



IMPULS
PRO KARIÉRU
A PRAXI

26 3D MODELOVÁNÍ A 3D TISK PRO SŠ



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Jhk.cz



JIHOČESKÁ
HOSPODÁŘSKÁ
KOMORA


Jihočeský kraj

Obsah

Základní instrukce / **5**

Doporučená literatura / **6**

Teoretická část k dané problematice / **7**

CAD / **7**

3D tisk / **8**

Příklady z praxe / **11**

Metodická a didaktická část / **12**

Úvod – první hodina / **12**

3D modelování / **15**

Zákonnosti tvorby v 3D programu / **21**

3D tisk / **22**

Doporučené pomůcky / **32**

Vzorové úlohy / **32**

Úloha 1: Prívěšek na klíče / **33**

Úloha 2: Magnetek na ledničku / **34**

Úloha 3: Hrací kostka / **35**

Úloha 4: Krabička / **36**

Úloha 5: Spojování dílů / **37**

Pracovní postup „3D modelování a 3D tisk pro SŠ“ je součástí publikace „Pracovní postupy pro workshopy digitalizace ve školách.“, která vznikla v rámci aktivity Asistenčního centra Impuls pro kariéru a praxi při Jihočeské hospodářské komoře díky realizaci projektu „Implementace Krajského akčního plánu Jihočeského kraje III“, který je spolufinancován Evropskou unií. Registrační číslo projektu CZ.02.3.68/0.0/0.0/19_078/0018246

Elektronická verze publikace je k dispozici na www.impulsprokarieru.cz

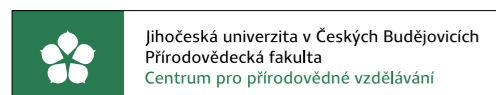
Autoři:

Mgr. Jakub Geyer, Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Mgr. Tomáš Sosna, Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Editor: doc. RNDr. Ing. Jana Kalová, Ph.D.

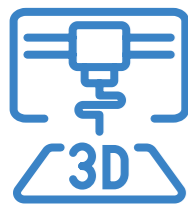
Publikaci připravila Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity



Grafický design: Čestmír Sukdol – www.brandi.cz

Vydala: Jihočeská hospodářská komora

2021



Cílem kurzu je představit možnosti využití 3D modelování a 3D tisku technologií Fused Filament Fabrication (nanášení roztavené plastové struny) ve výuce na středních školách. Je zde představen celý proces od náčrtku, přes 3D modelování, slicing, až po samotný tisk a možnosti postprocessingu. Na začátku kurzu jsou účastníci seznámeni s bezpečností práce a základy zacházení s 3D tiskárnou. Součástí jsou také vzorové úlohy včetně řešení, které je možné použít ve výuce.

Základní instrukce

Tento kurz je doporučen žákům středních škol a gymnázií (bez ohledu na zaměření). Autor má zkušenosti s výukou této látky pro studenty vysoké školy, firemní zaměstnance a širší veřejnost. Druhý autor má zkušenosti s výukou této látky již od šesté třídy ZŠ a v rámci kroužku. Tento kurz lze vyučovat v rámci všech ročníků středních škol a gymnázií. V rámci kurzu jsou představeny postupy a metodiky tvorby 3D modelů a možnosti jejich tisku pomocí technologie FFF (FDM).

Časová dotace tohoto kurzu není striktně dána. Může záviset na úrovni všech účastníků kurzu a jejich zkušenostech s 3D modelováním, respektive 3D tiskem. Vyučující by se měl řídit časovou dotací na dané škole. Doporučená časová dotace jsou dvě spojené hodiny týdně, jak v případě výuky, tak v případě kroužku. Tisknutí pomocí 3D tiskárny je doporučeno při výuce nebo přes pracovní dny, kdy je možná kontrola o přestávkách či vzdálený dohled s možností zásahu.

Níže naleznete doporučený průběh a časovou dotaci. Kurz lze rozčlenit do tří částí:

1. Úvod

- a. Bezpečnost práce (osobní + zařízení) - v rámci tohoto kurzu by měli žáci/studenti dodržovat základní bezpečnost práce v IT nebo jiné učebně, která je dána řádem učebny. Dále budou seznámeni s bezpečností práce a užívání 3D tiskárny a příslušenství.
- b. Seznámení s 3D tiskárnou a první tisk (tisk poté necháme běžet i přes výuku).
- c. Od modelu k tisku – ještě, než začneme s žáky/studenty vytvářet modely, musíme vysvětlit základní postup této tvorby. Popis jednotlivých dílčích kroků:
 - 2D náčrt
 - 3D model
 - Slicing modelu pro tisk
 - Tisk a jeho příprava
 - Následné zpracování

2. 3D modelování

- a. 2D – slouží k načrtnutí, kótování a zavazbení základního nákresu 2D zobrazení budoucího modelu.
- b. 3D – slouží k převedení dvojrozměrného nákresu do trojrozměrné podoby, kde je možné získaný model dále upravovat.

3. 3D tisk

- a. Slicing – úprava a příprava již hotového modelu na samotný tisk.
- b. Orientace objektu pro tisk
- c. Práce s 3D tiskárnou
- d. Vlastnosti 3D tiskárny (FDM)

Minimální doba, za kterou lze tento výukový balík absolvovat, je tedy čtyři vyučovací hodiny – první dvouhodinová: část 1–2, druhá dvouhodinová: část 2–3. Doporučený počet je 10 hodin (2, 2, 2, 2) včetně představení projektů. Je třeba počítat s možností, že za běhu bude nutné přidat či ubrat hodiny.

Pro část 1 a úvod do problematiky částí 2 a 3 je vhodnou výukovou metodou frontální výuka spojená se samostatnou prací žáků/studentů v hodině. Učitel by měl vždy část látky vysvětlit a ukázat, poté nechat žáky/studenty, aby si vše vyzkoušeli a stíhali pracovat všichni najednou.

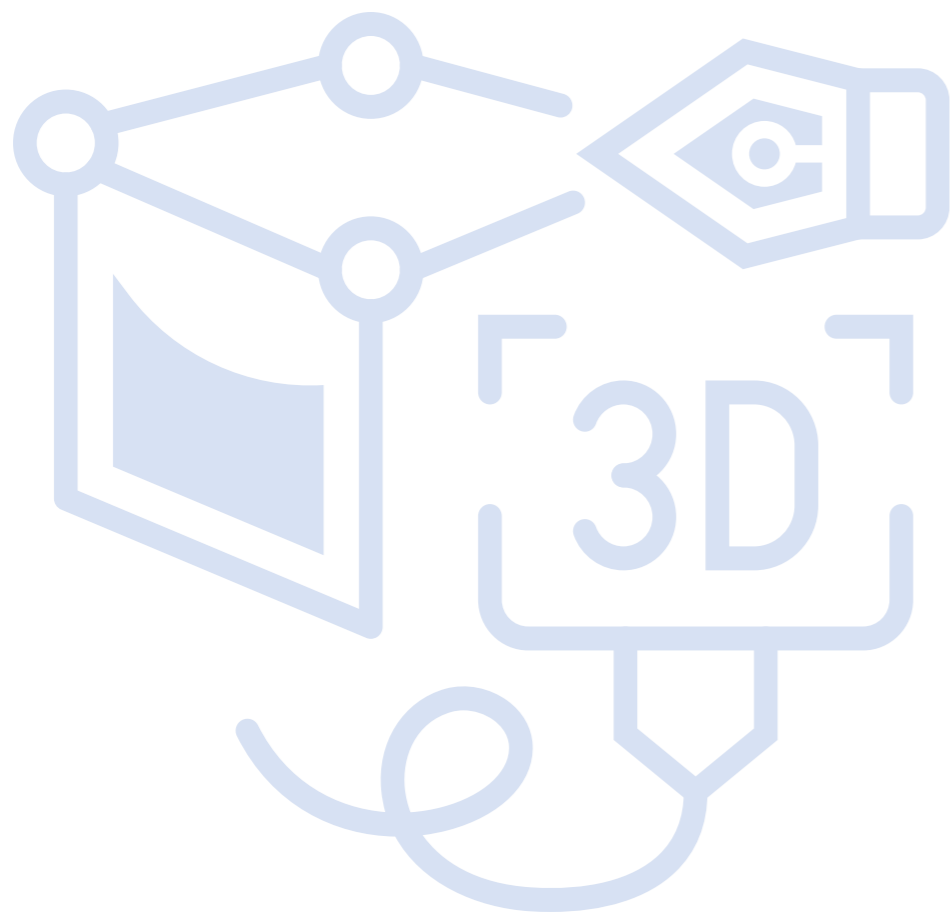
V závěrečných hodinách pak lze s úspěchem použít projektovou výuku, kdy žáci buď dostanou přidělené téma nebo si jej zcela sami zvolí na základě dosažené úrovně konstruování. Tyto projekty by si měli žáci sami navrhnout, rozměřit, vymodelovat, připravit k tisku a vytisknout.

Doporučená literatura:

Průša, J. (2014). *Základy 3D tisku*. (<https://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>).

Vláčilová, H., Vilímková, M., & Hencl, L. (2006). *SolidWorks*. Brno: Computer Press.

Jako další zdroj je vždy důležité seznámit se s manuálem ke konkrétní 3D tiskárně.



Teoretická část k dané problematice

CAD

CAD v překladu znamená počítačem podporované kreslení nebo rýsování. Je to program, který používáme po celou dobu konstrukce (tvorba součástí, výkresu, animace...). Původně se s CAD systémem počítalo jako s programem pro navrhování integrovaných spojů v počítačích, až později se začal používat ve strojírenství a architektuře, kde se jednalo o navrhování součástí a staveb. Ještě později se CAD začíná používat v geodézii, kartografii a geografických informačních systémech (vazba na databáze). Objevení CAD technologií kvalitně posunulo metodiku konstruování.

Asi největší předností počítačového návrhu je jeho možnost návaznosti na další technologické činnosti. Jako příklad lze uvést některé komplikované tvary při výrobě automobilů.

Výběr softwaru

V dnešní době existuje na trhu velké množství různých programů pro 3D modelování. Tyto programy lze rozdělit podle oblastí využití (strojírenství, elektrotechnika, architektura aj.), dostupnosti (free verze, licencované verze), podle způsobu postupu při modelování (parametrické, neparametrické) a spoustu dalších dělení. **Parametrický CAD** znamená CAD program, který vytváří model postupně obvykle od 2D náčrtu po 3D model s využitím vztahů/omezení (constraints), oproti tomu **neparametrický CAD** (direct modeling) vytváří 3D modely přímo bez vztahů a bez závislé historie kroků.

Pro většinu škol je nejdůležitějším faktorem dostupnost nebo chcete-li cena. Sice není potřeba žáky učit hned v programu, který nám umožní vymodelovat vše, na co si vzpomeneme, nicméně pakliže máme kvalitní software k dispozici a žáci se v něm naučí orientovat a pracovat (stačí základy), mají do budoucna dobrou přípravu a zkušenost, protože na středních/vysokých školách se pracuje především s těmito kvalitními programy. Tím žáci mohou kontinuálně navázat na své zkušenosti ze základní školy. V opačném případě dochází dost často k přeučování již získaných zkušeností a nelogických postupů.

Aktuálně lze získat licencovaný program na ZŠ/SŠ poměrně levně, respektive školy mají možnost čerpat peníze na takové programy přímo z ministerstva v rámci šablon nebo dalších projektů.

3D skenování

Alternativní možností tvorby modelů je 3D skenování. Obsluha ať už ručních či stolních skenerů je však často poměrně náročná a vyžaduje další zpracování modelu ve speciálním software. Stejně tak přímé zpracování fotografií pomocí fotogrammetrického software (např. Meshroom) je poměrně náročné a často vyžaduje podrobné nastavení stylem pokus/omyl. Kombinované zařízení 3D tiskárna + skener s jednoduchým rozhraním (např. XYZprinting da Vinci Pro 3v1) zase dosahuje bez dodatečných úprav modelu převážně velmi špatných výsledků. Pro začlenění do výuky na středních školách tak 3D skenování není v současné době příliš vhodné.

3D tisk

3D tisk je proces, při kterém se z digitální předlohy (3D model) vytváří fyzický model. Jedná se o aditivní proces výroby (Additive Manufacturing). Tisk se provádí po vrstvách.

Použití

3D tisk nachází uplatnění všude tam, kde je zapotřebí výroba prototypů, malovýroba, personalizovaná výroba, výroba jinak nesehnatelných součástí (již se nevyrábí), apod.

Velkou výhodou 3D tisku je snadné sdílení modelů. Pokud tak někdo na jednom konci světa vytvoří model součástky (včetně ověření možnosti jeho tisku), tento model lze snadno předat či sdílet komukoliv na světě, kdo má přístup k odpovídající 3D tiskárně.

Oblasti užití

- Výroba zboží či příprava odlitků zboží (šablony)
- Letectví, kosmonautika, automobilový průmysl
- Zdravotnictví (např. přesné náhrady kostí)
- Stavebnictví
- Umění

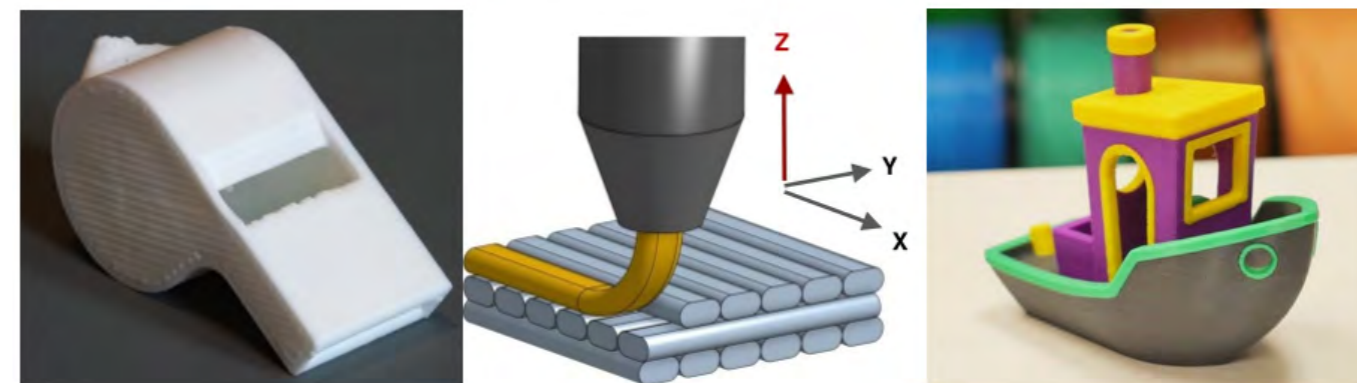
Druhy 3D tisku

Mezi nejrozšířenější formy 3D tisku patří FFF (FDM) SLA (vč. DLP) a SLS (vč. DMLS). Pro použití ve výuce ZŠ/SŠ je nejvhodnější a zároveň ekonomicky nejlevnější variantou 3D tisk FFF. V případě ostatních druhů 3D tisku proces zahrnuje práci s nebezpečnými či přímo toxickými materiály a látkami, jejich zahrnutí např. na technicky zaměřených SŠ je tak nutno pouze za dodržení maximálních bezpečnostních opatření.

