e-Mole.cz

časopis zaměřený na digitální technologie ve výuce s důrazem na přírodovědné a technické obory

speciál

o 3D tisku

prosinec 2015 • číslo 3–4

Obsah

Úvodník

- **3D tisk? 3D tisk!** (str. 3)
- **Co může 3D tiskárna přinést škole?** (str. 3)

Co v učebnicích nenajdete

- **Co je to ten 3D tisk?** (str. 4)
- **Technologie 3D tisku** (str. 7)

Včera a dnes

- **Historie 3D tisku** (str. 14)

Co v učebnicích nenajdete

- **3D tiskové materiály a tajemné zkratky** (str. 15)

Rozhovor

- **Jak probíhá výroba filamentu neboli tiskové struny?** (str. 18)
  Rozhovor s G. Solovskou a J. Přindišem

Co v učebnicích nenajdete

- **RepRap aneb udělej si sám** (str. 24)
- **V čem na běžné škole modelovat? Toť otázka…** (str. 26)
- **Rozřezání modelu aneb „slicing“** (str. 28)

3D tisk na škole?

- **3D tisk a levné výukové pomůcky** (str. 29)
  - **biologie** (str. 30)
    (Bakteriofág, Mitochondrie, Obratle, Srdce, Ucho)
  - **fyzika** (str. 40)
    (Setrvačník, Autíčko na balónkový pohon, Gravitační studna, Obracecí káča, Mýdlová raketka)
  - **chemie** (str. 51)
    (Molekulová stavebnice, Odměrky místo vah, Stojánek na zkumavky, Proteiny a peptidy (IgG), Automatická pipeta či mikropipeta)
  - **zeměpis** (str. 63)
    (Reliéfní glóbus, Reliéfní mapa povodí, Státy Evropy jako 3D puzzle)

Tipy a triky

- **Proč si postavit 3D tiskárnu Molestock?** (str. 70)
- **Parametry 3D tiskárny Molestock** (str. 71)

Jak sestavit…

- **Jak si postavit 3D tiskárnu Molestock** (str. 72)
  - **Seznam tištěných dílů** (str. 73)
  - **Seznam spojovacího materiálu, elektroniky a kabelů a ostatních dílů** (str. 74)
  - **Seznam potřebného nářadí** (str. 75)
  - **Kompletace** (str. 76)
  - **Jaký software si mám nainstalovat?** (str. 110)
  - **Oživení tiskárny** (str. 111)
  - **Kalibrace a testování** (str. 114)
  - **Závěrečná upozornění** (str. 116)

Jak to dělám já

- **Cesta 3D tiskárny Molestock S na GJK** (str. 117)

Tipy a triky

- **Jak na 3D tisk?** (str. 121)

Několik slov závěrem (str. 128)

- **Odpovědi na vaše dotazy • Inzerce**
- **Nabídka a poptávka • Kalendárium**

Význam symbolů: Zpět na obsah Aktivní odkaz na internet

e-Mole.cz
elektronický časopis zaměřený na digitální technologie ve výuce s důrazem na přírodovědné a technické obory
prosinec 2015 • číslo 3–4

vychází čtvrtletně
vydává Tomáš Feltl – TFSoft

www.e-mole.cz
casopis.e.mole@gmail.com

Redakční rada:
šéfredaktor: Tomáš Feltl
redaktoři: Miroslav Jílek (fyzika), Petr Šmejkal (chemie), Petr Tišl (biologie), Jan Vavřín (zeměpis)
stálí přispěvatelé: Jarmila Andrlová, Miloš Bukáček, Marcela Feltlová, Miroslav Staněk

grafická úprava a sazba: Marcela Feltlová
číslo vychází 12. 12. 2015; vydání 3–4/2015, ročník 1

Za obsah a faktickou i formální správnost článku je odpovědný jeho autor. Názory autora se nemusí ztotožňovat s názory vydavatele.

Přetisk a jakékoli šíření povoleno pouze se souhlasem redakce.
© Tomáš Feltl – TFSoft 2015

ISSN 2336-5714

3D tisk? 3D tisk!

Již v minulých číslech e-Molu jsme se věnovali 3D tisku. 3D tištěné pomůcky velmi zaujaly a přišla na ně řada ohlasů včetně obecnějších dotazů k technologii 3D tisku a jejímu využití na škole. Proto jsme toto číslo e-Molu zaměřili na 3D tisk.

Na následujících stránkách najdete základní seznámení s tím, co to vlastně 3D tisk je. Pokud vás trochu více zajímá, jak věci fungují, můžete pokračovat stručným technologickým přehledem současného 3D tisku.

Dnešní 3D tiskové materiály představují pro „nově příchozího“ tak trochu „džungli“. Zorientovat se ve změti zkratek není vždy jednoduché, ale třeba vám pomůže přehled těch nejčastějších zkratek a stručný popis nejpoužívanějších 3D tiskových materiálů.

V reportáži a rozhovoru s jedním z našich výrobců materiálu pro 3D tisk – tiskových strun neboli filamentů – můžete nahlédnout „pod pokličku“ s pečlivě střeženými výrobními technologiemi.

Ještě nikdy jste neslyšeli zkratku RepRap a nebo nemáte zcela jasno, co vlastně RepRap v oblasti 3D tisku představuje? Tak to zaměřte svoji pozornost na článek „RepRap aneb udělej si sám“. Pokračovat pak můžete třeba stavbou vlastní RepRap 3D tiskárny podle kompletního stavebního návodu naší tiskárny Molestock, kterou k tisku výukových pomůcek používáme a která byla navržena právě s ohledem na „školní prostředí“.

Pokud nejste přesvědčeni, že 3D tisk do školy skutečně patří, zaměřte svoji pozornost na část s názvem „3D tisk a levné výukové pomůcky“.

Z internetových (většinou volně dostupných) zdrojů 3D modelů jsme vybrali několik ukázek. Modely jsme vytiskli a zdokumentovali jak tisk, tak případné problémy, na které jsme při tisku nebo při kompletaci finálních výukových pomůcek narazili. I když jsme se tentokrát zaměřili na pomůcky pro biologii, fyziku, chemii a zeměpis, neznamená to, že by se 3D tisk nedal využít i v jiných předmětech. Vezměme si třeba výtvarnou výchovu, kde můžeme fotografie slavných sochařských děl doplnit jejich vytištěnými zmenšenými modely, které žákům skutečně „projdou rukama“. Následně mohou žáci sami s využitím modelovacího softwaru zkusit nějaké dílo „napodobit“ nebo se mohou vrhnout na „průmyslový design“ nového multifunkčního držáku na mobilní telefon či navrhnout originální sponu do vlasů. Samozřejmě, že si nakonec své modely vytisknou a nejlépe i odnesou domů. Podobně bychom mohli pokračovat s předměty jako dějepis, hudební výchova a další. Je ale ještě jedna opomíjená oblast, kde se může 3D tisk ve škole výrazně uplatnit. Jedná se o práci se zrakově postiženými žáky. S využitím 3D tisku pro ně můžeme snadno a rychle vyrobit nespočet různých názorných výukových pomůcek. Pěkným příkladem návrhu takovéto pomůcky je chemická molekulová stavebnice, o které se na následujících stránkách můžete také dočíst.

Nemohu se zbavit dojmu, že právě 3D tisk je tou tvořivou rozvíjející technologií, která nám na školách dosud chyběla. Dokáže dnešní žáky aktivně vtáhnout do různorodé problematiky napříč obory. A jak se stavíte k 3D tisku vy? Vyjádřit svůj názor můžete **v anketě**.

Tomáš Feltl

Co může 3D tiskárna přinést škole?

- Výraznou motivaci žáků v oblasti technického vzdělávání (STEM skutečně „v praxi“).
- Využívání názorných 3D tištěných výukových pomůcek, které nejsou běžně dostupné nebo jsou drahé (vlastní modely, modely z internetu, modely od žáků, ...).
- Možnost nenásilného propojení informatiky s výtvarnou či hudební výchovou (např. sochařská díla, architektura, návrh a tisk hudebních nástrojů), ale i s dalšími předměty.
- Tisk žákovských modelů vzniklých v rámci výuky (výrazná motivace při výuce 3D modelování, ale i ve výtvarné výchově a dalších předmětech).
- Tiskovou „podporu“ žákovských projektů nejen v rámci různých „vědeckých“ soutěží (AMAVET, NEURON, ...).
- Návrhy a tisk různých speciálních dílů ke konstrukčním a robotickým stavebnicím, které se na školách hojně objevují.
- Náhradu různých zničených dílů (např. zlomený držák k fyzikální vozíčkové dráze si snadno vyrobíme a můžeme ho i vylepšit).
- V případě RepRap 3D tiskárny hlubší pochopení problematiky 3D tisku, motivaci žáků k vylepšování stávající tiskárny, stavbu dalších tiskáren, návrh vlastní tiskárny, ...
- Tisk medailí a různých odměn pro žáky.
- Zlepšení propagace školy (např. tisk propagačních předmětů s logem školy)
- Zakázkový tisk pro veřejnost (propagace školy nabídkou zajímavé služby).

Tomáš Feltl

Co je to ten 3D tisk?

Slyšeli jste již o 3D tisku? Vzhledem k tomu, že se zmínky o 3D tisku v různých souvislostech čas od času objevují v nejrůznějších médiích již skutečně dlouhou dobu, věřím, že jste zaznamenali alespoň ono spojení „3D tisk“. Co se ale pod tímto označením skrývá? Jistě, dokážeme si představit, že pomocí jakési tiskové technologie můžeme vytvořit trojrozměrný objekt, nějakou „reálnou prostorovou věc“, kterou můžeme vzít do ruky – třeba model nové konvice na kávu nebo model vnitřního ucha coby výukovou pomůcku. Jak to ale celé funguje?

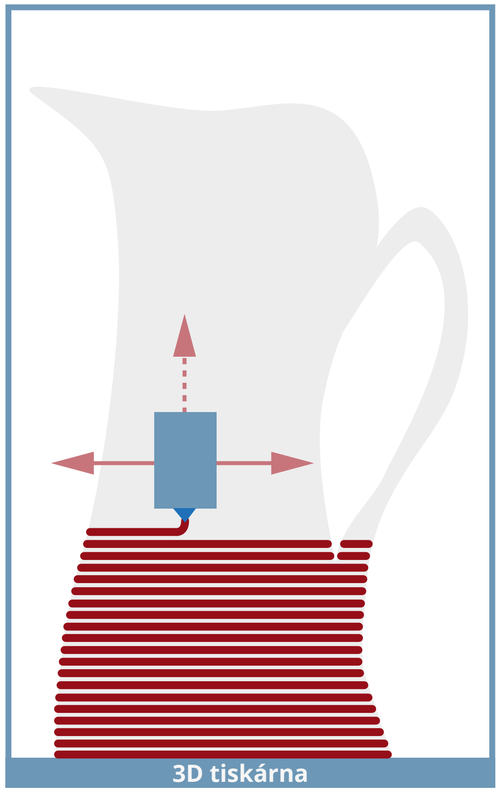
Technologie označované jako „3D tisk“ řadíme mezi aditivní výrobní technologie. Jak je z názvu patrné, jde o proces, při kterém se postupně „něco“ přidává (vrství). Z určitého materiálu tak postupně vrstvičku po vrstvičce vyrábíme trojrozměrný objekt (často po skutečně velmi tenkých vrstvách). Tento způsob je v podstatě opakem klasického obrábění (třískové obrábění), jak ho známe např. u soustruhu nebo frézky, kde finální „předmět“ vzniká naopak postupným odebíráním materiálu. Vedle takových technologií, jakými jsou vedle obrábění ještě třeba lisování nebo odlévání, získáváme ve 3D tisku významného pomocníka při výrobě trojrozměrných předmětů. Patrně laicky nejznámější technologie 3D tisku pracuje s plasty, ale to neznamená, že není možné tisknout i jinými materiály. Současné 3D tiskové technologie zvládají klidně tisk z keramických materiálů, kovových materiálů, betonu, čokolády a dalších.

Nabízí se otázka: „Proč používat 3D tisk, když to můžeme třeba „vyfrézovat“?“ Důvodů je hned několik. Představte si, že chcete začít vyrábět konvice na kávu. Navrhnete a namodelujete si budoucí konvici, typicky v nějakém 3D modelovacím programu na počítači. Konvici ale chcete před zadáním do výroby vyzkoušet. Potřebujete tedy nejdříve vyrobit „prototyp“ a ten otestovat (jak bude „sedět“ v ruce, jestli bude navržený zobáček na nalévání funkční a nebude „cvrndat“ kolem, ...). A právě zde se s výhodou může uplatnit 3D tisk. Díky 3D tisku totiž vytvoříme relativně rychle a přede-

aditivní technologie – 3D tisk

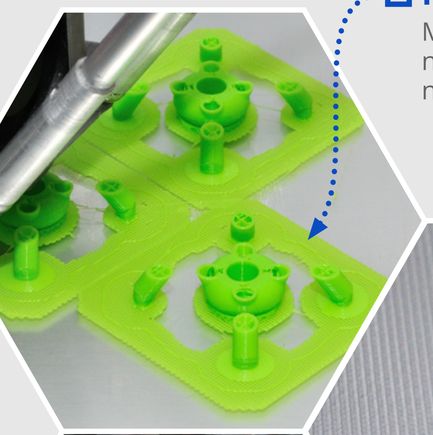
návrh konvice na kávu → výroba prototypu

Budoucí výrobek, který jsme vytvořili ve formě 3D modelu a potřebujeme jej před zadáním do výroby „otestovat“.



S využitím 3D tiskárny vyrobíme reálný předmět postupným vrstvením zvoleného materiálu (např. plastu).

Co v učebnicích nenajdete: Co je to ten 3D tisk?

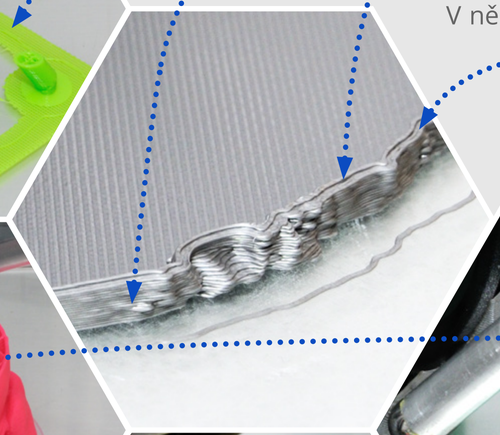


Raft (vor)

Mřížka, která se tiskne pod vlastní objekt (např. z důvodu zajištění co nejpřesnějších rozměrů ozubených kol, lepší přilnavosti nebo vyrovnání nerovností/sklonu tiskové podložky, ...)

Layer Thickness/Height (tloušťka/výška vrstvy)

Typická tloušťka vrstvy se u technologie FDM/FFF pohybuje v rozmezí 0,08 až 0,5 mm.

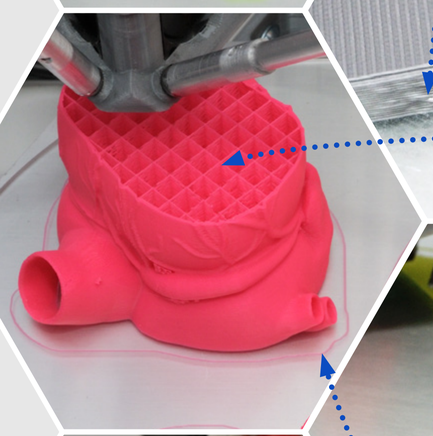


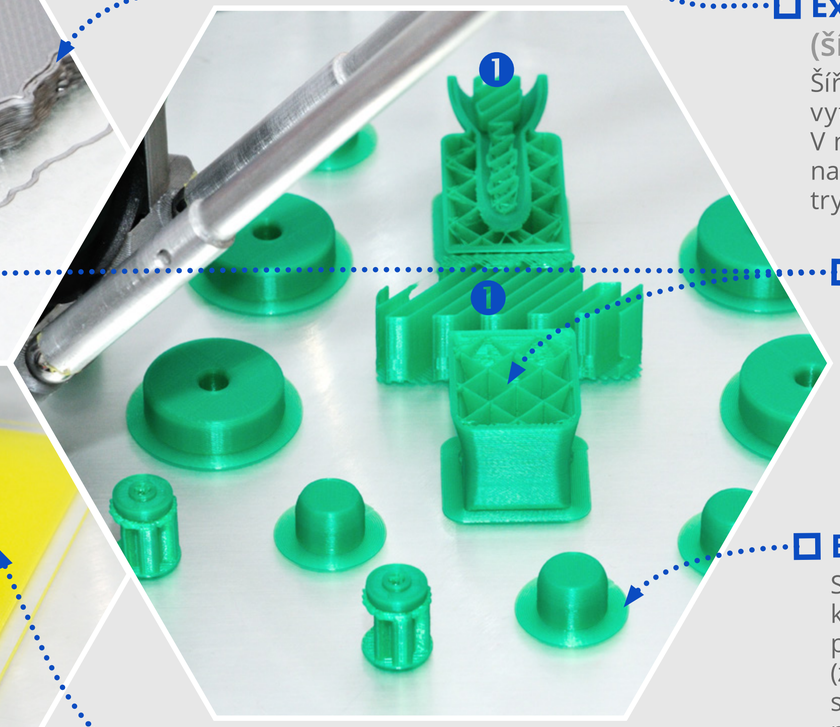
Loop (smyčka)

Tisk obvodových stěn modelu probíhá obvykle v uzavřených „smyčkách“. V některých slicerech se počtem těchto smyček nastavuje tloušťka obvodových stěn.

Extrusion Width (šířka extruze)

Šířka „stopy“ materiálu vytlačovaného z trysky. V některých slicerech se nastavuje jako průměr trysky (Nozzle size).



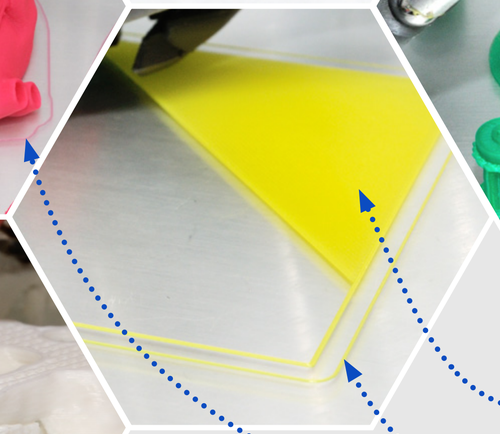


Fill/Infill (výplň)

Uvnitř objektů se tiskne výplňová mřížka (různá hustota a typ – lineární, šestiúhelníková, osmiúhelníková, ...).

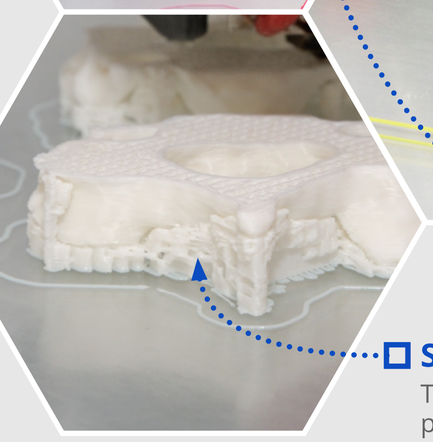
Brim (okraj)

Souvislá plocha tištěná kolem malých styčných ploch s podložkou (zajištění pevnějšího spojení). Z výtisku se nakonec odstraní.



First layer (první vrstva)

Pro tisk první vrstvy se často nastavují jiné parametry než pro zbytek výtisku (zajištění pevnějšího přilnutí materiálu k tiskové podložce).



Support (podpora) ❶

Tiskové „lešení“, které podepírá převislé části modelu. Z výtisku se nakonec odstraní.

Skirt (sukně)

Samostatná část tištěná mimo model před tím, než se začne tisknout vlastní model (typicky na začátku tisku – z důvodu doplnění materiálu v trysce a správného „natlakování“ trysky, někdy se tiskne i v plné výšce předmětu např. jako určitá izolační komora).

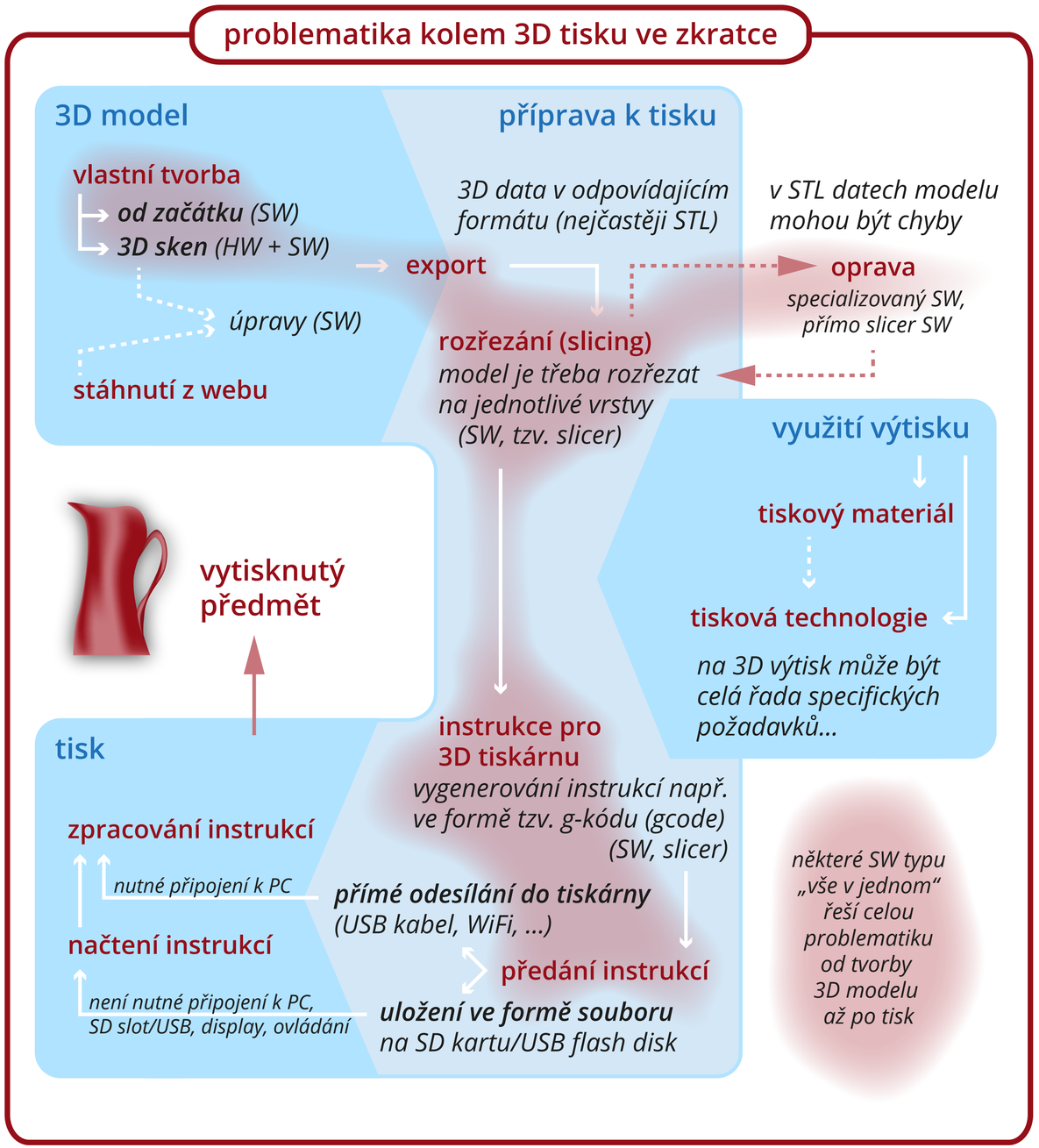
Základní terminologie z oblasti FDM/FFF 3D tisku s typickými ukázkami vzhledu *(v různých slicerech se některé použité termíny mohou lišit)*

vším velmi levně potřebné prototypy k testování. Pokud zjistíme, že náš návrh konvice např. tvarově nesplňuje naše představy o snadném a pevném úchopu, jednoduše počítačový model upravíme, znovu vytiskneme a opět otestujeme. V souvislosti s 3D tiskem se tak často hovoří o tzv. „Rapid Prototypingu“, tedy o rychlé výrobě testovacích prototypů.

Dalším důvodem pro využití 3D tisku může být výroba předmětu s komplexním složitým prostorovým tvarem, který by konvenčními technologiemi vyrobit nešel, nebo by byla jeho výroba velice náročná a zdlouhavá, a tím pádem i drahá. Systém propracovaných žeber a výztuh 3D tištěné součásti letadla tak např. může oproti lisované součástce ve výsledku vést k výraznému snížení ceny i hmotnosti, a to při zachování požadované pevnosti. A to je jenom „kapka“ v pomyslném moři možností využití 3D tisku.

Dobrá, máme tedy základní představu o tom, co to je 3D tisk. Pokud se však chceme 3D tiskem zabývat více, je pro nás zásadní otázkou, jakým způsobem vznikají „data“ 3D modelu, který budeme následně tisknout. I když to nemusí být

Co v učebnicích nenajdete: Co je to ten 3D tisk?



na první pohled zřejmé, je tato problematika s 3D tiskem nedílně spjata. V zásadě jsou dvě možnosti.

První již byla zmíněna dříve – model vznikne na počítači (popř. dnes již také tabletu či chytrém telefonu) v nějakém 3D modelovacím programu. Tyto programy můžeme rozdělit do několika kategorií, kde na pomyslných odvrácených stranách stojí aplikace technického rázu označované jako CAD/CAM (**C**omputer **A**ided **D**esign – počítačem podporované navrhování – zkratka označující software pro projektování či konstruování na počítači. **C**omputer **A**ided **M**anufacturing – počítačem podporovaná výroba – zkratka označující software pro řízení či automatizaci výroby, např. obráběcích strojů, robotů. [definice dle **www.cadcam.cz**]). Na druhé straně stojí 3D modelovací aplikace směřované do různých uměleckých oblastí, včetně sochařství. Společnou vlastností takovéhoto SW je, že 3D model, který nejdříve vytváříme v prostředí daného programu na počítači, můžeme následně exportovat ve formátu vhodném pro 3D tisk.

Druhá možnost je nevytvářet model od začátku v prostředí určité počítačové aplikace, ale nasnímat reálnou předlohu. K tomu slouží zařízení, které se označuje jako 3D skener. Samozřejmě, že takto vytvořený 3D model můžeme dále upravovat v nějaké té počítačové aplikaci.

Příkladem aplikací technického charakteru může být AutoCAD či SolidWorks, z těch „uměleckých“ je asi jedním z nejznámějších Blender, dále pak třeba Meshmixer, Sculptris a řada dalších.

Ne vždy je ale výhodné 3D model vytvářet vlastními silami. Někdy je dobré začít na internetu a nejdříve prohledat některý z portálů pro sdílení hotových 3D modelů. Je možné, a u výukových pomůcek to platí dvojnásob, že model, který zrovna potřebujete, již před vámi někdo vytvořil a zdarma ho dal k dispozici všem ostatním. Příkladem mohou být 3D modely – výukové pomůcky, které představujeme v příspěvku „**3D tisk a levné výukové pomůcky**“, kde většina modelů pochází z portálu **www.thingiverse.com**.

Celkový pohled na základy problematiky kolem 3D tisku je shrnut na schématu „problematika kolem 3D tisku ve zkratce“ na této stránce.

Technologie 3D tisku

V dnešní době se využívá celá řada 3D tiskových technologií. Při výběru technologie pro určitou konkrétní aplikaci nás jistě bude zajímat nejen materiál, ze kterého bude objekt vytištěný, ale také výsledná homogenita a pevnost. To, že bude výtisk např. z kovu, totiž ještě neznamená, že budou jeho mechanické vlastnosti srovnatelné s tlakovým odlitkem ze stejného materiálu. Přehled několika nejpoužívanějších technologií z pohledu tiskových materiálů naleznete ve schématu „některé technologie 3D tisku“ vpravo. Pojďme si nyní ty nejznámější technologie stručně představit.

některé technologie 3D tisku

materiál	způsob tvorby objektu: polymerace	pojivo	tavení	
keramika		tryskání pojiva (BJ)	tavení laserem (LM)	
kov				tavení elektronovým paprskem (EBM)
písek				
plast	stereolitografie (SLA, DLP) tryskání fotopolymeru (PJ)		nanášení roztaveného mat. (FDM)	spékání laserem (LS)
vosk				tryskání * mat. (MJ)

nižší	odolnost/trvanlivost	vyšší
hladší	povrchová úprava	hrubší
vyšší	úroveň detailů	nižší
prototyp/nepřímé porcesy	aplikace	funkční součástky

* MJ *technologie dosahují hladkých povrchů a současně vysokého rozlišení (detailů), výtisk je ale křehký a málo tepelně odolný, často se používá jako matrice pro tvorbu formy.*

Převzato podle www.additively.com

Fused Deposition Modeling (FDM)

Synonyma: **Fused Filament Fabrication (FFF),**
Fused Layer Modeling/Manufacturing (FLM)

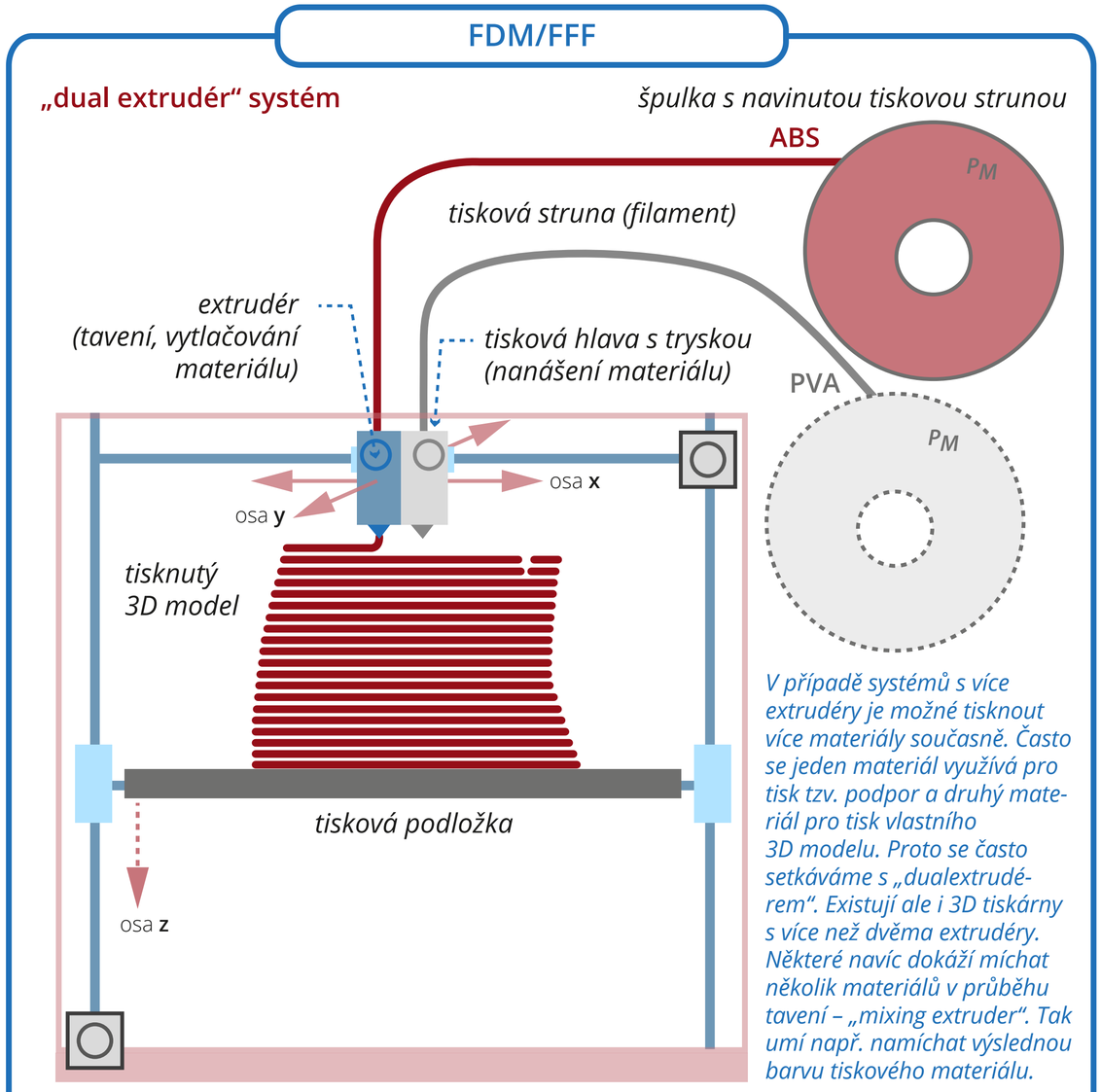
Principem je tavení plastové tiskové struny a postupné nanášená vrstev roztaveného plastu tryskou v tiskové hlavě (viz schéma „FDM/FFF“ vpravo). Při tisku složitějších tvarů s převislými částmi jsou třeba tzv. podpory. Ty se z finálního výtisku musí buďto vylámat (pokud jsou ze stejného materiálu jako tištěný objekt), nebo se rozpustí (pokud jsou na rozdíl od tištěného objektu z jiného, rozpustného materiálu – v takovém případě je třeba tiskárna se dvěma extrudéry, tzv. dualextrudér).

