fiber, dále kompozitní materiály připomínající dřevo, bronz nebo měď, materiály svítící ve tmě, měkké flexibilní materiály a mnoho dalších.

Každý filament vyžaduje specifické tiskové nastavení. Stejný typ materiálu od různých výrobců může mít odlišné tiskové vlastnosti. U některých výrobců se dokonce může stát, že se odlišně chovají i různé barvy stejného typu materiálu.

Pro dosažení nejlepší možné kvality tisku se vždy nejprve řiďte teplotami doporučenými výrobcem filamentu. My jsme v PrusaSliceru připravili otestované profily pro většinu podporovaných vláken, které zahrnují teploty, rychlosti ventilátoru, rychlost tisku, průtok filamentu, zatahování a další nastavení. Profil materiálu v PrusaSlicer tedy doporučujeme upravovat až v případě, že výtisky mají stále viditelné problémy.

Nejobvyklejší filamenty pro běžné použití jsou **PLA**, **PETG** a **ASA**. Dále se dozvíte, pro jakou aplikaci jsou vhodné, a čím se od sebe odlišují. Poté se ve zkratce zmíníme také o několika netradičních filamentech, celkové množství zajímavých materiálů na trhu je ale tak velké, že nejlepší způsob jak se o nich dovídat víc je navštívit buď přímo stránky výrobců, nebo naši Znalostní bázi (Knowledge Base), kde najdete průvodce materiály.

Pro vás, jako pro začínajícího tiskaře, je důležité se seznámit se základními materiály a naučit se je vhodně používat v závislosti na povaze a účelu tištěného modelu. Prvním vaším filamentem by měl být nepochybně materiál PLA. Budeme ho považovat za pomyslný standard a ostatní materiály budeme porovnávat vůči němu.

PLA

PLA je pravděpodobně nejpoužívanější filament mezi tiskaři.

Důvodů, proč tomu tak je, je hned několik:

- Dobře se z něj tiskne. Co to však znamená v praxi? Hezký povrch výtisku, a to v místech, kde jsou velké převisy a na místech podepřených podpěrami. Je vhodný pro tisk detailních a malých objektů.
- Při tisku nevzniká znatelný zápach.
- Ve srovnání s ostatními materiály má malou teplotní roztažnost. Proto se tisk nekroutí a nemá tendenci odlepovat se od podložky či praskat. Z toho důvodu je vhodný i pro velké tisky.
- PLA se nabízí v nejširším barevném spektru.
- Cenově se jedná o jeden z nejlevnějších materiálů.

Proč potřebujeme i jiné materiály a kdy se po nich poohlížet?

- PLA je tvrdé, ale zároveň křehké. Při mechanickém namáhání se neohne, ale spíše praskne.
- PLA je málo teplotně odolné. Měkne při teplotě cca 60°C. Pro vytištění držáku na mobilní telefon do auta proto není vhodnou volbou.
- PLA je z nejpoužívanějších materiálů nejméně odolné povětrnostním vlivům.

Ve výše uvedených případech poslouží jako alternativa materiál PETG či ASA.

PETG, ASA a PC (polykarbonát)

Všechny tři materiály jsou oproti PLA pružnější a při mechanickém namáhání se do určité míry ohnou bez prasknutí. PETG se v náročnosti na tisk pohybuje mezi PLA a ASA/PC. U materiálů ASA a PC čelíme problémům při tisku způsobených velkou teplotní roztažností. Tyto materiály mají tendenci se kroutit a odlepovat od podložky. To obvykle znamená neúspěšný tisk. Čím je model větší, tím je tisk náročnější. A při tisku z ASA také vzniká výrazně silnější zápach než při použití PLA nebo PETG. PETG má ve srovnání s PLA lesklejší povrch a má tendence stringovat během přejezdů extruderu.

Kdy má smysl použít ASA / PC a jaký je mezi nimi rozdíl?

ABS byl prvním dostupným tiskovým materiálem. S vývojem 3D tisku se mění i nabídka materiálů a neustále se vylepšují jejich tiskové vlastnosti a kvalita. ASA je nástupcem materiálu ABS. Většinu vlastností mají shodných a v některých ohledech je dokonce ASA lepší. ASA je oproti ABS UV stabilní a má menší teplotní roztažnost a tudíž se lépe tiskne.

ASA a polykarbonát jsou obecně brané spíše jako technické materiály. Asi nejpopulárnější vlastností ASA je možnost výtisky vyhladit pomocí acetonových výparů.

Polykarbonát se tiskne o něco obtížněji ale má skvělou mechanickou a chemickou odolnost. Tisk je o něco náročnější než z ASA ale výtisky jsou výrazně lepší, co se jejich využití coby teplotně odolných součástek týče, než PETG i ASA.

Toliko k PLA, PETG, ASA a PC. Jsou to materiály, se kterými se na vaší pouti hlubinami 3D tisku dostanete opravdu daleko. Další nabízené materiály jsou vždy něčím odlišné od těch běžných a jsou vhodné pro specifické využití. Také jejich cena bývá vyšší.