FDM (FFF)

Fused Filament Fabrication (Fused Deposition Modeling)

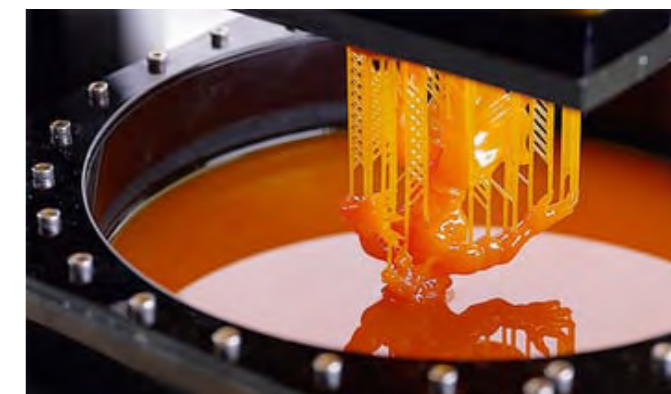
- Princip (elektronicky řízené) „tavné pistole“. Tisk probíhá kladením jednotlivých linek roztaveného plastu, které postupně tvoří vrstvy modelu.
- Nelze tisknout „do vzduchu“, často je tak nutné využít tištěných podpor či jinak tento problém řešit (viz. kapitola *Orientace modelu pro tisk*).
- Materiál = filament (plastová struna podobná té do křovinořezu).
- Některé tiskárny umožňují tisk z více filamentů, resp. jejich střídání. Toho lze využít pro tisk rozpustných podpor, vícebarevného tisku či kombinaci např. flexibilních a pevných materiálů.



SLA / DLP

Stereolithography / Digital Light Processing

- Vytváření objektů pomocí postupného vytváření tekuté pryskyřice pomocí působení světla specifické vlnové délky, nejčastěji UV záření či laser. Tisk probíhá postupným osvětlováním jednotlivých vrstev.
- Nelze tisknout do vzduchu, díky možnosti velmi jemného, detailního tisku (proti FFF) jsou však podpory obvykle tvořeny tenkou „stromovou strukturou“. Rovněž dutiny mohou představovat problém (podtlak při tisku, nutnost vypouštěcích otvorů).
- Po dokončení tisku je model nutno dokonale umýt (obvykle v isopropyl-alkoholu) a následně dovytvrdit.
- Materiál = resin (pryskyřice).



SLS / DMLS

Selective Laser Sintering / Direct Metal Laser Sintering

- Tisk probíhá spékáním prachových plastových (SLS) nebo kovových (DMLS) částic laserem po vrstvách.
- Nejsou nutné podpory (přirozená podpora) a rovněž je možný tisk provázaných modelů oddělených nespečeným prachem. Po vytištění je však nutné očištění („vyhrabání“) jednotlivých výtisků.



Další (EBM, Solidscape, c3Dp/3DCP)

Selective Laser Sintering / Direc Metal Laser Sintering

- Existuje celá řada dalších specifických druhů 3D tisku, většina z nich však nemá obecné uplatnění v ZŠ/SŠ vzdělávání. Pro průmyslové střední školy může být nicméně zajímavá např. existence 3DCP
 - 3D tisk domů obvykle z betonu (princip podobný FFF).

Druhy filamentu

Mezi nejběžnější používané filamenty (tiskové struny pro FFF) patří:

PLA (Polylactic Acid)

Asi nejrozšířenější filament u nás, který je biologicky plně odbouratelný. Vyrábí se z cukrové třtiny, bramborového škrobu či kaučuku. Vyniká prakticky nulovou teplotní roztažností, možností tisku velmi nízkých vrstev (až 0,05 mm) -> vysoké detaily a dobrými mechanickými vlastnostmi. Teplota tisku je obvykle 185–230 °C. Hlavními nevýhodami je nízká teplotní odolnost a nízká odolnost vůči chemikáliím i UV záření.

PET (Polyethylentereftalát)

Je to filament, který propojuje nejlepší vlastnosti filamentů ABS a PLA (snadný tisk a dobrá odolnost jak mechanická, tak teplotní, chemická i UV). Zároveň má velmi malou teplotní deformaci. Velmi výhodný pro FDM technologie tisku a nezávadný (tzv. food-safe). Teplota tisku je obv. 220–250 °C.

ABS (Akrylonitrilbutadienstyren)

Velmi rozšířený druh plastu a první, který se pro 3D tisk FFF začal používat. Jedná se o mechanicky odolný a přitom dobře opracovatelný materiál s vysokou teplotní odolností. Nevýhodou je poměrně velká teplotní roztažnost a zbytkové zplodiny při zahřívání na vysokou teplotu (malá koncentrace, ale doporučeno při tisku dostatečně větrat). Obvyklá teplota pro tisk je 230–260 °C.

Seznam dalších rozšířených druhů filamentů:

- | | |
|--|--|
| – CPE (Co-Polyester) | – ASA (Acrylonitrile styrene acrylate) |
| – PC (Polykarbonát) | – PMMA (Polymethylmethakrylát) |
| – PP (Polypropylen) | – HIPS (High Impact Polystyrene) |
| – Nylon/PA (Nylon (Polyadmidy)) | – PVA (Polyvinylalkohol) |
| – TPE/TPU (Thermoplastic elastomers/
polyurethanes) | – BVOH (Butendiol-Vinylalkohol) |

Filamenty mohou být doplněny o různá aditiva (např. různé třpytky, dřevěné či dokonce kovové částice, karbonové vlákno, apod.). Pozor, některé filamenty jsou abrazivní a mohou tak vyžadovat speciální trysku!

Pro využití ve školním prostředí jsou nejvhodnější filamenty z PET (případně CPE) a PLA, ze kterých lze snadno tisknout na všech FFF tiskárnách a jsou zdravotně nezávadné. Tisk z ABS je možný za dostatečného větrání (což lze doporučit obecně, pouze pozor na případný průvan, který může způsobit komplikace při tisku u otevřených tiskáren). Další materiály jsou na tisk již náročnější s ohledem na tiskové parametry, vlastnosti a přípravu tiskové podložky. Zejména tisk z flexibilních filamentů (Nylon, TPE, apod.) může být problematický, především u tiskáren s bowdenovým extruderem (viz. kapitola Vlastnosti 3D tiskáren FFF). Pokud je škola vybavena multimateriálovou tiskárnou, je vhodné disponovat také filamenty rozpustnými ve vodě pro tisk vodou rozpustných podpor (PVA/BVOH).

Příklady z praxe

Jinak, než 3D tiskem to někdy nejde

Mezi velmi časté použití 3D tiskárny patří personalizovaná výroba, tedy výroba něčeho, co je přizpůsobeno na míru přání autora. Studenti velmi často mají mnoho nápadů na něco speciálního, co by si rádi vytvořili nebo přizpůsobili svým potřebám. Jednoho z kurzů se například zúčastnil také student na kolečkovém křesle, který si vymodeloval a vytiskl držák na nápoje přesně na svůj vozík.

Častým případem pro využití 3D tisku je také tisk součástek/náhradních dílů, které již nejsou jinak k dostání, nebo jejich zakázková výroba by byla příliš drahá. Jeden ze studentů kurzu například vymodeloval náhradní držák struhadel do mixéru pro maminku, která by jinak musela tento mixér již vyhodit.

Příklad z výuky na ZŠ

Dva žáci již měli zkušenosti s 3D modelováním, nicméně v neparametrických programech, což způsobovalo velké problémy nejen při přeorientování na parametrický CAD, ale také v možnostech modelování. Oba chlapci byli do modelování velmi nadšení, ale jak sami přiznali, byli limitováni možnostmi neparametrického Tinkercadu.

Díky parametrickému SolidWorksu si i přes počáteční problémy, spojené s přeorientováním, tento program oblíbili a prakticky již zvládají modelovat i poměrně složité konstrukce, které jsou vhodné spíše pro vyšší ročníky středních škol.

Absolvováním této výuky žáci/studenti získají nebo si prohloubí základní návyky v rámci 3D modelování. Dále se dozví informace ze světa 3D tisku, možností volby programů a základů technické dokumentace. Zde záleží pouze na učiteli, který musí odhadnout úroveň svých žáků a jak hluboko si může dovést ponořit se do dané problematiky.

V neposlední řadě lze tímto úkolem rozvíjet technické znalosti žáků – již zmiňované základy technické dokumentace, prostorovou představivost, technickou představivost aj. S úspěchem lze na závěr zadat žákům projekt, kde si každý dle svých schopností a představivosti může vytvořit vlastní model, který si i sami vytisknou (naučí se obsluhovat 3D tiskárnu). Tyto vytisknuté modely mohou sloužit i pro propagaci školy v rámci dnu otevřených dveří aj.



Metodická a didaktická část

Úvod – první hodina

V rámci první hodiny by žáci na začátku měli být především seznámeni s bezpečností práce, aby se předešlo možnému zranění žáků nebo poškození tiskárny a příslušenství. Dále by se žáci měli ve zkratce seznámit s tím, co je 3D tiskárna a provést první krátký tisk (předem připravený GCODE). Následně je již možné se pustit do základů modelování.

Bezpečnost práce

V rámci kurzu by měli žáci/studenti dodržovat základní bezpečnost práce v IT nebo jiné učebně, která je dána řádem učebny. Dále by měli být hned v úvodu seznámeni s bezpečností práce a správným užívání 3D tiskárny a příslušenství. Žáky je zejména potřeba upozornit na:

- Práci s elektrickým zařízením (nebezpečí při polížení, ventilační otvory zdroje a elektroniky, atd.).
- Nářadí s ostrými hranami (nože, špachtle, apod.). **Zejména zranění ostrou špachtlí při sundávání po tisku patří mezi nejčastější úrazy související s 3D tiskem.**
- Části zařízení s vysokou teplotou (tryska, vyhřívaná podložka, krokové motory)
- Mechanické pohyblivé části – hrozí přiskřípnutí.
- Chemikálie (aceton, IPA, líh, lepidla, atd.).

Při práci s 3D tiskárnou by měli žáci vždy dodržovat:

- **Se zařízením pracovat pouze na pokyn učitele** a vždy dodržovat jeho pokyny. Pokud budou mít žáci s tiskem jakýkoliv problém, měli by se ihned obrátit na vyučujícího.
- Nekonzumovat jídlo a nemanipulovat s tekutinami v blízkosti tiskáren.
- Pozor na statický náboj (zejména displeje některých tiskáren jsou citlivé na statický náboj – může dojít k chvilkovému rozrušení displeje nebo v extrémním případě i k poškození).
- Vyvarovat se poškození tiskového povrchu (tryskou, špachtlí, výměna tiskového plátu, apod.).
- **Nevypínat tiskárnu, dokud tryska nevychladne pod 50°C.** Při závažnější chybě tisku mají uživatelé 3D tiskárny tendenci tiskárnu vypnout, to však vede k vypnutí ventilátoru a nárůstu teploty nad tryskou, což může vést k jejímu uspání či poškození.
- V učebně dostatečně větrejte a zbytečně neinhalyte zbytkové látky při tisku (ani v případě bezpečných materiálů). Pozor ale na průvan, který by mohl ztížit tiskové podmínky.
- Nenechávejte nikdy tisk bez dozoru.

Žáci by se měli rovněž seznámit s manuálem a bezpečnostními pokyny ke konkrétní tiskárně.

Seznámení s tiskárnou a první tisk

Žáci/studenti by si měli ve skupině vyzkoušet kontrolu tiskárny a přípravu pro první tisk. Na začátku je potřeba se seznámit se základním fungováním tiskárny (osy, tryska, tisková plocha/podložka) a práci s nimi. Rovněž je potřeba se seznámit se základním ovládním (ovládací prvky, vypínač, reset tlačítko – jeli k dispozici).

Pokud je k dispozici více tiskáren, ideálně by měl učitel vysvětlit a ukázat postupně očištění/odmaštění tiskové plochy, odejmutí a usazení tiskového plátu (je-li jím tiskárna vybavena), přehřev a zavedení filamentu. Tento postup mohou studenti pod dozorem replikovat na dalších tiskárnách. Důležité je umožnit studentům opakovat dílčí kroky a vždy počkat na dokončení, aby se zamezilo případným chybám.

Následně je možné spustit první tisk (z předem připraveného GCODE). Vhodné jsou například vzorové modely od PrusaResearch (dostupné s instalací Prusa software nebo na <https://www.prusa3d.cz/3d-modely-pro-tisk/>). S ohledem na čas jsou vhodné např. píšťalka, Marvin či otvírák na lahve.

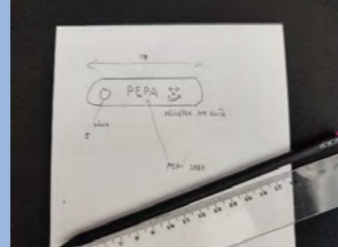


Od modelu k tisku (jak postupovat)

Ještě, než začneme s žáky/studenty vytvářet modely, musíme vysvětlit základní postup této tvorby a následných kroků pro jejich vytištění. Dílčí kroky je možno shrnout do několika bodů:

2D Náčrt

Náčrt na papír, který pomůže ucelit představu o finálním produktu. Později může být využit jako základ pro 2D skicu v CAD.



Představa

Již pro náčrt je vhodné mít k dispozici pravítko, úhloměr, apod. pro snazší odhad velikostí.

Tvorba 3D modelu

Pomocí 2D náčrtů a jejich „vytažením“ do 3D postupně vytváříme model.



STL/OBJ

Export modelu a načtení do sliceru.

Slicing

Příprava modelu pro tisk na konkrétní tiskárně a z konkrétního materiálu. Nastavení parametrů tisku (rychlost, perimetry, výplň, atd.)



GCODE

Přenos do tiskárny.

Tisk

Příprava materiálu, tiskové plochy, tisk.



Tištěný díl

U modelu jsme zapomněli zaoblit hrany, můžeme je tak např. zabrousit.