Je možné tisknout plně funkční plastové díly (včetně malosériové výroby), nicméně je třeba počítat s odlišnými mechanickými vlastnostmi v osách x, y a ose z. Ve směru osy z je výtisk méně odolný a zvláště některé plasty jsou zde při větším mechanickém namáhání náchylné ke vzniku prasklin. K odstranění viditelnosti vrstevnaté struktury na povrchu výtisku se používají různé metody (leštění, broušení, tmelení, ...). Povrch výtisku je možné také ošetřit nátěrem nebo potažením jiným materiálem (např. pokovením).

Nejčastěji používanými materiály jsou ABS a PLA. K nim se postupem času přidala řada dalších plastů jako např. ASA, PA, POM, PP, PMMA, PET, TPE a další (přehled zkratek najdete v článku „**3D tiskové materiály a tajemné zkratky**“). Především poslední dobou se objevuje značné množství dalších materiálů se zajímavými vlastnostmi. Jedná se např. o kompozitní materiály s vysokou pevností, tepelnou odolností, elektrickou vodivostí, magnetickými vlastnostmi atd.

Rozměrové tolerance se pohybují typicky kolem ± 0,2 mm a souvisí také s použitým materiálem (např. objem některých plastů se výrazně mění s teplotou).

Technolgii FDM si můžete prohlédnou i v pohybu.



V případě systémů s více extrudéry je možné tisknout více materiály současně. Často se jeden materiál využívá pro tisk tzv. podpor a druhý materiál pro tisk vlastního 3D modelu. Proto se často setkáváme s „dualextrudérem“. Existují ale i 3D tiskárny s více než dvěma extrudéry. Některé navíc dokáží míchat několik materiálů v průběhu tavení – „mixing extruder“. Tak umí např. namíchat výslednou barvu tiskového materiálu.

*Existuje celá řada konstrukčních řešení. Na obrázku jedna z možností, kdy se tisková podložka pohybuje směrem dolů (osa **z**) a vlastní tisková hlava v osách **x** a **y**.*

Stereolithography (SL, SLA, DLP)

Principem stereolitografie je polymerace tekutého koktejlu fotopolymeru v místě působení světla (využívá se např. UV laser nebo viditelné světlo směrované DLP čipem). Tiskne se po vrstvách. V případě využití laseru dochází ve vrstvě k polymeraci postupně – postupným rastrováním, u DLP technologie pak typicky v celé vrstvě najednou. Při tisku složitějších tvarů jsou třeba podpory, které se musí z finálního výtisku odstranit.

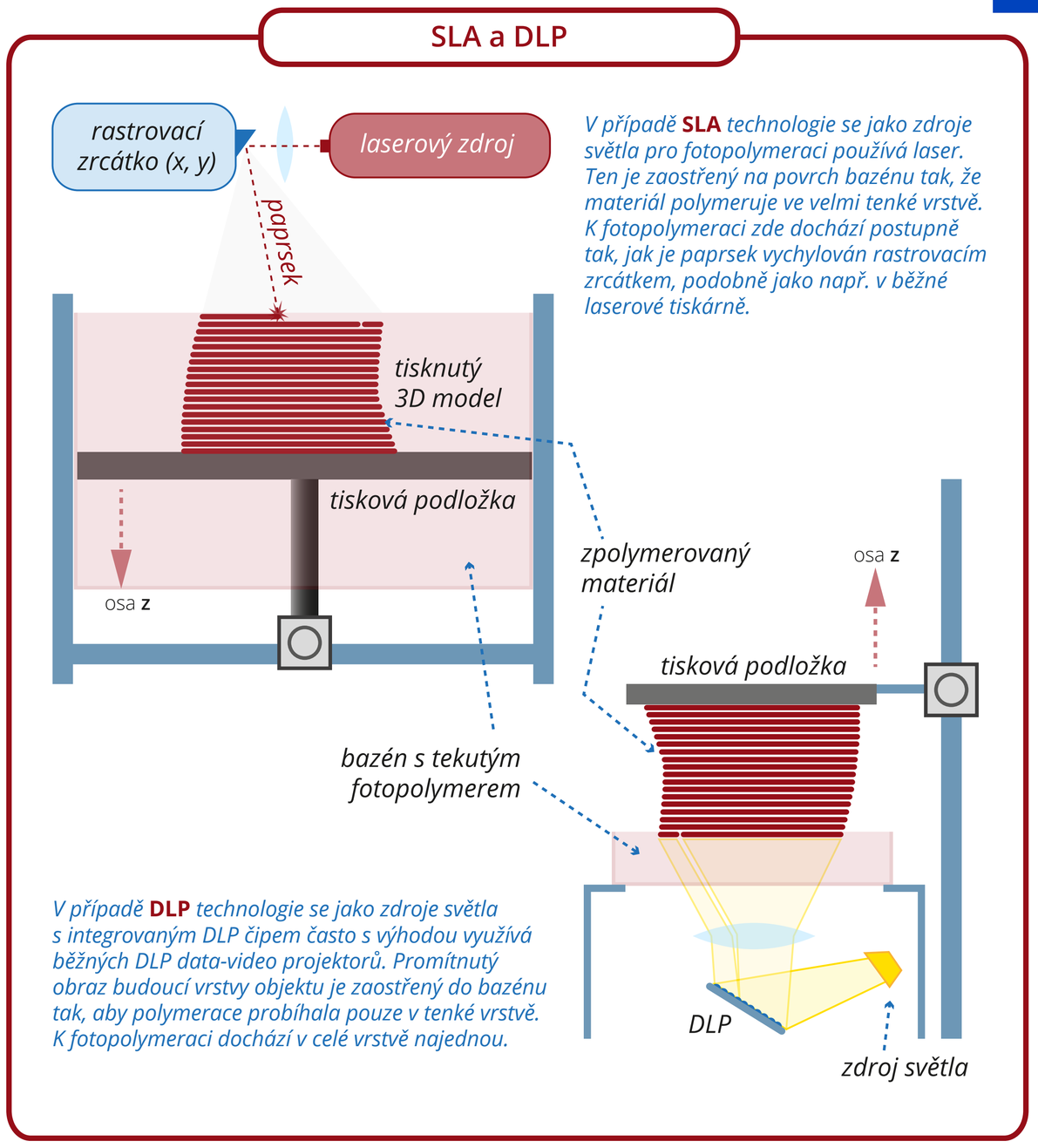
Tisk je velice přesný a poskytuje jemné detaily. Původní fotopolymerní materiály nejsou příliš vhodné pro tisk mechanicky namáhaných dílů – z důvodu poměrně rychlého stárnutí materiálu (dochází k výrazným změnám mechanických vlastností). Dnes jsou nabízeny i materiály se zvýšenou odolností. Bohužel, většina dnes běžně používaných fotopolymerních koktejlů obsahuje v poměrně značných koncentracích antimon (toxický těžký kov). V literatuře se objevuje řada studií, které se problematikou toxicity těchto materiálů zabývají (**3D Printing (Rapid Prototyping) Photopolymers: An Emerging Source of Antimony to the Environment**). Současně se ale také objevují netoxické fotopolymerní 3D tiskové materiály, jejichž využití je směřováno např. do oblasti medicíny. Pokud vás nastíněmá problematika zajímá, můžete začít třeba popularizačním článkem „**How Green Is My 3D Printer?**“.

Povrch výtisku je možné dodatečně leštit, brousit, tmelit, ..., případně také ošetřit nátěrem nebo potažením jiným materiálem (např. pokovením).

Fotopolymerní materiály typicky obsahují více složek. Monomery jsou např. na bázi k. akrylové, k. methakrylové, isododecyl akrylátu či N-vinyl-pyrrolidonu. Monomer je typicky zastoupen 10–40 %. Další důležitou složkou je směs oligomerů a molekul sloužících jako pojivo. Ty jsou zastoupeny 50–80 %. Jsou to nejčastěji deriváty styrenu, akrylátů či vinylalkoholu, olefiny (např. poly-isobutylen) a další. Podstatnou součástí jsou také „fotoiniciátory“, které jsou schopny převést energii světla na energii „chemickou“, a tím zahájit polymeraci (mechanizmus polymerace je zde často radikálový nebo kationtový).

Rozměrové tolerance se pohybují typicky kolem ± 0,1 mm.

Technolgii SL si můžete prohlédnou i v pohybu.



Laser Melting (LM) a Laser Sintering (LS)

Synonyma LM: **Selective Laser Melting, SLM, Direct Metal Laser Sintering, DMLS, Laser Cusing**

Synonyma LS: **Selective Laser Sintering, SLS**

Obě tyto technologie využívají výkonných laserů ke spékání či tavení prášku tiskového materiálu. Hlavním rozdílem je, že LM technologie pracují obvykle s kovovými prášky, kdežto technologie LS s prášky materiálů plastových. Tiskne se po vrstvách, a to tak, že se ze zásobníku nanese tenká vrstva práškového materiálu do tiskové komory, kde se v odpovídajících místech „speče“ pomocí laseru. V případě LS nejsou třeba žádné podpory, což je velkou výhodou při tisku komplexních složitých tvarů. LM ale již využití podpor většinou vyžaduje, a to z důvodu odvodu tepla při tavení kovového prášku a tím pádem k zabránění deformacím výtisku.

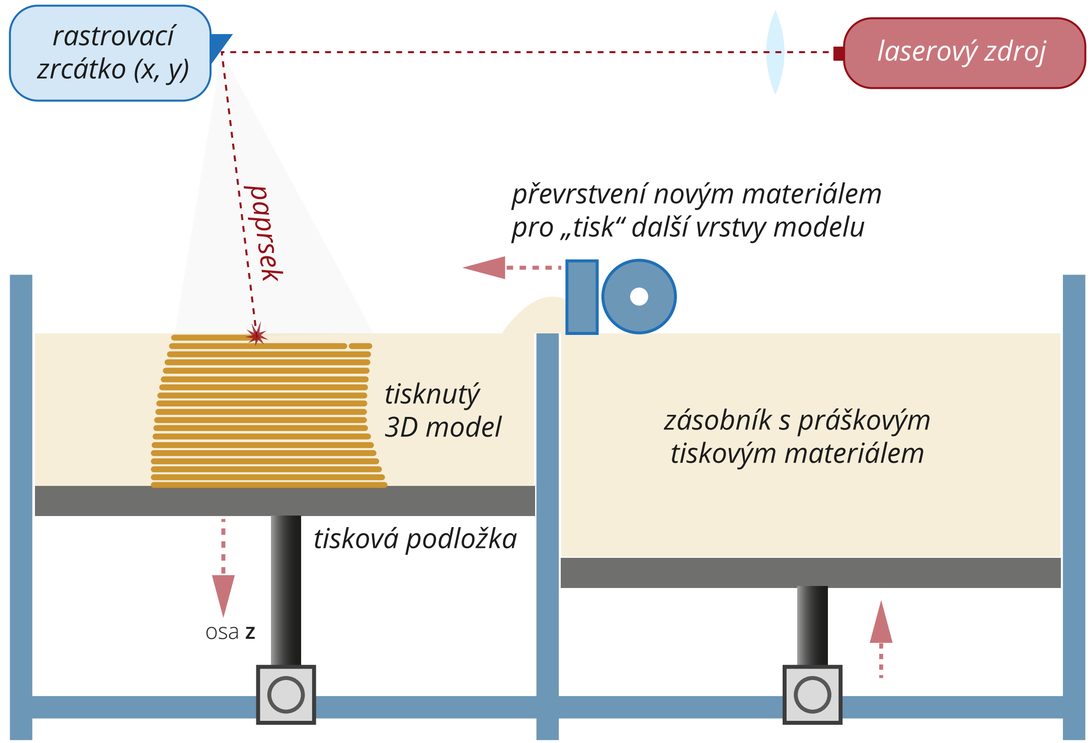
LM technologie produkuje kovové výtisky s vysokou hustotou a dobrými mechanickými vlastnostmi (vhodné jako prototypy, ale i jako díly k zástavbě do strojů, či malosériová výroba). Výtisk může být dále opracován obdobně jako jakýkoli svařenec, včetně povrchové úpravy (nátěr, pokovení, ...). Jde však o technologii relativně pomalou a cenově nákladnou. I přesto nachází uplatnění v mnoha odvětvích (s výhodou např. při výrobě vstřikovacích forem). Pomocí LM lze tisknout s celou řadou běžných kovů a jejich slitin. Rozměrové tolerance se u LM pohybují typicky kolem ± 0,05 až 0,1 mm.

LS technologie produkuje plastové výtisky s dobrými mechanickými vlastnostmi (vhodné jako prototypy, ale i jako díly k zástavbě do strojů, či malosériová výroba – především při výrobě většího množství malých dílů může být tato technologie levnější než dnešní klasické výrobní postupy). Vzhledem k vrstevnatosti nemá výtisk stejné mechanické vlastnosti jako výrobek vyrobený vstřikováním. Výtisk může být dále opracován leštěním, broušením, ..., včetně povrchové úpravy (nátěr, pokovení, ...). Pomocí LS lze tisknout s celou řadou běžných plastů. Rozměrové tolerance se u LS pohybují typicky kolem ± 0,1 až 0,2 mm.

Technolgie **LM** **a LS** si můžete prohlédnou i v pohybu.

LM a LS

Obě tyto technologie můžeme znázornit stejným základním schématem



*Technologie **LM** i **LS** jsou uspořádáním principiálně velice podobné. Tiskový materiál je ve formě prášku v zásobníku, z nějž se postupně vrství do tiskové komory. Tam je práškový materiál spojen roztavením/natavením v místech budoucího objektu pomocí laseru.*

*V případě **LM** technologií se tiskne kovovými a keramicklými materiály. Tyto materiály vyžadují tisk podporných struktur. U **LS** technologií je tiskovým materiálem plast. Tisk podporných struktur zde není třeba.*

Binder Jetting (BJ)

Z pohledu použité formy tiskového materiálu (prášku) je tato technologie velmi podobná dvěma předchozím. Nedochází zde však ke spékání ani tavení. Prášek je stmelen kapalným pojivem. Dochází tedy defakto ke slepení jednotlivých částeček materiálu pomocí speciálního „lepidla“. Práškový tiskový materiál je nanesen v tenké vrstvě do tiskové komory. Na něj je v odpovídajících místech aplikováno pojivo pomocí pohyblivé tiskové hlavy obdobné té, kterou známe z inkoustových tiskáren. Vytvrzení pojiva může být realizováno různě, například pomocí UV světla (viz schéma vpravo). Jednou z výhod této technologie je, že ani v případě složitých převislých objektů nejsou potřeba tiskové podpory. Další devizou je možnost plnobarevného tisku, která se zde přímo nabízí. Některé tyto tiskárny totiž disponují barevnou tiskovou hlavou a dokáží práškový materiál libovolně probarvit.

Tisková technologie BJ je rychlá a relativně levná. Vlivem použitého pojiva ale výtisky často nemají dobré mechanické vlastnosti, jsou poměrně křehké. To se v případě některých materiálů (např. kov či keramika) řeší dodatečným zpracováním, např. spékáním. Tato technologie je často využívána také k výrobě pískových odlévacích forem. Výtisk může být případně dále opracován leštěním, broušením, ..., včetně povrchové úpravy (nátěr, pokovení, ...).

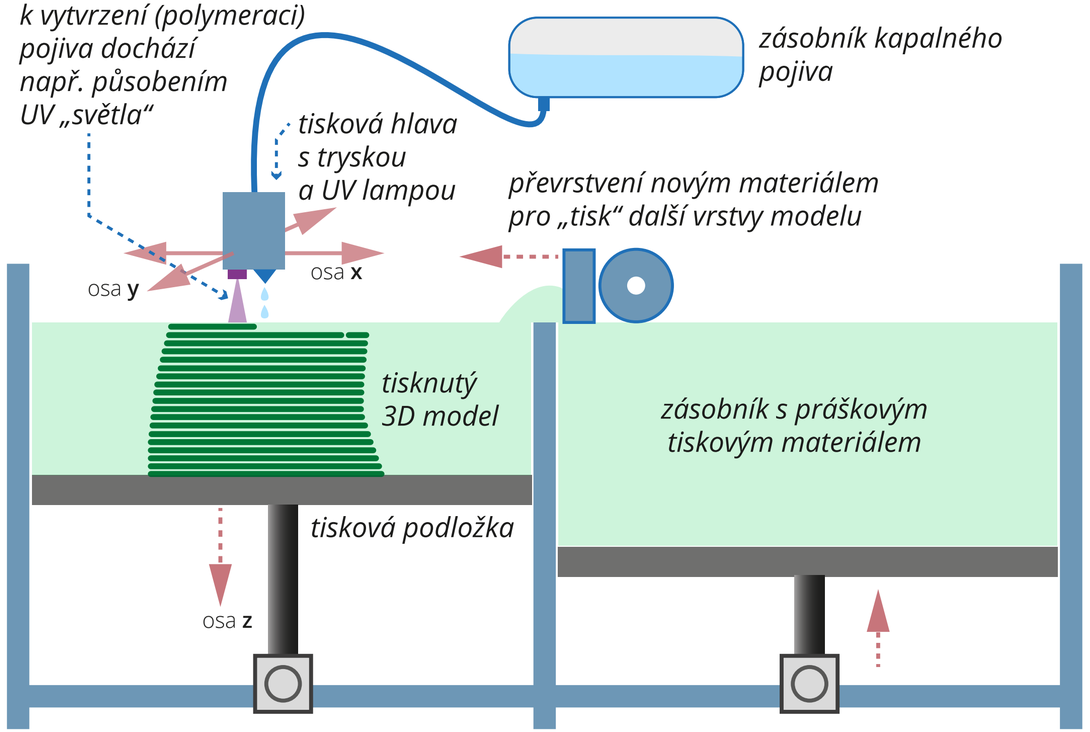
Další velkou výhodou BJ technologií je možnost pracovat téměř s jakýmkoli materiálem. Stačí, když je materiál dostupný v práškové podobě.

Rozměrové tolerance se pohybují typicky kolem ± 0,1 mm.

Technolgii **BJ** si můžete prohlédnou i v pohybu.

BJ

Jedna z používaných „jetting“ technologií připomíná svým provedením LM a LS tiskové systémy. Narozdíl od nich zde ovšem nedochází k tavení materiálu, ale k jeho spojení původně kapalným pojivem naneseným tiskovou hlavou podobnou jako známe např. z klasické inkoustové tiskárny.

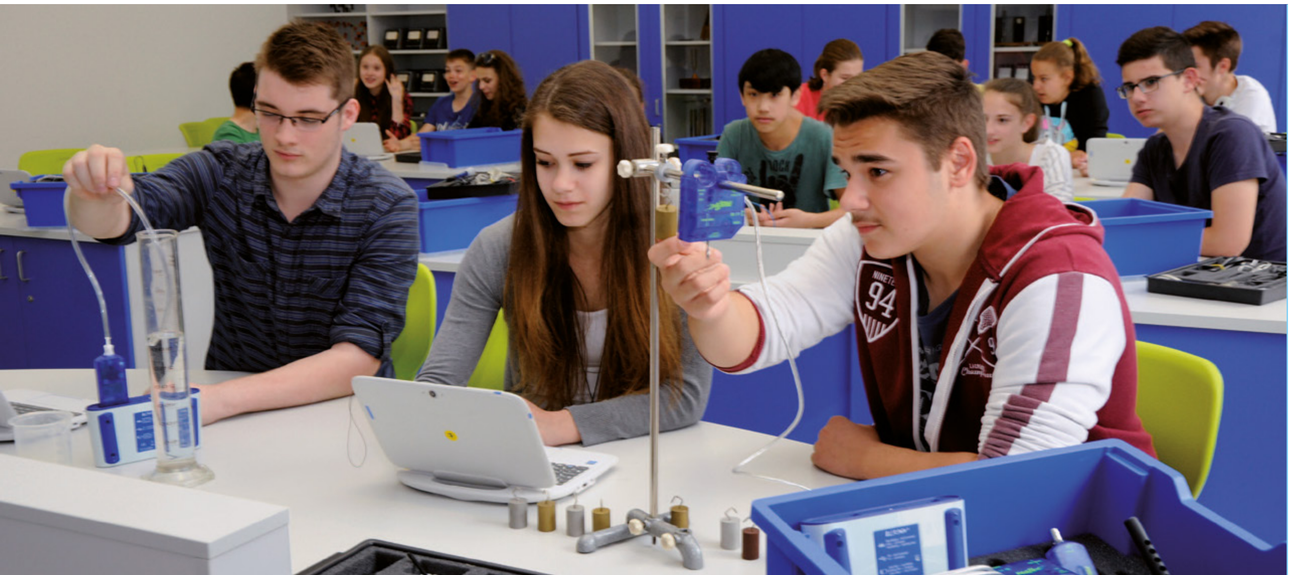


Některá řešení založená na tomto principu umožňují také barevný tisk – tisková hlava nese více trysek, které umožňují dávkovat barevné inkousty podobně jako v případě běžné stolní inkoustové tiskárny. Pojivo je naneseno a vytvrzeno následně po probarvení práškového materiálu. Velkou výhodou této technologie, která nedělá nic jiného, než že k sobě „lepí“ jednotlivé částečky materiálu, je využití celé škály různorodých materiálů. Výsledný objekt je přitom možné dále zpracovávat sintrováním, čehož se hojně využívá při výrobě keramických/pískových forem nebo kovových objektů.

Material Jetting (MJ)

Synonyma: Multijet modeling, DOD (drop on demand)

Je to „inkoustová“ technologie používající k tisku přímé vrstvení taveného tiskového materiálu na voskové bázi. Principiálně je podobná FDM/FFF technologii. Výhodou je vysoká přesnost, rozlišení a velice kvalitní povrch vytištěného objektu. Nevýhodou je poměrně dlouhá doba tisku (běžně se touto



PASCO SENSORIUM

ZMĚŇTE PŘÍSTUP K VÝUCE PŘÍRODNÍCH VĚD

PŘENESTE AKTIVITU NA STRANU ŽÁKŮ

Žákovská sada PASCO Sensorium v sobě skrývá vše, co budete potřebovat pro výuku přírodních věd.
V běžné třídě. Badatelsky. Aktivně.

ŽÁKOVSKÁ SADA **PASCO SENSORIUM** OBSAHUJE:

1+5
SENZORŮ
1 bezdrátové rozhraní SPARKlink Air + **5** senzorů i s příslušenstvím pro měření **8** veličin. To vše v praktickém úložném boxu.

28
ÚLOH
28 v českém prostředí vytvořených žákovských úloh ve formátu SPARKlab.

28
METODIK
Metodické příručky pro učitele s podrobně zpracovanými instrukcemi k realizaci všech **28** úloh.

CELKOVÁ CENA **32 920 Kč** S DPH

PODROBNÉ INFORMACE NALEZNETE NA **WWW.PASCO.CZ/SENSORIUM**
S VAŠIMI DOTAZY SE PROSÍM OBRACEJTE NA **INFO@PASCO.CZ**

technologií tiskne i s tloušťkou vrstvy kolem 0,02 mm!). Při tisku komplexních složitých tvarů jsou třeba podpory, které se z důvodu snadného odstranění typicky tisknou druhým materiálem.

Vzhledem k použitému materiálu – vosku – jsou výtisky poměrně křehké a jejich uplatnění je především v oblasti prototypů a matric pro výrobu přesných odlévacích forem (medicína, zubní náhrady, šperkařství, ...).

Rozměrové tolerance se obvykle pohybují kolem ± 0,025 mm.

Photopolymer Jetting (PJ)

Synonyma: multijet modeling, polyjetting, multijetting, jetted photopolymer

Jedná se o další „inkoustovou“ technologii, která využívá nanášení materiálu tiskovou hlavou. Oproti MJ používá tekutých fotopolymerů, které jsou ihned po nanesení vytvrzeny UV lampou (ta bývá umístěna přímo na tiskové hlavě). Nanášená vrstva může být velice tenká (běžně se touto technologií tiskne i s tloušťkou vrstvy kolem 0,02 mm!). Při tisku komplexních složitých tvarů jsou třeba podpory, které se z důvodu snadného odstranění obvykle tisknou druhým materiálem. Díky „inkoustové“ technologii je možný tisk z více materiálů současně, včetně vícebarevného tisku. Kombinací několika tiskových médií je možné dosáhnout např. i efektu různé pružnosti/pevnosti v různých částech tištěného objektu.

Techologie PJ dosahuje vysoké přesnosti a dobré povrchové kvality výtisku. Vinou použitých fotopolymerů ale většinou nejsou výtisky dlouhodobě stálé a mají omezené mechanické vlastnosti. Díky velmi dobé kvalitě povrchu se již často neprovádí žádná dodatečná povrchová úprava (výjimkou je např. dodatečné pokovení povrchu). Výtisky se uplatní především jako prototypy, matrice pro odlévací a vstřikovací formy, popř. malosériovou výrobu.

Rozměrové tolerance se pohybují typicky kolem ± 0,025 mm.

Technolgii **PJ** si můžete prohlédnou i v pohybu.

Electron Beam Melting (EBM)

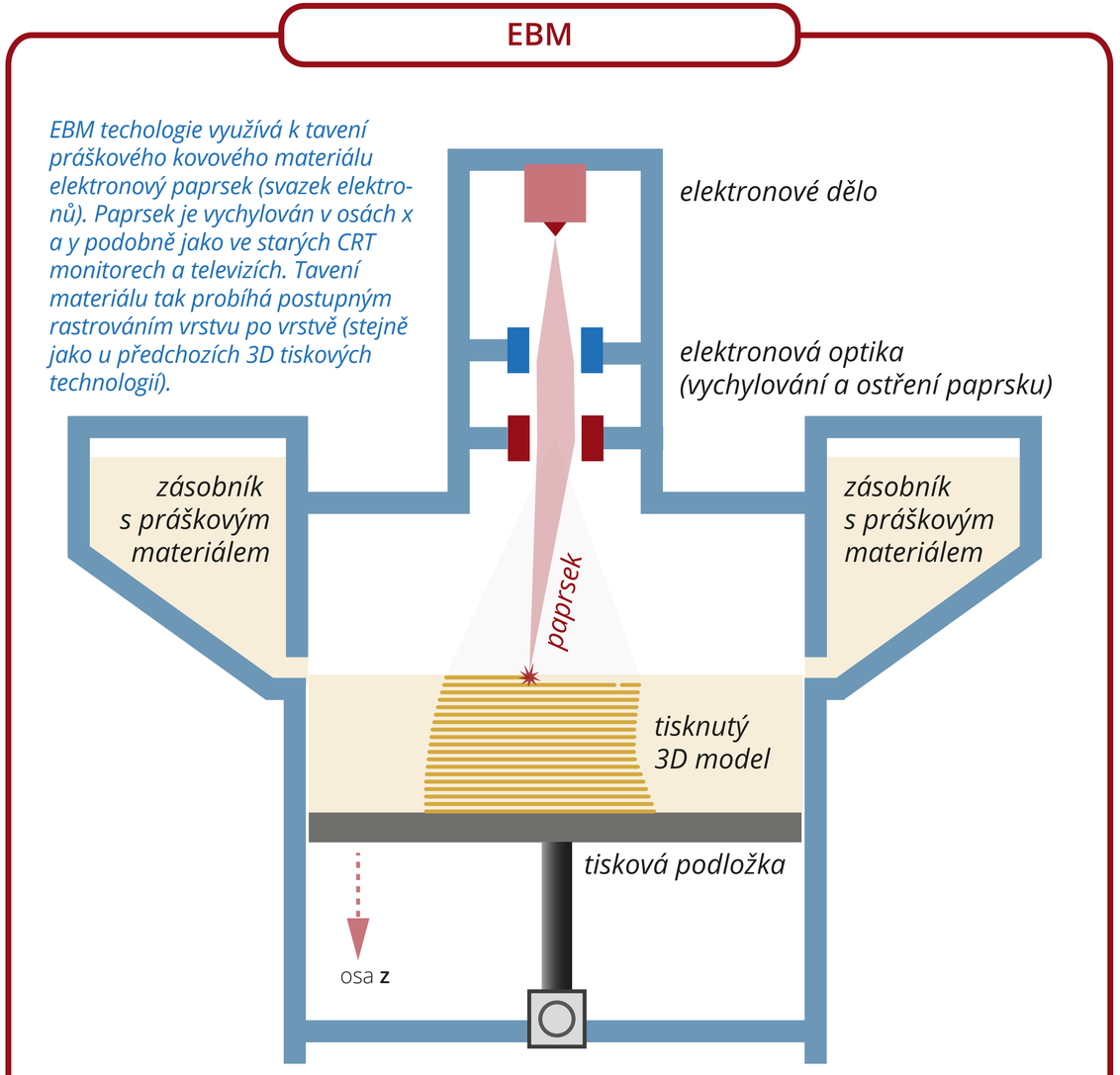
I zde je základem práškový materiál. V případě EBM technologie jde o kovový prášek, který se nanáší ze speciálních zásobníků do tiskové komory ve velice tenké vrstvě (0,05 mm). Tiskne se tedy opět po vrstvách. Následně je kovový prášek v požadovaných místech roztaven rastrujícím elektronovým svazkem. Komplexní složité tvary vyžadují tisk podpor (obdobně jako u LM – důvodem je odvod tepla a zabránění deformacím).

Díky elektronovému svazku se dosahuje vysokých hustot a mechanické odolnosti výtisků srovnatelné s klasickými procesy, jako je např. odlévání. Na druhou stranu neposkytuje tato technologie tak kvalitní povrch výtisku – ten je třeba finalizovat klasickými technologiemi, jako je např. broušení či leštění, a v některých případech i klasickými obráběcími technologiemi.

Použitelnost této technologie je limitována nejen její časovou a finanční náročností, ale také materiály, které je možné používat (v současnosti pouze kovy a slitiny s vyšší hustotou, typicky slitiny titanu, kobaltu, niklu, nerezové oceli). Tato technologie je využívána také např. v medicíně k tisku kovových implantátů „na míru“.

Rozměrové tolerance se pohybují typicky kolem ± 0,2 mm.