FLEX (TPU/TPE/TPEE)

Celou zajímavou kategorii tvoří částečně ohebné materiály pod souhrnným názvem FLEX. Tyto materiály se chovají podobně jako guma. Při ohnutí nepraskají, ale ohýbají se. Flexibilní materiály se vyrábí v několika stupních tvrdosti a tisk bývá tím náročnější, čím je filament měkčí. Využití si najdou při tisku kol na modely aut, obalů na mobilní telefony, silentbloků a dalších.

Plněné/kompozitní materiály

Kompozitní materiály se skládají z hlavní plastové složky a sekundárního materiálu který plast vyplňuje. Tím může být všechno možné od kovových prášků (copperfill/bronzefill) nebo dřeva (woodfill) – v takových případech je účelem primárně zajímavější vzhled – až po uhlíková, skelná nebo kevlarová a jiná vlákna, zlepšující jejich mechanické (a často i estetické) vlastnosti. Nejběžnější výplní jsou dnes uhlíková vlákna, která pokročilým materiálům dodávají perfektní rozměrovou stabilitu, zvýšenou teplotní odolnost, odolnost proti oděru atd. (viz náš vlastní Prusament PC Blend Carbon Fiber). Tyto materiály jsou však obvykle výrazně dražší a tryska z tvrzené oceli je naprostou nutností.

Bronzefill a další kovové kompozity

Bronzefill po leštění

Podpůrné materiály PVA, BVOH

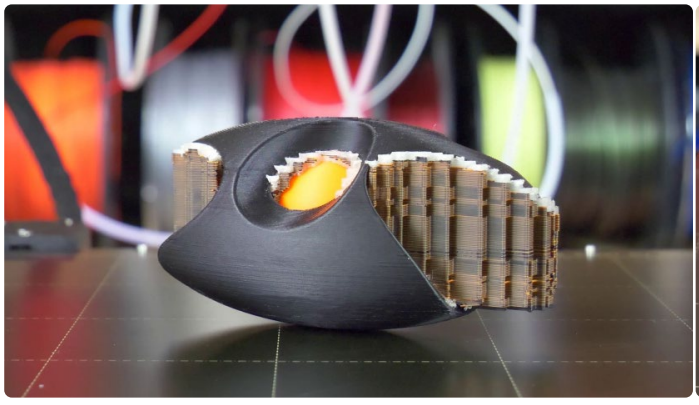
Podpěrám se snažíme při konstrukci modelu co nejvíce vyhýbat, ale ne vždy je to možné. Podpěry ve většině případů tiskneme ze stejného materiálu jako samotný model, a poté je odlomíme. Jiná možnost u tiskárny s jednou tryskou a jedním filamentem neexistuje. Povrch výtisku v místě podpěr může být zvlněný a hrubý. To je způsobeno mírným prověšováním tiskových vláken nad podpěrami. Aby bylo možné podpěry později odstranit, je nutné nechávat distanční vzdálenost mezi podpěrami a objektem.

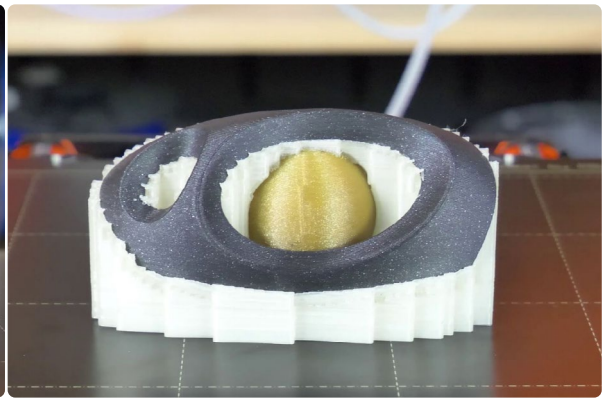
Naštěstí existují 3D tiskárny (a upgrady pro ně), které umí tisknout ze dvou a více materiálů zároveň (např. naše tiskárny Original

Prusa 3D s Multi Material Upgrade 3 nebo Original Prusa XL s vícero tiskovými hlavami), a tím se nám otevírá možnost použít na tisk podpěr jiný materiál: a tady mohou s velkou slávou nastoupit rozpustné materiály jako jsou PVA a BVOH. Díky tomu lze vynechat distanční vzdálenost mezi podpěrami a objektem, protože zbytky podpěr později rozpustíme.
Podpůrné materiály jsou bohužel výrazně dražší než běžný filament. Redukovat jejich spotřebu lze tak, že z rozpustitelného materiálu vytiskne pouze několik distančních vrstev mezi obyčejnými podpěrami a modelem.

Materiály BVOH a PVA se hodí ve spojení s PLA. Především z důvodu jejich podobných tiskových teplot. Oba jsou rozpustitelné ve vodě.

HIPS je podpůrný materiál rozpustný lemonesolem nebo acetonem. Je vhodný pro podpěry především ve spojení s PETG.





Ostatní materiály

PP – vyšší tepelná odolnost než u ABS nebo PLA. Je chemicky odolný a pružný, pozor ale na problémy s přilnavostí k tiskové podložce.

Nylon – odolný a pevný materiál s vysokou adhezí mezi vrstvami. Nylon je odolný vůči tření (vhodný pro mechanické díly) a je hygroskopický (absorbuje vzdušnou vlhkost), což má negativní vliv na tisk.