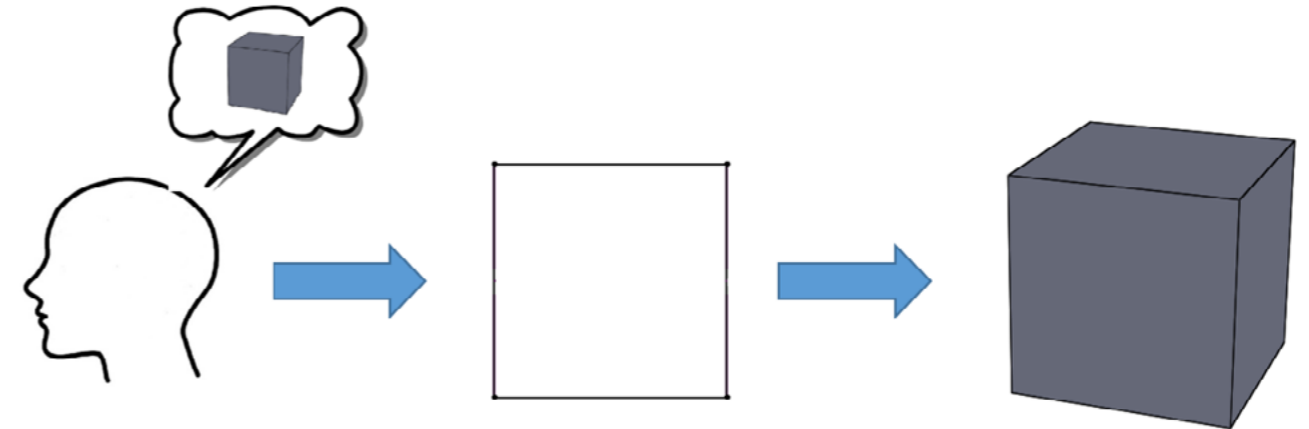
Postprocesing (následné zpracování)

Očištění, lepení, broušení, spojování, atd.



3D modelování

Je to proces tvorby výsledného modelu (od myšlenky, přes náčrt až po hotový model), který má několik fází. Tyto fáze mají jasnou posloupnost, kterou nelze měnit.



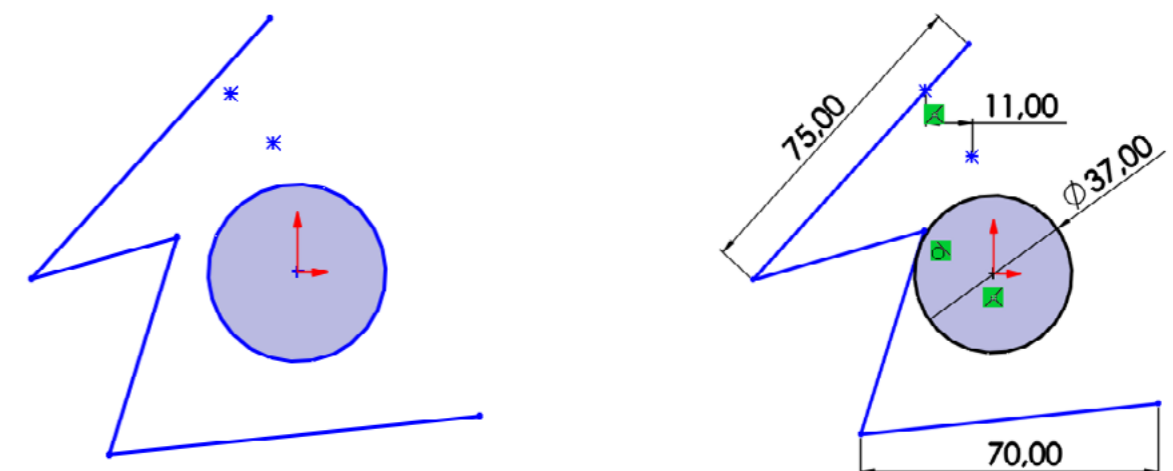
2D náčrt

Slouží k načrtnutí, kótování a zavazbení základního náčrtu 2D zobrazení budoucího modelu.

V první fázi bychom měli seznámit žáky/studenty s prostředím programu, ve kterém budeme pracovat. Žáci /studenti by si měli osvojit vlastnosti a funkce prostředí. V parametrických CAD programech vytváříme napřed 2D náčrt. Ten se obvykle vytváří na skicu.

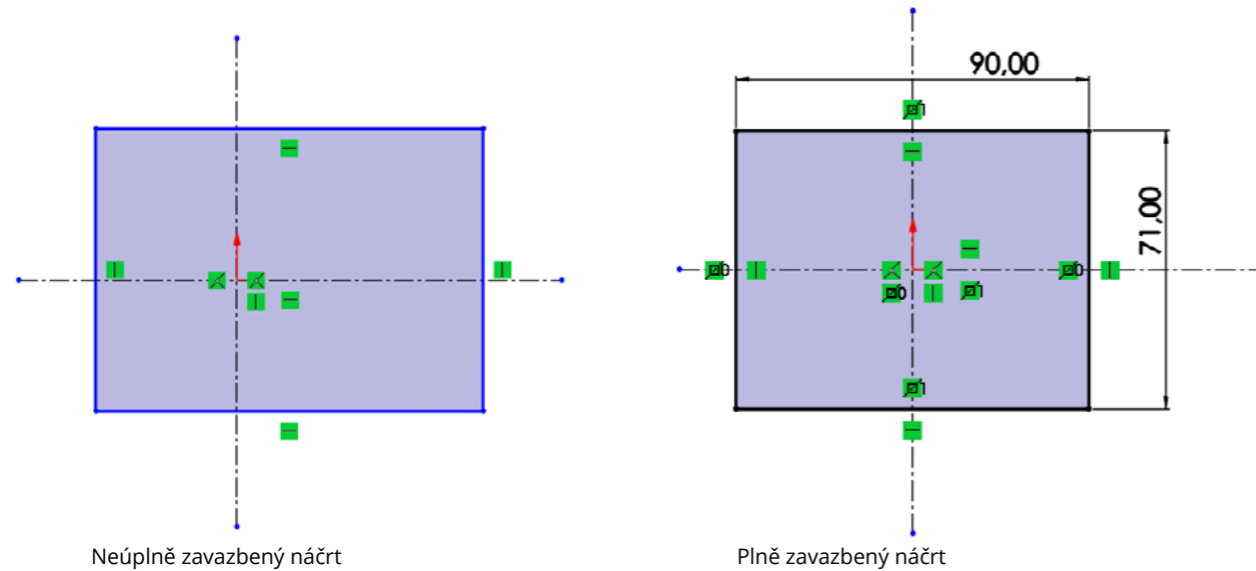
Skica

Skica je "papír", na který lze zakreslit, pomocí jednotlivých nástrojů, různé čáry, tvary, body atp. Tyto kresby můžeme zakótovat a zavazbit, případně pomocí některého nástroje zkopírovat, zrcadlit, ořezat, spojit atp. Po dokončení náčrtu skicu jednoduše uzavřeme (můžeme se do ní kdykoli během práce vrátit).



Plně určený náčrt

Po nakreslení náčrtu je vždy dobré tento náčrt tzv. plně určit. To můžeme učinit pomocí vazeb (tečná, sjednoceno, kolmá, ...) nebo kót (rozměrů). Zabráníme tak možné deformaci náčrtu a zároveň si ověříme, že daný náčrt má všechny potřebné parametry k převodu na 3D model. V rámci kótování a vazbení můžeme velmi dobře využívat osy, které nám práci ulehčí.

**3D model**

Slouží k převedení dvojrozměrného nákresu do trojrozměrné podoby, kde je možné získaný model dále upravovat. Po dokončení 2D náčrtu uzavřeme skicu a můžeme využít některou z funkcí na vytvoření 3D modelu. Funkci vybíráme podle vhodnosti k našemu náčrtu. Máme několik základních funkcí:

- Vysunutí
- Rotace
- Spojení profilů
- Tažení po křivce

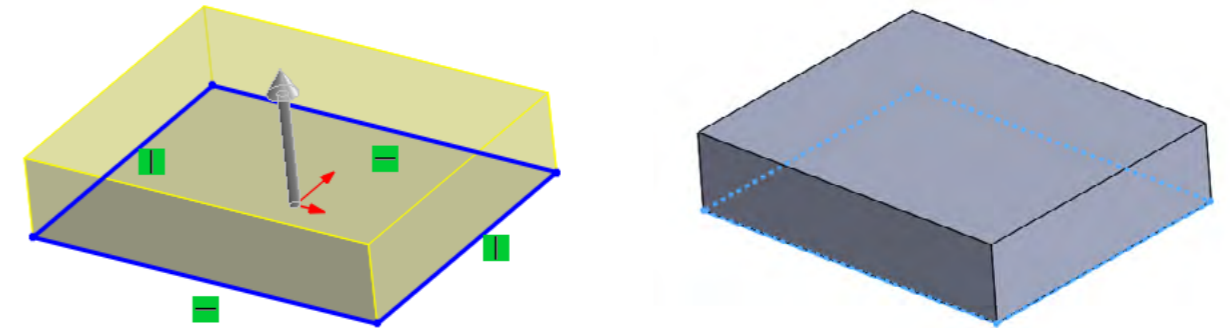
Dále zde můžeme již hotový model upravovat pomocí dalších nástrojů k tomu určených, nicméně je téměř vždy lepší udělat všechny úpravy, pokud je to možné, již v 2D náčrtu.

Vysunutí

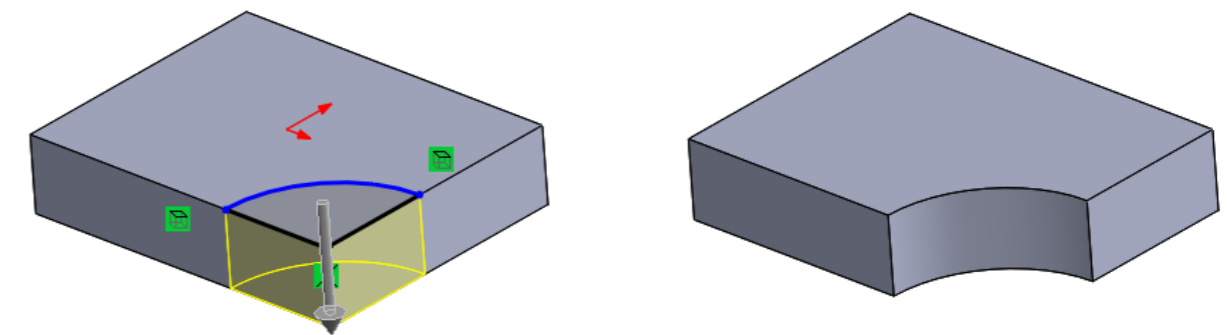
Tato funkce vysouvá námi vybraný 2D náčrt, uzavřenou část tohoto náčrtu nebo jiný uzavřený tvar. Lze zvolit směr, tvar a délku vysunutí. Jedná se o nejjednodušší a též nejpoužívanější funkci. Má dvě možnosti použití, a to Přidání vysunutím a Odebrání vysunutím.

Přidání vysunutím

Vysouvá materiál dle zadané délky a tvaru daným směrem a tím vytváří z 2D náčrtu prostorový 3D model.

**Odebrání vysunutím**

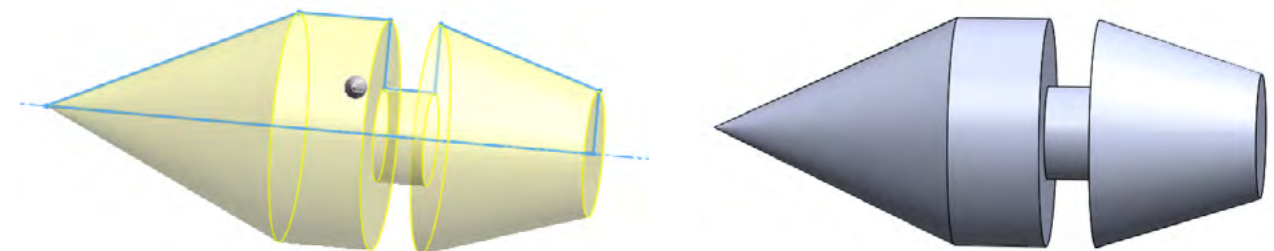
Vysouvá (odebírá) materiál dle zadané délky a tvaru daným směrem a tím vytváří do již hotového 3D modelu různé otvory, či ho jinak tvaruje.

**Rotace**

Tato funkce potřebuje ke správnému fungování jednu z os, kolem které rotuje námi nakreslený 2D náčrt a tím ho převádí na 3D model. Je zde zapotřebí prostorové představivosti, neboť na první pohled nemusíme mít 2D náčrt správně, či se nám může jen zdát, že ho nemáme správně. Jedná se o druhou nejčastěji používanou funkci. I v tomto případě máme dvě možnosti použití - Přidání rotací a Odebrání rotací.

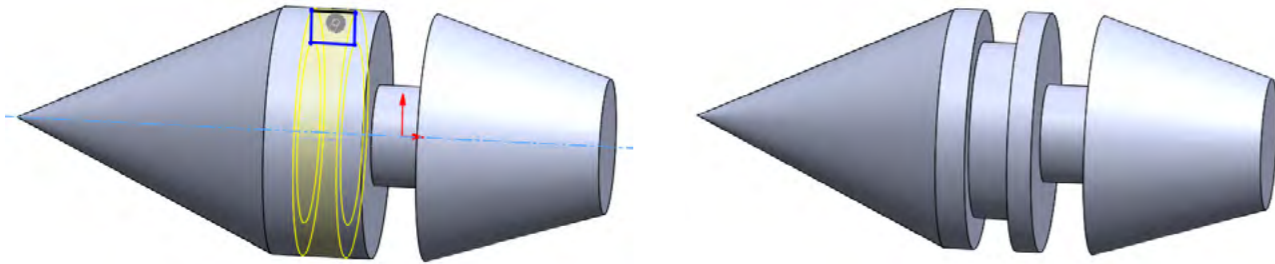
Přidání rotací

Pomocí osy rotujeme nakreslený náčrt a ten nám vytvoří model. Náčrt musí být uzavřený k ose a zároveň poslední část kopíruje osu, jinak nám program bude hlásit chybu. Můžeme určit úhel rotace - zda se součást rotuje kolem osy dokola či pouze pod námi zadaným úhlem.