Technolgii EBM si můžete prohlédnou ve třech ukázkách: 1, 2, 3.



I když je tato technologie na první pohled stejná jako u LM systémů (dochází k tavení kovového prášku), je zde několik podstatných rozdílů. Především je možné zpracovat některé kovy, které se standardně používají v případě klasického obrábění (mají vyšší hustotu). Stejně tak jsou s klasickým obráběním srovnatelné i mechanické vlastnosti vytištěných objektů. Nedosahuje se ovšem tak kvalitního povrchu.

*podle **History of 3D printing** zpracovala Jarmila Andrlová*

Historie 3D tisku ve zkratce

1981
- Hideo Kodama publikuje práci zabývající se využitím fotopolymerů při rychlé výrobě prototypů (rapid prototyping)

1984
- Charles Hull (zakladatel fy 3D Systems) vynalézá stereolithografii (SLA)

1986
- Charles Hull – patentování SLA

1988
- 3D Systems – první komerční SLA tiskárna
- Scott Crump – vynalézá technologii 3D tisku postupným vrstvením roztaveného plastu (FDM)

1989
- Carl Deckard – technologie SLS
- Scott Crump – patentování FDM, zakládá fu Startasys

1991
- první 3D tiskárna využívající technologii LOM (fy Helisys)

1992
- první komerční FDM 3D tiskárna (fy Stratasys)
- první komerční SLS 3D tiskárna (fy DTM)

1993
- založena fa Solidscape (inkoustová technologie 3D tisku)
- patentována „inkoustová“ technologie 3D tisku (Massachusetts Institute of Technology – M. I. T.)

1995
- M. I. T. – exkluzivní licence pro využití „inkoustové“ technologie pro firmu Z Corporation
- Z Corporation uvádí tiskárny ZPrinter

1996
- 3D Systems uvádí tiskárnu Actua 2100
- Z Corporation uvádí tiskárnu Z402
- Stratasys uvádí tiskárnu Genesis

1999
- 3D tisk je použit pro tisk oporné struktury pro růst buněk (implantát močového měchýře)

2000
- s využitím 3D tisku je vyroben funkční systém pro filtraci krve (hovoří se o „umělé“ ledvině)

2005
- startuje „Open source hardware“ projekt RepRap

2006
- prosazuje se technologie SLS

2007
- RepRap – 3D tiskárna Darwin

2008
- první 3D tiskový systém umožňující současnou kombinaci více různých materiálů (fy Objet Geometries)
- fa Shapeways spouští komunitní službu pro umělce a designéry, umožňující sdílení a prodej jejich 3D modelů
- první kompletní 3D tištěná protéza lidské dolní končetiny
- založení fy MakerBot Industries
- MakerBot spuští komunitní portál Thingiverse.com pro sdílení 3D modelů

2009
- RepRap – 3D tiskárna Mendel
- první komerčně dostupné RepRap kity (stavebnice)

2010
- Urbee – první prototyp 3D tištěného automobilu
- fa Organovo zaměřující se na „bioprinting“ technologie publikuje úspěch při „tisku“ krevních cév

2011
- 3D tiskárna k tisku potravin (vědci z Cornell University)
- první 3D tištěné bikiny – Shapeweys a Continuum Fashion
- první 3D tištěný robotický letecký model (vědci z University of Southampton)
- První 3D tiskárna na čokoládu (University of Exeter)
- MakerBot začíná prodávat sestavené 3D tiskárny
- fa i.materialise spouští službu 3D tisku z materiálů jako zlato a stříbro

2012
- první 3D tištěný implantát lidské spodní čelisti
- 3D tisk se prosazuje v oblasti šperkařství

2013
- Stratasys uvádí na trh multimateriálovou 3D tiskárnu Objext 500
- 3D tištěné robotické „srdce“ (určené pro roboty, nikoli lidi) (vědci z Bristol Robotics Laboratory)
- Mediální zviditelnění 3D tisku kauzou „3D tištěné funkční střelné zbraně“ (Cody Wilson)
- Stratasys kupuje MakerBot

2014
- První úspěšně implantovaná 3D vytištěná náhrada pánve
- fi. Big Rep nabízí se svou tiskárnou tisk nábytku v plné velikosti
- Mark One – první komerční tiskárna pro tisk „uhlíkových vláken“
- fi. 3D systems a Esko Bionics tiskne první kompletní exoskeletální robotický oblek
- fi. Elektroloom – prototyp 3D tiskárny pro běžný tisk oblečení
- Hasbro navazuje spolupráci s 3D Systems jejímž cílem je 3D tiskárna jako dětská vzdělávací hračka
- Amazon spouští obchod s 3D tištěnými předměty

Tomáš Feltl

3D tiskové materiály a tajemné zkratky

Na následujících řádcích si přiblížíme nejčastější zkratky, na které můžeme narazit při využívání tiskové technologie FDM/FFF. Jedná se o označení polymerních materiálů, které jsou ve formě tiskové struny (filamentu) namotány na typické „špulce“, ze které si tiskárna materiál při tisku odvíjí. Většinu z nich určitě znáte z každodenního života. U prvních dvou, ve světě FDM/FFF nejrozšířenějších, se zastavíme poněkud déle…

ABS
(akrylonitril-butadien-styren)

ABS je asi nejznámější tiskový materiál pro FDM/FFF tiskárny. Jde o kopolymer, který zná prakticky každý – jsou z něj kostičky stavebnice LEGO. Je to houževnatý, rázově odolný, pružný a také poměrně tepelně odolný plast. Polymer je hygroskopický (váže vodu), přičemž větší obsah vody může průběh tisku negativně ovlivnit. Doporučuje se uskladnění v uzavíratelném obalu se sušidlem (před tiskem je případně možné vysušení filamentu při 80–90 °C po dobu 2–4 h). Dobrá je odolnost ABS vůči vodě a slabým kyselinám i zásadám. Poněkud horší je to s organickými rozpouštědly, jako jsou ketony, aldehydy, některé estery a další, ve kterých se ABS poměrně ochotně rozpouští. Toho se na druhou stranu využívá pro dodatečnou úpravu povrchu (např. působením par acetonu na vytištěný objekt). ABS má velice dobrou odolnost vůči minerálním olejům. Je možné používat ho i pro venkovní aplikace (není však dlouhodobě odolný vůči UV záření – např. výrazně mění barvu – „žloutne“).

Typická teplota tisku se pohybuje v rozmezí **200–250 °C**. Vzhledem k velké tepelné roztažnosti (při chladnutí se ABS výrazně smršťuje) **je nezbytné používat vyhřívanou podložku** – vyhřívanou přibližně na 100 °C (v ideálním případě i vyhřívanou komoru). Pro zvýšení přilnavosti na podložku se používají různé způsoby – tiskne se na 3M samolepicí maskovací pásku, na kaptonovou samolepicí pásku, na sklo potažené ABS (acetonový koktejl s rozpuštěným ABS), na sklo s naneseným lepidlem na papír (např. UHU stic), na sklo potažené lepidlem Herkules, na různé speciální komerčně dostupné podložky a další.

PLA
(polylactic acid, kyselina polymléčná)

Materiál, který se v oblasti „osobního“ 3D tisku vyhoupl na první místo. Jde o jeden z tzv. „ekoplastů“, tedy plast vyráběný z přírodního materiálu, v tomto případě ze škrobu (biopolymer). Ve srovnání s ABS je sice tvrdší, ale také křehčí. Výhodou PLA oproti ABS je výrazně vyšší soudržnost mezi vrstvami v ose z. Jeho největší nevýhodou je malá teplotní odolnost (teplota skelného přechodu, kdy začnou významné změny mechanických, ale třeba i optických vlastností, je již kolem 60 °C – pokud vás problematika vlastností plastů zajímá více, doporučuji zajímavou publikaci **Polymery**). Co z toho plyne? PLA nebude vhodné pro tisk černé krabičky na autorádio do palubní desky, kde ve žhavém létě dostáhne teplota i 80 °C.

Další nevýhoda PLA je současně jeho výhodou – dá se kompostovat (je tzv. biodegradabilní), ale nebojte se, PLA je na rozdíl od některých jiných „ekoplastů“ poměrně odolné a rozhodně se vám nerozloží „před očima“. Při 20 °C a malé vlhkosti není prakticky běžnými mikroorganizmy odbouráváno, to se začne výrazně dít až při kompostování, kdy teplota vzroste ideálně nad 45 °C (udávaná doba rozkladu je 2–3 měsíce). Více informací o této problematice najdete třeba ve volně dostupném review **Biodegradability of Plastics**.

Na trvalé venkovní používání PLA sice není, ale lodičku do vany na hraní z něj dětem bez obav vytiskněte.

PLA je hygroskopické (váže vodu), přičemž větší obsah vody může negativně ovlivnit průběh tisku (tvorba bublinek, horší „tekutost“ taveniny). Doporučuje se uskladnění v uzavíratelném obalu se sušidlem (před použitím k tisku je případně možné vysušení filamentu při 50 °C po dobu 2–4 h). PLA má velice dobrou odolnost vůči organickým rozpouštědlům (rozpouští se prakticky pouze v chlorovaných uhlovodících, benzenu, tetrahydrofuranu a dioxanu – a to nikterak ochotně), výborná je

Co v učebnicích nenajdete: 3D tiskové materiály a tajemné zkratky?

odolnost vůči olejům a nepolárním organickým rozpouštědlům. Špatně snáší silně zásadité nebo silně kyselé prostředí (hydrolyzuje). Tisk z PLA je většinou bezproblémový, a proto je doporučováno všem začátečníkům.

Typická teplota tisku se pohybuje v rozmezí **190–220 °C**. Vzhledem k relativně malé tepelné roztažnosti není u malých objektů třeba používat vyhřívanou plotýnku. U větších objektů se doporučuje teplota podložky kolem 50 °C. Při této teplotě se většinou dá tisknout přímo na odmaštěné sklo. Pro zvýšení přilnavosti se někdy používá např. lepidlo na papír (UHU stic), 3M modrá samolepicí maskovací páska, různé speciální komerčně dostupné podložky a další.

Poslední dobou se objevuje celá řada kompozitních materiálů na bázi PLA, které odstraňují jeho nevýhody a přináší zajímavé vlastnosti a vzhled.

ASA (akrylonitril-styren-akrylát)

Plast, který se pomalu, ale jistě prosazuje jako jistá náhrada ABS. Jeho hlavní výhodou je vyšší stabilita vůči UV záření a obecně vůči venkovní expozici, ale také vyšší konstrukční pevnost a otěruvzdornost (proto ASA např. v automobilovém a leteckém průmyslu ABS v některých aplikacích nahrazuje). K tomu můžeme přidat i fakt, že se materiál lépe spojuje a vytváří pohledově lepší povrch. Podmínky tisku jsou přitom velice podobné klasickému ABS a stejně podobná je i cena materiálu. **Typická teplota tisku** se pohybuje **kolem 250 °C**, teplota podložky od 80 do 100 °C.

PET-G (polyethylen-tereftalát-glycol)

Zkratka PET je poměrně známá, ono G můžeme pro tentokráte pominout (i když z pohledu chemika je dosti zásadní ☺). Ano, jsou to ony „PETky“, ve kterých se prodává kdejaký nápoj, včetně čisté, zaručeně pramenité vody. Z PET se ale vyrábí celá řada dalších materiálů, třeba i syntetická vlákna s vysokou pevností. Tento plast je nejčastěji průhledný a má výbornou odolnost vůči UV záření a vůči venkovní expozici obecně. Materiál má dobrou přilnavost a tiskne se s ním velice dobře. Problém při tisku může nastat snad jedině v souvislosti s větším obsahem vody (tvorba bublinek při tisku – pomůže vysušení a správné skladování podobně jako např. u PLA). Velice dobrá je chemická odolnost tohoto polymeru. **Typická teplota tisku** se pohybuje **kolem 230–250 °C**, teplota podložky kolem 60–80 °C.

PP (polypropylen)

Co do rozličnosti aplikací jde o jeden z nejpoužívanějších polymerů (fólie, obalové materiály, textilie, nejrůznější konstrukční součástky, hračky, propisky, kufry, nádobí a různé kuchyňské pomůcky, laboratorní nádobí a další vybavení laboratoře, kánoe, automobilové a letecké součástky, textilní vlákna a řada dalších věcí). Tento materiál se začíná objevovat i v oblasti FDM 3D tisku a často je srovnáván s PLA. Z hlediska „obtížnosti“ by se tisk s tímto materiálem dal zařadit někam mezi PLA a ABS. Vlastnosti jsou ovšem značně odlišné. PP není tak křehký jako PLA, je pružnější a má výrazně vyšší teplotní odolnost. **Typická teplota tisku** se pohybuje kolem **180–220 °C**, teplota podložky kolem 80–90 °C.

PC (polycarbonate, polykarbonát)

PC je velice pevný, mechanicky i tepelně odolný čirý plast. Využívá se v řadě aplikací, kde je primární požadavek na průhlednost (propouštění světla) a současně vysokou pevnost a odolnost (např. kokpity letadel, neprůstřelné sklo, chemické nádobí, odolná brýlová skla, displeje, CD/DVD/BR disky, láhve, různé odolné „krabičky“ k elektrotechnice, řada aplikací v medicíně, automobilovém průmyslu, …). PC je jedním z nejpevnějších běžně dostupných materiálů pro FDM tisk. Materiál je hygroskopický a abychom se vyhnuli problémům při tisku, je ho třeba uchovávat v suchém prostředí (případně ho před tiskem odpovídajícím způsobem vysušit). Při tisku má výraznou tendenci ke „kroucení“ vlivem změn teploty (ideální je tisk v uzavřené temperované komoře). **Typická teplota tisku** se pohybuje kolem **280–310 °C**, teplota podložky kolem 100 °C.

Nylon (polyamid, PA6, PA66)

Nylon je technické označení plastu, který řadíme mezi polyamidy. Je to pevný konstrukční materiál s výbornými mechanickými vlastnostmi. Známe ho dobře z nejrůznějších oblastí. Za všechny jmenujme textilní průmysl a známé punčochové kalhoty – „nylonky“, které se dostaly na trh již v roce 1940. Mimo textilní vlákna se nylon používá např. na ozubená kola, kluzná pouzdra a mnoho dalších mechanicky namáhaných součástek. Pro jeho využití jako FDM tiskového média je zásadní

Co v učebnicích nenajdete: 3D tiskové materiály a tajemné zkratky?

obsah vody, kterou poměrně intenzivně váže (je hygroskopický). Pro bezproblémový tisk je doporučeno bezprostředně před tiskem materiál vysušit při 150 °C po dobu alespoň 4 hodin. Nylon má velice dobrou soudržnost mezi vrstvami a je výrazně pevnější než např. ABS. Má však značnou tendenci se kroutit (větší než ABS), (ideální je tisk v uzavřené temperované komoře). **Typická teplota tisku** se pohybuje kolem **240–280 °C**, teplota podložky kolem 80–100 °C.

POM (polyoxymethylen, obecně polyacetaly)

POM je materiál s výbornými mechanickými vlastnostmi (hojně se využívá např. v automobilovém průmyslu – na různé namáhané páčky a držadla, součásti samonavíjecích pásů, součásti palivového systému, ...). Díky skvělé otěruvzdornosti a rozměrové stabilitě se z něj vyrábí různá kluzná pouzdra, plastová ložiska, ozubená kola, pouzdra ventilů a další mechanicky namáhané součástky (v případě extrémního namáhání se využívá různých kompozitů na bázi POM – např. se skleněnými nebo uhlíkovými vlákny). Podobné použití má tento materiál i v oblasti 3D tisku. **Typická teplota tisku** se pohybuje kolem **230–280 °C**, teplota podložky kolem 110 °C.

PMMA (polymethylmethakrylát)

PMMA budete jistě znát pod názvem akrylátové sklo nebo plexisklo či organické sklo. Je to hojně používaný průhledný plast (často ho najdeme jako náhražku skla). Je výborně odolný proti povětrnostním podmínkám, a to dlouhodobě bez výrazných změn vlastností či vzhledu (přitom propouští značnou část ze spektra UV záření). Je dobrý elektroizolant, dá se také dobře obrábět, lepit a mimo jiné vykazuje i výraznou tvarovou paměť. Je voděodolný a odolává i působení slabých kyselin a zásad. Rozpustný je v řadě organických rozpouštědel (např. v ketonech a chlorovaných či aromatických uhlovodících). Při pomalejším tisku a současně při použití silnější tiskové vrstvy zůstávají výtisky dobře průhledné. **Typická teplota tisku** se pohybuje **od 220 do 280 °C**, teplota podložky kolem 80 °C.

HIPS (high impact polystyrene)

HIPS („rázuvzdorný“ polystyren) se z hlediska zpracování do značné míry podobá ABS. Používá se celkem běžně a určitě ho znáte (třeba z CD/DVD obalů, plastových hraček, kelímků, ...). Na páteřní polystyrenové řetězce jsou v jeho struktuře vázány řetězce polybutadienové. O tomto materiálu se často hovoří jako o materiálu pro tisk podpor při tisku objektů z ABS (HIPS se nakonec rozpustí v limonenu). HIPS je ale velice dobře použitelný i jako primární tiskový materiál, především proto, že zde odpadají problémy související s vodou. HIPS totiž není hygroskopický. Snadno se lepí, dobře na něm drží nátěry a snadno se mechanicky opracovává. Není ovšem tak mechanicky odolný jako např. ASA. **Typická teplota tisku** se pohybuje kolem **230–240 °C**, teplota podložky kolem 80 °C.

PVA (polyvinylalkohol)

PVA je ve vodě rozpustný polymer, který se používá především k tisku podpor. Vytištěné podpory se rozpouští nejčastěji v teplé vodě za současného míchání či sonikace (pro urychlení). Materiál je značně pružný a současně pevný (tyto vlastnosti jsou ovšem silně závislé na množství vody v jeho struktuře). Je silně hygroskopický. Jeho výhodou je biodegradabilita (je přírodně odbouratelný). Při tisku je třeba dávat **pozor na teploty vyšší než 210 °C** (dochází ke změně struktury polymeru a snadno dojde k ucpání trysky, zvyšování teploty v tomto případě nepomůže a většinou je třeba trysku demontovat). **Typická teplota tisku** se pohybuje kolem **190–210 °C**, teplota podložky pak v závislosti na primárním tiskovém materiálu.

TPE (termoplastic elastomer)

TPE (termoplastický elastomer) je technické označení vycházející z vlastnosti materiálu, nikoli z jeho chemického složení, které může být u materiálů této skupiny velice rozličné (např. na bázi polypropylenu, polyuretanu, polyamidu, styrenu a dalších). Jedná se o pružné materiály s charakterem „gumy“ (pryže). Typicky obsahují více složek – „tvrdou“ polymerní část a „měkké“ pevné či kapalné plnivo. Určitý poměr těchto složek dává výslednému materiálu odpovídající elasticitu. TPE se využívají na různá těsnění, automobilové rohožky, dotykové a úchopové části (propisky, zubní kartáčky, holicí strojky, ...), pláště kabelů, hračky, střešní a izolační fólie, sportovní náčiní, ...

V oblasti FDM 3D tisku je pod různým označením k dispozici řada těchto elastických materiálů. Jedním z nejznámějších je např. materiál **NinjaFlex** (dle technického listu jde o polyuretanový TPE). V našich končinách je hojně používán místní materiál **Flexfill**.

Tomáš Feltl

Jak probíhá výroba filamentu neboli tiskové struny?

Rozhovor s Gabrielou Solovskou a Janem Přindišem

Klasické „špulky“ s navinutou tiskovou strunou zná snad každý, kdo se s FDM 3D tiskem někdy setkal. V internetových i kamenných obchodech můžeme vybírat z řady typů materiálů (PLA, ABS, HIPS, PVA, ...) a všemožných barev. Nabízí se nám různé značky, ať už zavedené, nebo nové. Zdálo by se, že výrobců tiskových strun bude velké množství, a to i u nás. Zdání ale někdy klame. Výrobce materiálů pro FDM tiskárny můžeme totiž v naší republice spočítat na prstech jedné ruky. A kde se o tiskových materiálech dozvědět více než právě u jejich výrobce? Vyrazil jsem tedy za jedním z našich nejznámějších výrobců do Mladče. Ano, tušíte správně, to je ta vesnice, kde sídlí výrobce tiskových strun označovaných logem PM – Plasty Mladeč.

V útulné kanceláři, vybavené mimo jiné i 3D tiskárnami, mne přijali obchodní referentka Gabriela Solovská a vedoucí výroby, chemik Jan Přindiš, se kterými jsem následně strávil příjemné dopoledne vyplněné nejen povídáním o plastech, tiskových strunách a řadě dalších věcí kolem 3D tisku, ale také exkurzí napříč provozy, kde se tiskové struny vyrábí. Dozvěděl jsem se mnoho zajímavých věcí, o které bych se s vámi na následujících řádcích rád podělil.

Jak to všechno začalo? Jak se zemědělské družstvo stane výrobcem tiskových strun pro 3D tiskárny?

Co se zpracování plastů týče, museli bychom se vrátit asi do roku 1992, kdy začalo naše družstvo spolupracovat s Fatrou Napajedla, kde rušili část své výroby. Vedlo to mimo jiné k tomu, že jsme od nich odkoupili staré stroje a začali jsme zde vyrábět záchodové splachovací komplety. Pokračovalo to spirálami do kalendářů a různými trubkami a trubičkami. Trubičky pro rybáře přitom vyrábíme dodnes. Zajímavé je, že i přes různé krize jsme se nikdy nedostali do ztráty.

S výrobou tiskových strun pro 3D tiskárny jsme začali na přelomu let 2012 a 2013. A jak už to bývá, byla to vlastně náhoda. Tento směr se ale záhy ukázal jako velice perspektivní. Získali jsem peníze, mohli jsme investovat do nových technologií a věnovat se také více „vývoji“. Aktuálně vidíme naši budoucnost právě v tiskových materiálech pro 3D tiskárny.

Můžete nám prozradit, jaká „náhoda“ vás zavedla směrem k materiálům pro 3D tisk?

(*Smích.*) To bylo koncem roku 2012. Taková trochu krizová situace... seděl jsem u počítače a nevěděl, co zadat do výroby. Procházel jsem poptávky a narazil na firmu z Karlových Varů,

která poptávala výrobu plastové struny o průměru 3 mm z materiálů ABS a PLA. Již dříve jsme vyráběli svařovací dráty z PVC, takže výrobu „drátu“ bychom zvládli. ABS by nebyl problém, říkám si, ale co je to to PLA? Chvíli jsem zjišťoval, o co se jedná, a dohledal, že jde o materiál na struny do 3D tiskáren. Kontaktoval jsem onu firmu a začali jsme s výrobou. Psal se rok 2013 a začátky byly z dnešního pohledu úsměvné. Z té doby je také na různých diskuzních RepRap fórech kritika našich médií. Dnes je již vše jinak a naše média jsou naopak hodnocena velmi kladně. Postupně jsme inovovali technologie a jsme držiteli certifikace ISO 9001:2009. Dnes je naše výroba zaměřena na tiskové struny nejvyšší kvality.

A co zemědělství? Jste ještě „zemědělské“ družstvo?
Jistě. Není to tak, že bychom se transformovali na zpracovatele plastů. Stále se věnujeme živočišné i rostlinné výrobě. Naše „plastikářská divize“, mohu-li to tak nazvat, je v celkovém kontextu jen malou částí celého družstva.

Který z vašich plastikářských výrobků by se ještě mohl uplatnit na školách?
Napadá mě jeden, který nachází uplatnění nejen na školách, a to zavěšovací lišty z PVC. To jsou takové ty plastové nasouvací profily, které se používají pro zavěšování různých nástěnných plakátů. Podobné jsou pak celé komplety (rámovací profily) nebo třeba hřbetní spojovací profily pro svázání volných listů papíru (od 2 do 60). Tyto naše výrobky využívá např. výrobce školních didaktických pomůcek MediaDIDA.

Obr. 1:
Základní vstupní surovina – granulát odpovídajícího plastu, zde PLA

Kolik výrobců strun do 3D tiskáren u nás vlastně je? Máte zmapovanou konkurenci?
Samozřejmě máme. Reálným konkurentem je především jeden výrobce… nemusím ho jmenovat, že? (*Smích.*)

Asi nejznámějšími materiály pro 3D tisk jsou ABS a PLA. O co je dnes větší zájem?
V dnešní době pomalu, ale jistě zaujímá první místo PLA. Je to proto, že s tímto materiálem se tiskne výrazně snáze, vlivem tepelné roztažnosti se nekroutí tolik jako ABS a je celkově pevnější. Na druhou stranu, PLA poměrně brzy měkne, takže je třeba dávat pozor na teplotu, při které se bude výtisk používat. Na bázi PLA je ale již k dispozici celá řada kompozitních materiálů, u kterých je třeba problém s malou tepelnou odolností odstraněn.

Jaké další materiály, mimo ABS a PLA, pro 3D tisk nabízíte?
Nově máme v nabídce **POM** (polyoxymethylen; objevuje se též jako acetal, dobře známý acetalový plast je např. Delrin, který se používá k výrobě plastových ložisek a ozubených kol). Jde o konstrukční materiál do jisté míry podobný nylonu, je velice pevný, houževnatý a otěruvzdorný s velmi nízkým třením. Jeho využití je vhodné všude tam, kde potřebujeme nějaký namáhaný funkční prototyp či finální součástku. Tisk s tímto materiálem je obdobný jako tisk s ABS, včetně problému smršťování při chladnutí.

Dále je naší výrobní novinkou **PMMA** (polymethylmethakrylát), jinak dobře známé plexisklo. Tento materiál je velice dobře odolný proti povětrnostním vlivům a je dobře propustný pro světlo. Dá se přitom trvale používat i při teplotě kolem 80 °C. Navíc se z našeho PMMA skutečně hezky tiskne, nekroutí se tolik jako ABS.

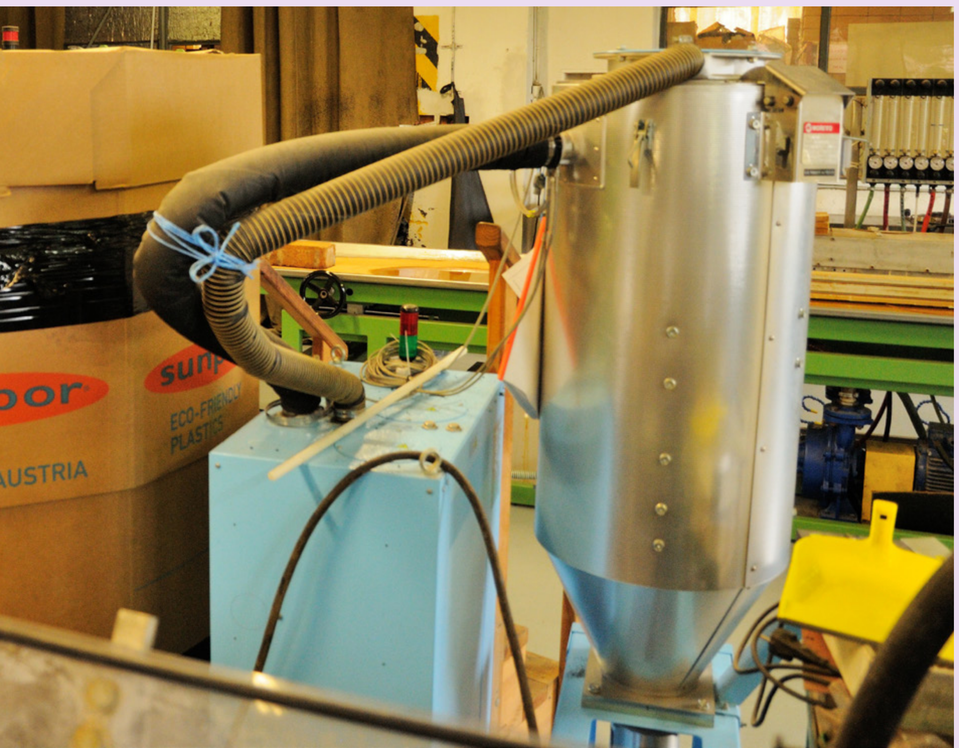
Do třetice je naším relativně novým materiálem **PP** (polypropylen). Polypropylen je zajímavý třeba tepelnou odolností. Určitě máte v kuchyni nějakou plastovou nádobu, do které můžete nalít horkou vodu – s největší pravděpodobností bude právě z PP.

Mimo tyto tři jsou to ale třeba i matriály jako **PET** (polyethylentereftalát), jinak asi nejznámější materiál na láhve (PET láhve), ve vodě rozpustný materiál pro tisk podpor **PVA** (polyvinylalkohol) a na závěr třeba ještě **HIPS** (High Impact Polystyrene).

A co klasické ABS nebo PLA? Můžeme se i zde těšit na něco „nového“? Třeba na nějaký ten „kompozitní materiál“?
Poslední dobou je velice oblíbené **ABS-T**. To se svými vlastnostmi liší od našeho klasického ABS, a to směrem k lepšímu – lépe se z něj tiskne, a to i větší objekty.

S kompozitními materiály si již hrajeme delší dobu. Nově jsme navázali spolupráci třeba s Technickou univerzitou v Liberci nebo brněnským Polymerinstitutem. Více ale zatím prozrazovat nebudu.

Takže se můžeme těšit třeba i na to „tepelně odolnější“ PLA? Nebo na nějaký elektricky vodivý, magnetický, „dřevěný“ či elastický materiál?
Určitě je na co se těšit, ale jak jsem již řekl, více prozrazovat nebudu.



Obr. 2:
Sušička na sušení granulátu

Co vás dovedlo k polymerům jako POM, PMMA či PP? Je to spíše na základě aktuálních trendů v oblasti 3D tisku, nebo konkrétní požadavky zákazníků, třeba na základě ankety, kterou máte na webu?
Je to určitá kombinace. Částečně to pramení ze sledování trendů v oboru, ale i zákazníci se svými požadavky udávají určitý směr. Samozřejmě je tu ve hře i vlastní invence a inovace. Já sám rád s různými materiály experimentuji, hodně mě to baví. Obecně se dá říct, že problematika tiskových materiálů je vždy velkou měrou o konkrétní aplikaci. Strunu můžete vyrobit z kdečeho, ale musí pro to být ten správný důvod.

Pokud bych měl být konkrétní, tak HIPS byl na základě požadavků zákazníků a PP takříkajíc „vlastní iniciativa“.

Anketa na webu přinesla především požadavky zákazníků na nové barvy. Některé nejžádanější jsme zařadily do výrobního programu (např. bronzová či zlatá nebo transparentní barvy jako je transparentní červená a transparentní modrá, u ABS-T třeba černá).

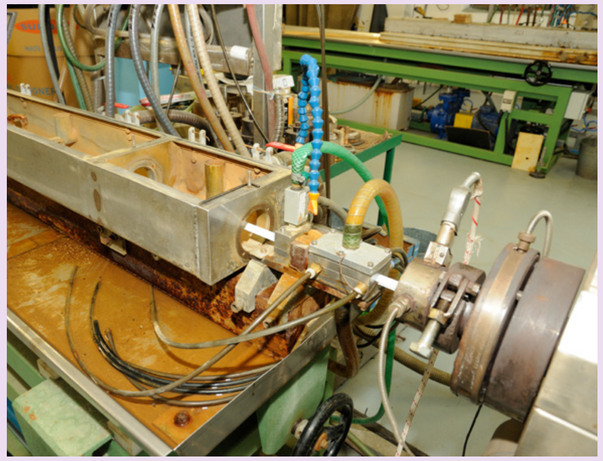
Když jsme se dostali k barevnosti, souvisí nějak vlastnosti finálního materiálu s barevností? Má nějaký reálný základ třeba tvrzení, že vaše černé PLA je pevnější než vaše stříbrné PLA?
To je poměrně komplexní problematika. Pokud k základnímu materiálu (polymeru) něco přidáme, třeba nějaký barevný pigment, vždy určitým způsobem pozměníme jeho vlastnosti. Stává se, že přijde zákazník, potřebuje větší množství tiskového materiálu a na barevnosti mu nezáleží. Pak doporučuji materiály v naturální podobě bez pigmentu.