PVB – snadno tisknutelný materiál s nastaveními podobnými PLA. Povrch PVB výtisku se dá vyhladit isopropylalkoholem (IPA). PVB je průhledný a hezky vypadá ale bohužel má poměrně nízkou teplotní odolnost a horší mechanické vlastnosti.

BAREVNÝ FFF TISK

Nabízí se otázka, zda je možné tisknout modely vícebarevné či dokonce plnobarevné. Ano, je to možné. Dokonce existuje několik možných způsobů řešení, jak toho docílit. Každé má přitom své výhody i nevýhody. Podíváme se na ty nejznámější z nich.

Jaký je rozdíl mezi vícebarevným a plnobarevným tiskem?
Pojem vícebarevný tisk používáme pro označení tisku ze dvou až přibližně pěti barev. Oproti tomu plnobarevné tiskárny dokáží vytvořit libovolnou barvu díky míchání základních CMYKW barev.

Nejsnazším způsobem, jak docílit barevného tisku, je **ruční výměna filamentu** v požadované vrstvě tisku. Velmi dobře se hodí například pro odlišení podkladu a textu na vizitce, logu či banneru.

- ⊕ není třeba modifikovat tiskárnu
- ⊕ zanedbatelný odpad
- ⊖ je třeba ruční obsluha
- ⊖ změna barvy po vrstvách, ale nikoliv více barev v jedné vrstvě

Verze předchozího řešení, kdy se výměna filamentu provádí během celého tisku automaticky je případ Original Prusa Multi Material upgrade 3S nebo Mosaic Palette.

- ⊕ umožňuje výměny filamentů i v rámci jedné vrstvy
- ⊕ využívá se stále jedna tisková hlava – odpadá problém v kalibraci výšky více tiskových trysek mezi sebou
- ⊖ vzniká odpadní materiál během změny barvy při čištění trysky
- ⊖ tisk z omezeného počtu barev / filamentů
- ⊖ barvy nelze mezi sebou během tisku míchat

Plnobarevného tisku lze dosáhnout mícháním základních barev přímo v extruderu. Princip je obdobný jako u barevných tiskáren na papír. Pouze je zde inkoust zaměněn za filament. 3D tiskárna však potřebuje kromě CMYK (azurová, purpurová, žlutá, černá) barev ještě bílý filament.

- ⊕ se čtyřmi až pěti filamenty lze dosáhnout plnobarevného tisku
- ⊕ barvy jsou syté
- ⊖ vzniká velké množství odpadního materiálu
- ⊖ pro přesné výsledné barevné odstíny je třeba používat „kalibrované“ filamenty

Plnobarevného tisku lze dosáhnout také kombinací inkoustové a FFF tiskárny. Použitím inkoustové technologie CMYK se kapky inkoustu aplikují na průsvitný filament, který barvu vstřebá.

- ⊕ tisk libovolné barvy
- ⊕ stačí pouze jeden filament
- ⊕ nevzniká odpadní materiál
- ⊖ barvením bílého filamentu inkoustem nevznikají syté barvy ve srovnání s již barevnými filamenty

MULTI-MATERIÁLOVÝ 3D TISK

Tisknout z několika barev stejného materiálu je jedna věc, ale kombinovat několik různých materiálů je daleko zajímavější! Dají se tak vyrobit vysoce funkční díly nebo výtisky s podporami, které se buď daleko snáz odlomí nebo dokonce rozpustí ve vodě.

Nicméně zatím stále existují některá omezení: Jak dobře nebo špatně se ty které 3D tiskové materiály kombinují záleží na jejich mechanických a teplotních vlastnostech a je tedy lepší to nechat na zkušených profesionálech vybavených profi nástroji s několika tiskovými hlavami, jako je například Original Prusa XL s toolchangerem. Zvládne až pět tiskových hlav a tedy až pět různých materiálů – navíc s minimálním, nebo s trochou snahy i žádným odpadem!

Například toto odolné pouzdro na mikrofon je vyrobený z PETG, PLA, a TPU.