Odebrání rotací

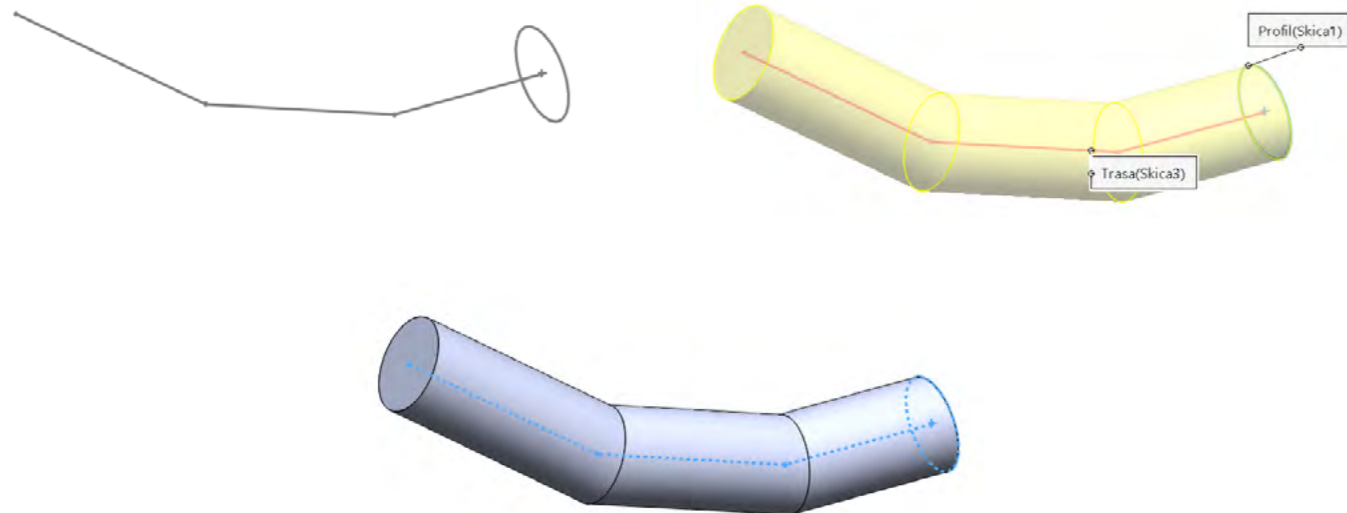
Pomocí osy rotujeme nově vytvořený náčrt "ve" vytvořeném modelu. Zde nemusíme řešit uzavření náčrtu s osou, nicméně náčrt musí být uzavřený. Většinou se tato funkce využívá pro úpravy již hotových polotovarů modelu.

**Tažení po křivce**

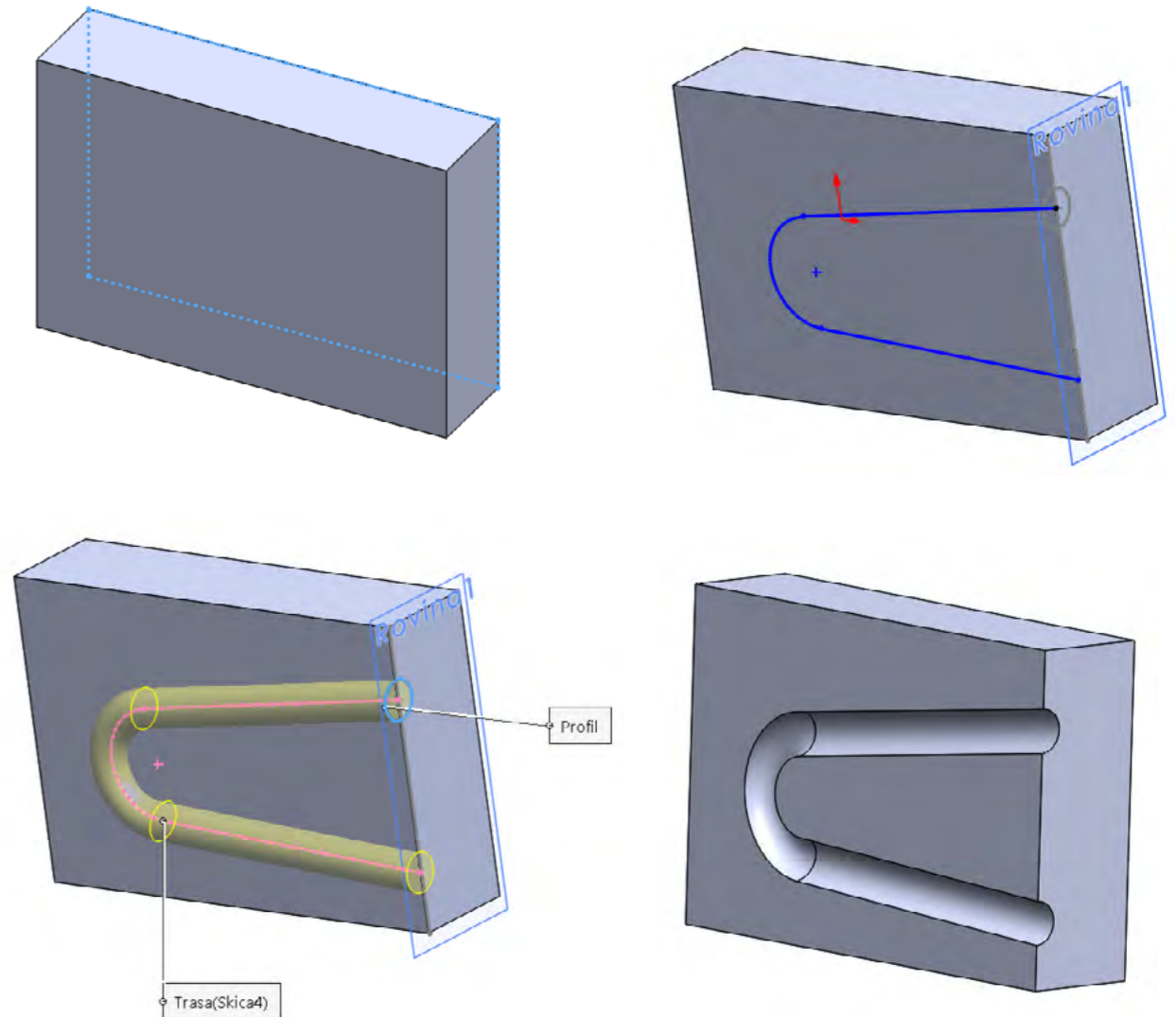
Tato funkce již patří k těm pokročilejším. Jak již napovídá název, dochází při použití této funkce k "tažení" určitého tvaru (například kružnice) po dané křivce (přímka, oblouk atd.) čímž vzniká požadovaný model (potrubí, drátu atp.). Pro použití této funkce potřebujeme dvě roviny, ve kterých na skici nakreslíme tvar a křivku. I zde můžeme přidávat a odebírat.

Přidání tažením po křivce

Pro jakýkoliv náčrt obvykle používáme přední rovinu, ne jinak tomu bude i v případě tvaru (kružnice), po dokončení a uzavření skici si zvolíme rovinu kolmou na přední rovinu, a to pravou rovinu. Na této rovině si otevřeme skicu a nakreslíme pomocí přímek křivku. Po ukončení a uzavření skici použijeme funkci Přidání tažením po křivce, kdy volíme, co je tvar a co je křivka.

**Odebrání tažením po křivce**

Používá se především, pokud chceme z již hotového modelu částečně odebrat určitý složitější tvar. Opět budeme potřebovat dvě na sebe kolmé roviny se skicami, navíc budeme potřebovat pravou rovinu posunutou na okraj původního modelu, což uděláme přes příkaz Rovina a určíme vzdálenost a pak na ní otevřeme skicu. Na této skice vytvoříme tvar, který budeme táhnout. Poté si vytvoříme skicu na již hotové ploše modelu a nakreslíme křivku. Po ukončení i druhé skici stačí jen použít funkci Odebrat tažením po křivce a zvolit, co bude tvar a co křivka.

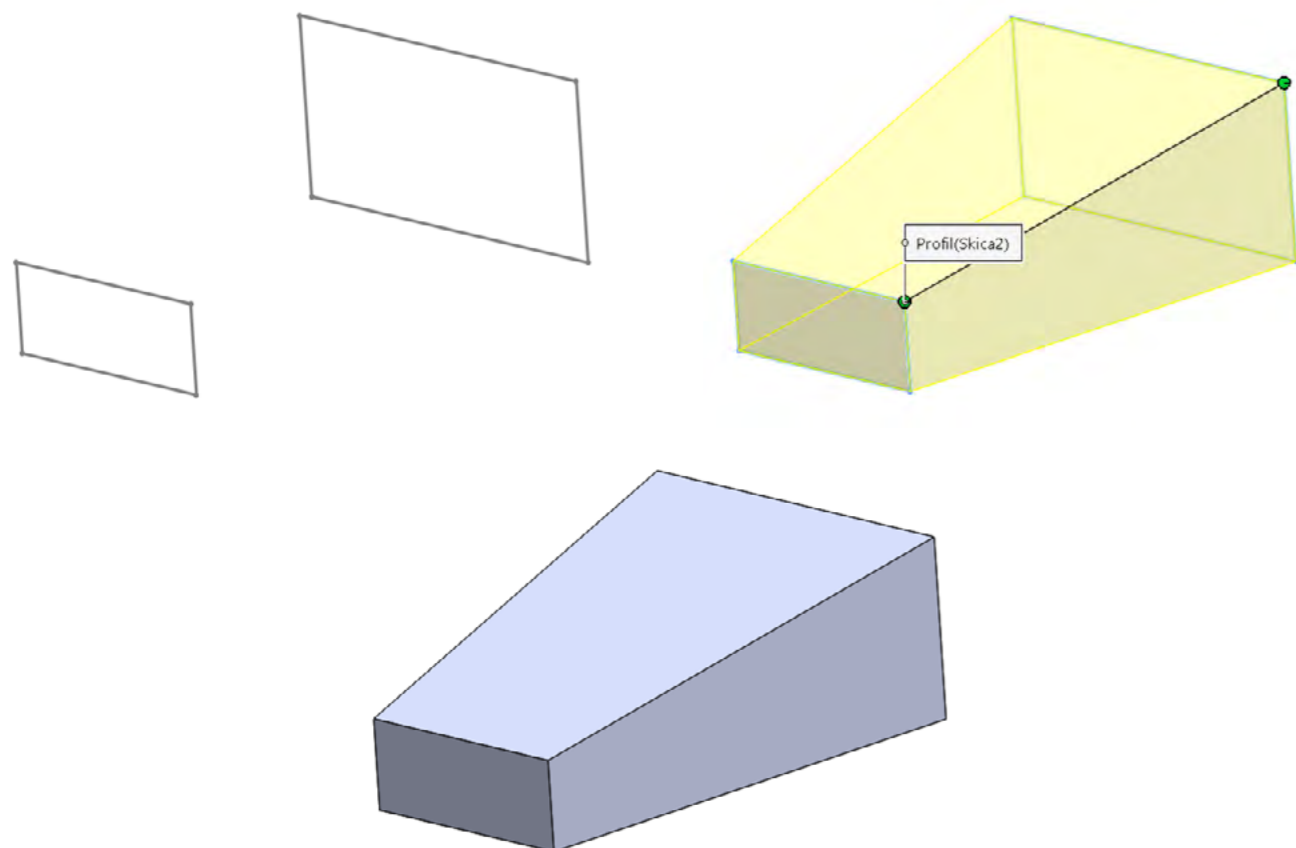


Spojení profilů

I zde se jedná o pokročilejší funkci. Jak napovídá název, jedná se o spojení dvou již vytvořených profilů (náčrtů). Tyto náčrtů leží každá na jiné skice a jsou od sebe obvykle vzdáleny, opět si zde můžeme pomoci Rovinou. Máme zde možnost přidávat nebo odebírat.

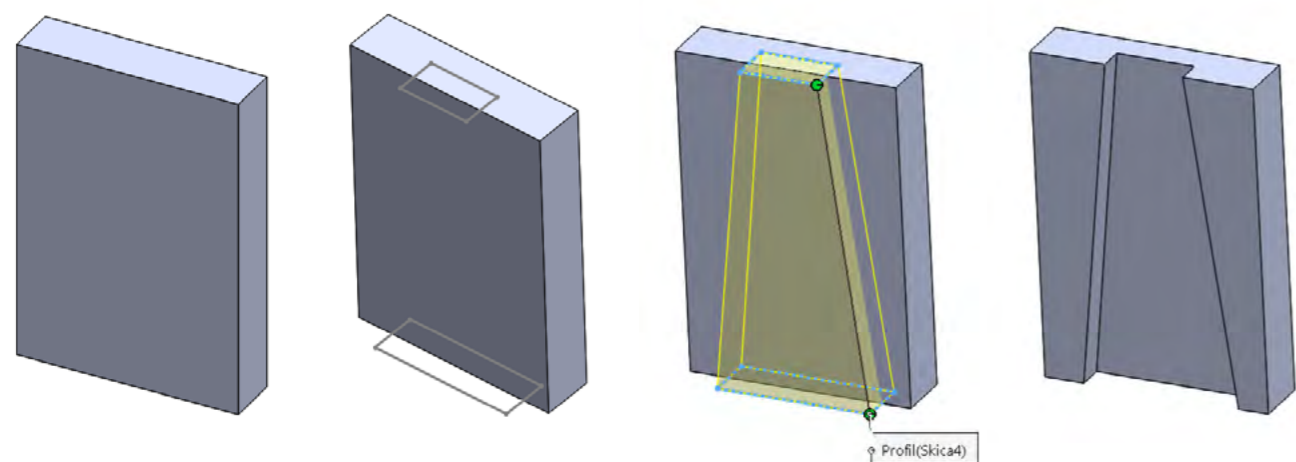
Přidání spojením profilů

Jedná se o vytváření 3D modelu z dvou nebo více náčrtů. Je doporučeno jednotlivé náčrtů umístit od sebe ve správných a promyšlených rozměrech, aby nedošlo k chybě (spojení by se někde protínalo).



Odebrání spojením profilů

Podobně jako u odebrání tažením, i zde můžeme odebírat část materiálu již hotového modelu. Opět si musíme udělat dva nebo více náčrtů na různé roviny (využijeme nástroj Rovina). Po dokončení a uzavření všech skic použijeme funkci Odebrání spojením profilů a máme hotovo.



Zákonitosti tvorby v 3D programu

Každý konstruktér má svůj léty prověřený způsob konstruování v 3D programech, proto je těžké popsat naprosto obecný a všude aplikovatelný postup, kterým vždy dojdeme kýženého výsledku. Přesto jsou některé zákonitosti, které se vyplatí dodržovat a ulehčit si tak práci. Tyto zákonitosti lze uplatnit v průběhu celé tvorby finálního modelu, nicméně pro přehlednost si je rozdělíme do třech základních kategorií:

1. Obecné
2. 2D náčrt
3. 3D model

Obecné

Zásady, které se vyplatí dodržovat před zahájením samotného modelování, případně jsou dosti obecné a dají se realizovat v kterékoli fázi modelování.

- Rozmyslet si výsledný model a postup, který k němu povede. Často pomůže hrubý náčrt.
- Promyslet, změřit případně propočítat všechny rozměry.
- Zamyslet se nad vztahy výsledného objektu k jeho okolí (např. uchycení apod.).
- Vhodně zvolit orientaci, rozdělení na díly a postup při modelování.
- Bude výsledný model možné vytisknout (v závislosti na použité technologii)?
- Jaké budou požadavky na mechanické vlastnosti a materiál pro výsledný produkt?
- Model je vhodné průběžně verzovat a jednotlivé kroky popisovat (pokud to software umožňuje).

2D náčrt

Zásady, které se vyplatí dodržovat při tvorbě 2D náčrtku:

- Základní náčrt se snažím kreslit co nejpodobnější výslednému plně určenému náčrtu.
- Vždy končit plně určeným náčrtem.
- Pokud existuje přirozený vztah, upřednostňovat zavazbení před dodatečnými kótami (např. pokud má být kružnice ve středu obdélníku, jeho střed by měl být určen zavazbením na středy stran obdélníku, nikoliv kótami o hodnotě poloviny strany). Často lze vhodně použít pomocné tvary.
- Jednu skicu je možné využít pro více 3D operací.