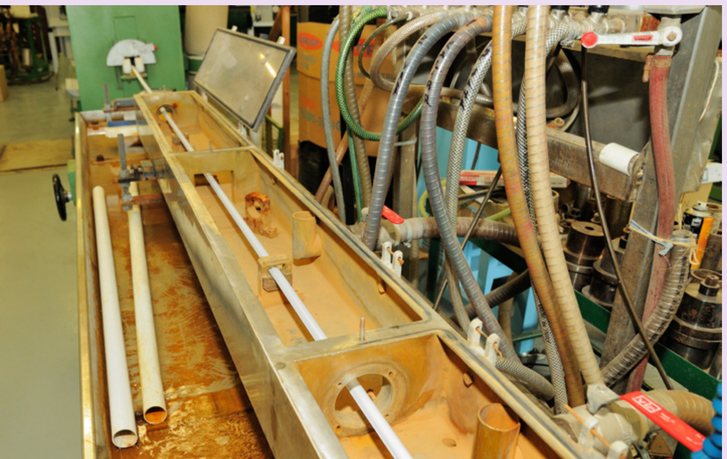
Tajemstvím každého výrobce jsou určitě jednotlivé „přísady“, které se při zpracování finálního materiálu používají. Jak vlastně taková příprava „materiálu“ pro tiskové struny probíhá?
V našem případě je základem konkrétní polymer od určitého dodavatele. Různí výrobci nabízí různé materiály. Jeden výrobce vám nabídne třeba 15 typů ABS. Vy si musíte vybrat „ten správný“ pro vaše účely, nebo mu zadat, aby „nakompoundoval“ směs materiálu přesně podle vašich požadavků. Pak se k tomuto základnímu materiálu u nás při zpracování ještě „něco“ přidá, typickým příkladem jsou různé „barvičky“. To si můžeme ukázat přímo ve výrobě, kam se půjdeme podívat.

A co tiskárny? Na čem své výrobky testujete?
Přímo zde používáme RepRap tiskárny, ale máme řadu externích spolupracovníků, kteří mají profesionální „průmyslové" 3D tiskárny. Takže než se něco dostane do naší nabídky, probíhá testování na celé řadě tiskáren.

Do budoucna plánujeme pořídit nějakou větší „profi" 3D tiskárnu, ale po pravdě řečeno, pro vývoj a testování je pro nás v první fázi RepRap výhodou – tam máte naprosto vše pod svojí kontrolou.

Jaká je skladba vašich odběratelů? Jsou to spíše koncoví uživatelé, nebo distributoři?
Většina výroby jde k velkoodběratelům – distributorům. Nebráníme se ale ani prodeji „napřímo" maloodběratelům. Tam je ovšem třeba počítat s relativně dlouhými dodacími lhůtami. Pokud chcete 2 kg materiálu, asi na ně nebudete chtít čekat 14 dní. Ale i to se může do budoucna změnit, protože rozšiřujeme náš tým o další osobu, která se bude věnovat právě distribuci našich výrobků. Každopádně maloobchodní prodej je zatím okrajovou záležitostí.





Obr. 3:
Mísicí zařízení, kde se vysušený granulát ve správném poměru smísí např. s barvivovým koncentrátem

Obr. 4:
Ukázka vytlačování roztaveného materiálu z extrudéru (na fotografii linka na výrobu závěsných lišt)

Obr. 5:
Ukázka chlazení vytlačeného filamentu (na fotografii obdobná linka na výrobu závěsných lišt)

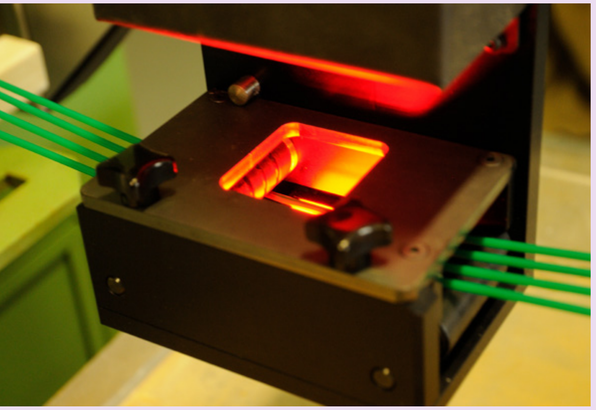
Pokud budu chtít vaše tisková média rychle, kterého z vašich distributorů mi doporučíte?
Distributorů je více, obrátit se můžete například na JRC. U nich najdete prakticky celý náš běžný sortiment.

Kde všude se s vašimi médii můžeme setkat? Je to i mimo naši republiku?
Vyvážíme tiskové struny do řady zemí, nejvíce do Polska. Tady na mapě máme vlaječky – kde je červená, tam máme odběratele.

Koukám, že je to prakticky celá Evropa. Dokonce i takové země jako Turecko! Tak to klobouk dolů... Distribuce do tolika zemí jistě vyžaduje kvalitní balení. Jak jsou vaše materiály baleny?
Balení je poměrně klasické, na plastové špulce ve smršťovací fólii a papírové krabičce. Aktuálně řešíme kvalitnější vakuové balení. Samozřejmě, že pokud materiál vybalíte a necháte ho někde ve vlhku, nedělá mu to většinou dobře. Zvláště některé materiály poměrně hodně absorbují vodu a při tisku to pak dělá problémy. Stačí ale dát špulku na hodinu do trouby nastavené na 50 °C a je po problémech.

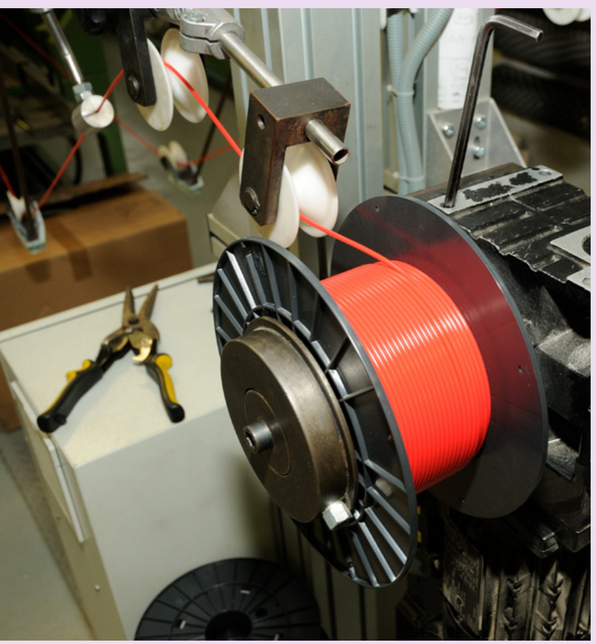
Teď si dovolím otázku „na tělo", která souvisí s diskuzí na jednom z RepRap fór. Jsou vaše výrobky prodávány i pod jinými značkami než Plasty Mladeč? Pokud ano, prozradíte, jaké značky to jsou?
Prozradit mohu to, že naše výrobky jsou skutečně prodávány i pod jinými značkami než Plasty Mladeč. O které konkrétní značky se ale jedná prozradit nemohu, jde o obchodní tajemství.

S nástupem SLA/DLP se nabízí možnost vstoupit na trh také s fotopolymerními koktejly pro tuto 3D tiskovou technologii. Je to pro vás obchodně zajímavé?
Je třeba si uvědomit, že z hlediska zpracování jde o hodně odlišnou problematiku a potenciálních zákazníků je zatím podstatně méně než u FDM/FFF tiskové technologie.



Obr. 6:
Kontrola průměru ochlazeného filamentu

Obr. 8:
Balení filamentu navinutého na špulku



Obr. 7:
Navíjení filamentu na špulku

Obr. 9:
Zabalené špulky s filamenty ve skladu

Ale jak se říká, nikdy neříkej nikdy... uvidíme.

Mohli bychom se nyní podívat přímo do výroby?
Samozřejmě, pojďte za mnou, rádi vás provedeme.

Vyrazili jsme krátkou chodbou do skladu a pak dále do výrobní haly, kde je vedle sebe instalováno několik výrobních linek. Základní vstupní surovinou je granulát odpovídajícího plastu, např. PLA (obr. 1). Granulát je nejprve třeba správně vysušit. Následuje tedy sušička (obr. 2). Vysušený granulát pokračuje do mísicího zařízení, kde se ve správném poměru smísí s určitou přísadou, např. barvivovým koncentrátem (obr. 3). Odtud putuje směs do tavicí komory extrudéru, ze které je pomocí rotujícího „šneku" materiál vytlačován v roztavené podobě přes vytlačovací hlavu s „maskou" odpovídajícího tvaru. V případě struny jde o kruhový otvor určitého průměru (obr. 4). Jakmile je materiál vytlačen ven, je třeba ho zchladit (obr. 5). Ochlazená struna prochází několika dalšími částmi linky, kde dochází např. ke kontrole jejího průměru (obr. 6). Když je vše v pořádku, pokračuje plastová struna dál do navíjecí stanice, kde je automaticky navinuta na špulky (obr. 7). Špulky se následně balí dle požadavků odběratele a putují do skladu (obr. 8 a 9), odkud se expedují.

Na první pohled to vše vypadá jednoduše, ale jak poslouchám výklad, je jasné, že v každém kroku se skrývá velké „know-how" vykoupené hodinami testování a optimalizací i vlastního originálního vývoje. Je tedy pochopitelné, že si své „know-how" výrobce bedlivě střeží. Proto také nemůžeme otisknout fotografie s detailními pohledy na celé výrobní linky. Představu si ale můžete udělat z linky na výrobu závěsných lišt, která má obdobné části jako linky určené k výrobě tiskových strun.

Děkuji za příjemný rozhovor s exkurzí ve vašich provozech. Za celou redakci vám přeji, aby se červené vlaječky, indikující země vašich odběratelů, trvale usídlily nejen v Evropě, ale rovnou na celém glóbu ve všech světadílech.

V časopise e-Mole nyní používáme především vaše média. Nutno říci, že k naší plné spokojenosti. Na závěr tedy děkuji také za podporu časopisu e-Mole. Díky spolupráci s vámi můžeme napříč školami šířit nejen informace o 3D tisku, ale přímo různé vytištěné 3D výukové pomůcky.

PLASTY MLADEČ
Zemědělské družstvo Haňovice

Český výrobce filamentu pro 3D tisk

nový materiál
PP - polypropylen

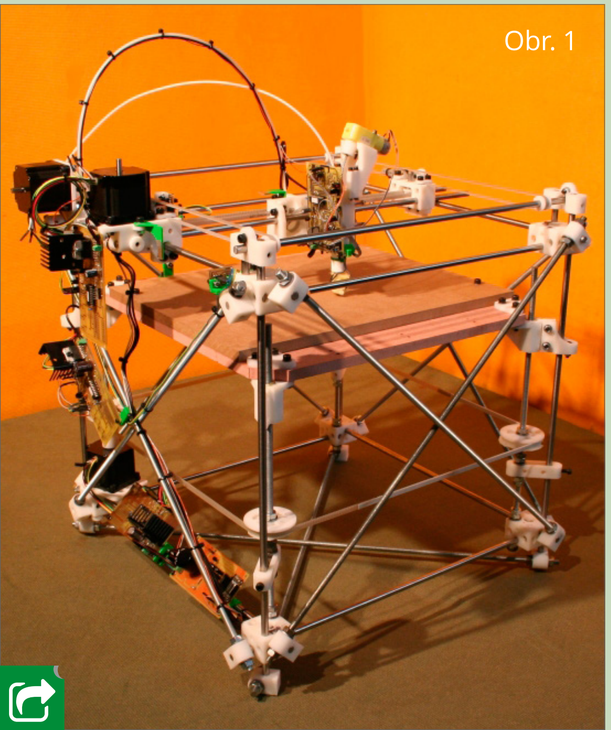
www.plastymladec.cz
plasty@plastymladec.cz

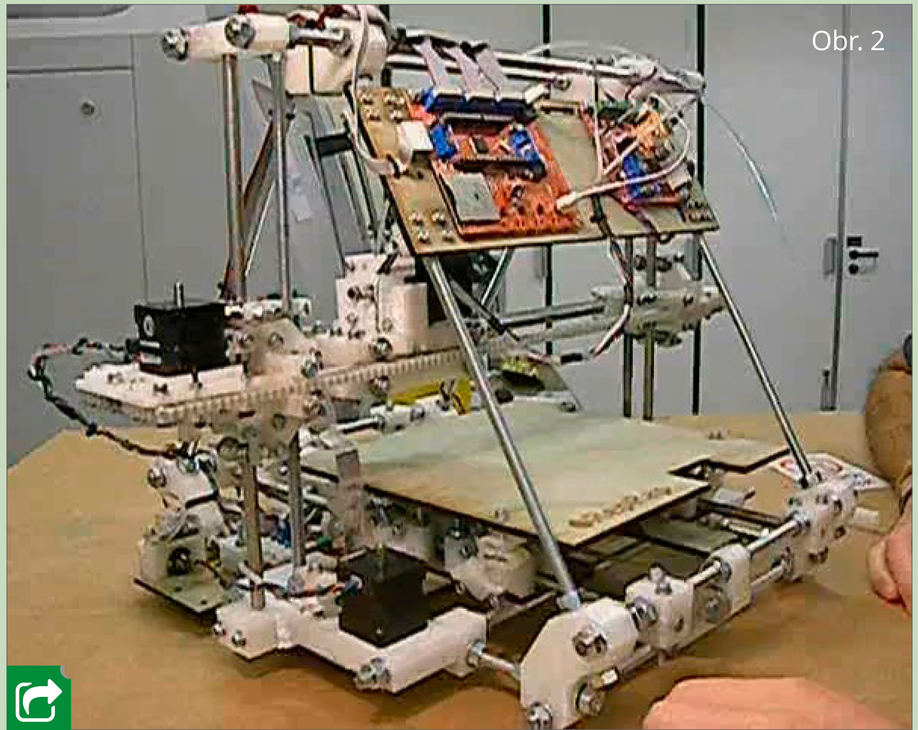
Marcela Feltlová

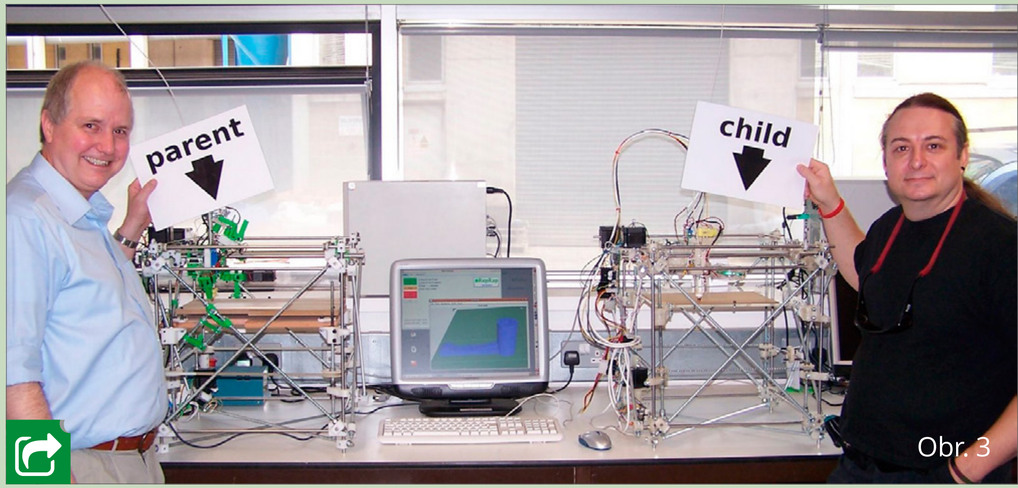
RepRap aneb udělej si sám

Pokud zadáte do internetového vyhledávače termín RepRap, naleznete velice různorodé informace – je to 3D tiskárna, je to zkratka, je to komunitní projekt, je to open hardware, je to hnutí, je to 3D tiskárna, kterou se vyrábí další 3D tiskárny, je to levný způsob, jak začít s 3D tiskem, je to… co tedy vlastně ten RepRap je? Všechny uvedené formulace určitým způsobem RepRap charakterizují. Předně, RepRap je zkratka odvozená z anglického „self-replicating rapid prototyper“ – tedy zařízení, které slouží k rychlé výrobě prototypů a má vlastnost sebereplikace. A proč tato podivná formulace? Oním zařízením má totiž být 3D tiskárna, typicky sestavená z vytištěných plastových dílů, běžně dostupného spojovacího materiálu (závitové tyče, kulatina, …), krokových motorů a nějaké té elektroniky. Vzhledem k použitému materiálu a volně dostupné dokumentaci má být možné tuto 3D tiskárnu snadno a levně postavit. Začíná tak jeden z největších „open hardware“ projektů.

Takzvaný „otevřený hardware“ (**open source hardware**), který je obdobou „open source“ na poli software, je hardware s volně dostupnou dokumentací, který můžete při dodržení licence (často GNU či CC) volně využívat, upravovat a dále vyvíjet. Autor vás neomezuje patenty ani licenčními poplatky. Píše se rok 2005 a za celým RepRap projektem stojí doktor Adrian Bowyer, který působí na University of Bath. V několika následujících letech se objevují první prototypy RepRap 3D tiskáren. První tiskárnou je „Darwin“ (2007), následovaný v roce 2009 tiskárnou „Mendel“. RepRap se dostává do povědomí stále více lidí a stává se komunitní záležitostí, na dalším vývoji spolupracuje stále více nadšenců. Zdale-







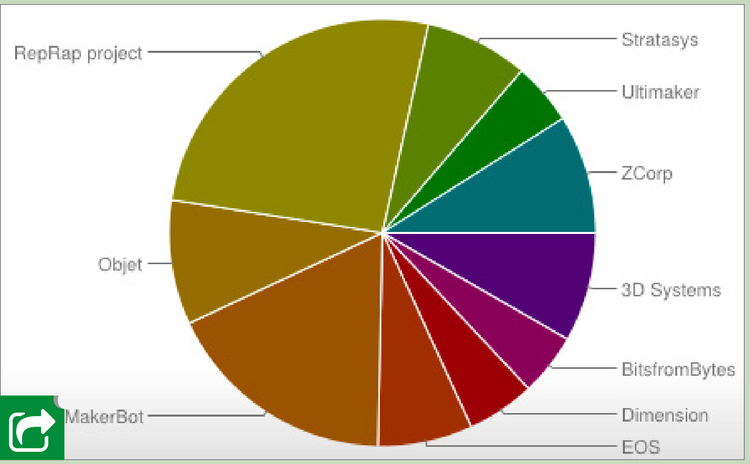
▲ Obr. 3: **Adrian Bowyer** (vlevo) **a Vik Olliver** (vpravo)**, členové hnutí RepRap**

◀ Obr. 2: **3D tiskárna RepRap verze 2.0 (Mendel)**

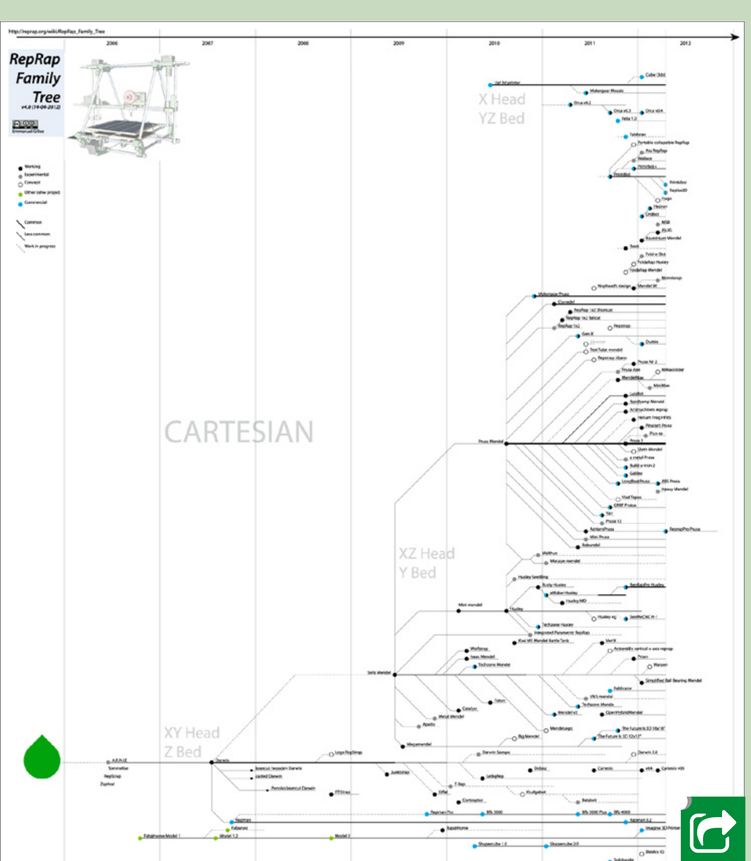
◀◀ Obr. 1: **3D tiskárna RepRap verze 1.0 (Darwin)**

Zaujal vás RepRap?
Koukněte na **REPRAP MAGAZINE**!

Co v učebnicích nenajdete: RepRap aneb udělej si sám



Obr. 4: **Rozšíření 3D tiskáren mezi koncovými uživateli v roce 2012 – již tehdy RepRap tiskárny zaujímaly významnou pozici**

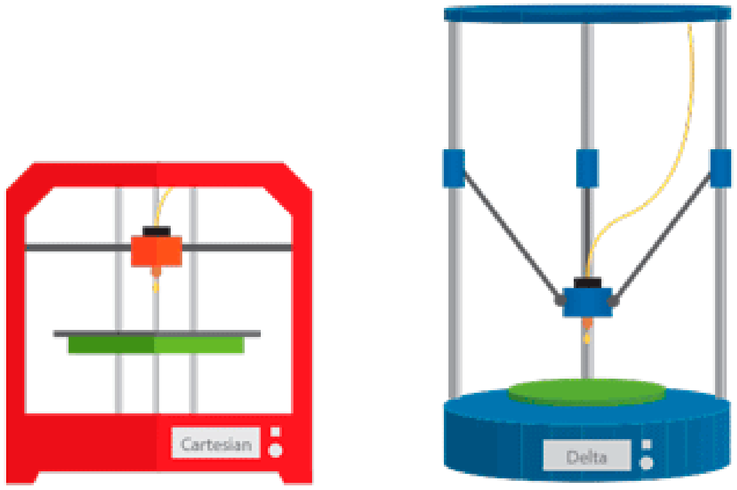


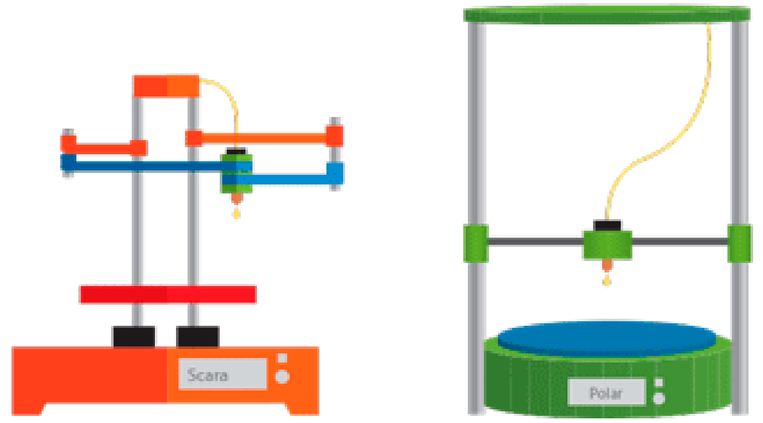
Obr. 5: **Část schematického stromu rodiny RepRap 3D tiskáren**

ka již nejde o jeden model 3D tiskárny, ale vzniká celá řada různě úspěšných řešení. Dnes spolupracují na vývoji RepRapů celosvětově stovky vývojářů a výsledky jejich práce využívá mnohonásobně více koncových uživatelů (viz obr. 4). Již v roce 2009 se objevují první komerční kity (stavebnice 3D tiskáren). Dnes jich je k dispozici velké množství a to ve značném cenovém rozpětí (od necelých deseti tisíc až po několik desítek tisíc Kč). Díky příznivé ceně a celkové otevřenosti se RepRap stává oblíbeným projektem dalšího hnutí – hnutí DIY/Makers (DIY – Do It Yourself = udělej si sám), ale o tom až někdy příště.

Jak si RepRap 3D tiskárnu postavit? – Nabízí se čtyři základní možnosti. Buďto si z internetu opatříte dokumentaci, dle ní nakoupíte potřebné díly a vše si sestavíte sami. To vyjde nejlevněji, ale můžete narazit na řadu problémů, které budete nejspíše řešit s ostatními uživateli (díky internetu to naštěstí není problém). Druhou možností je zakoupení kitu, tedy kompletní stavebnice 3D tiskárny. Pokud tak učiníte u místního prodejce, máte velkou šanci, že vám při problémech se stavbou poradí (v případě nákupu kitu na eBay s tím moc počítat nemůžeme). Nebo si svoji první 3D tiskárnu postavíte v rámci workshopu, který pořádá někdo, kdo má se stavbou zkušenosti. Poslední možností, na kterou také narazíte, je zakoupení sestavené RepRap 3D tiskárny (tím se ovšem ochudíte o celý stavební proces a budoucí údržba pro vás nemusí být úplnou „procházkou růžovou zahradou“).

Dobrá, chtěl(a) bych si postavit RepRap 3D tiskárnu. Kde začít? – Na začátku musíte vyřešit, jakou technologii a konstrukci zvolit (obr. 6). Celý strom RepRap řešení (obr. 5) najdete na **www.reprap.org**. Konkrétní volba řešení a způsobu stavby už je jen a jen na vás. My jsme se nakonec vydali cestou FDM/FFF delta tiskáren, o čemž si můžete přečíst na jiném místě tohoto čísla e-Molu.





Obr. 6: **Schematické znázornění čtyř různých typů konstrukce FDM/FFF 3D tiskáren**

Tomáš Feltl

V čem na běžné škole modelovat?

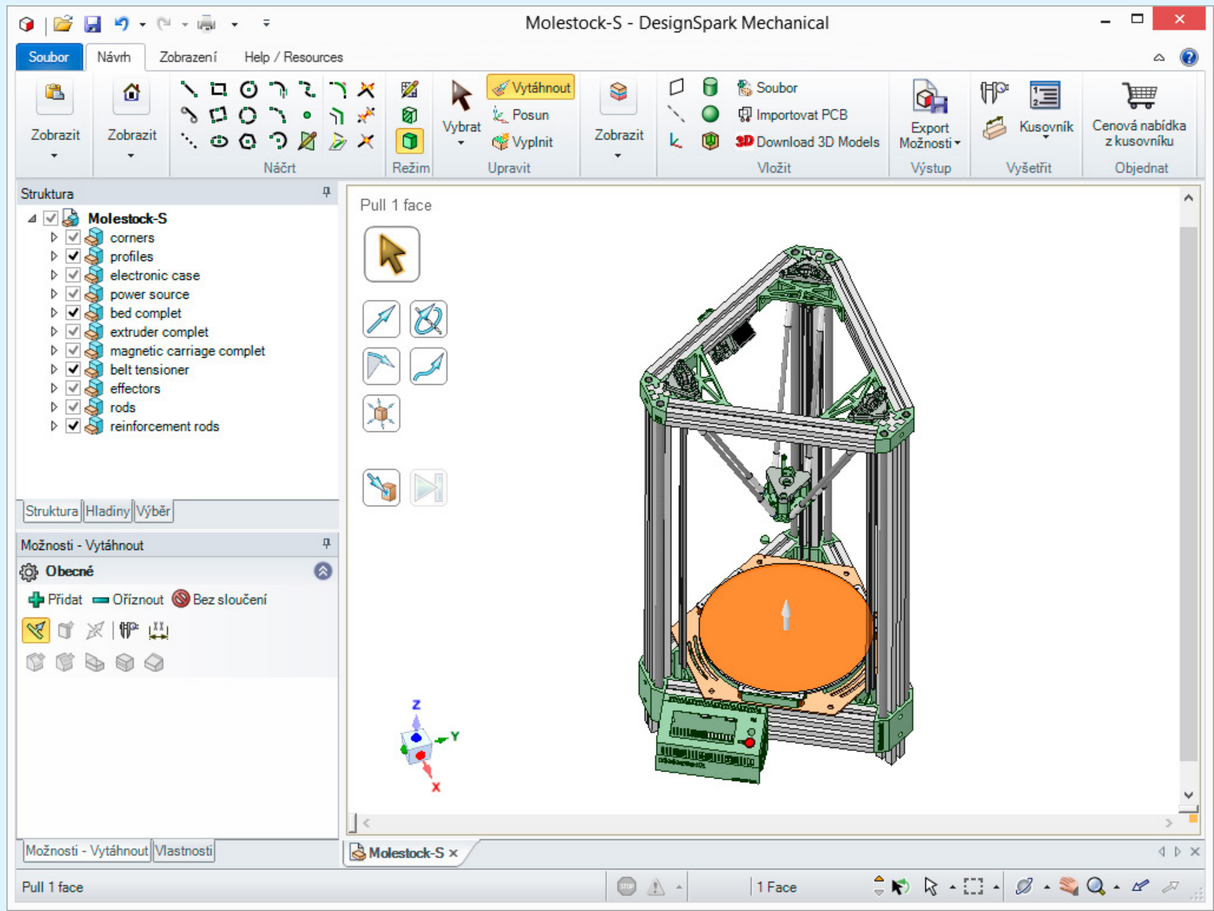
Toť otázka…

Na tuto otázku hledám odpověď již dlouho. Předesílám, že jednoznačnou odpověď stále nemám, a tak berte následující řádky jako výsledek dosavadní cesty za 3D modelovacím SW pro účely výuky a 3D tisku.