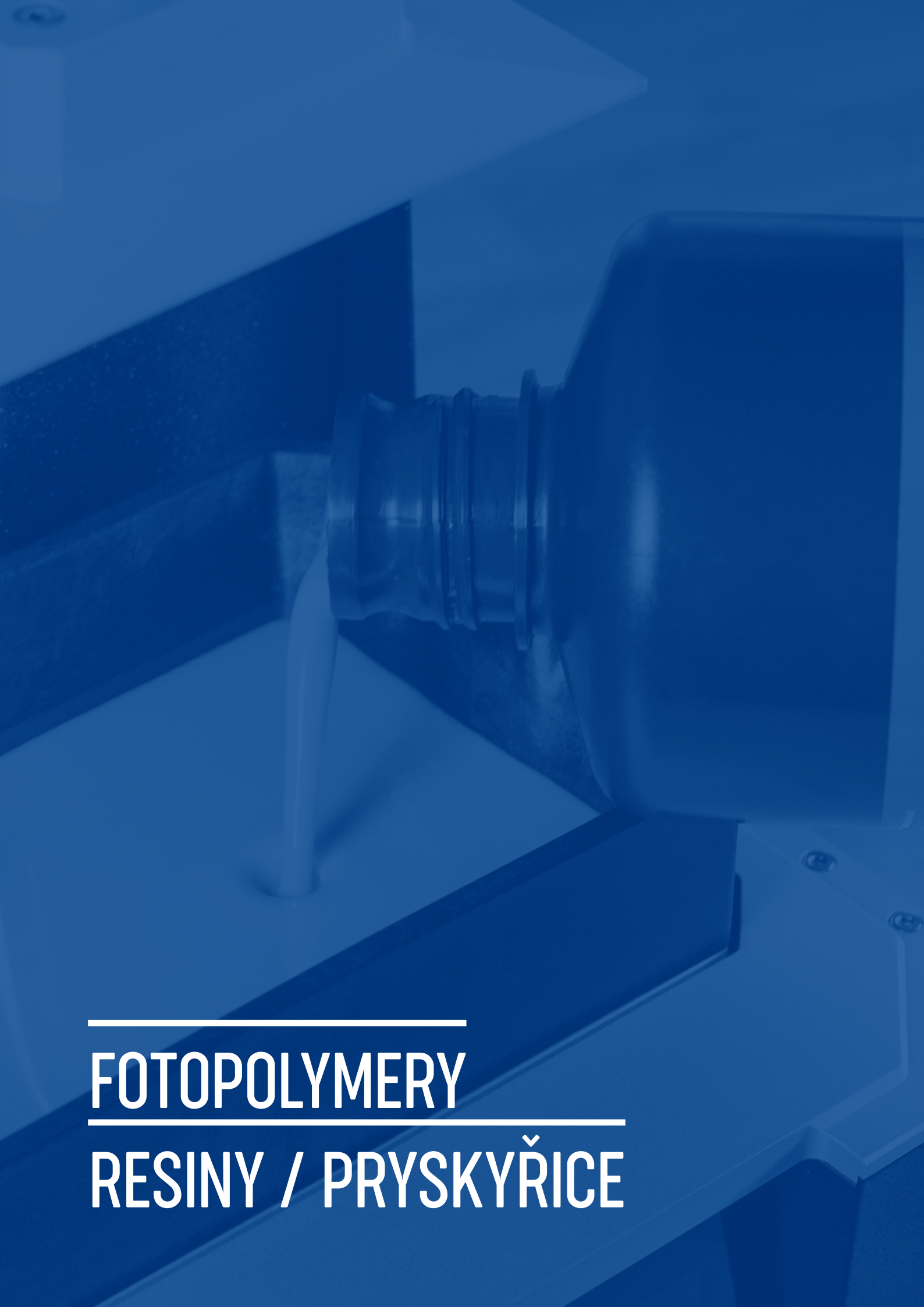
- ⊕ Umožňuje tvořit jedinečné projekty pomocí různých kombinací materiálů.
- ⊕ Ideální pro funkční díly, u kterých je žádoucí aby se mechanické/teplotní vlastnosti dílu lišily v různých jeho částech.
- ⊕ Můžete vytvářet složité konstrukce s různými podpůrnými strukturami.
- ⊕ Vizuálně atraktivní a detailní designy.
- ⊕ Minimální nebo žádný odpad.
- ⊖ Specializované tiskárny a materiály se mohou prodražit.
- ⊖ Obsluha a kalibrace jsou složitější.
- ⊖ Omezená kompatibilita materiálů kvůli různým vlastnostem.
- ⊖ Technologie složitější na zvládnutí a méně uživatelsky přívětivá pro začátečníky.
- ⊖ Odpadní filament.

Vícebarevný tisk sice vytváří nádherně barevné modely a eliminuje nutnost lakování a dalších postprodukčních úprav, ale má dvě značné nevýhody: delší dobu tisku a plastový odpad. 3D tiskárna s jednou tryskou musí přecházet z jedné barvy na druhou a zároveň se zbavit přechodového filamentu, který obsahuje směs obou barev, než se pokračuje v tisku novou barvou. Varianty zařízení pro vícebarevný tisk pro jedno-hlavé tiskárny, jako je například Original Prusa MMU3, k tomu používají čistící věže (wipe tower) příp. jiné konstrukce na tiskové ploše. A některé 3D tiskárny vám odpadní filament prostě a jednoduše „vysypou“ přímo na stůl. Nicméně obě varianty jsou pořád zdrojem plastového odpadu, i když ta druhá je pochopitelně významnější.

Existuje několik způsobů, jak produkci plastového odpad snížit: použití 3D tiskárny s toolchangerem může odpad omezit až na nulu. Další možností je použít pokročilá nastavení sliceru – PrusaSlicer má možnost čištění filamentu přímo do výplně tištěného objektu. Využitím filamentu, který by jinak zůstal v čistící věži se výrazně sníží celková spotřeba materiálu. Další možnosti snížení odpadu při 3D tisku už jdou mimo optimalizace tiskárny nebo filamentu: např. specifické přizpůsobení designu objektu, minimální nutnost podpěr nebo optimalizovaná orientace tisku mohou také významně přispět.

Udržitelnost v Prusa Research

Neustále hledáme a zavádíme opatření ke snížení naší uhlíkové stopy: bočnice cívek Prusamentu jsou z recyklovaného plastu, vyrábíme recyklované filamenty a používáme plastový odpad k výrobě experimentálních tisků. Zavádíme také různá opatření ve prospěch jak našich zákazníků, tak zároveň životního prostředí – například zlepšování efektivity našich obalů nebo výběr partnerů pro přepravu s nízkými emisemi. A naše tiskárny jsou upgradovatelné a plně opravitelné. Naše snahy a pokroky můžete sledovat na stránce Company-Sustainability na Prusa3d.com.