3D model

Zásady, které se vyplatí dodržovat při tvorbě 3D modelu:

- Volit správné funkce (vysunutí, rotace...) pro převod 2D náčrtu na 3D model.
- Při práci s funkcemi dbát na správný výběr ze skic.
- Pokud existuje přirozený vztah, upřednostňovat tento před použitím fixních hodnot (např. pokud má být vysouvaná část vždy o určitou část menší než vedlejší dříve vysunutá část, mělo by být použito vysunutí k hraně + offset).
- Nebát se pokročilých funkcí (např. duplikování součástí či jednotlivých funkcí).
- Tolerance, zaoblení a zkosení aplikujeme ideálně až nakonec.

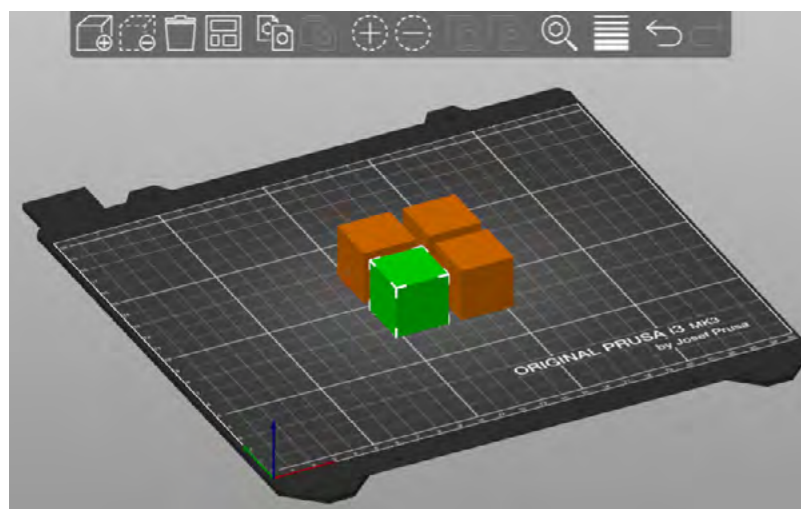
3D tisk

Slicing – úprava a příprava již hotového modelu na samotný tisk.

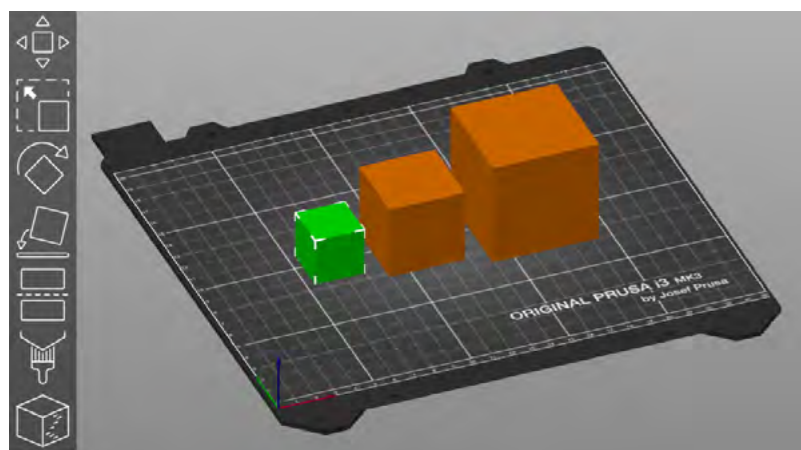
Slicem je nazýván proces převodu 3D objektu na strojový kód (pokyny, kterým rozumí 3D tiskárna – u FFF nejčastěji GCODE). Slicer (obecný název pro software provádějící slicing) převede model na jednotlivé tahy 3D tiskárny a současně GCODE obsahuje veškerá další nastavení (teploty, rychlost, výška vrstvy, apod.).

Volba vhodného sliceru je obvykle dána podporou konkrétní tiskárny (tvorba vlastního profilu tiskárny pro slicer je značně náročná). Pro rozšířenější tiskárny však často existují profily (konfigurace) pro různé slicery. Mezi nejznámější patří Slic3r, Cura, Simplify3D). Některé tiskárny mají slicer jako cloudovou službu a vyžadují tak připojení k internetu. Níže uvedené příklady byly vytvořeny v PrusaSliceru (odvozená verze Slic3ru), který podporuje celou řadu 3D tiskáren i celou řadu funkcí. Výhodou pro výuku je možnost přepnutí mezi režimy jednoduchý/pokročilý/expert a podpora mnoha jazyků včetně češtiny.

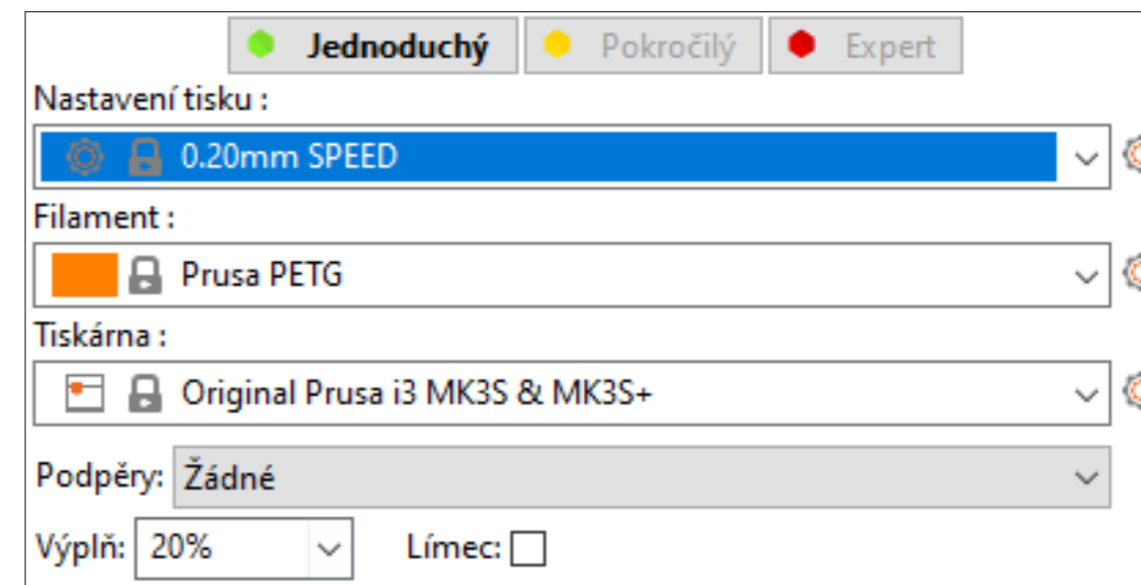
Nejdříve je potřeba do sliceru načíst modely – objekty pro tisk (obvykle soubory ve formátu STL nebo OBJ). Objekt můžeme tisknout i vícekrát (více instancí) nebo můžeme tisknout více různých objektů. Zde nám může velmi pomoci možnost automatického uspořádání objektů na tiskové ploše.



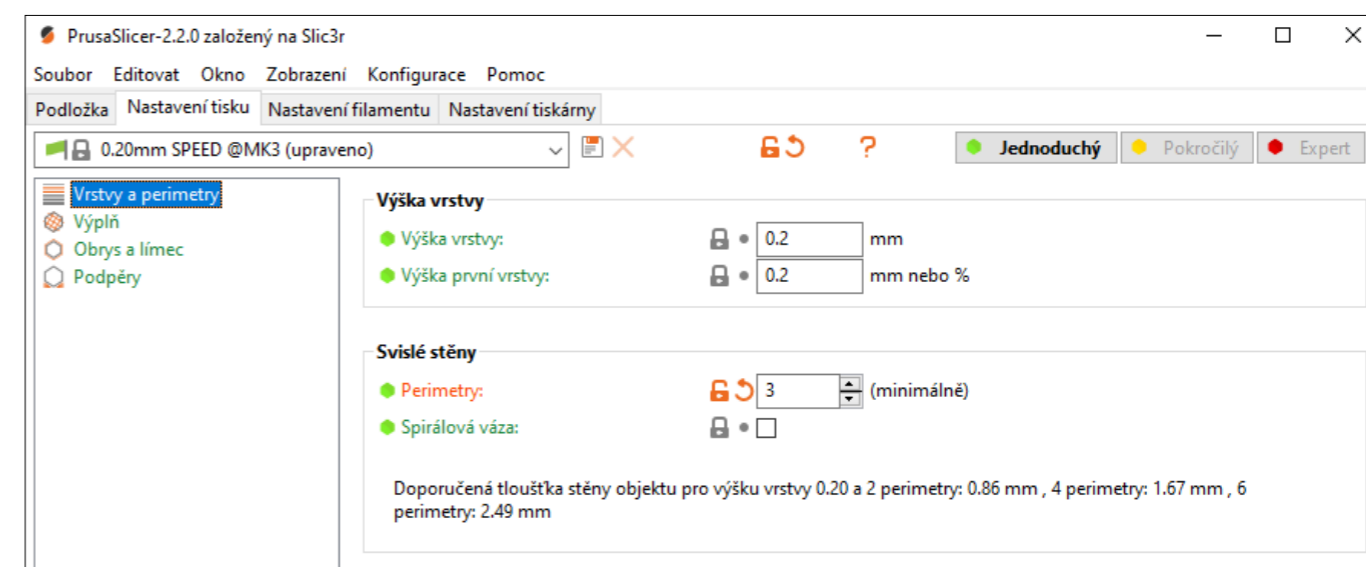
Objekty můžeme různě přemísťovat, měnit velikost, otáčet apod. Důležitá je zejména orientace tištěného dílu, především pak to, kterou plochou hrana dosedá na tiskovou plochu (první vrstva tisku). Více o orientaci v kapitole *Orientace objektu pro tisk*.



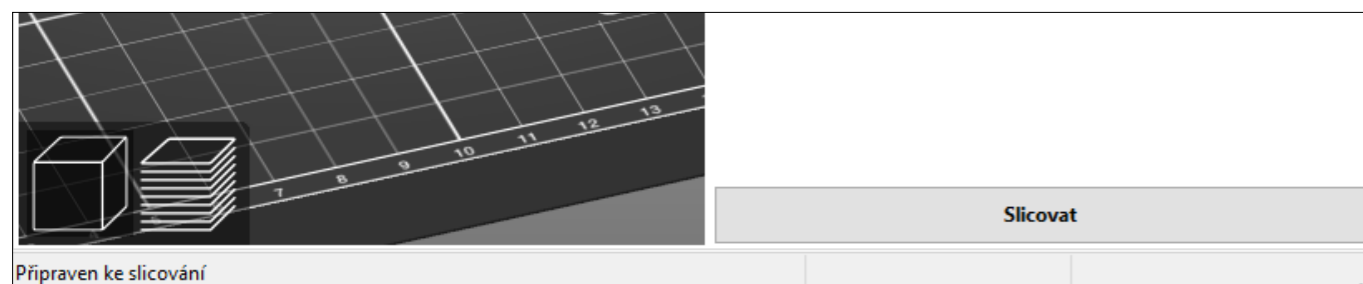
Základním nastavením pro každý tisk je volba tiskárny a filamentu. Dále je potřeba zvolit minimálně základní profil pro tiskové nastavení (obsahující především údaje o výšce vrstvy, počtu perimetrů a výplni). Volba filamentu určuje zejména teplotu trysky a tiskové podložky.



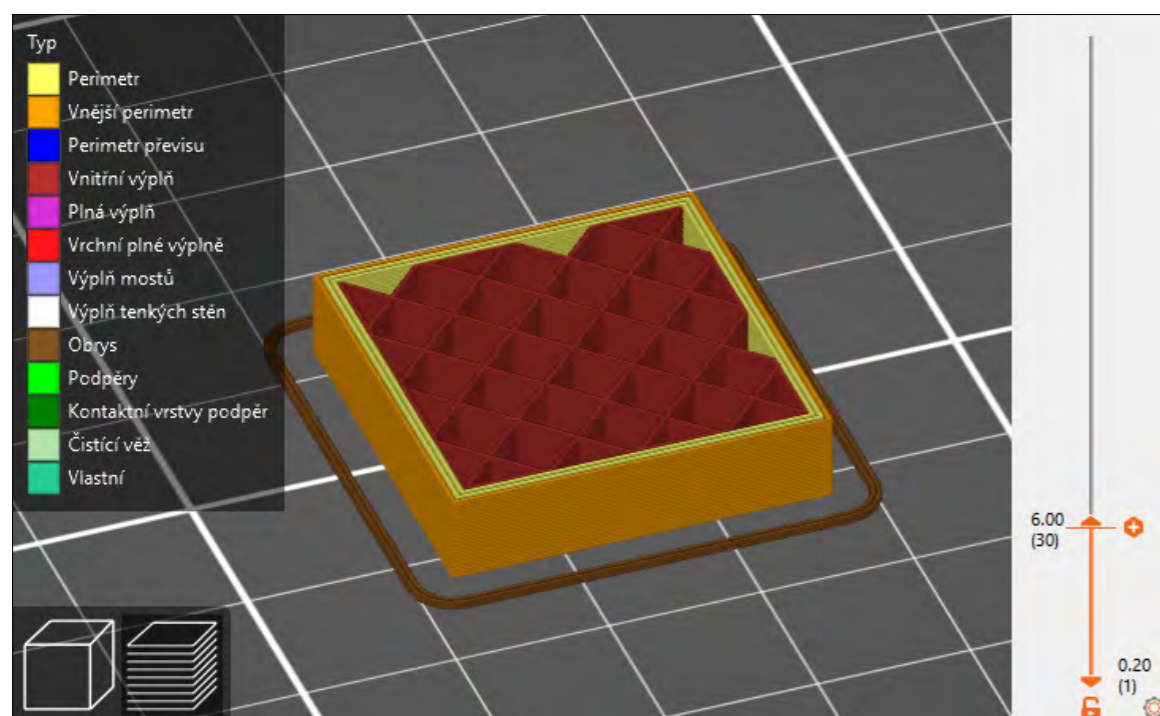
Tyto 3 typy nastavení můžeme dále přesněji konfigurovat na jednotlivých záložkách, kde máme k dispozici podrobné konfigurace jednotlivých profilů (v závislosti na režimu: Jednoduchý/Pokročilý/Expert).



Kliknutím na tlačítko slicovat proběhne generování GCODE a náhledu samotného tisku (vrstev). Mezi režimy práce s objekty a tiskovým náhledem je možné kdykoliv přepnout pomocí tlačítek „kostky“ v levém spodním rohu.



V režimu náhledu lze pomocí posuvníku procházet vrstvy, což je výhodné jak pro náhled dovnitř objektu (výplň), tak pro kontrolu možných potencionálních problémů (především tisku „do vzduchu“). Kliknutím na malé „+“ na posuvníku můžeme také přidat kód pro výměnu filamentu (např. pro změnu barvy) či pozastavení tisku.