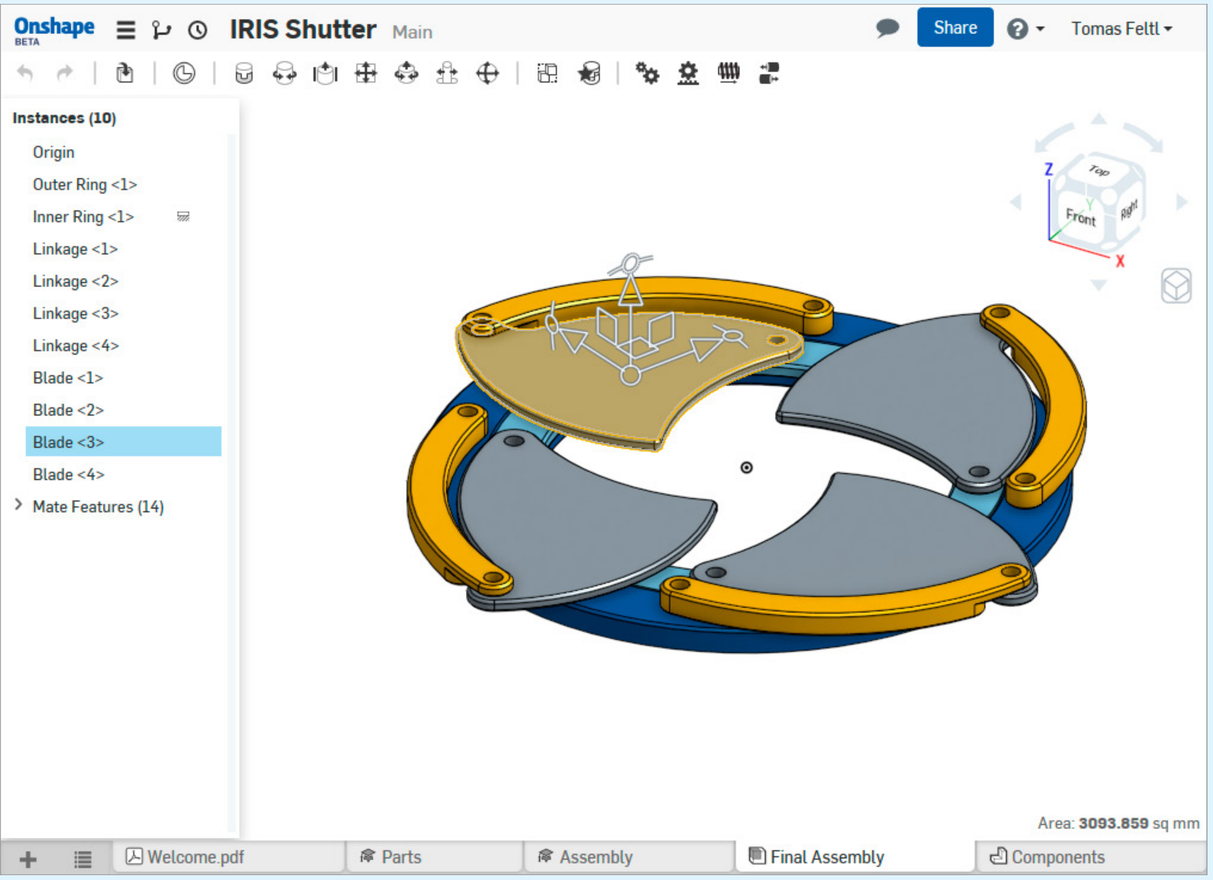
Začnu přehledem kritérií, ke kterým jsem na základě praktických zkušeností z výuky dospěl. Je třeba si uvědomit, že v případě ZŠ nebo obecně zaměřené SŠ gymnaziálního typu jsou požadavky na 3D modelovací SW diametrálně odlišné např. od odborné SŠ se strojírenským zaměřením. S velkou pravděpodobností nebude na ZŠ učitel odborník na „velký“ komerční CAD, a pokud ano, bude tento SW pro děti jen obtížně přístupný. Potřebujeme tedy něco, co by bylo do značné míry pro začátečníky – intuitivní, přehledné a pro děti v rozumném čase zvládnutelné. Na druhou stranu by mělo jít o aplikaci, která zájemcům umožní i pokročilou práci. Protože nám jde především o 3D tisk, musí vybraný SW také bezproblémově zvládat výstup v odpovídajícím formátu (STL). Důležitým kritériem je také cena. V ideálním případě by měl být SW zdarma dostupný pro školu i žáky. Navíc by ještě neměl být příliš HW náročný. S nástupem dotykových zařízení na našich školách by se hodila i plná podpora dotykového ovládání. Poslední kritérium je z pohledu vlastní výuky na první pohled zbytečné, ale může být dosti důležité nejen pro šikovné starší žáky. Jde o to, aby byl SW použitelný i pro komerční účely, což bohužel většina školních „free“ licencí komerčních CADů nesplňuje.

Aplikace, kterou nyní k výuce využívám nejčastěji je **DesignSpark Mechanical (DSM)**, což je „odlehčený“ komerční CAD **SpaceClaim**. Ono „odlehčení“ je ale provedeno velice citlivě, a tak je DSM pro oblast technického modelování s ohledem na 3D tiskový výstup dobře použitelným řešením. Aktuálně je dostupná verze DSM 2, nicméně stále je k dispozici i verze DSM 1, která je funkční i na značně zastaralém HW. DSM je CAD systém využívající tzv. „přímého“ 3D modelování (na školách tento přístup známe třeba z hojně používaného SW SketchUp). Zvládnutí základů modelování je tak pro žáky otázkou jedné dvouhodinovky. DSM splňuje i ostatní kritéria uvedená výše, včetně velice propracovaného funkčního dotykového ovládání. Nejdříve jsem tomu moc nevěřil, ale po vyzkoušení musím říct, že na „windows“ tabletu se dá skutečně efektivně modelovat. Škoda jen, že DSM není také pro Android.

Obr. 1: **DesignSpark Mechanical (DSM)**



Co v učebnicích nenajdete: V čem na běžné škole modelovat? Toť otázka…

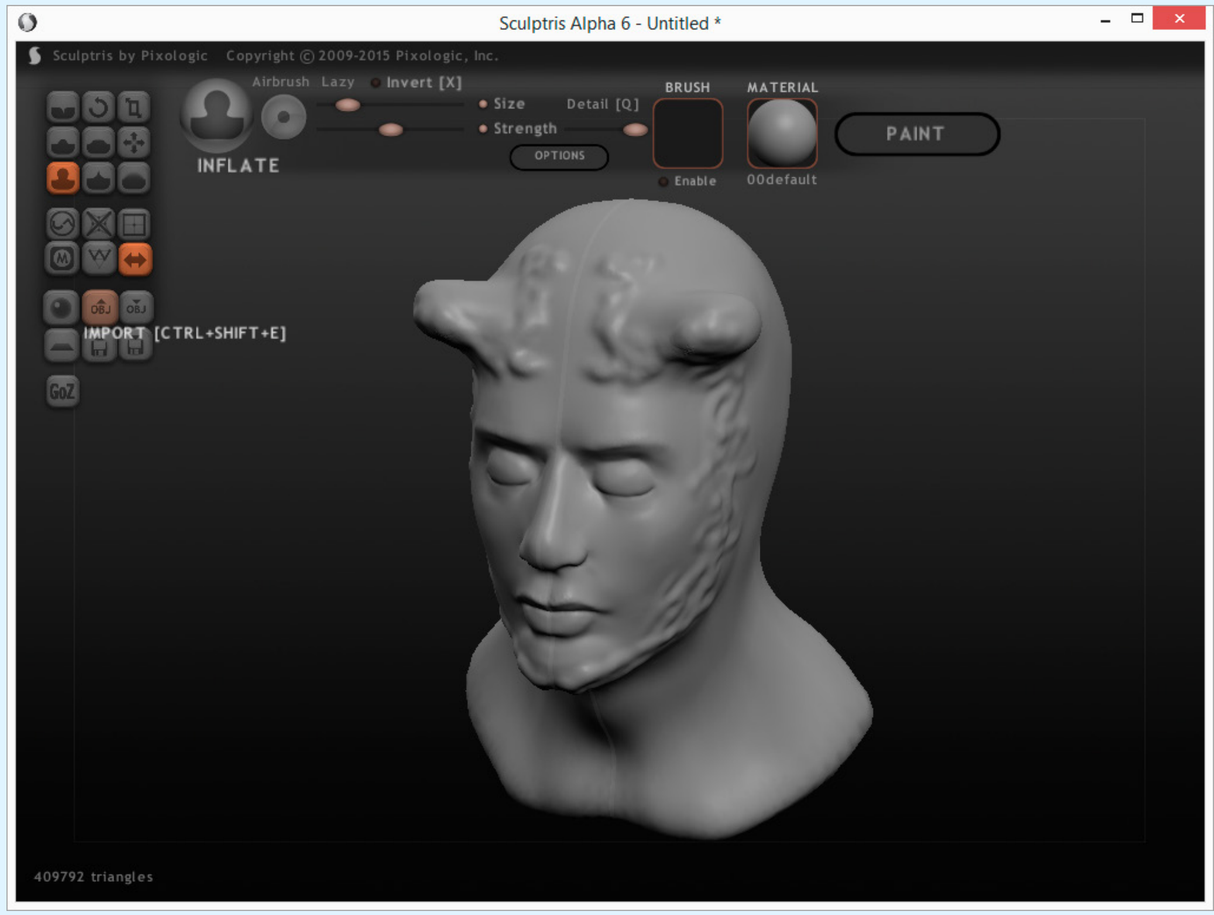


Obr. 2: **OnShape**

Druhé řešení, ke kterému jsem dospěl je on-line CAD **OnShape**. K jeho provozování je třeba pouze moderní internetový prohlížeč – tím je OnShape řešení skutečně multiplatformní. Účet je možné založit zdarma (využívat je možné tzv. „free plan“). Omezen je pouze počet projektů (10 privátních, neomezeně veřejných) a kapacita datového úložiště (5 GB, na privátní projekty max. 100 MB). Pro většinu školních projektů je to naprosto dostačující.

Na základě požadavků „uměleč-těji“ zaměřených kolegyň a kolegů jsem začal hledat SW použitelný třeba ve výtvarné výchově k volnému „sochání“. Nakonec jsem skončil u aplikace **Sculptris**, která je pro žáky snadno ovladatelná a – jak jinak – kompletně zdarma pro libovolné účely ☺.

A co vy? Používáte jiné 3D modelovací aplikace? Napište nám. Budeme rádi, když se s námi i s ostatními čtenáři o svůj výběr podělíte.



Obr. 3: **Sculptris**

Tomáš Feltl

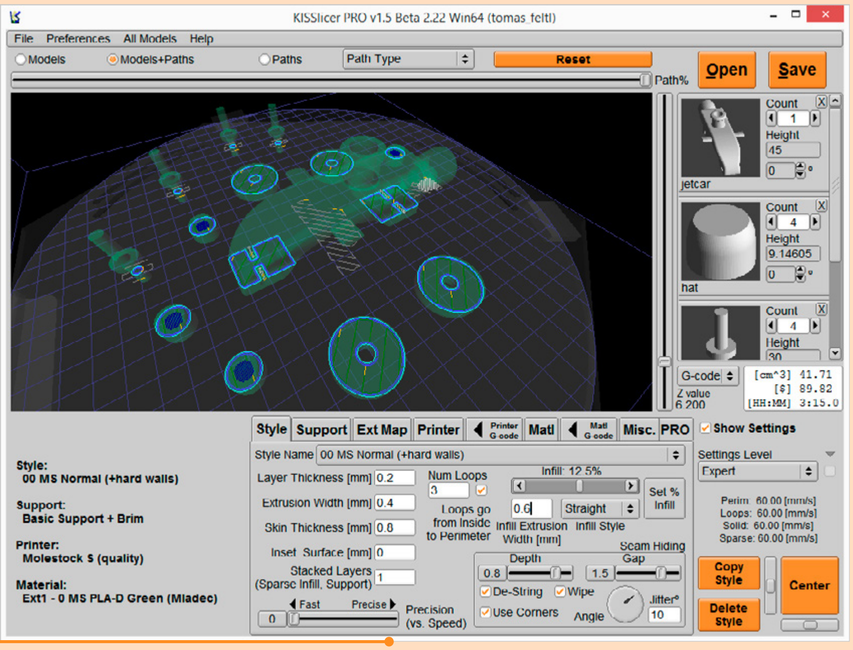
Rozřezání modelu aneb „slicing“

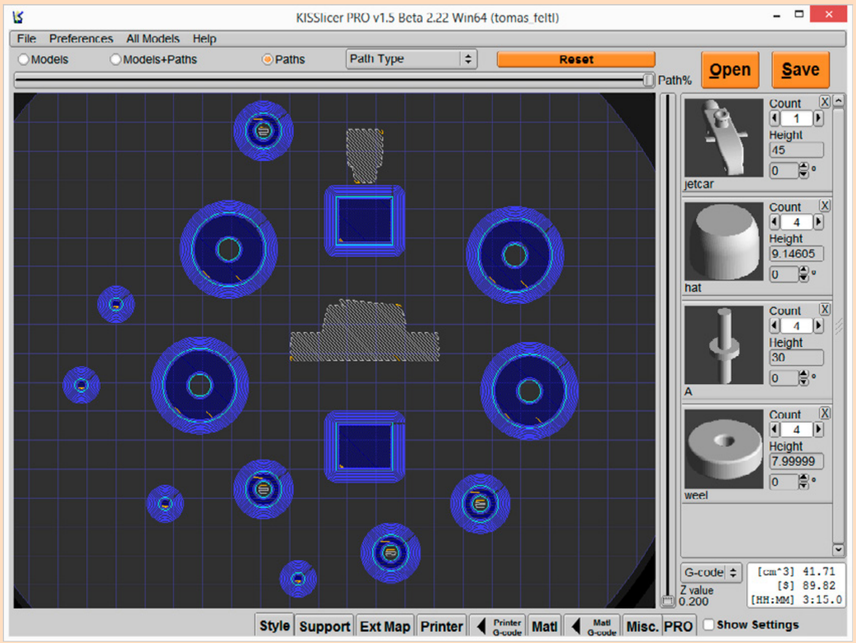
V úvodu k 3D tisku je ve schématu **„problematika kolem 3D tisku ve zkratce“** uveden proces nazývaný rozřezání (slicing). Jak tento proces probíhá a jak ho můžeme kontrolovat? Připomeňme si, že objemový model, který vytvoříme v nějaké té 3D modelovací aplikaci, na závěr vyexportujeme ve formátu STL či OBJ. To jsou ovšem stále 3D modely (nyní složené z trojúhelníků) bez potřebné informace, jak je má tiskárna vyrobit. Víme již také, že 3D tiskárna tiskne po jednotlivých vrstvách, a tak je zřejmé, že potřebuje instrukce pro postupný tisk jedné vrstvy za druhou. A právě převod modelu na tyto tiskové instrukce provede aplikace, která se nazývá „slicer“. Mezi nejznámější patří **Skeinforge**, **Cura**, **Slic3r** a **KISSlicer** (starší zajímavé **srovnání sliceru v praktické „souboji“**). My jsme po mnoha testech skončili u posledního jmenovaného, KISSliceru, se kterým jsme při našich testech dosahovali nejlepších výsledků – především z hlediska rozměrové přesnosti a povrchové kvality.

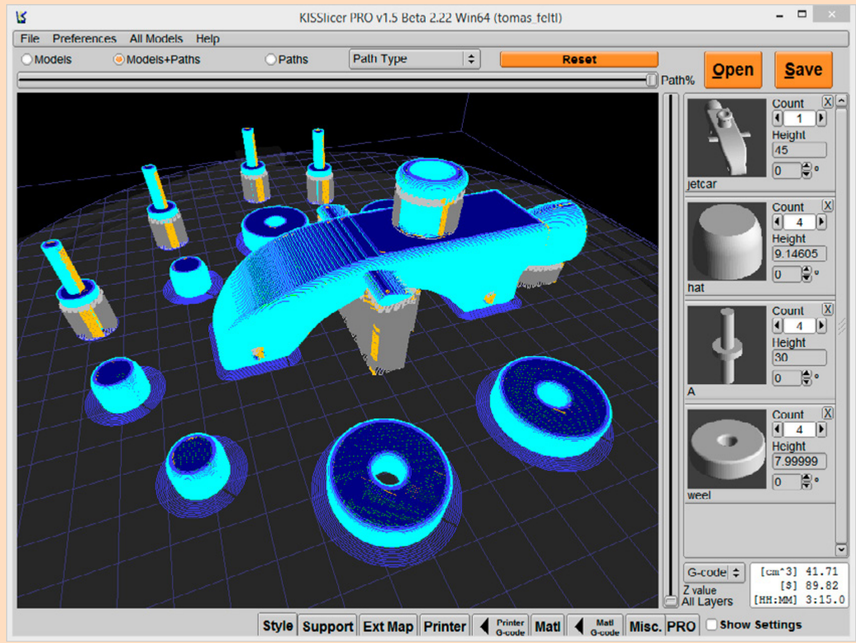
Slicer umožňuje nastavit řadu parametrů, podle kterých je model rozřezán na vrstvy o požadované tloušťce, s určitým způsobem výplně vnitřních prostor modelu a s konkrétní tloušťkou stěn. Nastavíme zde i tiskovou rychlost, teplotu extrudéru atd. Některá nastavení se váží na tiskárnu a její HW parametry (např. použitý průměr trysky), jiná zase k materiálu, kterým tiskneme (např. teplota). Nemusíte se obávat, že byste museli vše nastavovat od začátku sami, na internetu naleznete přednastavené profily pro nejrůznější tiskárny (RepRap i komerční) i tisková média (někdy jsou již součástí instalace určitého sliceru). Základní orientace je ale nutná.

U komerčních tiskáren bývá situace přehlednější v tom, že k tiskárně je ovládací SW se zabudovaným slicerem, který často nedisponuje tolika nastaveními. Jakmile ale do problematiky 3D tisku proniknete hlouběji, může vás absence některých nastavení omezovat.

Výstupem sliceru je G-kód s instrukcemi k tisku modelu. Ten můžeme v průběhu tisku tiskárně posílat z připojeného počítače, nebo lépe, uložíme ho na paměťovou kartu, kterou pak do tiskárny přímo vložíme a jsme na počítači nezávislí.







3D tisk a levné výukové pomůcky

Pochybujete o tom, že 3D tisk má ve škole své místo? Abychom ukázali, že tomu tak skutečně je, zaměřili jsme se na jednu z mnoha oblastí využití školního 3D tisku – na výrobu školních přírodovědných pomůcek. Hlavním zdrojem použitých volně dostupných 3D modelů byl portál ***Thingiverse.com*** *. Výroba uvedených pomůcek tedy není vázána na dovednosti v oblasti 3D modelování a vytisknout si je může skutečně každý.*

A jaká je cena takto vyrobených pomůcek? Ke každému modelu jsme zařadili orientační kalkulaci nákladů. Abychom 3D tisku příliš nenadržovali, je v rámci kalkulace započítána také el. energie a amortizace tiskárny (počítáme s RepRap 3D tiskárnou s pořizovací cenou 25 tisíc Kč a jejím intenzivním provozováním po dobu 3 let).

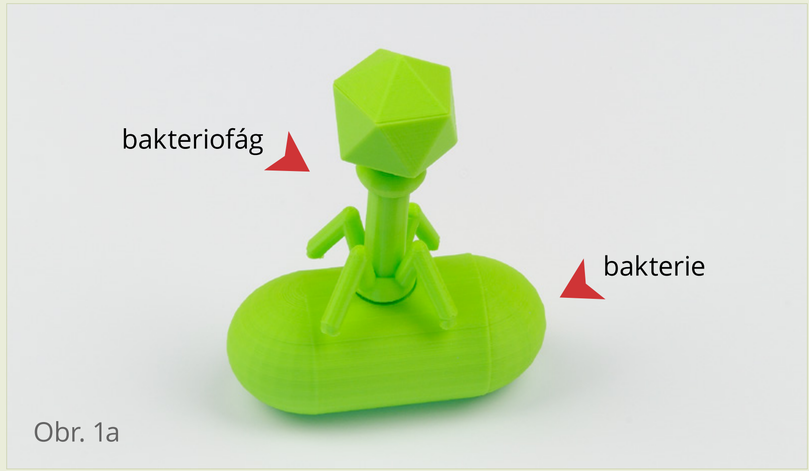
Bakteriofág

Wikipedie uvádí, že je známo asi 3100 různých virů. Nejedná se o jednolitou skupinu podobných útvarů, neboť různé typy vypadají značně odlišně. Ve školní praxi se jako modelový příklad na základních i středních školách využívá virus infikující bakterie – bakteriofág. Jeho obvyklé zobrazení je poněkud idealizované.

Ve skutečnosti jde samozřejmě o různorodou skupinu. Jsou to viry, jejichž částice vykazují velmi pravidelné geometrické tvary a jsou tak velmi vhodné pro využití ke 3D tisku. Navíc částice těchto virů vypadají až kosmicky a jsou vizuálně velmi atraktivní.

Vybraný model představuje bakteriofága infikujícího bakterii. Model je dotažen až do té míry, že můžeme odstranit vrchní část hlavičky (kapsidy) a vložit hypotetickou genetickou informaci (DNA v podobě tyčinky), která propadne dutým bičíkem přímo do modelu bakterie – názorné, zábavné.

Na druhou stranu je třeba poznamenat, že jednotlivé části modelu u sebe drží jen silou vůle a nebylo by špatné k nim připojit jednoduchý systém přichycení (dutinu pro vlepení magnetky nebo jen systém otvoru a trnu). Z hlediska biologického bychom měli žáky upozornit na velikostní nepoměr mezi virem a bakterií. Oproti předkládanému modelu by bakterie měla být výrazně větší.



Obr. 1a

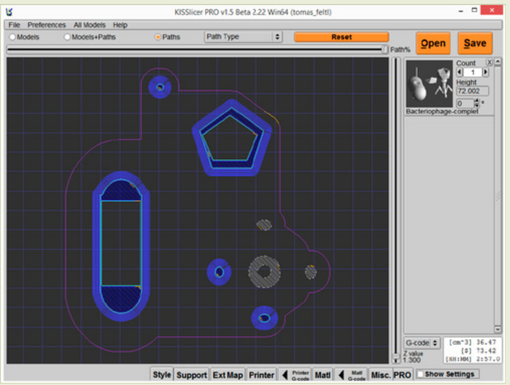
Obr. 1b

Obr. 1c

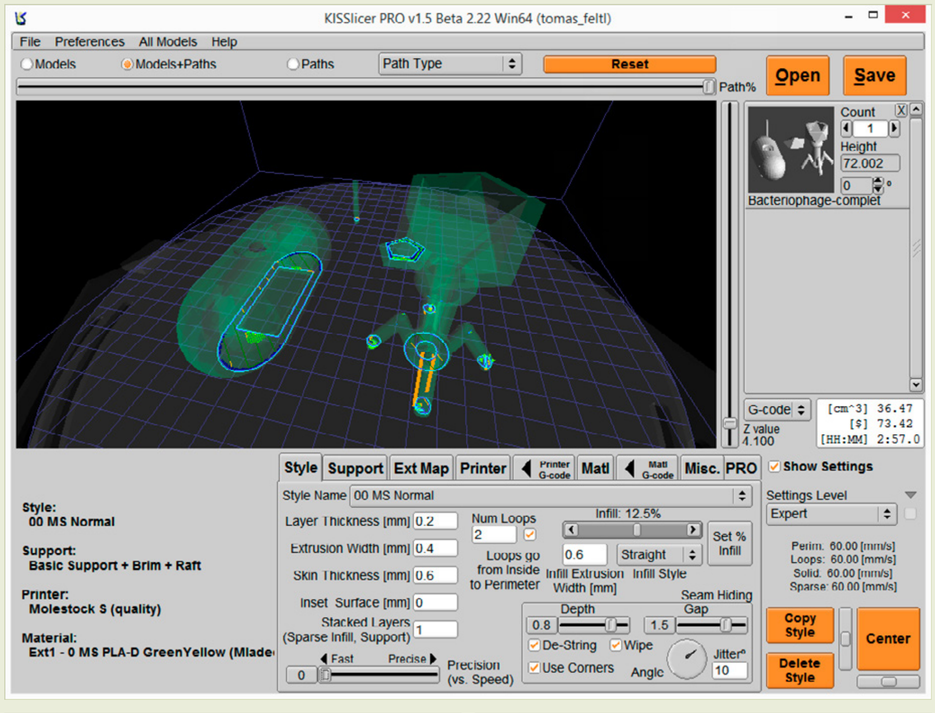
Obr. 1d

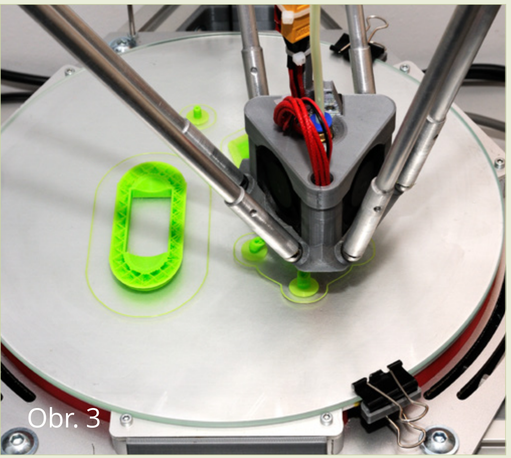
Obr. 1e

Obr. 1f



Obr. 2a ▲, 2b ▶, 2c ◢, 2d ◢◢:
Screenshoty programu KISSlicer





Obr. 3

Obr. 4

Obr. 5

Výroba sady bakteriofága

www.thingiverse.com/thing:539883

V instrukcích autor modelu uvádí, že je možné tisknout bez podpor a stačí 10% výplň (infill).

V modelu je několik drobných chyb, které jsme ignorovali. Bohužel se ukázalo, že bakteriofág sedí na podložce pouze na dvou bodech a ostatní jsou ve vzduchu. Jak to vyřešit? Jednou z možností je model upravit (narovnat) v některém z 3D editačních SW. Různá řešení ale přináší i přímo sám „slicer“. My jsme šli druhou cestou a nakonec použili raft v kombinaci s podporami (suport) do výšky 1 mm, čímž jsme vykompenzovali nerovnost a celý model bakteriofága lépe zafixovali k podložce. Ostatní části kompletu – víčko kapsidy, tyčinka (DNA) a samotná bakterie – seděly na podložce správně „rovně“. Slabým místem při tisku celé sady byla ještě malá styčná plocha tyčinky. Aby se nám tyčinka v průběhu tisku náhodou „neodloupla“, použili jsme ještě 4mm „brim“. Posledními slabými místy, u kterých jsem si nebyli jisti, jak bez podpor dopadnou, byly spodní část bakteriofága a horní část pod kapsidou. Obě části jsou totiž v průřezu půlkruhové. Při tisku je tedy potřeba překonat zaoblený převis, což při velikosti zakřivení a průměru použité trysky (0,4 mm) již může činit problémy vedoucí k tomu, že zaoblená část nebude vypadat „hezky“. Tato obava se částečně potvrdila, ale výsledek je přijatelný.

Jako tiskový materiál jsme použili **PLA**. Odhadovaná doba tisku kompletu byla 2 h 57 min, **reálná doba tisku 2 h 28 min**. Kompletace modelu vyžadovala pouze vylámání podpor a jemné dočištění.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku činí **75 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

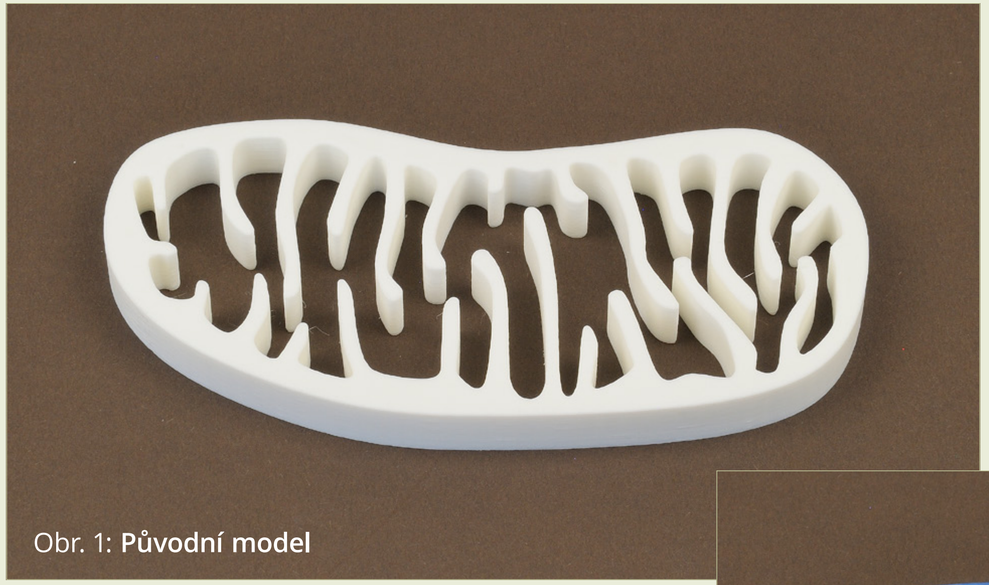
Mitochondrie

Modely buněčných organel (v našem případě mitochondrie) jsou na internetu dostupné v mnoha variantách. Představují poměrně dobrý startovací můstek pro začátečníky v oblasti 3D tisku, neboť jsou to modely relativně jednoduché. Vybrali jsme jeden z těch nejjednodušších, který představuje řez, resp. výřez z mitochondrie. Jde o základní model, který odpovídá klasickým učebnicovým náčrtkům.

Využití ve výuce je u takovýchto modelů poměrně široké. Základní učivo o buňce absolvují žáci již na základní škole a stále se k němu vrací a navazují na něj. Mitochondrie je dvoumembránová organela, na níž lze dobře demonstrovat a vysvětlit podstatu endosymbiotické teorie. Pro středoškoláky je potom možné dále rozšiřovat látku o metabolické procesy probíhající v mitochondriích nebo o poznatky o mitochondriální DNA – při tom nám model bude vždy užitečný.

Vzhledem k jednoduchosti modelu se musíme smířit s tím, že zde není výrazně oddělen prostor mezi vnější a vnitřní membránou. Na to je třeba žáky upozornit. Přitom by stačilo málo – prostor mezi vnější a vnitřní stěnou modelu ponechat volný, tím by se model více přiblížil realitě a jeho didaktická hodnota by vzrostla.

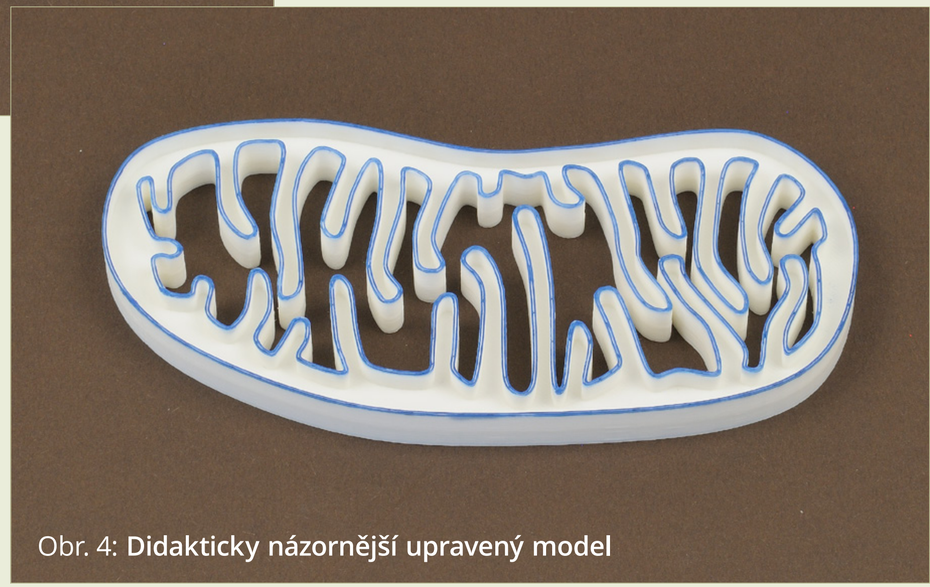
V praxi se učební pomůcky v podobě modelů jednotlivých organel buněk vyskytují poměrně málo. Občas objevíme buňku jako 3D objekt, z něhož se jednotlivé organely dají vyjmout. Takový model však může stát i desítky tisíc. Jeho nespornou výhodou je všestranná použitelnost i trvanlivost. Oproti těmto složitým pomůckám je výtisk objektu na 3D tiskárně neporovnatelně levnější. Také může představovat významnou aktivizační metodu, neboť nové technologie bývají pro žáky lákavé. Jako další příležitost bych viděl i mezipředmětové vazby k informačním technologiím.