FOTOPOLYMERY

RESINY / PRYSKYŘICE

Resin (můžete se setkat i s pojmy jako fotopolymer nebo světlocitlivá pryskyřice) je tiskový materiál pro SLA tiskárny. Je tekutý a vytvrzuje se světelným paprskem. Tisk z resinu je jednoznačně dražší než tisk z filamentu. Nejlevnější standardní resin lze zakoupit přibližně za 700 Kč / litr a speciální materiály, jako jsou dentální a odlévací resiny, stojí až 10 000 Kč / litr. Naše resiny řady Prusament vyjdou průměrně na 1 800 Kč a nabízí velice příjemný poměr ceny a kvality. Obecně lze říci, že SLA výtisky z resinu jsou křehčí než modely tištěné technologií Na druhou stranu, SLA výtisky nepraskají po vrstvách, ale lámou se podobně jako sklo.

Resin se skládá ze tří hlavních složek:

- **Jádro pryskyřice** – monomery a oligomery.
- **Fotoiniciátory** – molekuly, které reagují při dopadu UV záření, čímž iniciují reakci vytvrzování.
- **Přísady** – přísady, které mění vzhled a charakteristiky (pigmenty, barviva).

> Při nákupu věnujte pozornost tomu, při jaké vlnové délce dochází k vytvrzení resinu, a zda je tedy kompatibilní s vaší tiskárnou.

Resiny se nerozlišují dle typu materiálu, jako je tomu u filamentů pro FFF tiskárny, ale podle toho, pro jaký účel jsou určeny. Rozdíly mezi resiny vznikají jen přidáváním příměsí a barviv. Typickými parametry, které aditiva ovlivňují, jsou stupeň tvrdosti a houževnatost. Vlastnosti nejběžnějších resinů shrnuje tabulka:

Typ resinu	Charakteristiky
Standardní resin	⊕ hladký a detailní povrch ⊖ křehký ⊖ není vhodný pro mechanické díly
Clear resin	⊕ po dodatečném opracování je na pohled téměř čirý ⊖ částečně transparentní
Odlévací resin	⊕ detailní povrch ⊕ vhodný pro vytváření odlévacích forem ⊕ po vyhoření zbývá naprosté minimum popela
Tvrdé a odolné resiny	⊕ vlastnostmi podobné materiálu ABS či PP ⊕ částečně pružné ⊕ vhodné pro mechanické díly ⊖ nízká teplotní odolnost
Teplotně odolný resin	⊕ vysoká teplotní odolnost ⊕ používá se na vstřikovací formy ⊖ vysoká cena
Dentální resin	⊕ zdravotně nezávadný ⊕ vhodný pro tvorbu zubních implantátů ⊕ vysoce odolný otěru ⊖ vysoká cena
Flexibilní resin	⊕ Měkký, gumě podobný materiál, schopný vykreslit i detaily ⊕ Spolehlivý tisk, nízká viskozita ⊖ Omezená míra deformace ⊖ Není recyklovatelný

Mějte prosím vždy na paměti, že kapalné pryskyřice jsou toxické. Při práci s nimi vždy používejte ochranné pomůcky, jako jsou rukavice a ochranné brýle. A určitě je dobré vědět, že na trhu jsou resiny, které obsahují různá množství vysoce toxických chemických látek. Před použitím jakéhokoliv resinu doporučujeme si nejprve prostudovat bezpečnostní list. Pryskyřice někdy vydávají nepříjemný zápach a lidé si myslí, že to je právě ten nejlepší indikátor toho, nakolik jsou zdraví škodlivé. Bohužel neexistuje žádná konkrétní souvislost mezi nepříjemným zápachem a toxicitou tiskových materiálů. Někteří výrobci nabízejí pryskyřice specificky namíchané jako málo zapáchající (low-odor), ale opět platí, že každá škodlivá látka by měla být uvedena v bezpečnostním listu.

SLOVNÍK POJMŮ

Slovník nejdůležitějších pojmů z oblasti 3D tisku, který vám pomůže se v této oblasti zorientovat. Některé pojmy jsou ponechány v anglické podobě, protože se jedná o běžně používané názvosloví.