Přehled nejdůležitějších nastavení

Nastavení tiskárny

- Průměr trysky *Nutno změnit v případě výměny trysky. Průměr trysky má však vliv na další vlastnosti při tisku, ideální je tak použít nějaký z již připravených profilů.*

Nastavení filamentu

- Filament
 - Teplota *Nastavení teploty by mělo vždy odpovídat doporučením výrobce konkrétního filamentu. Někdy je však nutno trochu experimentovat. Např. vyšší teploty vedou obvykle k pevnějšímu spojení vrstev, ale naopak při tisku převisů a mostů může dojít k větším defektům.*
 - Násobič extruze *Ovlivňuje množství vytlačovaného filamentu. Někdy může být žádoucí toto množství zvýšit (zejména pokud má filament menší průměr než je obvyklý).*
 - Chlazení *Nastavení chlazení (tiskového ventilátoru) je důležité pro správný tisk většiny filamentů. Pomáhá předcházet nežádoucím efektům při tisku. U některých filamentů s větší tepelnou roztažností však může způsobovat deformace a odlepování již v průběhu tisku.*

Nastavení tisku

- Vrstvy a perimetry
 - Perimetry *Počet obvodových vrstev zásadně ovlivňuje pevnost výsledného dílu. Pro výslednou pevnost je obvykle důležitější počet perimetrů než hustota výplně.*
 - Detekovat perimetry přemostění (pokročilý režim) *Mění parametry pro tisk mostů a převisů (obvykle zlepšuje jejich tisk – zmírňuje možné defekty).*
 - Vyhnout se přejíždění perimetrů (expertní režim) *Zamezí pohybu trysky mimo tištěné objekty (přejíždění), mimo nezbytných. Používá se především k zamezení vzniku strunek (tenkých vláček mezi částmi objektu).*
- Výplň *Lze nastavit různé vzory výplně pro obsah a pro horní a spodní vrstvu a její hustotu. Nastavení výplně zásadně ovlivňuje mechanické vlastnosti výsledného tištěného dílu. Výplně slouží také k podpoře horních vrstev a zásadně ovlivňuje délku tisku, vhodné nastavení je tak velmi důležité.*
- Obrys a límec
 - Šířka límce *Límec slouží k rozšíření základny objektu u první vrstvy. Napomáhá dobrému přilnutí objektu k podložce zejména u objektů s malou základnou (kontaktní plochou) a předchází odlepování rohů. Obvykle se používá nastavení 2–5 mm.*
- Podpěry
 - Generovat podpěry *Zapnutí podpěr*
 - Automaticky generované podpěry *Slicer automaticky přidá podpěry tam, kde to považuje za nutné (v pokročilých režimech možno upřesnit).*
 - Pouze na tiskové podložce *Budou použity pouze podpěry, které začínají na tiskové podložce, nikoliv na samotném modelu.*

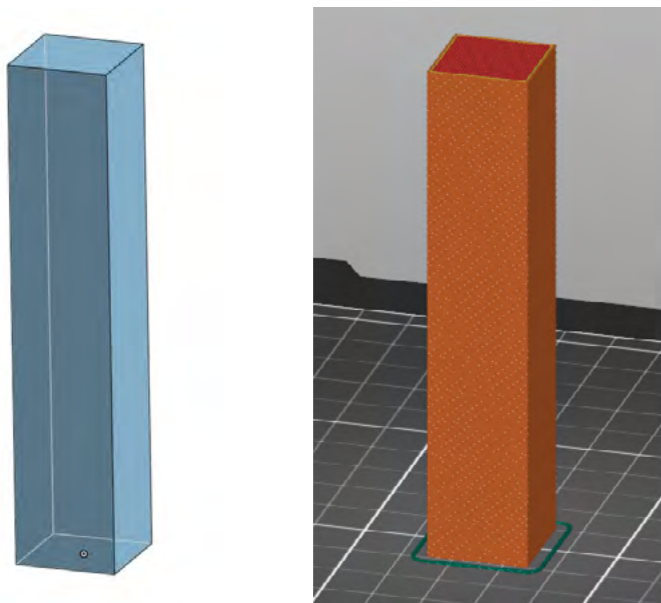
PrusaSlicer obsahuje celou řadu pokročilých funkcí (modifikátory, „malované“ podpěry, variabilní výšku vrstvy, vícemateriálový tisk, vlastní GCODE, apod.) a rovněž podporuje SLA tisk. Přestože řada z těchto funkcí je velmi užitečná, jejich zvládnutí je časově náročné a vyžaduje velmi dobrou znalost základních nastavení pro slicing a často zkušeností s tiskem.

Orientace objektu pro tisk

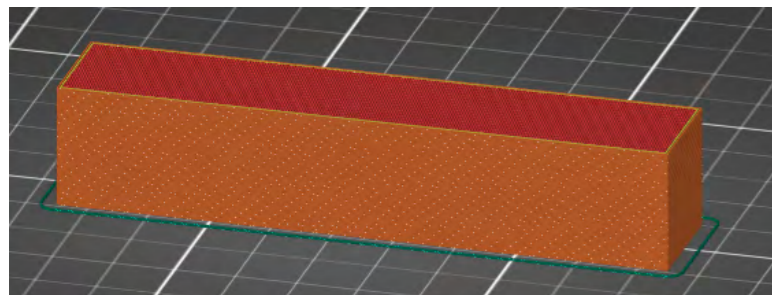
Orientace objektu pro 3D tisk zásadně ovlivňuje vlastnosti výsledného objektu. Asi nejzásadnější vlastností je, zda jsou pro tisk nutné podpory. Orientace objektu ovlivňuje především tyto faktory:

- Nejslabší vazby v objektu bývají mezi vrstvami. Pokud objekt „praskne“ v důsledku mechanického namáhání, stane se tak obvykle mezi vrstvami.
- Převisy je možné obvykle bezpečně tisknout do 45° (nebo o něco více při nižší výšce vrstvy v poměru k průměru tryska). Mosty lze tisknout na kratší vzdálenosti (v závislosti na druhu filamentu).
- Kontaktní plocha s podložkou (1. vrstva) je zásadní pro úspěšnosti tisku.

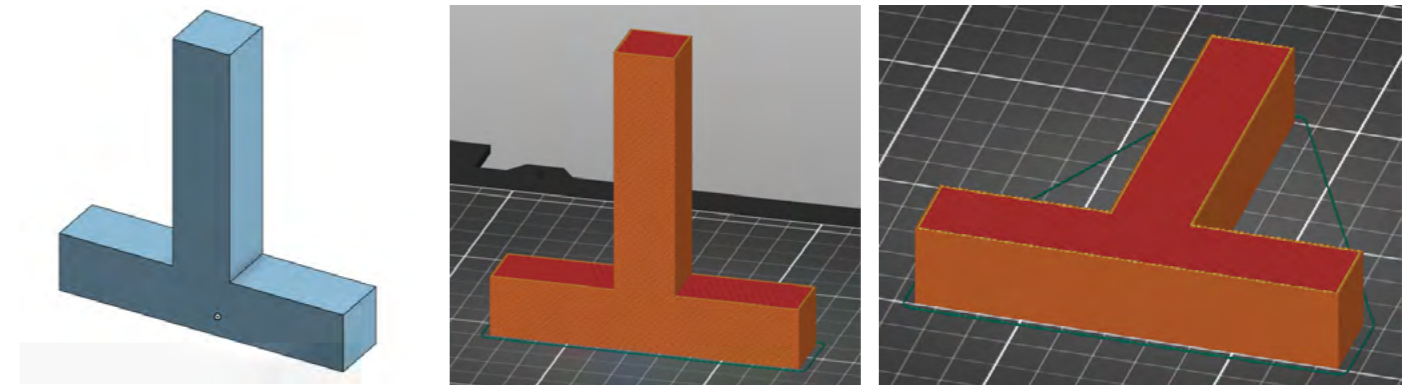
Jak tisknout kvádr na obrázku níže?



Vzhledem k jednoduchosti jeho tvaru je možné vytisknout kvádr položený na kteroukoli z jeho stran. Nicméně pokud bude tištěn „na výšku“, jeho kontaktní plocha s podložkou bude poměrně malá (hrozí odlepení především ke konci tisku) a současně bude poměrně snadné tento model kvádru zlomit (vzhledem k orientaci vrstev). Vhodnější je orientace na jednu ze stran s větší plochou.

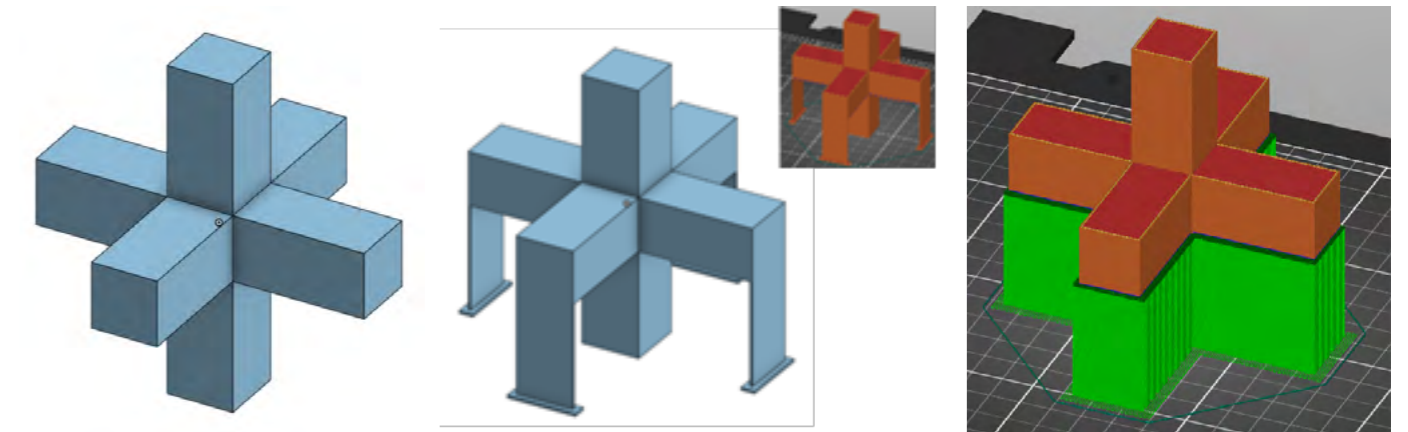


Jak tisknou objekt ve tvaru „T“ na obrázku níže?



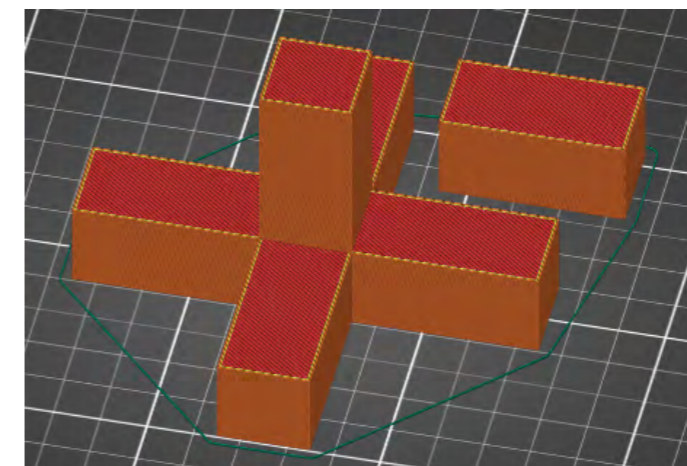
Jedná se o podobnou situaci jako u předchozího příkladu. Přestože základna je v tomto případě při orientaci „na výšku“ větší, s ohledem na pevnost výsledného dílu je vhodnější orientace „na ležato“.

Jak tisknou následující model?

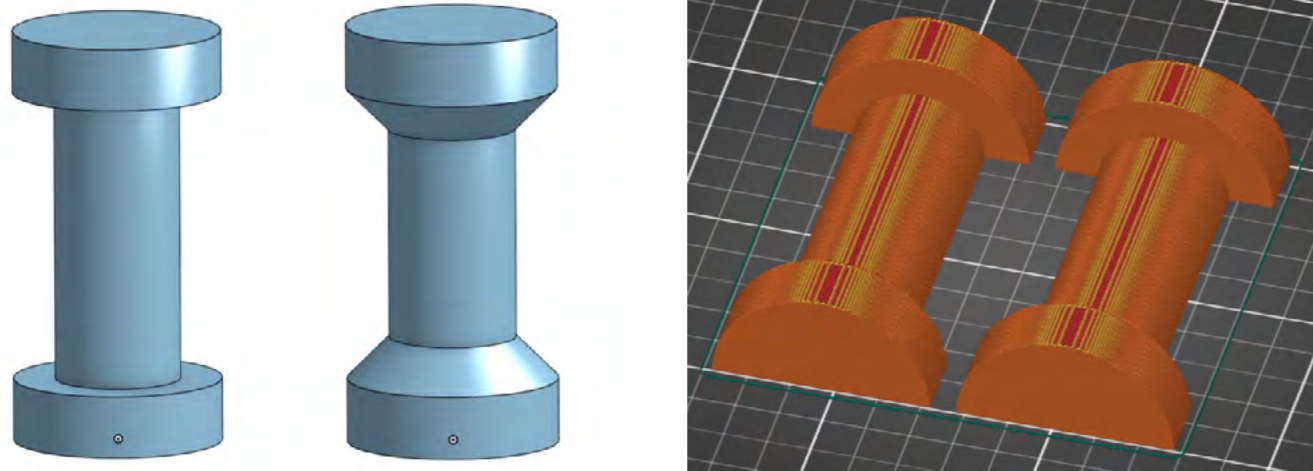


Objekt nelze orientovat tak, aby bylo možné ho vytisknout bez nutnosti podpor. Vzhledem k jednoduchým rovným plochám lze však použít jak automaticky generované podpory ve sliceru, tak si vymodelovat podpory vlastní (které šetří filament a snadněji se oddělují). Využito je zde přitom faktu, že mosty tisknout lze (na rozdíl od 90° převisů).

Alternativně je také možné model rozdělit a vytisknout na 2 části, které se následně slepí či sešroubují (při patřičné úpravě modelu). Na možnost rozdělit model pro tisk na více částí se často zapomíná.