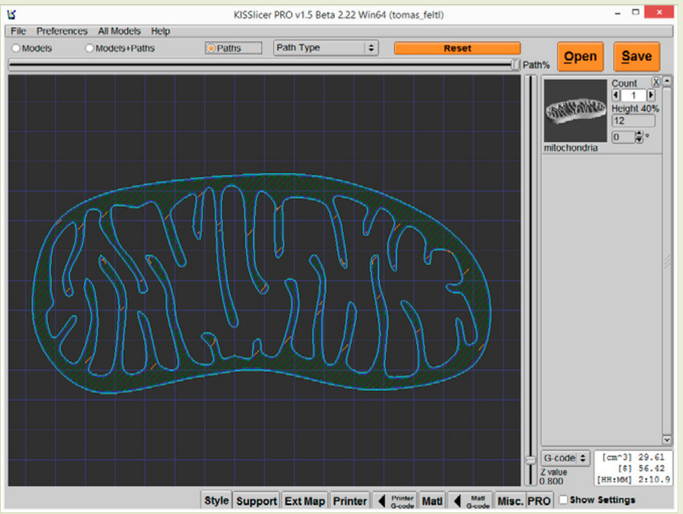
Obr. 1: **Původní model**

Obr. 2

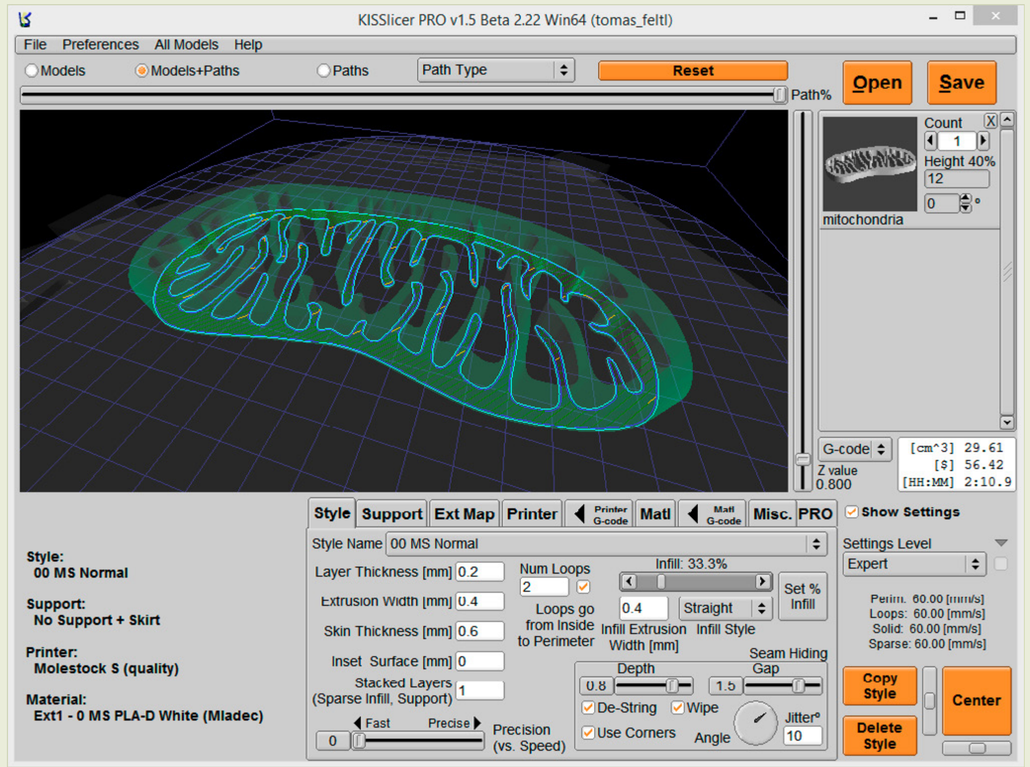
Obr. 3

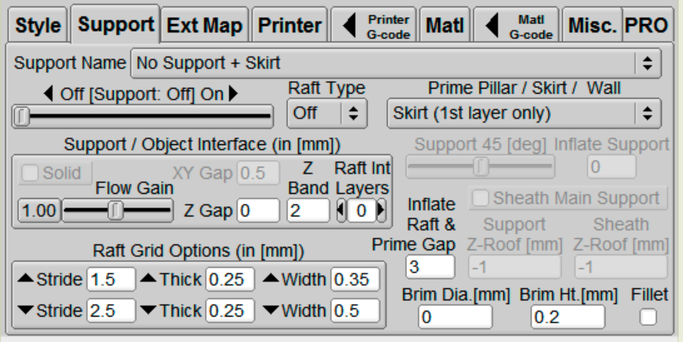


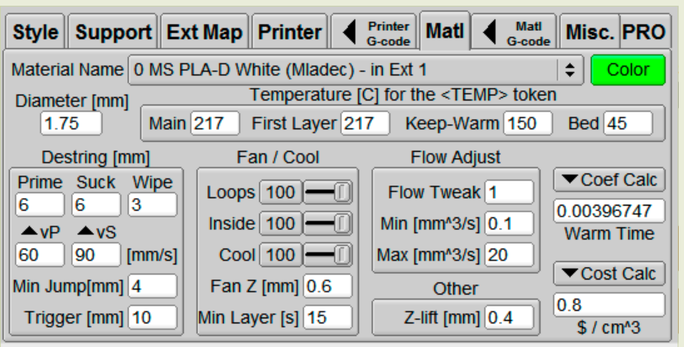
Obr. 4: **Didakticky názornější upravený model**

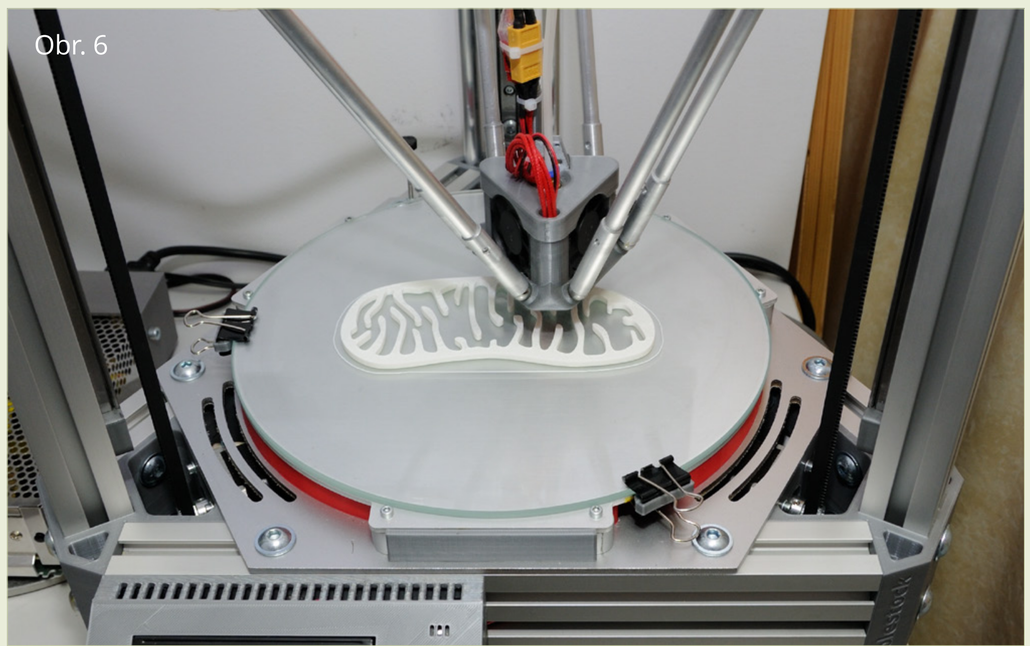


Obr. 5a ▲, 5b ▶, 5c ▼, 5d ⏬:
Screenshoty programu KISSlicer








Obr. 6

Výroba mitochondrie

www.thingiverse.com/thing:893298

Naším prvním krokem bylo zmenšení modelu na 40 %. Tak jsme dostali řez mitochondrií dlouhý asi 16 cm. Materiálem pro tisk bylo bílé **PLA**. Aby byl model dostatečně pevný, použili jsme výplň (infill) 33 %. Žádné oporné struktury nejsou třeba. Tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba byla 2 h 10 mim, **reálná doba tisku 1 h 40 mim**.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **56 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Model nezvýrazňuje vnitřní mezimembránové prostory, což je škoda. Upravili jsme ho tedy tak, aby byl didakticky názornější – nyní je na něm viditelná vnitřní a vnější membrána (viz obr. 4). Navíc při tisku tryskou s průměrem 0,4 mm vychází na membránu 2 vrstvy perimetru. To může posloužit jako názorné přiblížení „fosfolipidové dvojvrstvy“. Dvě vrstvy jsou dobře viditelné po obarvení fixkou. Upravený model si můžete stáhnout **z webu časopisu e-Mole v sekci 3D modely**.

Obratle

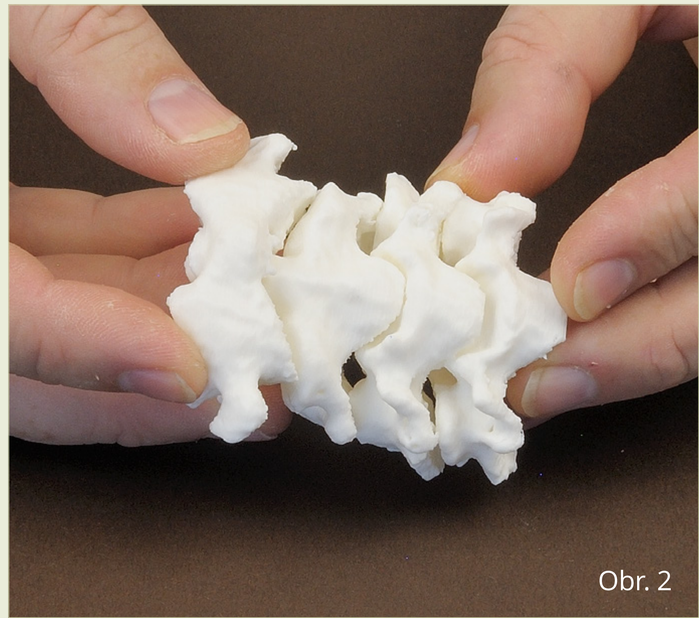
Obratle jsou vzhledem k velikosti ke 3D tisku téměř předurčeny, i když je tu poměrně velká komplikace se složitostí jejich tvarů. Na druhou stranu se dá říci, že pro běžného žáka základní, ale i střední školy je důležitější to, aby pochopil význam funkčních rozdílů ve stavbě jednotlivých oddílů páteře, než aby dokázal popsat kdejaký výběžek na čtvrtém krčním obratli.

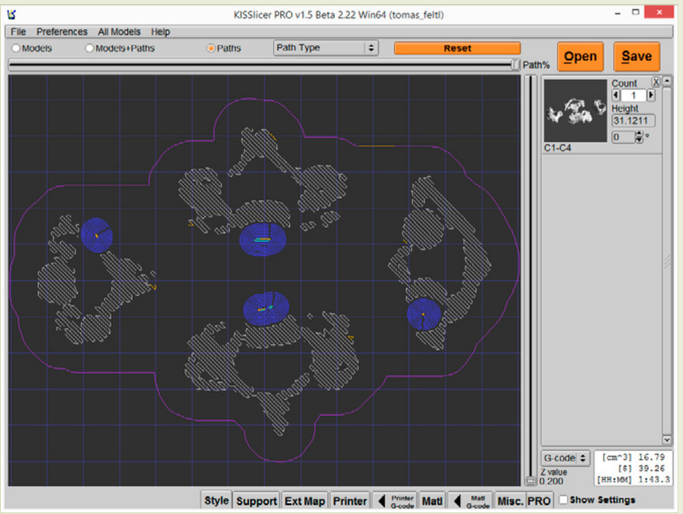
Pro potřeby časopisu byly testovány tisky obratlů krční páteře. Nevyrovnají se dokonalostí a věrností provedení anatomickým modelům, ale zase je lze bez obav poslat mezi žáky, nebo je nechat obratle sestavovat, tak jak k sobě přináleží, což jim umožní lépe si představit funkce páteře. Pokud bychom přidaly ještě tisky obratlů s výrazněji vyvinutým tělem (nejlépe z bederní oblasti), máme celkem plnohodnotnou pomůcku k výuce funkce a významu páteře, jako opěrné osy lidského těla.

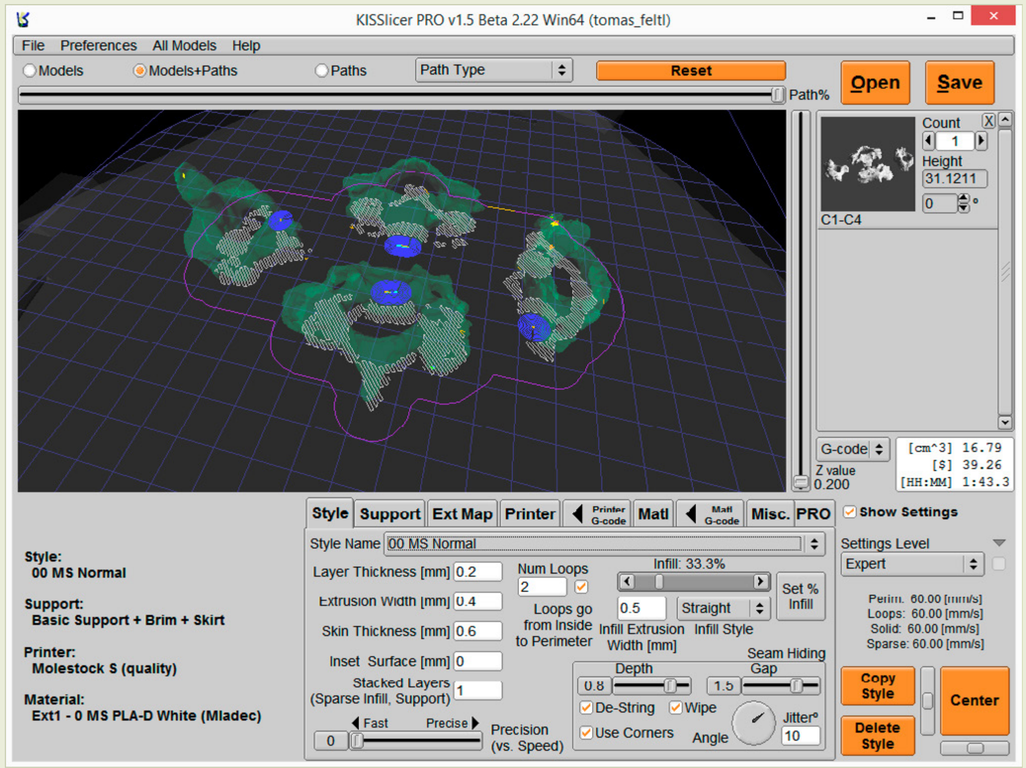
Samozřejmě nelze opomenout, že anatomické modely často obsahují i další struktury, jako například meziobratlové ploténky nebo vývody míšních nervů a jsou tak reálnější a názornější, ale to nijak nesnižuje vhodnost vytisknutých modelů jako dalšího oživení výuky.

Obr. 1

Obr. 3


Obr. 2

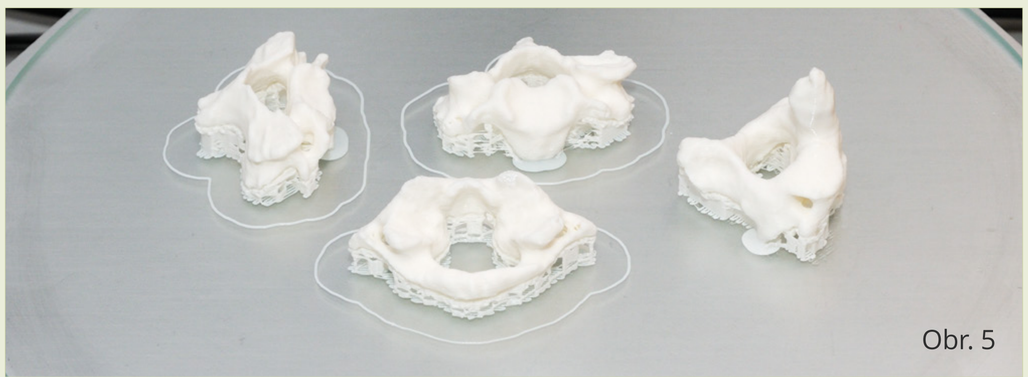




Obr. 4a ▲, 4b ▶, 4c ◢, 4d ◢◢:
Screenshoty programu KISSlicer

Obr. 6

Obr. 7



Obr. 5

Jak jsme obratle vyráběli

www.thingiverse.com/thing:333057

Volba barvy byla v případě obratlů jasná. Jako materiál jsme použili opět **PLA**. Podle autora jsou 3D modely obratlů rekonstrukcí z **reálného CT skenu**. Velkým problémem byla skutečnost, že po načtení do „sliceru“ byl každý model jinak velký. Nezbylo než si pohrát s procentuálním zvětšováním a zmenšováním, až byly velikosti všech obratlů zhruba stejné. V této komplikaci vidíme největší nedostatek této sady obratlů.

Aby byl výtisk dostatečně pevný i v rukou žáků, zvolili jsem výplň (infill) 33 %. Protože je v rámci modelů řada převislých částí, použili jsme podpory. Tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba tisku všech obratlů byla 1 h 43 min, **reálná doba tisku 1 h 33 min**. Kompletace modelu vyžadovala pouze vylámání podpor a jemné dočištění.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **39 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

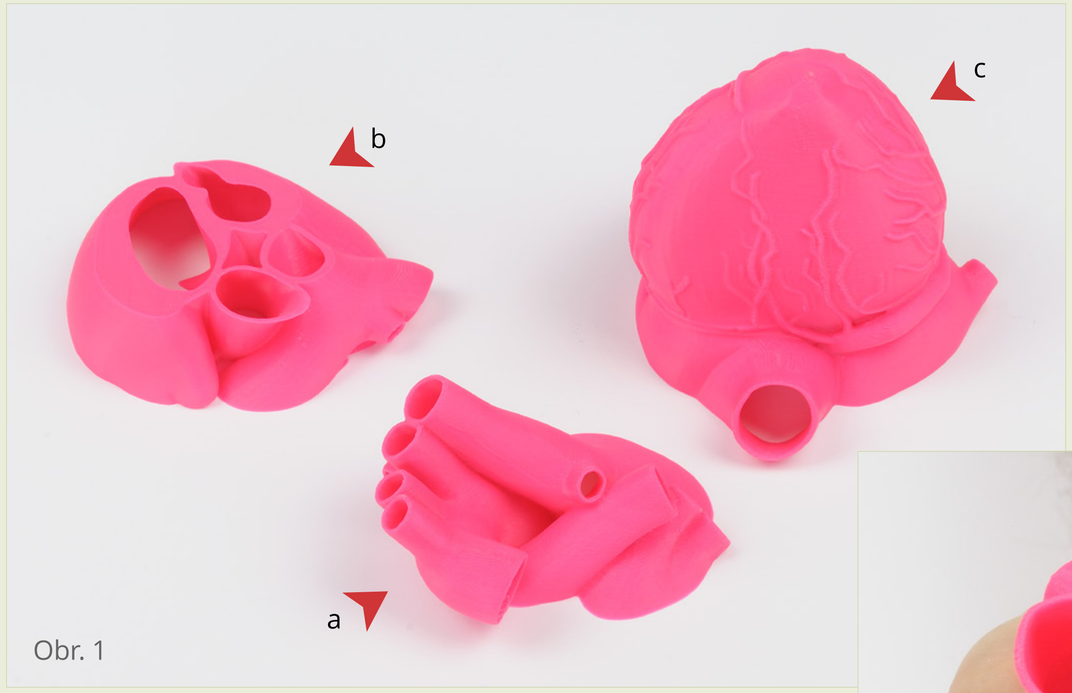
Tip: Obratle si můžete vytisknout rovnou dvakrát a jednu sadu opatrně slepit tavným lepidlem. Pokud tak učiníte v místech, kde jsou chrupavčité části (ploténky, kloubní plochy), získá tím celý model další výukový rozměr.

Srdce

Model srdce patří zřejmě k nejklasičtějším školním pomůckám. Předložený výtisk by za určitých okolností mohl téměř nahradit klasické modely, které se v závislosti na velikosti a kvalitě zpracování prodávají v cenách od tisíce do deseti tisíc korun.

Samozřejmě si budeme muset odmyslet barevné provedení a bylo by vhodné srdce v části komor rozdělit vertikálním řezem tak, aby byl viditelný průřez komorami. Takto je model evidentně spíše z praktických, než z výukových důvodů rozdělen na tři části dvěma řezy, které jsou vedeny horizontálně v horní třetině srdce – řez komorami tak vlastně chybí. Bylo by také vhodné z praktických důvodů celý model doplnit o nějaký mechanizmus, který by držel jednotlivé části při sobě. Nabízely by se například zapuštěné magnetky.

Jinak je model se všemi detaily velmi dobře provedený a pro výuku na základní i střední škole zcela dostačující. Výhodou těchto modelů je jejich cena, za niž si lze snadno představit, že to, co ukazuje učitel například ve 3D aplikaci na interaktivní tabuli, si žáci ve dvojicích sami prohlížejí na modelu.

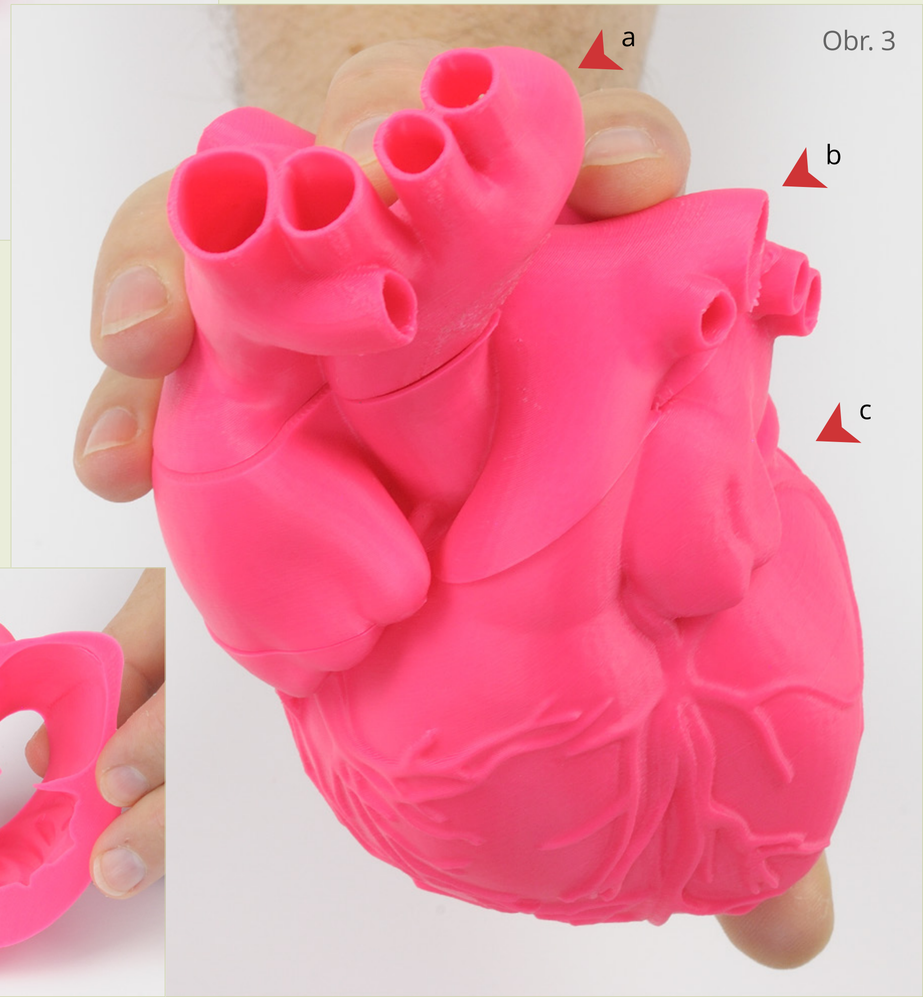


Obr. 1

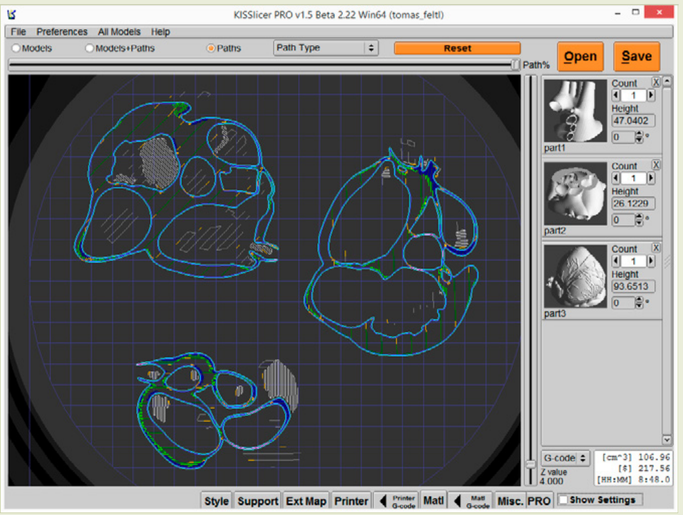
Obr. 2a

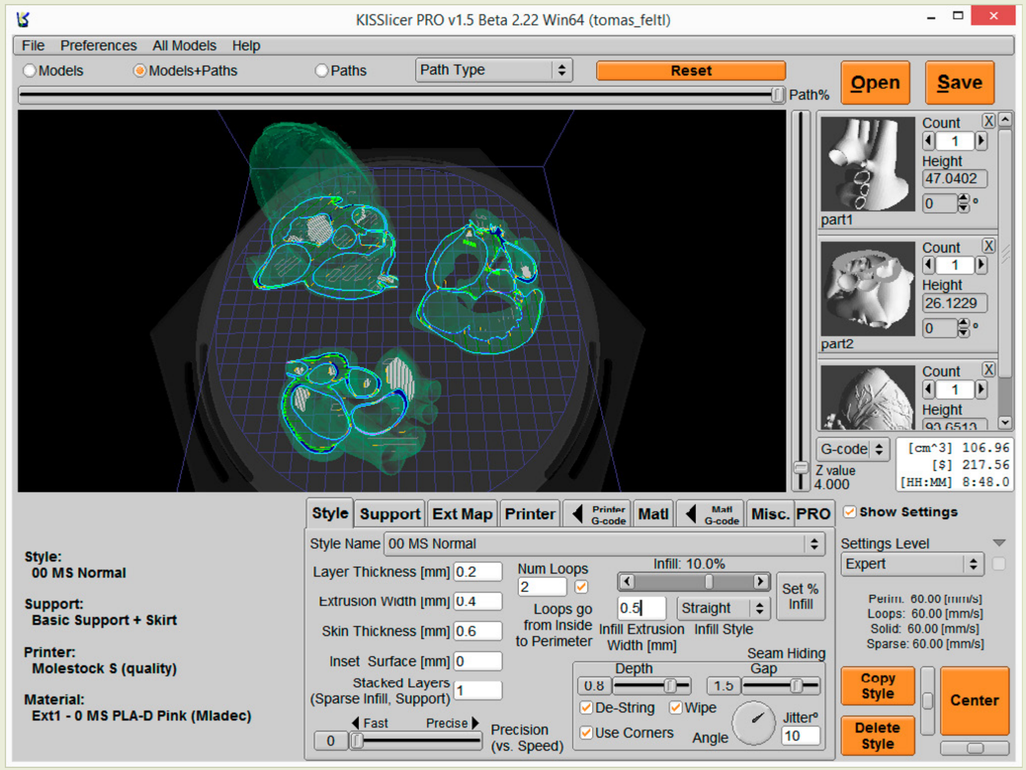
Obr. 2c

Obr. 2b



Obr. 3





Obr. 6a ▲, 6b ▶, 6c ◢, 6d ◢◢: creenshoty programu KISSlicer

Jak jsme srdce vyráběli

www.thingiverse.com/thing:632569

Pro model srdce bude pro naše účely vhodným materiálem opět **PLA**. Protože nám došla červená, jako nejbližší náhradu jsme použili růžovou. Model je poměrně velký, a tak jsme pro úsporu materiálu i času zvolili pouze 10% výplň (infill). I tak se celý komplet tří dílů tisknul poměrně dlouho. Podpory jsou zde nutností. Tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba tisku všech tří dílů byla 8 h 48 min, **reálná doba tisku 7 h 56 min**. Kompletace modelu vyžadovala pouze vylámání podpor a jemné dočištění.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **217 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Pokud přemýšlíte o nějaké úpravě modelu, jednou z možností je doplnit ho malými zapuštěnými magnety, které by všechny tři části držely pohromadě.

Ucho

Modely stavby ucha jsou dostupné jako učební pomůcky v cenách v řádu tisíců korun (zhruba 2 až 5 tisíc), podle velikosti, kvality provedení a rozložitelnosti. Využití je poměrně široké – na základní i střední škole při výuce biologie člověka a témat výchovy ke zdraví.

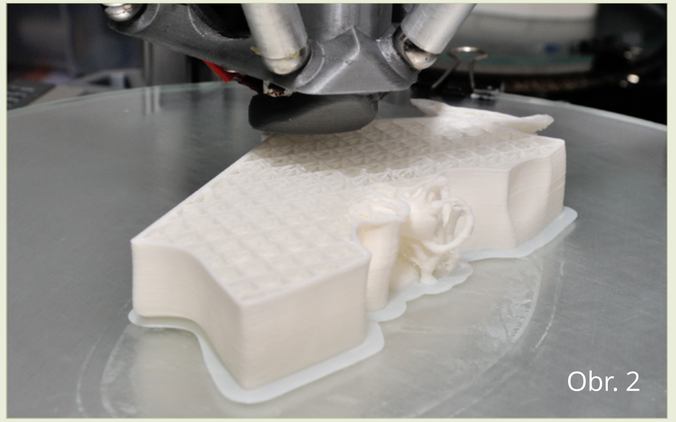
Předkládaný model pochází z testované kolekce 3D modelů firmy Corinth, s. r. o., jejíž oceňované aplikace jsme recenzovali v **minulém čísle**.

Je přirozené, že se firma, která se zabývá vývojem 3D modelů pro vzdělávání, pustí i do převedení některých z nich do podoby vhodné pro 3D tisk. Tato technologie je dnes ve školách již celkem široce dostupná a mnozí učitelé patří k jejím průkopníkům. Jak již bylo výše řečeno, jedná se o pokusnou kolekci, z čehož plynou některá technická úskalí při tisku.

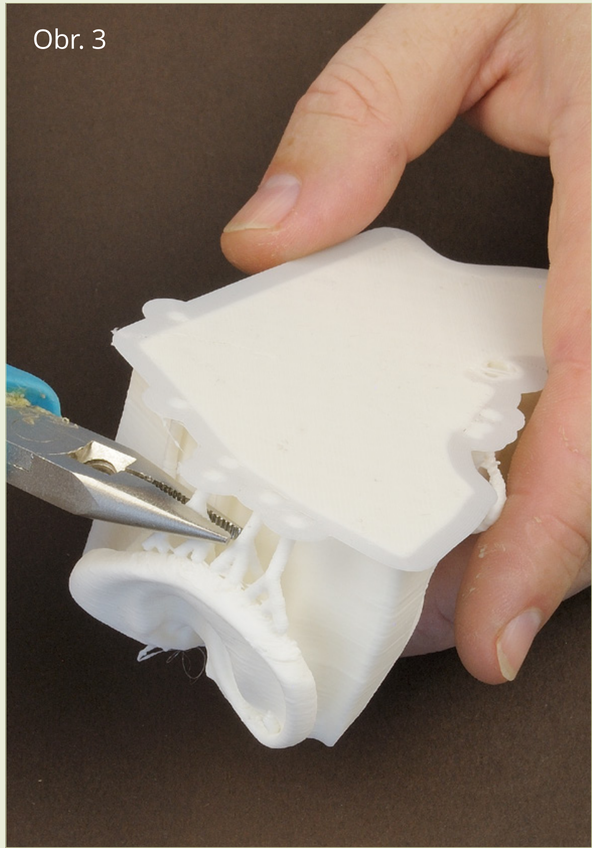
Samotný model je tvořen jedním blokem a i velikostí a provedením se těžko vyrovná komerčně dostupným modelům. Na druhou stranu ho lze doplnit dalšími dostupnými modely – například **model kostěného a blanitého hlemýždě** v lepším měřítku. Vhodné je žáky upozornit na schematičnost modelu, a tím pádem i nereálné poměry velikostí jednotlivých částí. Tím ale rozhodně není ochuzena didaktická názornost.