Pojem	Popis a vysvětlení
AMF/3MF file	Souborový formát, který slicer využívá k uložení celé aktuální scény (rozmístění objektů na podložce a tiskové nastavení).
FDM / FFF	Technologie 3D tisku. Aditivní způsob výroby modelu vrstvu po vrstvě. Tisková struna je v hotendu natavovaná a extrudovaná za současných pohybů ve třech osách, čímž vzniká 3D objekt.
G-code	Výstupní formát sliceru. 3D objekt převedený do jednotlivých vrstev (plátků) obohacený o nastavení (teploty, rychlosti pohybu, chlazení,...). Model v tomto formátu již není vhodný k editaci. Posloupnost textových příkazů. Obecně se jedná o programovací jazyk pro řízení NC a CNC strojů.
OBJ file	Možný vstupní formát 3D modelu pro slicer. Obdoba formátu STL.
PEI	Fólie na povrchu tiskové podložky. Většina materiálů na ní drží velmi dobře.
RepRap	RepRap je první projekt open-source 3D tiskárny. Začal v roce 2005 na University of Bath doktorem Adrianem Bowyerem. Nyní je projekt v rukou komunity stovek vývojářů a desítek tisíc uživatelů.
resin	Tekutá tisková náplň pro SLA tiskárny. Synonymum pro fotopolymer a pryskyřici. Vytvrzování probíhá pomocí světla.
SLA / DLP	Technologie 3D tisku. Založené na vytvrzování fotocitlivé pryskyřice.
SLS	Technologie 3D tisku. Založené na laserovém spékání (sintrování) sypkého materiálu.
STL file	Možný vstupní formát 3D modelu pro slicer. Definuje množinu bodů v prostoru, které jsou spojené do hran, ty následně tvoří trojúhelníkové plochy a z těch je již tvořen samotný 3D model (mesh síť). Nejpoužívanější formát 3D tisku.
bed, heatbed	Tisková (vyhřívaná) podložka.
bridging	Přemostění. Jediný případ, kdy lze tisknout „do vzduchu“ bez podpěr. Dochází k tahání tiskových vláken mezi dvěma body o stejné výšce Z. Most tedy musí být nutně rovnoběžný s tiskovou plochou.

brim	Límec, který bude vytištěn navíc okolo první vrstvy objektu. Používá se ke zvýšení přilnavosti objektu k tiskové podložce.
extruder	Celá tisková hlava. Typicky se skládá z hotendu, podávacího mechanismu a ventilátoru.
filament	Tiskový materiál používaný v FDM/FFF tiskárnách.
firmware	Software nahraný v tiskárně, který se stará o její chod.
heat break	Část hotendu tvaru trubičky, která minimalizuje přechod tepla mezi heater blockem a heat sinkem.
heater block	Spodní část hotendu z materiálu, který dobře vede teplo. Je v něm zašroubovaná tryska, vložené topné těleso a termistor.
heater cartridge	Topné těleso, které zahřívá heater block s tryskou a následně tiskový materiál.
hotend	Součást extruderu, která roztavuje filament.
infill	Nastavení určující kolik procent vnitřního objemu modelu bude vyplněno materiálem. 100 % znamená plný objekt. Obvyklá hodnota je v rozmezí 10–20 %. Významně ovlivňuje dobu tisku a spotřebu materiálu.
layer	Jedna vrstva modelu vytvořená při procesu slicování. Výška vrstvy by měla být maximálně **0.75 × průměr trysky**. Významně ovlivňuje dobu tisku. Čím je vrstva nižší, tím je tisk detailnější ve směru osy Z.
mesh	Způsob reprezentace 3D modelu. Kolekce bodů, hran a stěn (polygonů a facetů) v trojrozměrném kartézském souřadném systému. Pro 3D tisk se používá nejčastěji triangulární mesh (trojúhelníková síť).
nozzle	Tryska skrz kterou je vytlačován filament. Její průměr ovlivňuje kvalitu a rychlost tisku. Více se dozvíte v článku: prusa.io/nozzles.
overextrusion	Vada tisku – extruderem protéká nadbytečné množství materiálu. Projevuje se nerovným povrchem výtisku.
perimeter	Jedná se o obvodovou stěnu modelu. Nastavuje se jejich počet, který udává, z kolika vláken bude tvořen plášť modelu. Šířka jednoho perimetru je závislá na průměru trysky. Při průměru trysky 0,4 mm je šířka perimetru cca 0,45 mm. Významně ovlivňuje dobu tisku.
raft	Typ podpěry, která se nachází pod celou kontaktní plochou modelu s podložkou.

retrakce	Zpětné vtažení filamentu extruderem před každým přejetím tiskové hlavy. Tím je omezeno, aby natavený filament samovolně vytékal z trysky. Typicky se špatně nastavená retrakce projevuje tvořením „vlásků“ (stringing) v místech, kde nemá být nic.
skirt	„Obal“ okolo modelu. V dostatečné výšce zajišťuje mikroklima pro tištěný model a snižuje kroucení a praskání. Lze využít pro kalibraci první vrstvy tisku.
slicer	Program pro převod digitálního 3D modelu (.stl, .obj) na strojově čitelný kód pro 3D tiskárnu (.gcode). Příklady slicerů: PrusaSlicer, Cura, Simplify3D a další. **Neslouží k modelování.**
slicing	Proces převodu 3D modelu do kódu pro tiskárnu. Dojde k rozřezání modelu na vodorovné vrstvy o definované výšce a vytvoření cest pohybů tiskové hlavy.
stringing	Vytváření nežádoucích slabých vláken materiálu během přejezdů tiskové hlavy. Omezit tento jev lze správným nastavením retrakce.
supports	Materiál, který je tištěný navíc k modelu za účelem možnosti tisku modelů, které obsahují oblasti s převisy, které svírají úhel s podložkou menší než cca 45°. Podpěry jsou následně odstraněny.
termistor	Teplotní čidlo. Slouží pro snímání a následné řízení teploty hotendu a tiskové podložky.
under-extrusion	Vada tisku – extruderem neprotéká dostatečné množství materiálu. Projevuje se dírami a nekonzistentním povrchem tisku. Za předpokladu dodržení doporučovaných teplot nahřívání filamentu je to nejčastěji způsobené ucpanou tryskou.