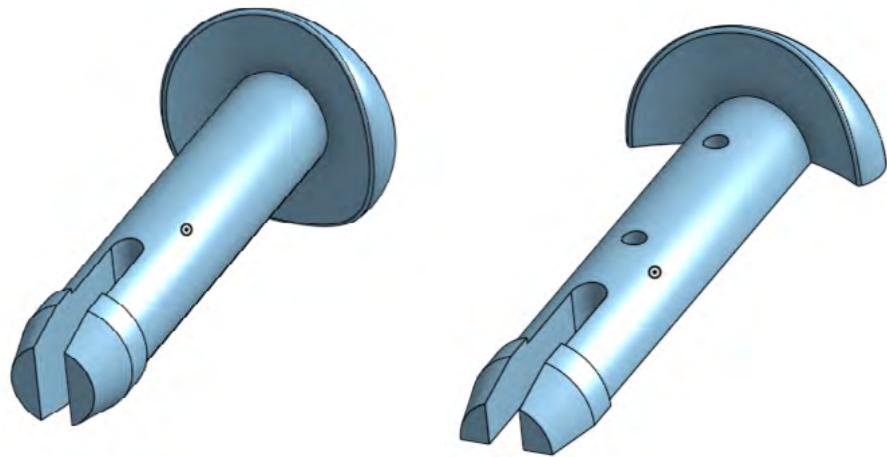


Jak tisknout objekt ve tvaru „činky“ na obrázku níže?

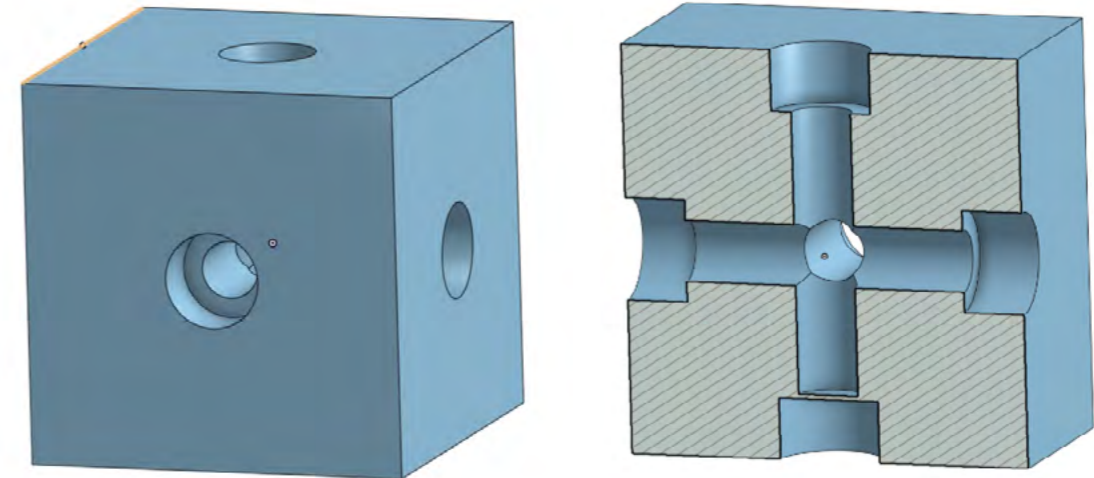


Objekt nelze orientovat tak, aby bylo možné ho vytisknout bez nutnosti podpor. Pokud to použití dílu umožňuje, jedním z řešení je přidání „náběhu“ ve sklonu 45° (z estetického hlediska přidán i do spodní části – není nutné). Opět se však může vyskytnout problém v pevnosti kvůli orientaci vrstev. I tento problém je však možné řešit například zapuštěním dlouhého šroubu skrz celý objekt (na kombinování 3D tisku s jinými běžně dostupnými součástkami se často zapomíná).

Dalším řešením je rozdělení dílu na 2 poloviny, kde každá bude tištěna zvlášť. Výhodou je zachování originálního tvaru (bez „náběhů“) a lepší mechanická pevnost. Poloviny je k sobě následně možno slepit či upravit model např. pro sešroubování (či kombinace). V případě následného lepení je vhodné tisknout na hladkou tiskovou plochu a úprava modelu v podobě pomocných/vodících součástek (např. kruhové sloty, do kterých se zasune filament či drobné kvádry tištěné zvlášť). Příklad z praxe na obr. níže – kolíček z konstrukce bazénu, tištěný na 2 části s otvory 1.8, do kterých se při slepování vlepil filament, který pomohl se snadnějším slepováním obou částí.

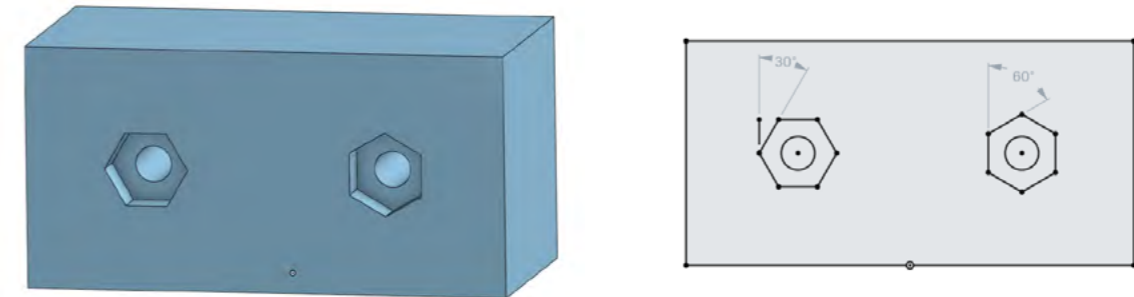


Jak tisknout kostku (se sloty na šrouby ze všech stran) na obrázku níže?

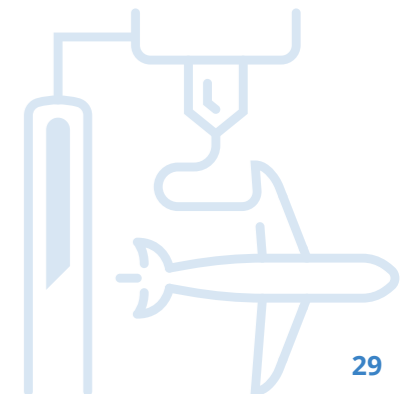


Jediným problematickým místem je ve skutečnosti slot na spodní straně, kde je 90° převis (došlo by zde k tisku kruhových perimetrů do vzduchu). Drobnou úpravou modelu je možné změnit tento převis na most tak, že zde slot uzavřeme v tloušťce 1-2 vrstev. Po vytištění se tento slot snadno opět „otevře“ za použití vrtáčku (či šroubováku nebo přímo šroubem, protože tenký most je poměrně křehký).

Jaká je vhodnější orientace slotu pro matku na kvádr níže? (při zachování orientace objektu pro tisk)



Vhodnější je varianta vlevo, protože tisk 30° převisu a krátkého mostu není problém, zatímco při tisku 60° převisu u varianty vpravo by již mohlo docházet k drobným deformacím při tisku (prověšování).



Práce s 3D tiskárnou

Příprava podložky

Dobře očištěná a odmaštěná tisková podložka je základním předpokladem pro úspěšný tisk. K odmaštění se používá nejčastěji IPA (isopropylalkohol) nebo „okena“ s obsahem alkoholu. Dále je nutno v závislosti na tiskovém materiálu a materiálu podložky (sklo / PEI / apod.) tiskovou podložku připravit. **Některé kombinace a materiálů podložky nevyžadují další přípravu (např. PLA+PEI, PET+PEI)**, v případě některých materiálů je však nutno aplikovat na podložku např. PVA lepidlo (např. Kores tyčinka), maskovací pásku, izolepu, 3D lack (sprej), apod. Vždy je nutné postupovat dle manuálu k tiskárně (dle typu tiskového povrchu) a doporučení výrobce filamentu.

První vrstva

Dobrá první vrstva je jedním z hlavních faktorů pro úspěšný tisk. Kromě dobře připravené podložky je tak velmi důležitá výška trysky pro první vrstvu. Zejména konzistence napříč tiskovou plochou je důležitá. U tiskáren vybavených nějakým typem výškové sondy je výška první vrstvy realizována ofsetem vůči měření této sondy. Některé tiskárny (např. Prusa) umožňují v průběhu tisku první vrstvy ještě softwarově doladit tuto výšku. Ideální výška může být přitom závislá také na struktuře podložky a materiálu filamentu. Tisk první vrstvy je tak nutno vždy sledovat a v případě potřeby zajistit korekci/doladění.

Základní údržba

Jako každý stroj i 3D tiskárna se musí udržovat, aby fungovala správně, tisk probíhal kvalitně a zároveň se prodloužila délka její životnosti. Tiskárna ani filamenty by neměly být uskladněny a používány v prašném či vlhkém prostředí. Po prvním spuštění je potřeba tiskárnu zkalibrovat, stejně tak ji musíme znovu zkalibrovat po např. nějakém větším stěhování, převážení, výměny tiskového plátu atp. Přesnou údržbu je nutno provádět v souladu s manuálem, obv. je vyžadováno občasné promazání ložisek, dotažení řemenů apod.

Vlastnosti 3D tiskárny (FDM)

Níže jsou uvedeny vybrané základní součásti FDM/FFF 3D tiskáren, se kterými by měli být uživatelé (studenti) seznámeni.

Extruder

Jedná se o sestavu, která se stará o vytlačování (pohyb) filamentu. Existují 2 základní typy. Přímý extruder (direct extruder) je extruder umístěný přímo nad tryskou, jeho výhodou je snazší tisk z flexibilních filamentů. Vzdálený extruder (bowden extruder) je extruder oddělený od trysky delším vodičem filamentu (obv. teflonovou hadičkou). Jeho výhodou spočívá v nižší hmotnosti tiskové hlavy (snazší pohyb při vyšších rychlostech).

Senzory

3D tiskárny jsou často vybaveny celou řadou senzorů, s kterými je dobré se seznámit, zejména v případě nutnosti jejich údržby, štelování či výměny. Mezi nejběžnější patří teplotní senzory na trysce a tiskové podložce, koncové spínače na osách (při použití krokových motorů se zpětnou vazbou nemusí být přítomny), senzor filamentu, výšková sonda.

Tryska

Tryska je místo, kde dochází k vytékání roztaveného filamentu. Trysky je možno často měnit za účelem změny průměru trysky (nejběžnější je 0,4 mm). Některé abrazivní materiály vyžadují použití tvrzených trysek, nebo trysek s integrovanou nízko-abrazivní špičkou (např. Olsson Ruby).

Krokové motory

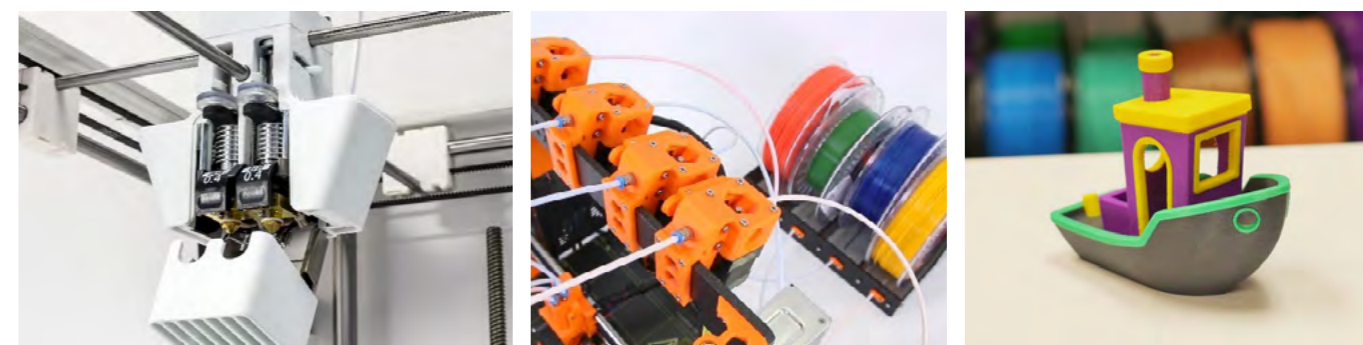
Krokové motory realizují pohyb trysky a filamentu. Jejich vlastnosti přímo ovlivňují kvalitu a rychlost tisku. Některé krokové motory umožňují také využití zpětné vazby k detekci nárazu.

Ventilátory

FFF 3D tiskárna zpravidla obsahuje minimálně 2 ventilátory. Ventilátor na chladiči nad tryskou a tzv. tiskový ventilátor, který se stará o chlazení vytlačeného filamentu (některé levnější tiskárny tento nemusí obsahovat, což ale výrazně komplikuje tisk převisů a mostů). Dále jsou často umístěny ventilátory u zdroje napájení či řídicí elektroniky.

Vícemateriálový tisk

Některé tiskárny umožňují automatický tisk z více materiálů (více trysek či automatické prohazování filamentů). V některých případech se může jednat také o externí přídavné moduly. Díky tisku z více filamentů je možné dosáhnout barevných výtisků, což však vyžaduje, aby byl model připraven na díly dle jednotlivých barev. Dále je také možné využít vícemateriálový tisk především pro tisk podpor z rozpustných materiálů (např. PVA/BVOH filamenty).



Pro tisk jednoduchých vícebarevných objektů je také možné využít ruční prohazování filamentů po vrstvách (podpora např. v PrusaSliceru) či použitím „duhových“ filamentů.



Doporučené pomůcky

Pro výuku je možné doporučit CAD software OnShape, Solidworks, nebo Fusion360. Volba vhodného programu závisí především na licenčních možnostech, zaměření a vybavení školy a jazykových dovednostech žáků/studentů.

- Software OnShape lze doporučit s ohledem na běh bez instalace (ve webovém prohlížeči), aktuálně (2021) však není k dispozici v české jazykové mutaci. Vyžaduje permanentní připojení k internetu v přiměřené rychlosti. Výhodou je možnost kolaborace na jednotlivých projektech.
- Software Solidworks je dostupný v češtině, ale nemá k dispozici bezplatnou verzi pro školy či hobby využití.
- Software Fusion360 má možnost dodatečné lokalizace do češtiny, ale proti výše uvedeným je jeho GUI mírně méně intuitivní a není tak příliš vhodný pro začátečníky.

Každý žák potřebuje svůj počítač s programovým vybavením (modelovací software, slicer, apod.). V závislosti na možnostech školy doporučuji pro výuku alespoň dvě 3D tiskárny, v ideálním případě jednu tiskárnu na cca 4–8 žáků, pro technicky zaměřené školy jednu tiskárnu na 2–4 žáky.

Pro 3D tisk je nezbytné další vybavení a materiál, především filament (pro začátečníky doporučuji jako nejvhodnější materiál PLA a PET) a přípravky na přípravu tiskové podložky (odmašťovač, lepidlo, apod.). Dále je vhodné základní nářadí (špachtle, šroubováky, klíče, brusný papír, apod.). Pro spojování částí modelů je možné zajistit základní spojovací materiál, případně 3D pero (které je možné rovněž použít pro kreativní projekty).

V rámci představitosti a použití rozměrů je vhodné mít k dispozici některé z přesných měřidel (posuvné měřítko, úhломěr apod.).

Přílohou tohoto materiálu jsou vzorové úlohy. Jejich zadání je k dispozici v editovatelné elektronické formě, aby si je každý učitel mohl upravit.