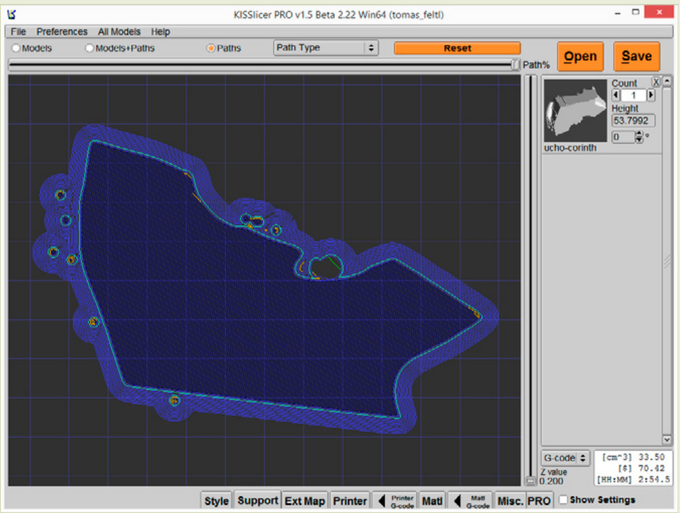
Celkem snadno si dokážu takovýto model představit jako plně dostačující pro ukázku funkce sluchového ústrojí například ve fyzice či hudební výchově. Také při práci v menších skupinách může komerční modely docela dobře nahradit. Vytištěný model je provedený v bílé barvě. To dává také prostor pro vybarvování jednotlivých částí a jejich popis. Na základní škole by se to celé klidně dalo pojmout i jako malý projekt ve spolupráci s výtvarnou výchovou.

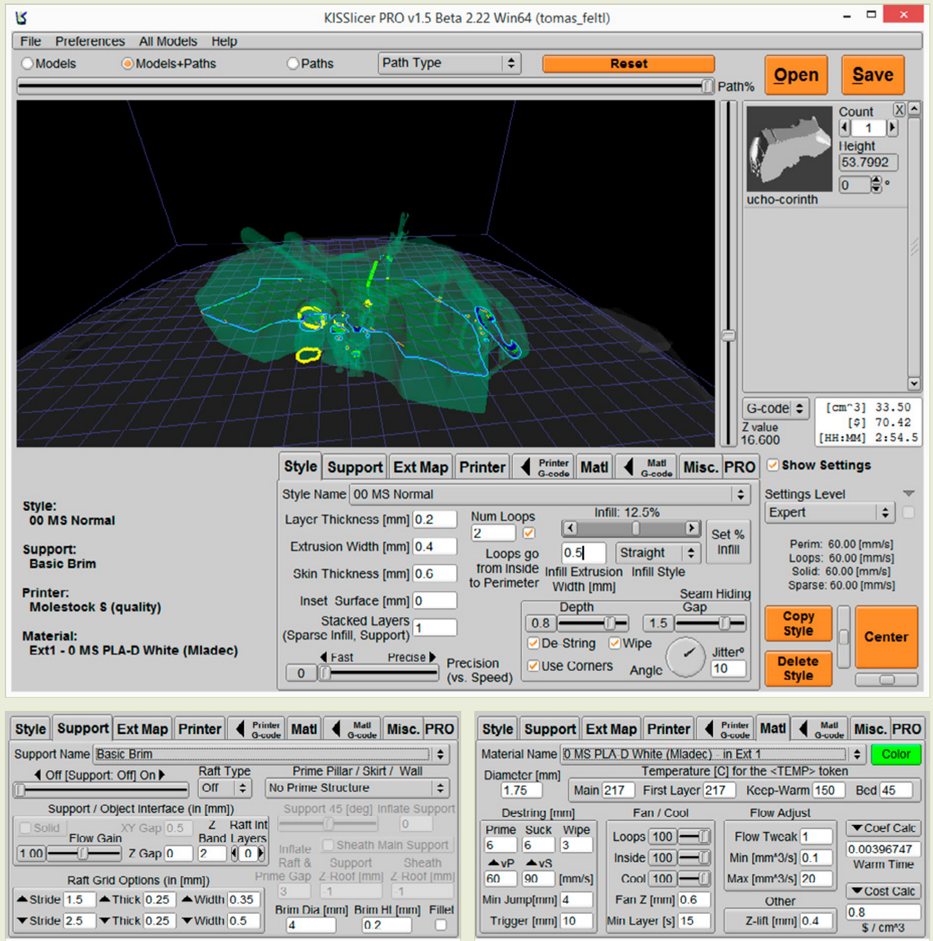
Obr. 1

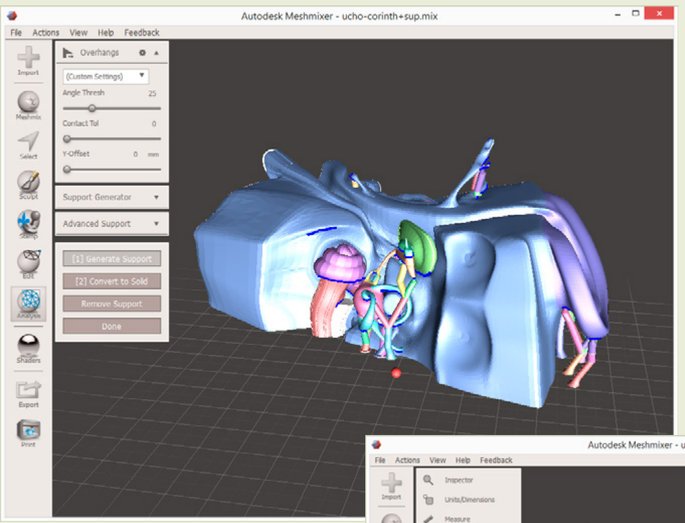

Obr. 2

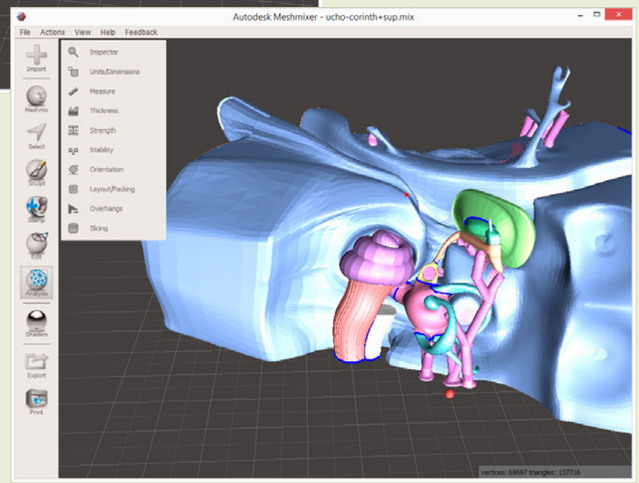
Obr. 4

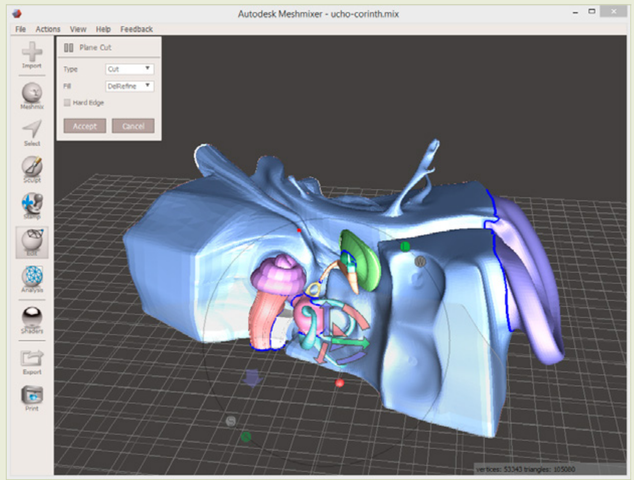

Obr. 3











Obr.
5a ▲, 5b ◢, 5c ◥, 5d ◥◥:
Screenshoty programu KISSlicer

Obr. 6a ▲, 6b ▶, 6c ▶▶:
Screenshoty aplikace Autodesk Meshmixer

Výroba modelu ucha

Model poskytla společnost **Corinth, s. r. o.**

Dodaný model ve formátu OBJ byl tak trochu „oříšek“. Náš „slicer“ (KISSlicer) ho odmítal korektně nařezat na jednotlivé vrstvy a není se čemu divit. Očividně jde totiž o model z výukové aplikace, který nebyl pro 3D tisk nikterak optimalizován. Příprava k tisku byla tím pádem o něco náročnější. Nejdříve jsme model načetli do aplikace Autodesk Meshmixer a provedli automatické opravy. Dále jsme pak seříznuli jednu stranu modelu do roviny – na ní bude při tisku „stát“. Pokusili jsme se odstranit jemné vnitřní struktury hlemýždě, které jsou zbytečné a při přípravě tisku dělaly „sliceru“ problémy. To se ale povedlo jen částečně. Model jsme dále zvětšili na délku necelých 11 cm (zvětšení asi 2×). Posledním krokem v Meshmixeru bylo vygenerování „sloupových“ podpor, které jsou pro drobnější vnitřní struktury ucha vhodnější (tyto podpory se snadněji odstraní).

Pro tisk jsme zvolili opět bílé **PLA**. Dodatečně tak bude možné model kolorovat. Výplň (infill) stačila 12,5 %. Následný tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba tisku byla 2 h 54 min, **reálná doba tisku 2 h 18 mim**. Kompletace modelu vyžadovala pouze odstranění podpor a jemné dočištění.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **70 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Model by bylo vhodnější vytisknout ještě 2× větší, tedy oproti původní velikosti 4× zvětšený.

Setrvačník

Setrvačník s kónickými osami vyrobený podle tohoto modelu je vhodný pro demonstraci rovnoměrně zrychleného pohybu s malým zrychlením. Osy je potřeba po vytištění přilepit k setrvačníku vteřinovým lepidlem.

Při demonstraci **položíme setrvačník osami na dvě rovnoběžné tyče nebo latě**, které jsou na jednom konci podloženy o něco výše než na druhém a tvoří tak nakloněnou rovinu s mírným spádem. Setrvačník sjíždí po této nakloněné rovině s malým zrychlením, přičemž díky kónicky tvarovaným osám udržuje stálý směr. Pohyb setrvačníku je při mírném spádu nakloněné roviny dostatečně pomalý na to, abychom stihli zaznamenávat v pravidelných časových intervalech jeho polohu a tu pak vynesli například do grafu k dalšímu zpracování.

Pokud osy na tyčích prokluzují, je vhodné olepit je elektrikářskou izolační páskou pro zvětšení tření. Originální velikost setrvačníku je vhodná pro demonstrační účely, pro samostatné experimentování žáků je možné vyrobit více menších setrvačníků, například o poloviční průměru.

Obr. 1

Obr. 2a

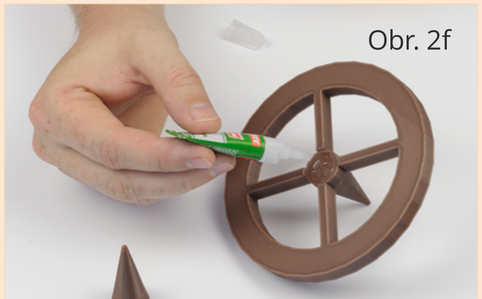
Obr. 2b

Obr. 2c

Obr. 2d

Obr. 2e

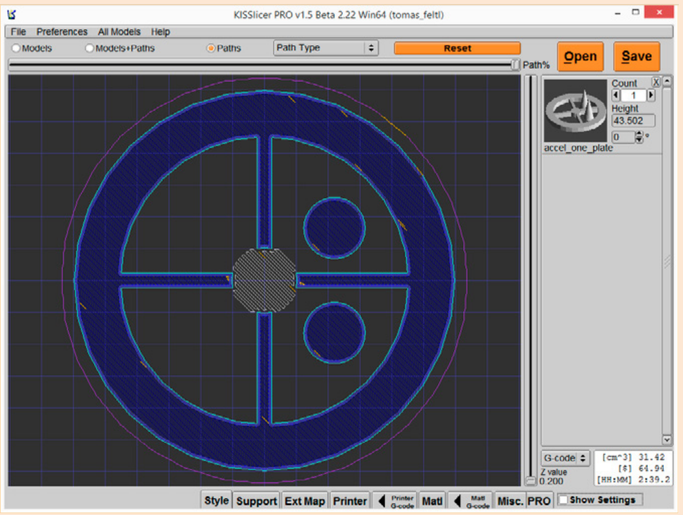
Obr. 2f



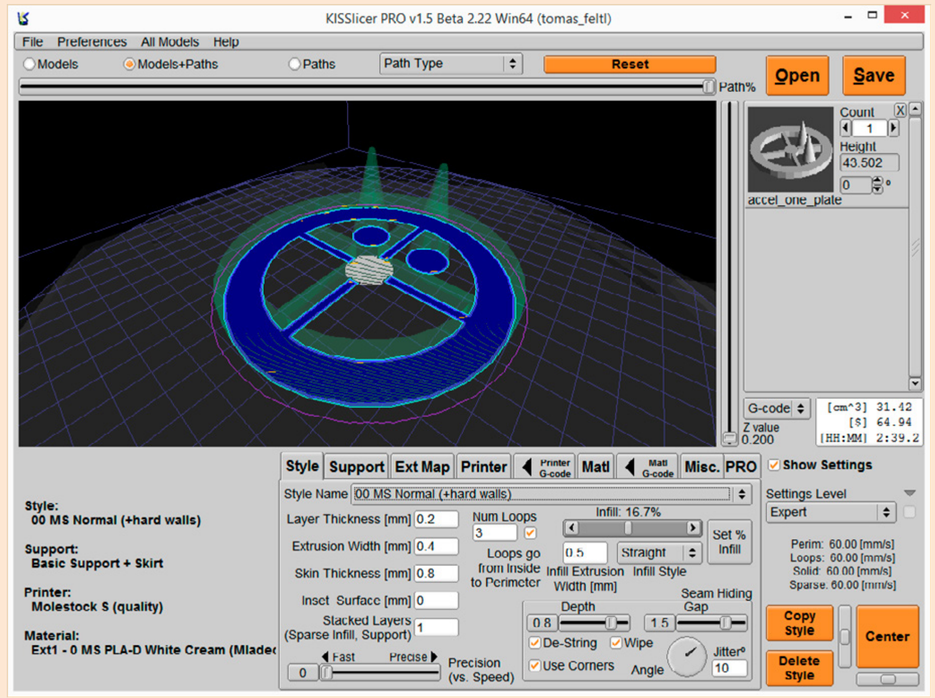
Obr. 2g

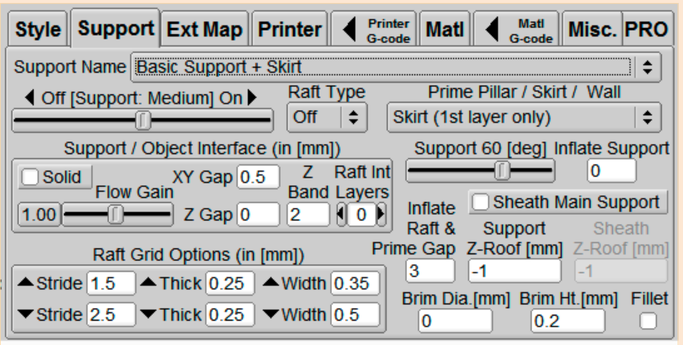
Obr. 2h

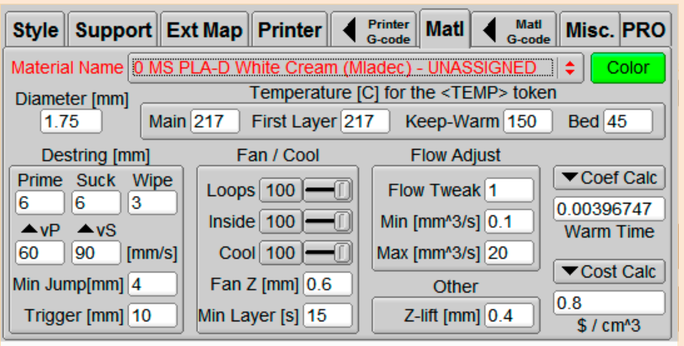
3D tisk a levné výukové pomůcky pro fyziku: Setrvačník

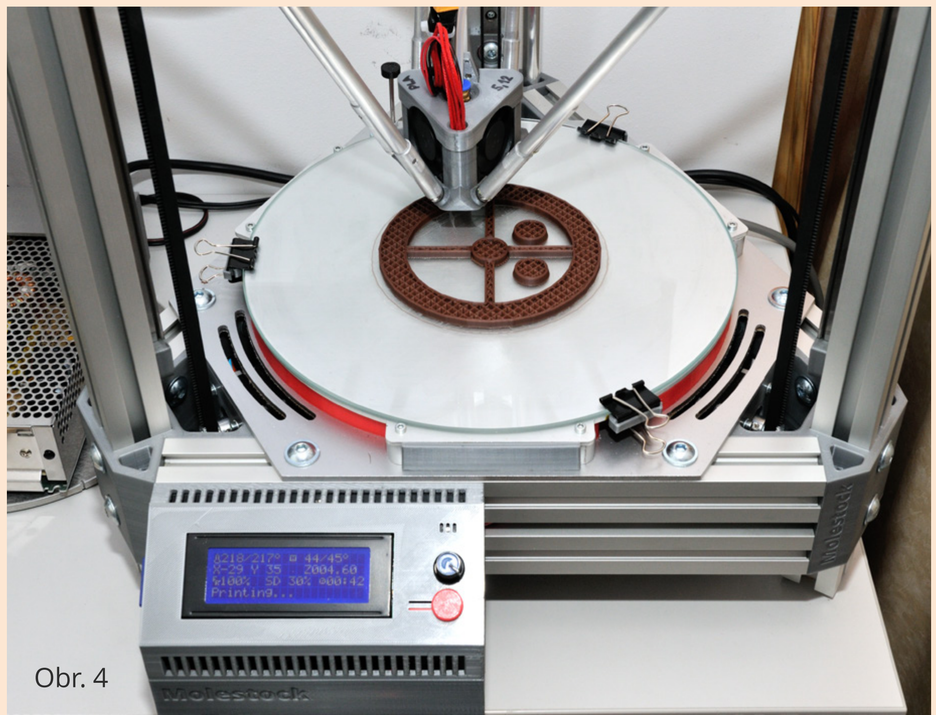


Obr. 3a ▲, 3b ▶, 3c ▼, 3d ⏬:
Screenshoty programu KISSlicer



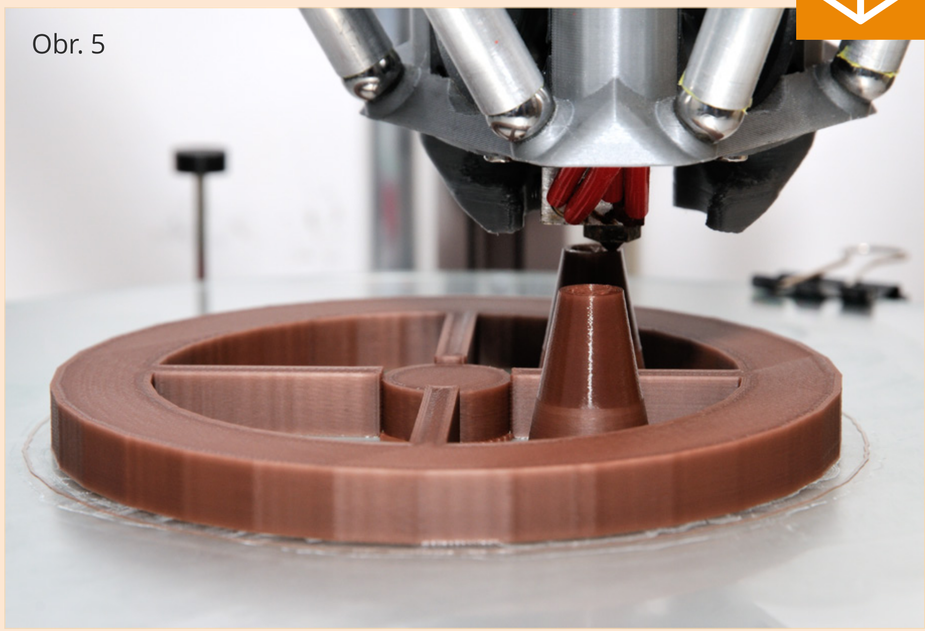






Obr. 4

Obr. 5



Jak jsme setrvačník vyráběli

www.thingiverse.com/thing:574524

Pro otestování jsme zvolili hnědé **PLA**. Vnitřní prostory jsme nechali s 16,7% výplní (infill). Vzhledem k tomu, že střed se nedotýká podložky, bylo nutné použít podpory (support). Tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba tisku kompletu byla 2 h 39 min, **reálná doba tisku 1 h 48 mim**. Kompletace modelu vyžadovala vylámání podpor a přilepení konických os vteřinovým lepidlem (viz obr. 2a–h na předchozí straně). Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **65 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Autíčko na balónkový pohon

Autíčko poháněné proudem vzduchu z nafouknutého balónku je oblíbenou hračkou, kterou je možné sehnat i v některých hračkářstvích v dřevěném nebo plastovém provedení. Autíčko hezky demonstruje princip reaktivního pohonu a ve výuce ho lze také využít jako ukázku přeměny jedné formy mechanické energie (energie pružnosti balónku) na jinou (kinetickou energii autíčka).

Vytisknuté autíčko jezdí velmi dobře, mnohdy lépe než některá originální prodávaná balónková autíčka, která bývají v porovnání s náklady na výrobu představeného modelu minimálně dvakrát dražší. Nejslabší částí modelu jsou osy kol – při opakovaném nešetrném zacházení se mohou ulomit a je nutné je potom přilepit vteřinovým lepidlem, případně vyztužit ocelovým drátem.

Pokud se žáci naučí v rámci nějakého předmětu nebo třeba kroužku základy 3D modelování, může autíčko na balónkový pohon sloužit jako vhodný námět na vyhlášení konstruktérské soutěže o nejrychlejší navržené a vyrobené autíčko poháněné daným balónkem.

Obr. 1

Obr. 2

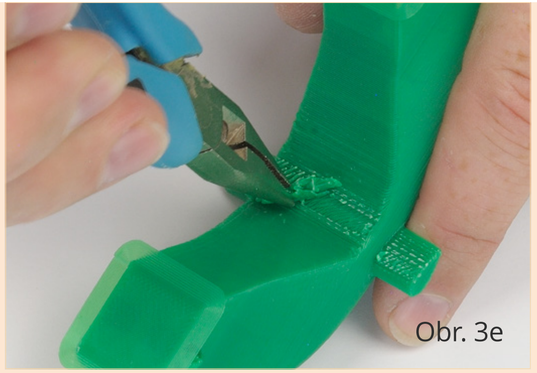
Obr. 3a

Obr. 3b

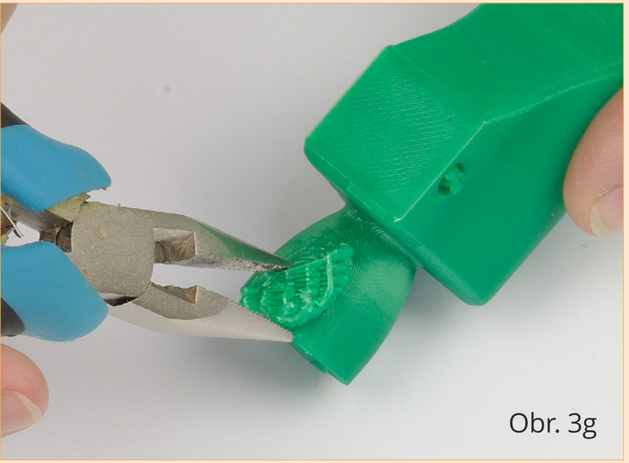
Obr. 3c

Obr. 3d

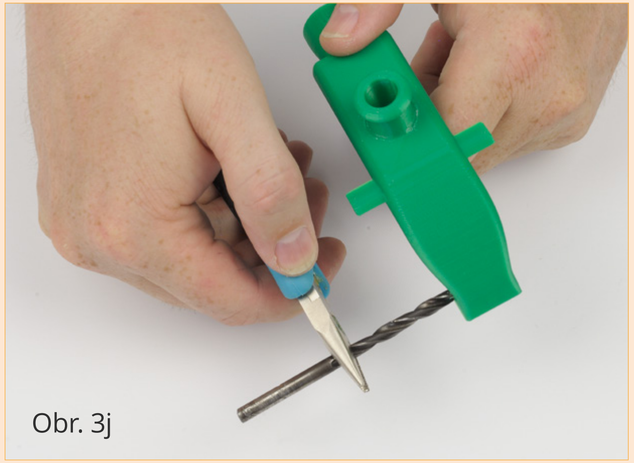
Obr. 3e



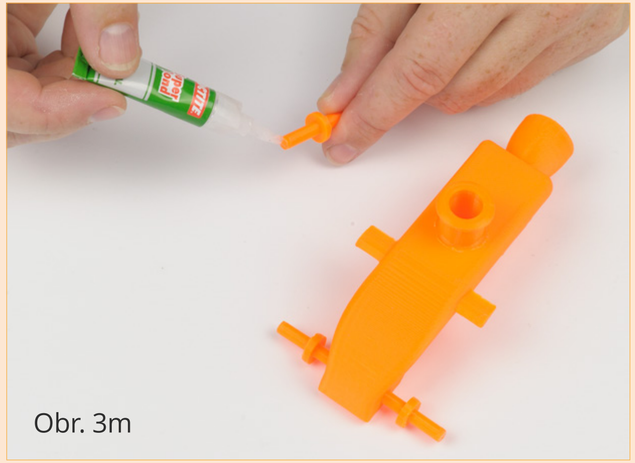
Obr. 3f



Obr. 3g

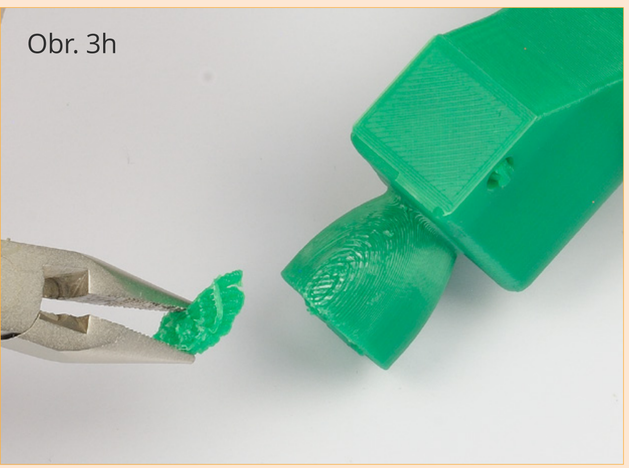


Obr. 3j



Obr. 3m

Obr. 3p



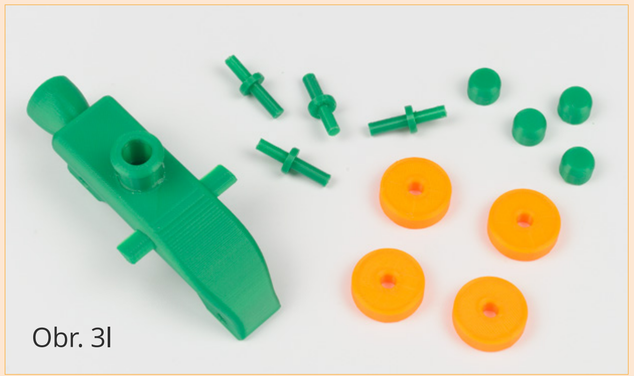
Obr. 3h

Obr. 3k

Obr. 3n

Obr. 3q

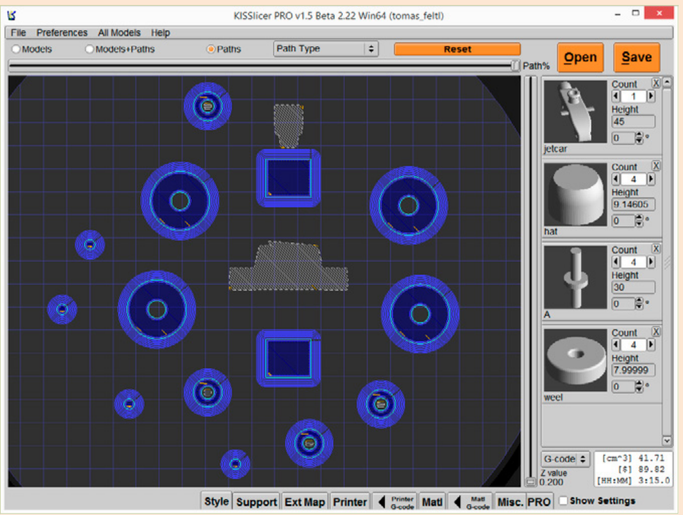
Obr. 3i



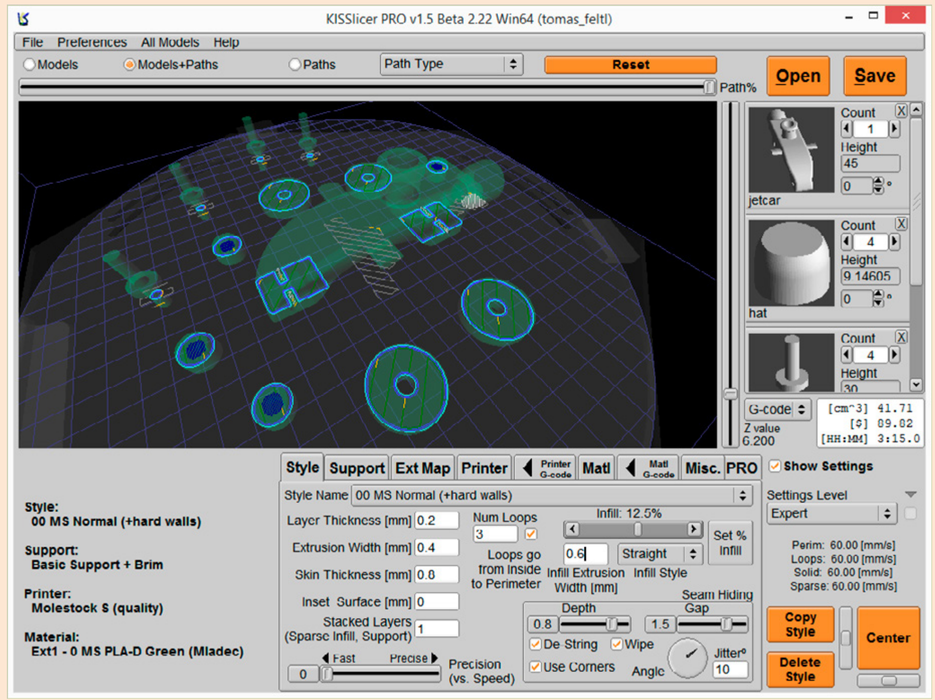
Obr. 3l

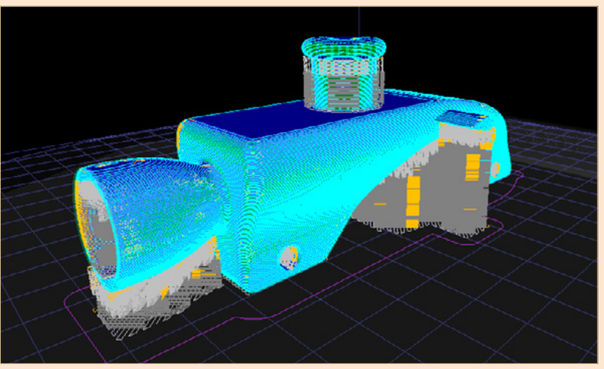
Obr. 3o

Obr. 3r



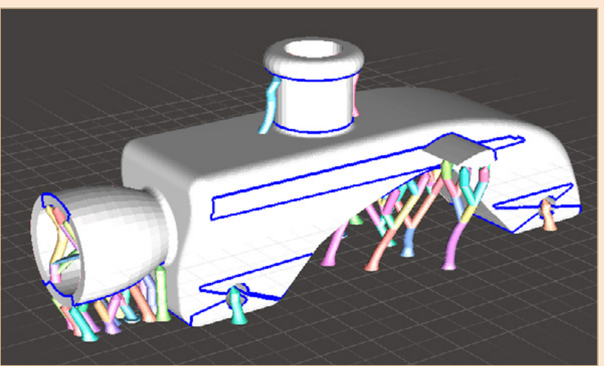
Obr. 4a ▲, 4b ▶, 4c ◢, 4d ◢◢:
Screenshoty programu KISSlicer

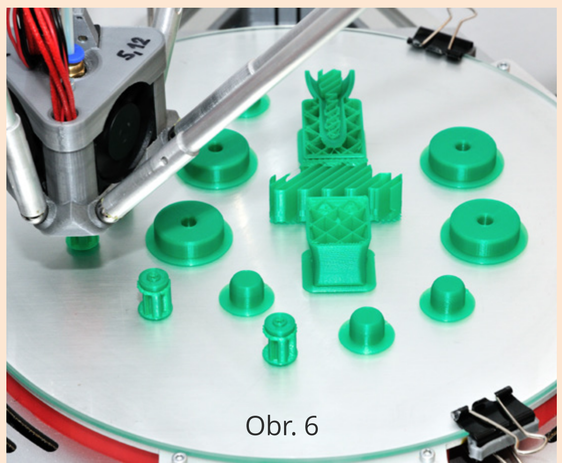




Obr. 5a ▲: **Podpory v programu KISSlicer**

Obr. 5b ▼: **Podpory v Autodesk Meshmixeru**





Obr. 6

Obr. 7: **Podpory po vytištění**

Jak jsme autíčko vyráběli

www.thingiverse.com/thing:30624

Pro otestování jsme zvolili oranžové a zelené **PLA** (autíčka jsme vytiskli dvě a díly barevně zkombinovali). Autor doporučuje vytisknout autíčko co nejlehčí. Vnitřní prostory jsme proto nechali pouze s 12,5% výplní (infill). Vzhledem k převislým částem bylo nutné použít podpory (support). Pro lepší kontakt osiček kol s podložkou jsme navíc použili 4mm „brim“. Tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba tisku kompletu byla 3 h 15 min, **reálná doba tisku 3 h 18 min**.