FAQ

Co je to 3D tisk?

3D tisk je automatizovaný proces, při kterém se z digitální předlohy (3D modelu) vytváří fyzický model.

Kolik stojí provoz 3D tiskárny?

Nejdražší položkou je tiskový materiál. Cena výtisku se odvíjí především od váhy. 1 kg nejběžnějšího filamentu PLA stojí přibližně 600 Kč. Spotřeba elektrické energie je srovnatelná se 100W žárovkou. Servis tiskáren není drahý a při slušném zacházení stojí maximálně několik stokorun ročně.

Jak funguje 3D tisk?

Ať už se jedná o jakoukoliv technologii 3D tisku, vždy je založená na principu postupného nanášení vrstev materiálu na sebe. Postupným vrstvením vzniká 3D objekt.

K čemu je 3D tisk dobrý a jaké jsou jeho výhody?

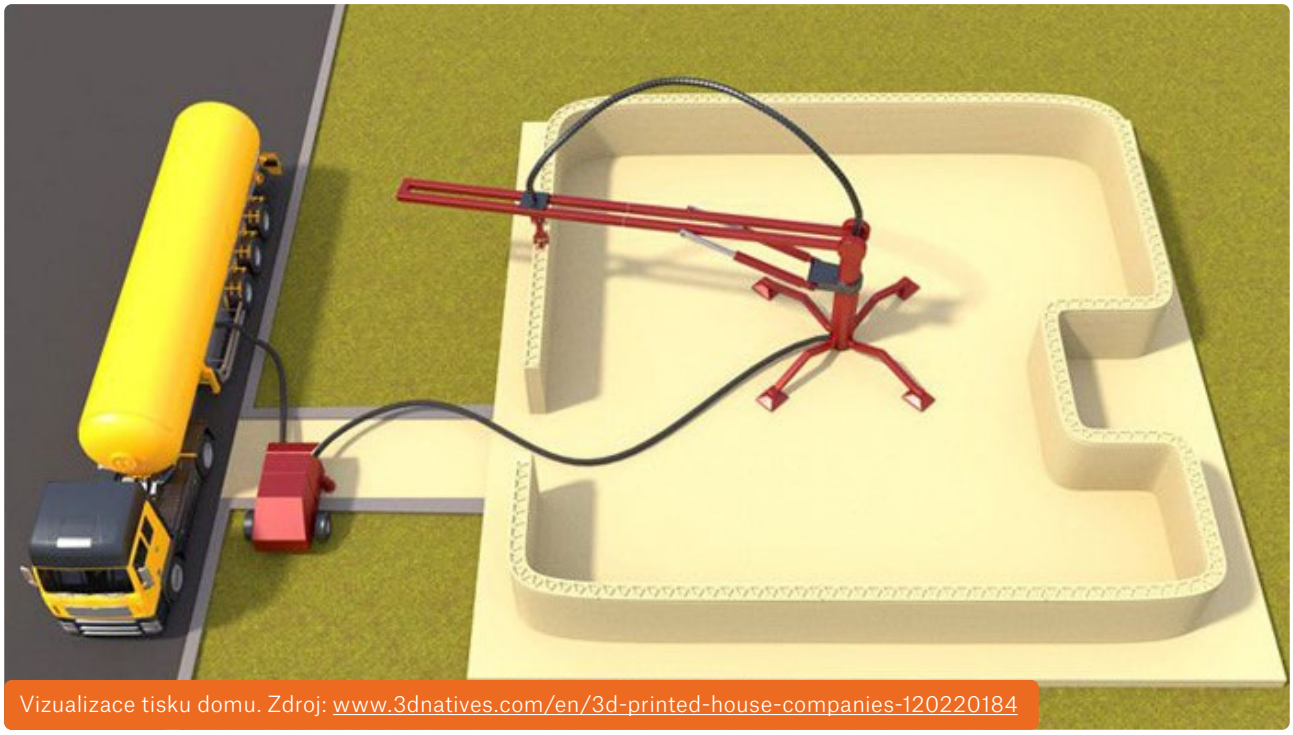
Vyjmenovat všechna možná využití napříč odvětvími by bylo na dlouho! Ale pár příkladů: rychlé prototypování, výroba personifikovaných modelů, malosériová výroba a nižší výrobní cena například oproti vstřikovacímu lisu.

Lze FFF 3D tisk považovat za ekologicky šetrný?

3D tisk je aditivní výrobní metoda, což znamená, že se materiál přidává na prázdný povrch a vytváří se tak objekt. To znamená, že při 3D tisku vzniká méně odpadu. Přímým opakem je subtraktivní výroba, která je založena na odebírání materiálu ze stávajícího objektu, např. zpracování dřeva. Další výhodou je, že pomocí 3D tisku jsme schopni opravit věci, které by se jinak vyhodily. K dispozici jsou také recyklované PLA a PETG tiskové materiály, které jsou vyrobené ze 100% recyklovaného PLA a PETG.

Je možné vytisknout dům?

Ano! Již proběhlo několik úspěšných pokusů tisku z betonu či jílovitých materiálů. Princip je stejný jako při tisku z plastové struny.



Vizualizace tisku domu. Zdroj: www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184

Mohou 3D tiskárny tisknout lidské orgány?