Vzorové úlohy

Řešení následujících úloh je dostupné na:

- Úloha 1: <https://cad.onshape.com/documents/d4fce5697101dc01dbb64f40/>
- Úloha 2: <https://cad.onshape.com/documents/d6782c8dbc58f7b63ca9478b/>
- Úloha 3: <https://cad.onshape.com/documents/b6f4dbf71fc38d118455dde3/>
- Úloha 4: <https://cad.onshape.com/documents/f5f8c685794fb7501affbb3e/> (2 postupy)
- Úloha 5: <https://cad.onshape.com/documents/e1f721cd5793ebd50389935b/>

Po přihlášení do OnShape libovolným účtem je možné vytvořit kopii vzorových úloh, kterou lze následně volně editovat.

Úloha 1: Přívěšek na klíče

Co budeme potřebovat

- Počítač s CAD software a slicerem
- 3D tiskárna
- Cca 5 g filamentu

Zadání

Vytvořte model přívěšku na klíče s Vaší jménem a dalším motivem (zde „smajlík“). Přívěšek by měl mít zaoblené rohy a zkosené hrany. Jméno a motiv mohou být buďto zapuštěny nebo vysunuty. V případě zapuštění je možné vzory aplikovat na obě strany přívěšku.



Poznámky a doporučení

- Aby byl nápis a motiv čitelný, je vhodné ho zapustit/vytáhnout cca 1 mm.
- Zkosení (chamfer) hran je v Z ose vhodnější než zaoblení (fillet), protože zaoblením vznikají převisy více než 45°, které se obtížně tisknou.
- Zapuštěný text je možno zkopírovat na druhou stranu pomocí kruhového vzoru (circular pattern), nikoliv pomocí zrcadlení (mirror).

Co jste se naučili?

- ✓ Osvojili jste si základní tvorbu 2D náčrtů a jejich vytažení do 3D.
- ✓ Funkce jste volili tak, aby byl výsledný model vhodný pro 3D tisk.

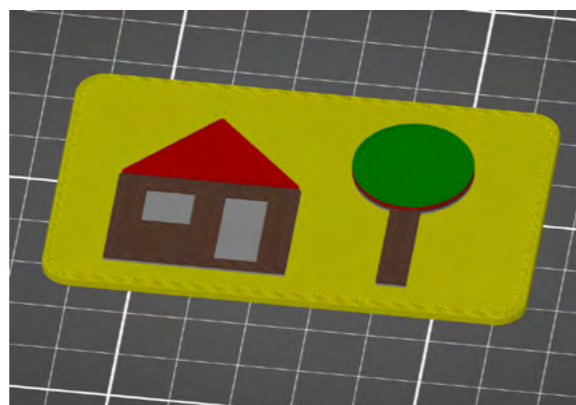
Úloha 2: Magnetek na ledničku

Co budeme potřebovat

- Počítač s CAD software a slicerem
- 3D tiskárna
- Filamenty různých barev
- Magnety nebo magnetickou pásku

Zadání

Vytvořte model „magnetky na lednici“ s motivem dle vlastní fantazie tak, aby bylo možné při 3D tisku využít techniky tisku barev po vrstvách. Tato technika funguje tak, že se vždy po několika vrstvách vymění filament. Magnety/pásku zapusťte (alespoň částečně) ze zadní strany. Nezapomeňte zkosit/zaoblit ostré hrany. Model připravte ve sliceru pro tisk (přidejte výměnu filamentu v jednotlivých vrstvách).



Poznámky a doporučení

- Pokud mají být části modelu jinou barvou, musí mít vůči základně různou výšku.
- Tisk mostů je možný, ale při větších vzdálenostech může dojít v závislosti na filamentu k drobným průvěsům. Je potřeba s tím počítat.
- Když plánujete zapustit jiný díl (magnety/páska), je vždy potřeba počítat alespoň s minimální rezervou (tolerancí).

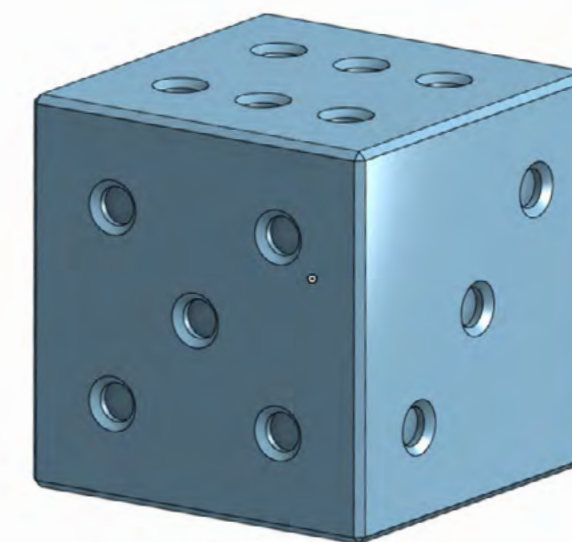
Co jste se naučili?

- ✓ Procvičili jste si praxi tvorby 2D náčrtů a jejich vytažení do 3D včetně pokročilejších závislostí (symetrie, offset).
- ✓ Připravili jste model pro vícebarevný tisk s využitím techniky výměny filamentu po vrstvách.

Úloha 3: Hrací kostka

Co budeme potřebovat

- Počítač s CAD software a slicerem
- 3D tiskárna
- Cca 10 g filamentu



Zadání

Vytvořte model šestistěnné hrací kostky. Nezapomeňte zaoblit/zkosit hrany. Čísla na jednotlivých stranách řešte pomocí zapuštěných „teček“.

Pro pokročilé: Model vypracujte jako parametrický, tedy kostku bude možno zvětšovat/zmenšovat nastavením délky hrany a samostatně nastavovat průměr a hloubku teček.

Poznámky a doporučení

- Zejména pro parametrický model je důležité používat především vazby, nikoliv zbytečně nadužívat kóty. Často jsou užitečné pomocné čáry.
- Někdy je možno využít ve 2D náčrtu „tečky“ z náčrtu na protilehlé straně kostky.
- Výhodou parametrického modelu je zde možnost nezávisle nastavovat velikost teček. Pokud by to nebylo potřeba, lze kostku pochopitelně symetricky zvětšovat např. ve sliceru.

Co jste se naučili?

- ✓ Osvojili jste si práci s různými rovinami včetně možnosti využití prvků z jiných rovin („promítnutí“).
- ✓ Procvičili jste si používání pomocných čar, definice vztahů a závislostí.
- ✓ Naučili jste se vytvářet parametrický model (pro pokročilé).

Úloha 4: Krabička

Co budeme potřebovat

- Počítač s CAD software a slicerem
- 3D tiskárna
- Cca 30 g filamentu

Zadání

Vytvořte model kulaté krabičky složené ze dvou částí (spodní a víčko). Tyto části budou držet uzavřeny pomocí tření a přirozených „drážek“ mezi vrstvami. Můžete přidat také prolisy pro snazší otevírání.

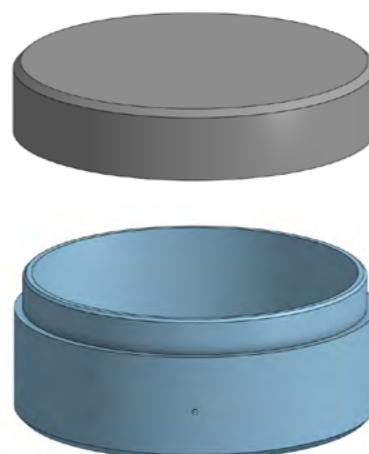
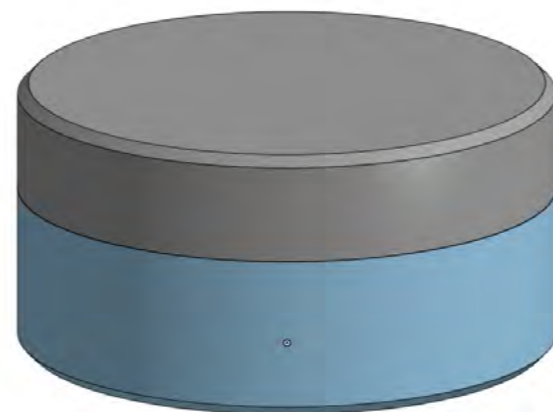
Pro pokročilé: Krabičku je možno vytvořit za použití jediného 2D náčrtku (a to hned minimálně dvěma způsoby).

Poznámky a doporučení

- Při práci s více díly je často užitečné si některé díly skrývat nebo použít funkce jako průhlednost či průřez.
- V závislosti na přesnosti tisku konkrétní 3D tiskárny může být potřeba přidat drobné tolerance (mezery), pokud krabička nepůjde zavřít.
- Tloušťka stěny krabičky by ideálně měla být v násobcích průměru tiskové trysky.

Co jste se naučili?

- ✓ Osvojili jste si práci s modelem složeným z více částí.
- ✓ Naučili jste se využívat závislosti pro „vytahování“ z 2D náčrtu do 3D modelu.



Úloha 5: Spojování dílů

Co budeme potřebovat

- Počítač s CAD software a slicerem
- 3D tiskárna
- Cca 10 g filamentu
- Spojovací materiál (šroubky, maticky)
- Posuvné měřítko

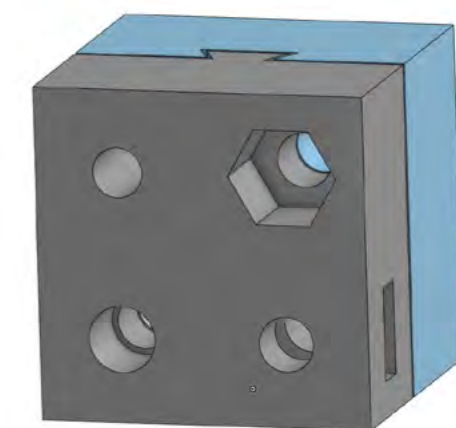
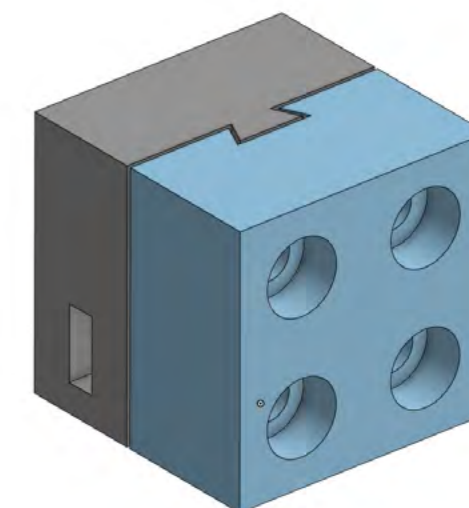
Zadání

Existují různé způsoby, jak spojit 2 tištěné díly dohromady. Vyzkoušejte si některý z níže uvedených na jednoduchém modelu krychle. Způsoby lze mezi sebou kombinovat.

- Zasunutí dílů pomocí „zámků“
- Slepění dílů (ideálně s použitím pomocných/vodících dílů či zapuštění)
- Šroubování přímo do plastu
- Zapuštění matek různého druhu (šestihranné, čtvercové, zápustné, apod.)

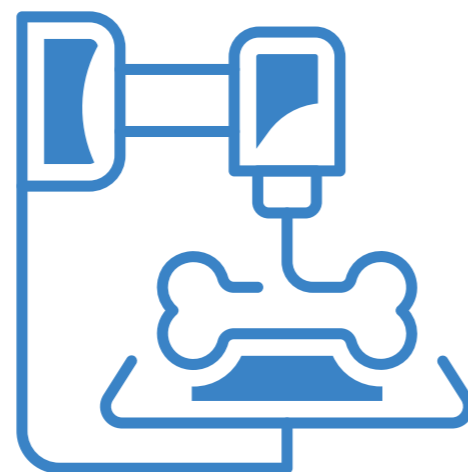
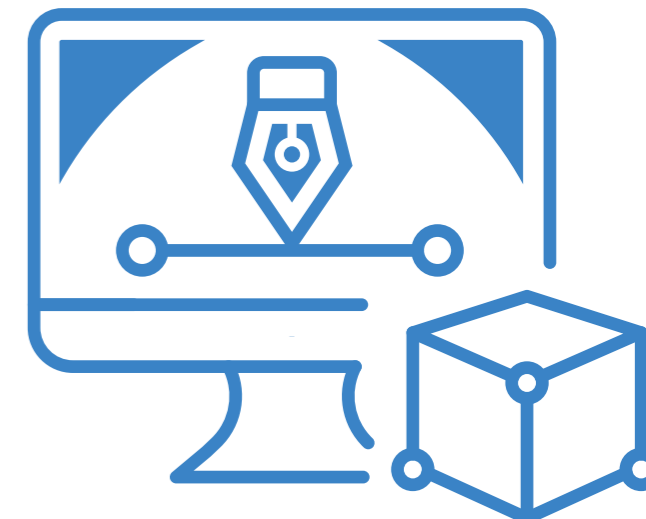
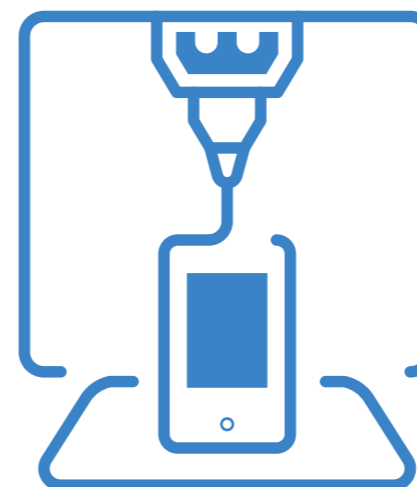
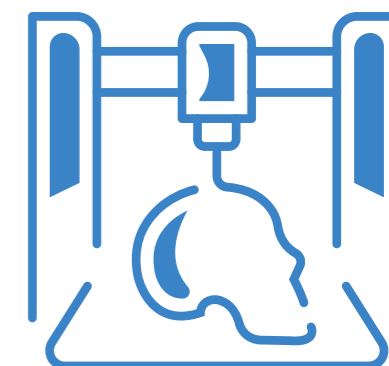
Poznámky a doporučení

- Funkce vysunutí z 2D do 3D (stejně jako další funkce) lze aplikovat na 1 či více dílů.
- Zasunutí tištěných dílů obvykle vyžaduje alespoň malou rezervu/toleranci (např. 0,2–0,3 mm).
- Šroubování přímo do plastu je možné, pokud se nepředpokládá časté rozebírání.
- Matky vyžadují malou rezervu/toleranci, která ale nesmí být příliš velká, aby se matka neprotočila.
- Pro zasunutí z boku (vůči šroubu) jsou vhodnější čtvercové matky.
- Zápustné matky lze do plastu snadněji vložit pomocí jejich nahřátí (např. pájkou).
- Vhodnější orientace šestihranné matky pro tisk je taková, kde 2 ze stran jsou orientovány horizontálně (a žádná vertikálně).



Co jste se naučili?

- ✓ Procvičili jste si tvorbu modelu tvořeného více částmi.
- ✓ Prakticky jste si vyzkoušeli různé způsoby spojování tištěných dílů.





IMPULS
PRO KARIÉRU
A PRAXI