Ještě ne. Vědci na tom však velmi usilovně pracují a každou chvíli se objevují nové poznatky z této oblasti. Problémem a současně výzvou je to, že lidské orgány jsou velmi složité a navíc navzájem závislé. V současné době se vědci zaměřují na tisk tkáně pro jednoduché orgány.

Mohu tisknout objekty větší než je tisková plocha tiskárny?

Ano! Model je možné rozřezat na jednotlivé části a následně slepit.

Jaký je rozdíl mezi technologií FFF a SLA?

FFF tisk využívá jako tiskový materiál filament neboli tiskovou strunu v podobě plastu. Tisková struna se roztaví a je vytlačována za současných pohybů tiskové hlavy. Oproti tomu SLA je založené na vytvrzování tekutého fotopolymeru. Na FFF tisku jsou více patrné tiskové vrstvy ve srovnání s SLA. Nevýhodou SLA technologií je samotný tiskový fotopolymer, se kterým je třeba pracovat opatrně a vyvarovat se jeho styku s pokožkou a vdechování výparů během tisku.

Jaký materiál se používá pro FFF tisk?

Tiskovým materiálem je vždy plast a případné další příměsi. Nejpoužívanějšími materiály jsou PLA, PETG a ABS, nicméně dostupná je celá řada dalších pokročilých (odolnějších) materiálů – například ASA, PC Carbon Fiber a Nylon.

Jak dlouho trvá tisk?

Jednoduchá otázka se složitou odpovědí. Doba tisku je závislá na řadě faktorů. Primárně závisí na velikosti, ale také na hustotě výplně, počtu perimetrů (obvodových stěn), vrchních a spodních vrstev, průměru trysky, výšky tiskové vrstvy, složitosti modelu, množství podpěr, rychlosti pohybů tiskárny a dalších. Tisk malé postavičky výšky přibližně 5 cm bude trvat zhruba hodinu. Nejsou však výjimkou ani tisky trvající desítky hodin.
Většina dostupných slicerů už dokáže během slicování dobu tisku dobře odhadnout.

Co s prázdnými špulkami od filamentů?

Odložte je do kontejneru s plastovým odpadem. Bohužel není snadné a ekonomické cívky od zákazníků dostávat zpět a vykupovat je. Pokud je vám jich líto, můžete je použít pro některý váš projekt. Inspirujte se třeba nápady naší komunity prusa.io/spools.

Mohu si vytisknout něco k jídlu?

Ano! Jediné co je potřeba je mít jídlo v takové podobě, aby bylo možné jej vytlačovat přes extruder. Speciálně upravené RepRap tiskárny mohou tisknout například z čokolády či tisknout palačinkové těsto na rozehřátou pánev.

Mohu si vytisknout hrneček či talíř a konzumovat z tohoto nádobí potraviny?

Ano, ale s jistými omezeními. Materiály PETG a PLA jsou obecně zdravotně nezávadnými materiály a mohou přijít do styku s potravinami (tuto informaci si vždy ověřte u výrobce filamentu). Problém však může nastat při dlouhodobém používání, kdy se v členitém povrchu výtisku začnou usazovat a množit bakterie.

Jak se měří rychlost 3D tiskárny?

Na trhu není úplně málo 3D tiskáren, které se chlubí až neuvěřitelnou rychlostí tisku. Skutečnosti je ale taková, že ta supervysoká inzerovaná čísla jsou v podstatě čistě teoretická. Pokud chcete opravdu přesně posoudit rychlost nějaké 3D tiskárny, doporučujeme si jednoduše stáhnout slicer jejího výrobce a podívat se, jaké časy vám spočítá pro vaše preferovaná nastavení a modely. Zdaleka nejspolehlivějším ukazatelem pro srovnávání 3D tiskáren zustává jejich spolehlivost a celkové vyznění zpětné vazby jejich komunit.

Mohu si vytisknout erotické pomůcky?

Ano, ale nejlépe pouze jako model na poličku. Problém je stejný jako u nádobí – množení a hromadění bakterií mezi vrstvami. Případně je třeba výtisk dodatečně ošetřit a vytvořit hladký a zdravotně nezávadný povrch.

Lze na 3D tiskárně vyrobit střelnou zbraň?

Teoreticky ano! Pokud si dáte práci s postprocessingem, tak bude vypadat i důvěryhodně. Ale dali byste do plastového výtisku náboj a stiskli spoušť? Ne? My také ne! Hrozí roztržení plastového výtisku a vážné poranění. Stejně tak pronést takto vyrobenou zbraň přes detektory kovu je nemožné z důvodu kovového pláště střely. Možná vás napadne: „Co použít tisk z kovového prášku?“ Ano, máte pravdu, možné to je, ale vzhledem k tomu, že takový tisk je velmi drahý, tak je to nesmyslný scénář. Pro domácí výrobu zbraní existují jednodušší a levnější způsoby. Postačí obyčejný soustruh.

Základy 3D tisku s Josefem Průšou

Ondřej Stříteský

Vydal:
Prusa Research a.s.
Partyzánská 188/7a
170 00 Praha
Česká republika

Spoluautoři:
Josef Průša, Martin Bach, Štěpán Feik

Grafická úprava a sazba:
Petr Memory Dragoun, Dagmar Karochová