Kompletace modelu vyžadovala vylámání podpor a jemné dočištění. Otvory pro osy kol bylo třeba u zeleného autíčka lehce zvětšit vrtákem (cca o 0,1 mm) u oranžového nikoli (sice stejný plast, ale jinak obarvený – jak vidno, může to vést i k jiným rozměrům). Osy kol a čepičky kol byly nakonec přilepeny vteřinovým lepidlem.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **89 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Ukázalo se, že na tenké osy kol není PLA nejlepším materiálem – vzhledem ke své křehkosti. Ideální by vzhledem k pevnosti bylo použít Nylon či POM. Pokud nebudete autíčko na zem házet, ale pouze pokládat, vyhoví i námi použité PLA.

Protože jsou podpory tisknuty i v „potrubí“ mezi komínkem a tryskou, je vhodné nastavit podpory poněkud „volnější“ (z vnitřního prostoru se pak lépe odstraní), nebo využít podpory vygenerované v aplikaci Autodesk Meshmixer.

Gravitační studna

Model takzvané gravitační studny, jejíž větší provedení bývá k vidění na některých hvězdárnách nebo v interaktivních science centrech, může být dobře využit jako motivační pomůcka při diskuzi o pohybu těles v poli centrální gravitační síly (pohyb planet kolem Slunce, družic okolo Země apod.). Tvar vnitřní rotační plochy odpovídá funkci převrácená hodnota vzdálenosti a demonstruje tak průběh gravitačního potenciálu v okolí hmotného tělesa, případně průběh elektrického potenciálu v okolí nabitého tělesa. Sledování pohybu ocelové kuličky po povrchu studny pak můžeme využít k navození otázek o pohybu těles v okolí planet a hvězd v závislosti na počátečním směru a velikosti rychlosti tělesa a na jeho vzdálenosti od planety (hvězdy) a k diskuzi o zachování momentu hybnosti tělesa obíhajícího v různých vzdálenostech. Nástin vhodných otázek k diskuzi rozdělených do několika úrovní obtížnosti je shrnut v doprovodném materiálu k modelu **orbits_description.pdf**.

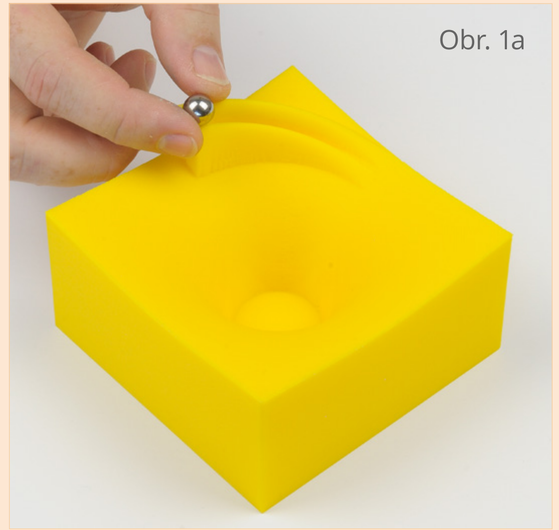
Velikost vhodné ocelové kuličky (například z kuličkových ložisek) je dobré vyzkoušet podle velikosti vytisknutého modelu. Pro model o délce hrany 5 cm vyhovuje kulička o průměru přibližně 6 mm, pro model o délce hrany 15 cm kulička o průměru přibližně 11 mm. Při vypouštění kuličky z vrcholu rozjezdové rampy někdy kulička po prvním oběhu narazí na rozjezdovou rampu a je ji tedy potřeba vypouštět z nižší výšky. Obecně by rozjezdová rampa u modelu ani nemusela být (nebo by nemusela být tak velká), aby nebránila pohybu kuličky. Kuličku je možné rozpohybovat i postrčením podél okraje studny.

Jak jsme model vyráběli

www.thingiverse.com/thing:561757

Pro otestování jsme zvolili žluté **PLA**. Pokud model zvětšíme 28,6×, dostaneme délku hrany 10 cm. Vnitřní prostory jsme ponechali pouze s 12,5% výplní (infill), ale protože je vnitřní prostor poměrně velký, stopu výplně jsme zvětšili na 0,8 mm. Žádné opěrné struktury (support) zde nejsou potřeba. Tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba tisku modelu o hraně 10 cm byla 4 h 45 min, **reálná doba tisku 5 h 21 min**.

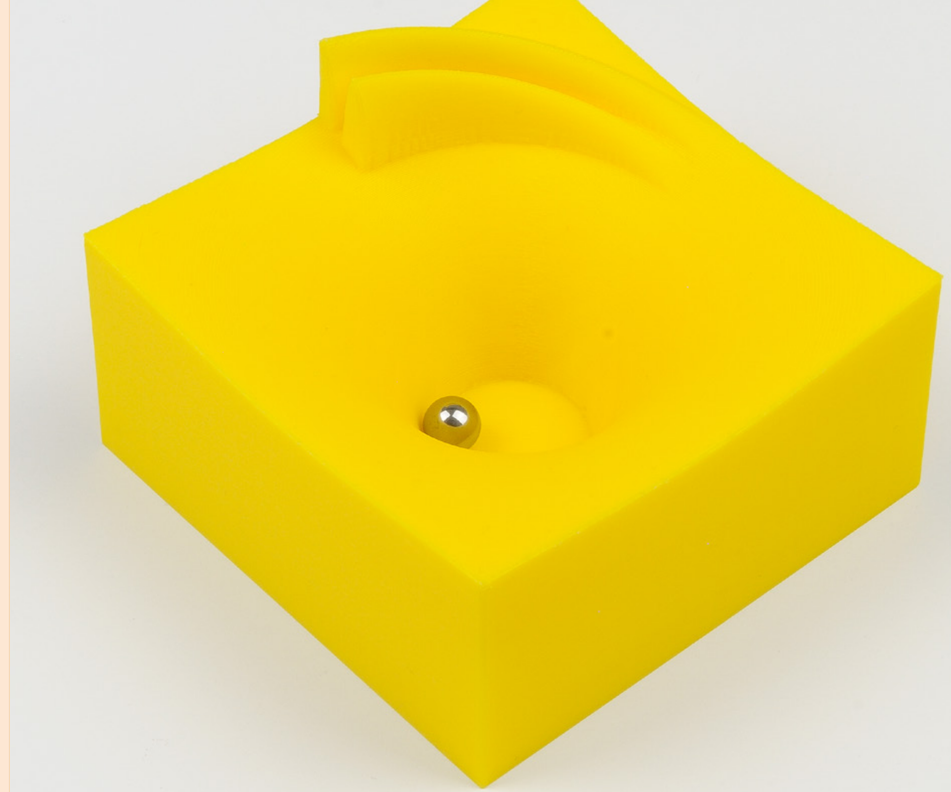
Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **167 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

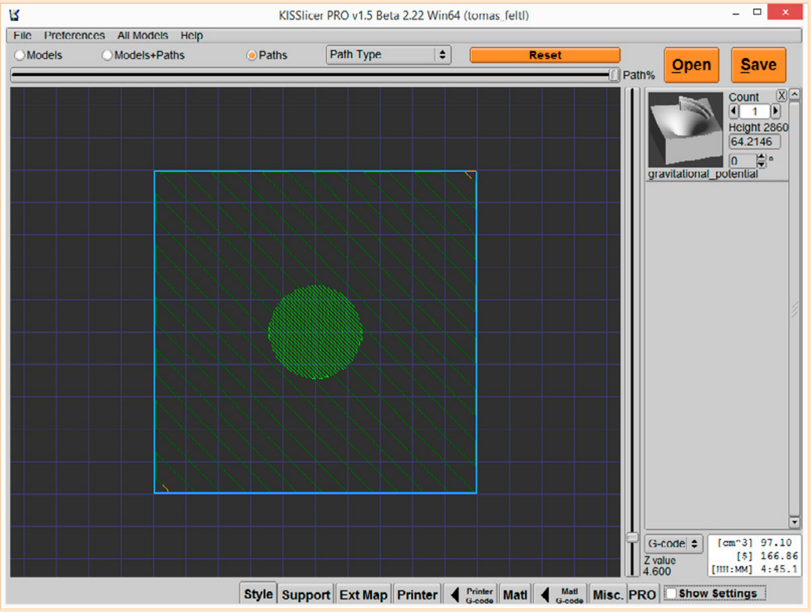


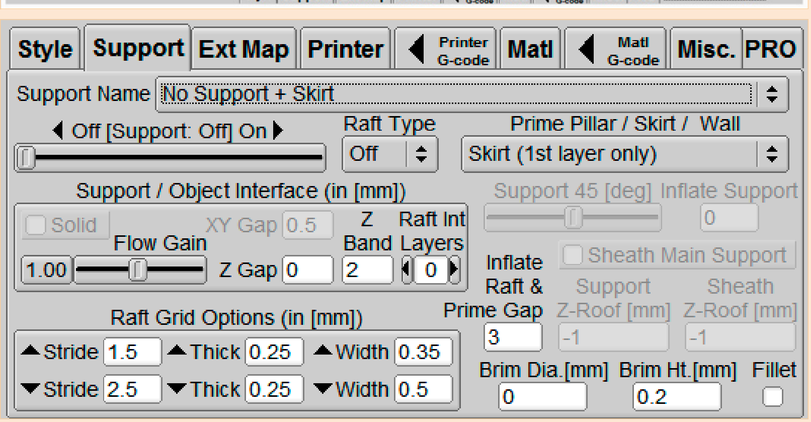
Obr. 1a

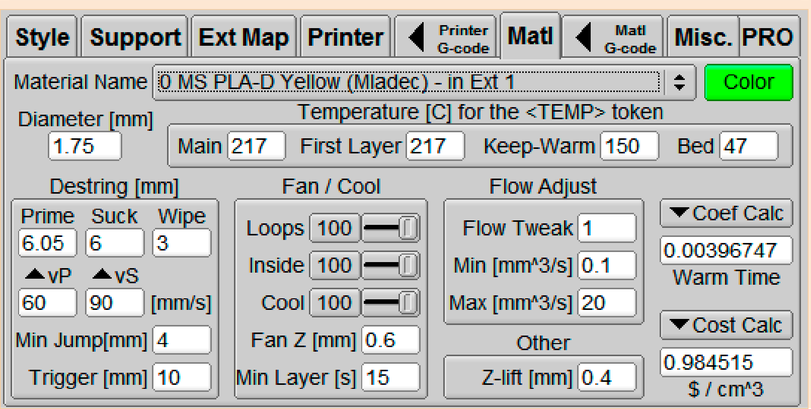
Obr. 1b

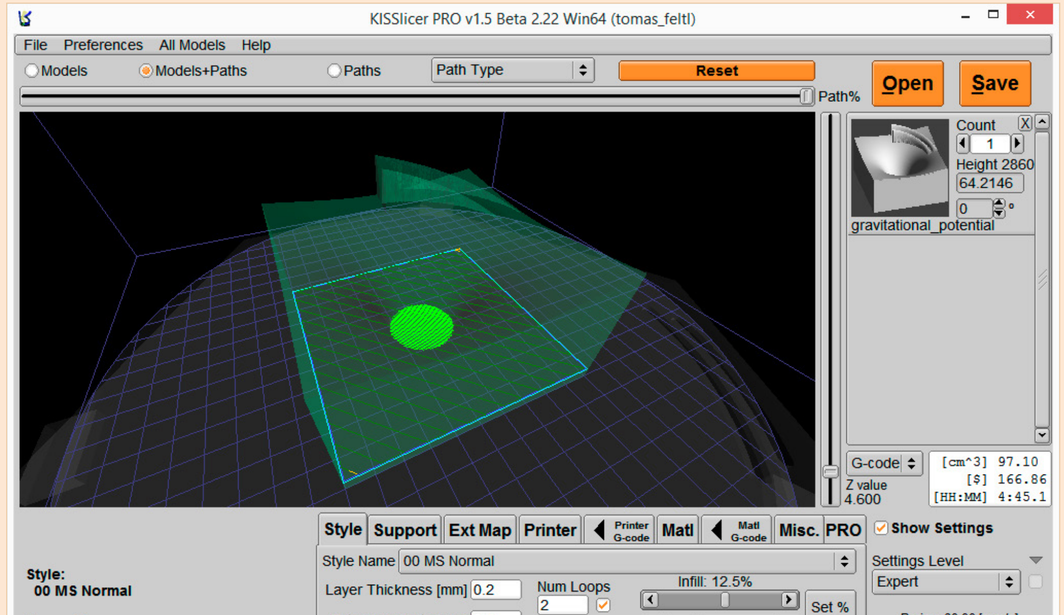
Obr. 1c



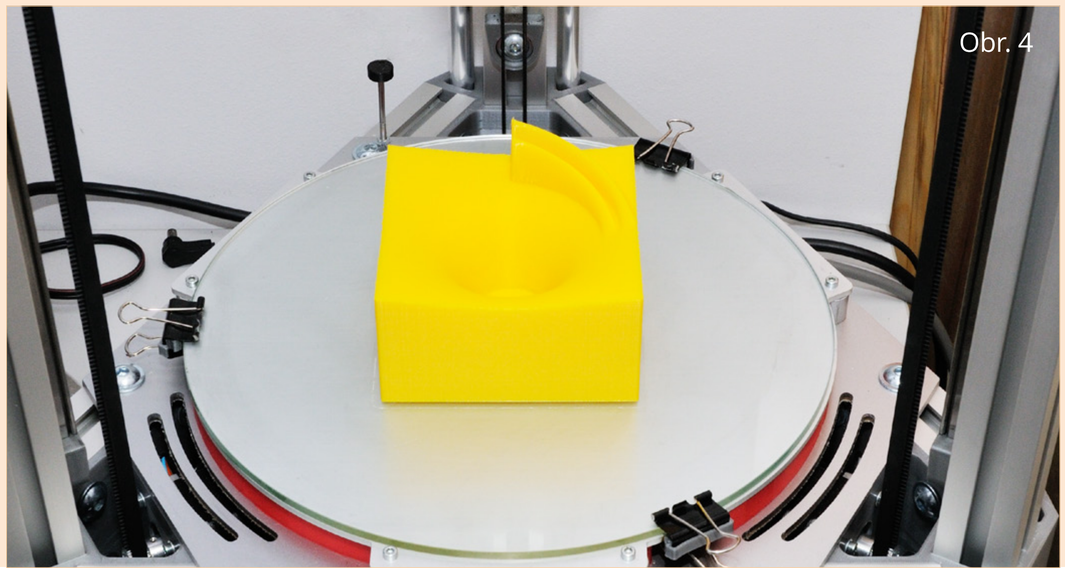




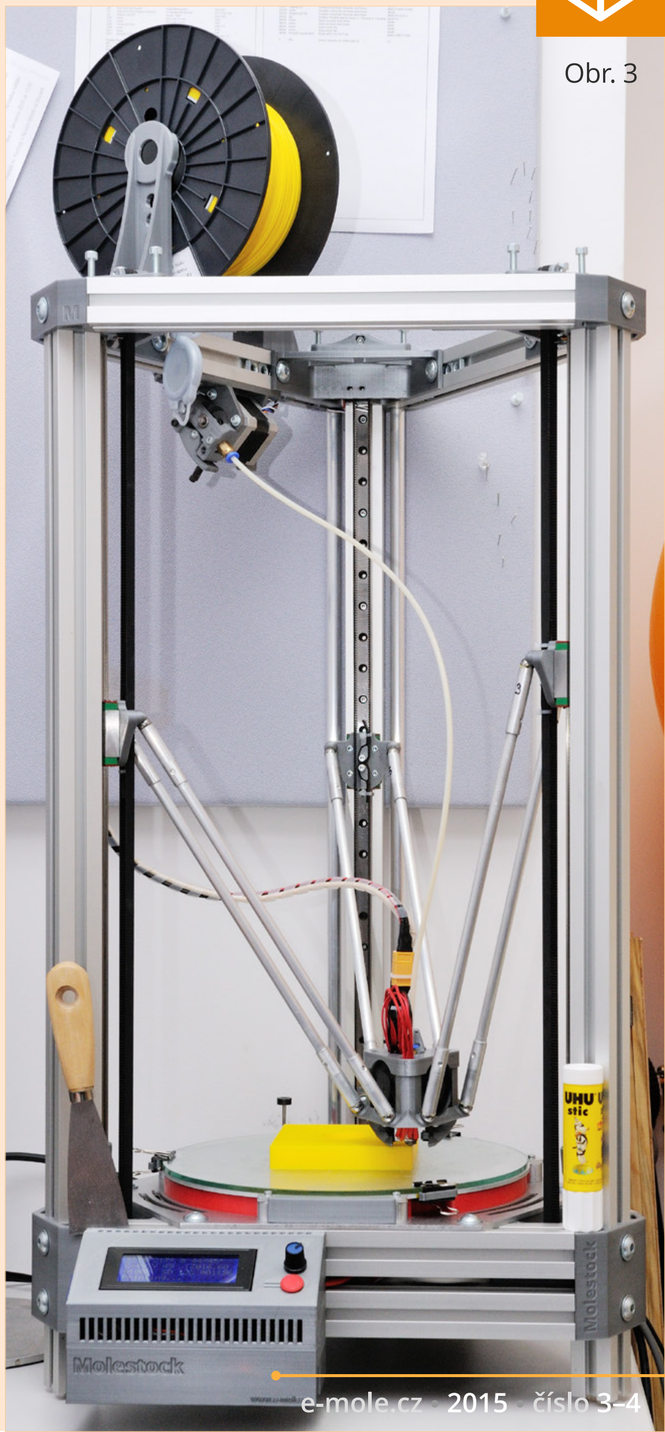




Obr. 2a ◤, 2b ▲, 2c ◀, 2d ◣: Screenshoty programu KISSlicer



Obr. 4



Obr. 3

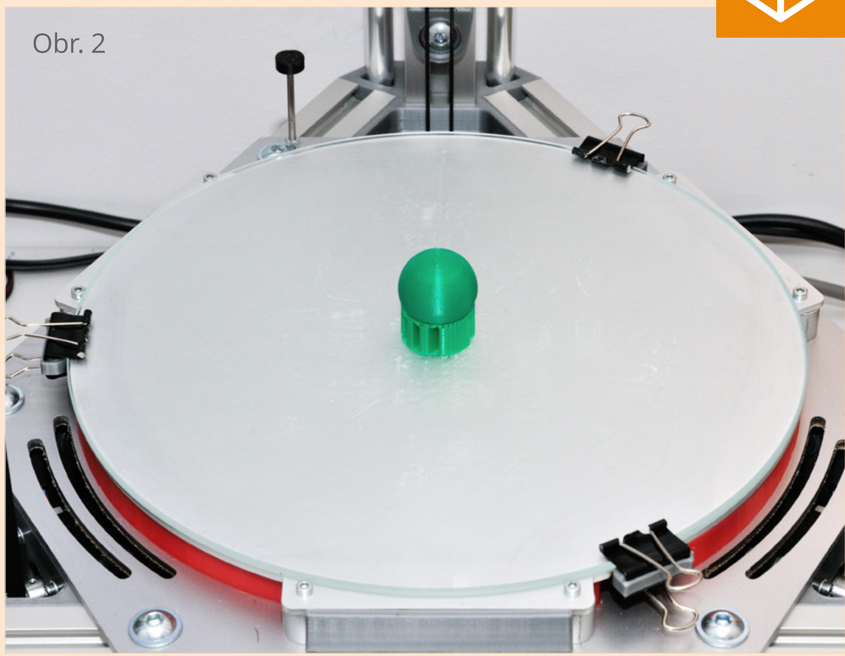
Obracecí káča

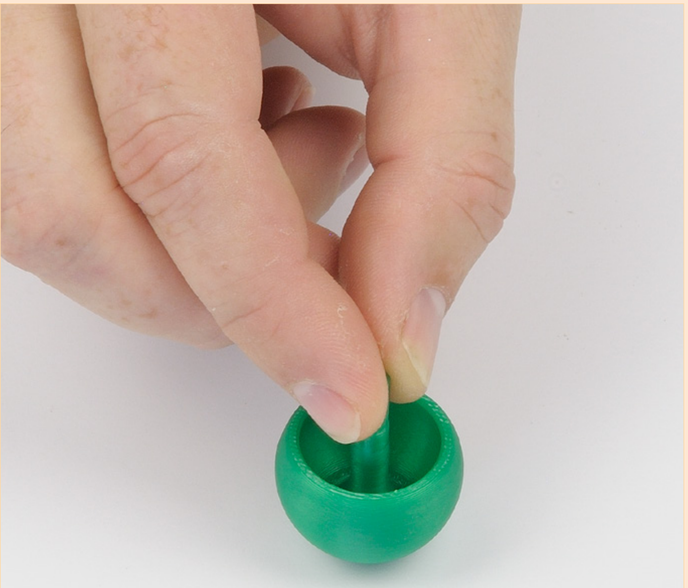
Model spadá do kategorie jednoduchých fyzikálních hraček a umožňuje demonstrovat některé zajímavé vlastnosti rotujících těles. Rotace na vrcholku zakulacené hlavičky není stabilní a při malém vychýlení způsobeném nerovnostmi podložky nebo počátečním roztočením mírně nakřivo se káča postupně převrátí na nožičku v důsledku tření hlavičky s podložkou a díky nesymetrickému tvaru káči vzhledem k bodu dotyku s podložkou. Rotace na nožičce okolo osy symetrie procházející těžištěm je již stabilní a trvá, dokud se rotace nezpomalí třením nožičky o podložku. Roztočení káči je potřeba vyzkoušet na vhodné velké podložce, například na podlaze.

Při diskuzi o chování obracecí káči lze například poukázat na skutečnost, že z podobných důvodů nevyvážené kolo automobilu takzvaně „hází“, což má nepříznivý vliv na kvalitu jízdy a způsobuje nadměrné namáhání závěsů kola.

Takzvané „obracecí káči“ stejného tvaru je možné zakoupit v některých hračkářstvích (nejčastěji dřevěné), pokud se spokojíme s plastovým materiálem, můžeme si snadno vytisknout větší množství těchto výrobků (pro samostatné žákovské experimentování) s několikanásobně nižšími náklady.

Obr. 2



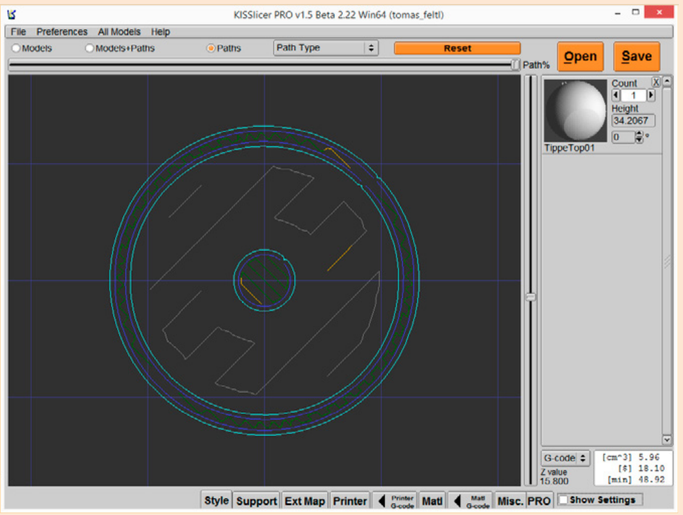


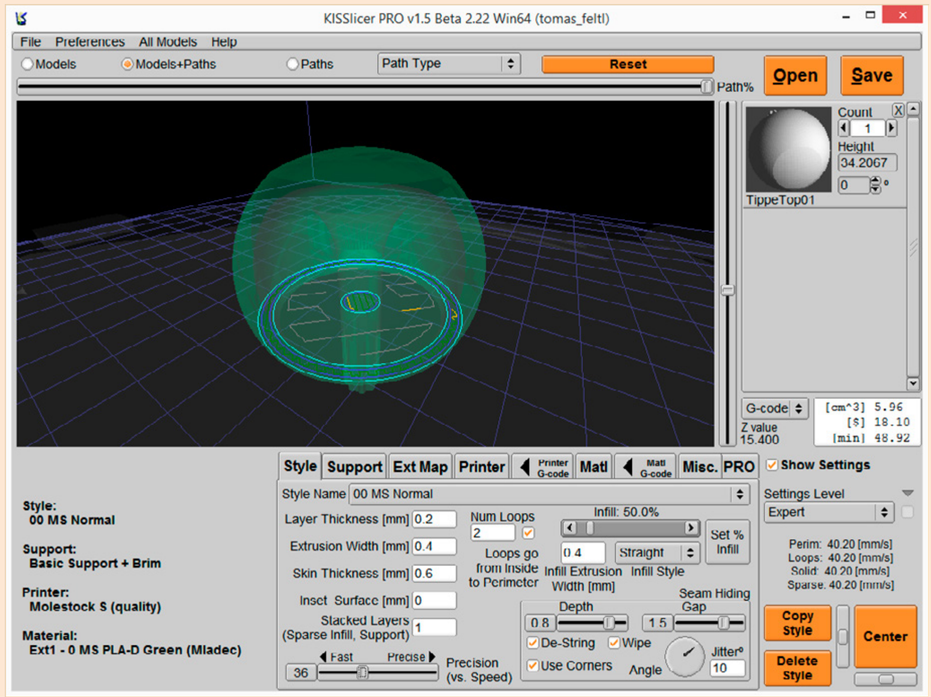
Obr. 1a

Obr. 1b

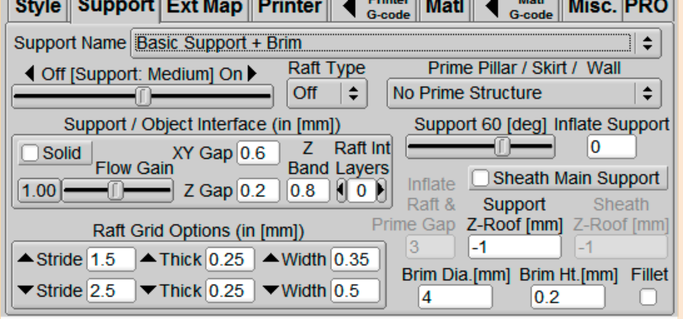
Obr. 3

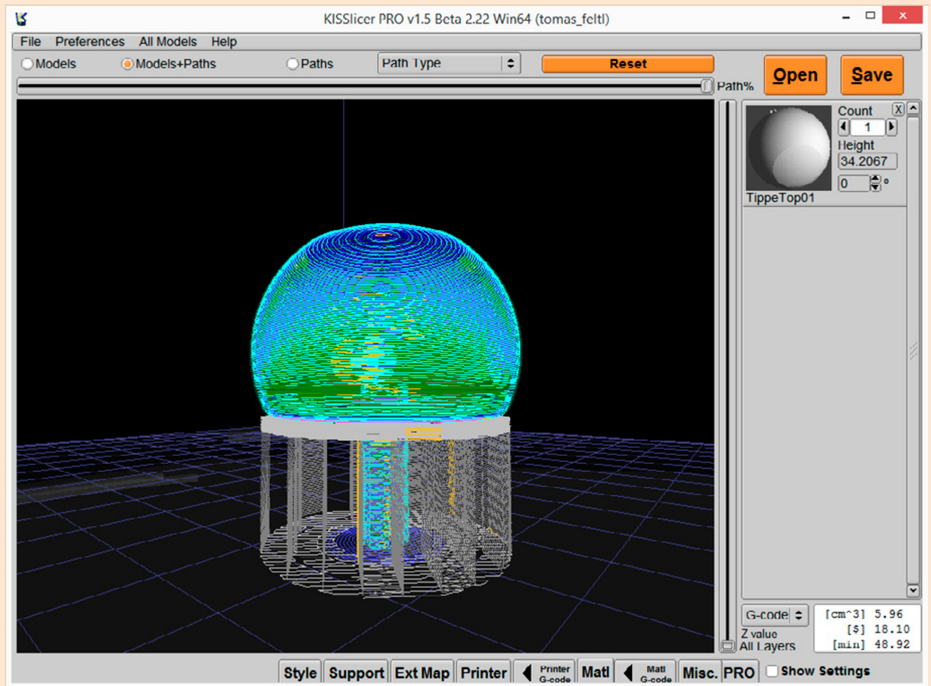
3D tisk a levné výukové pomůcky pro fyziku: Obracecí káča

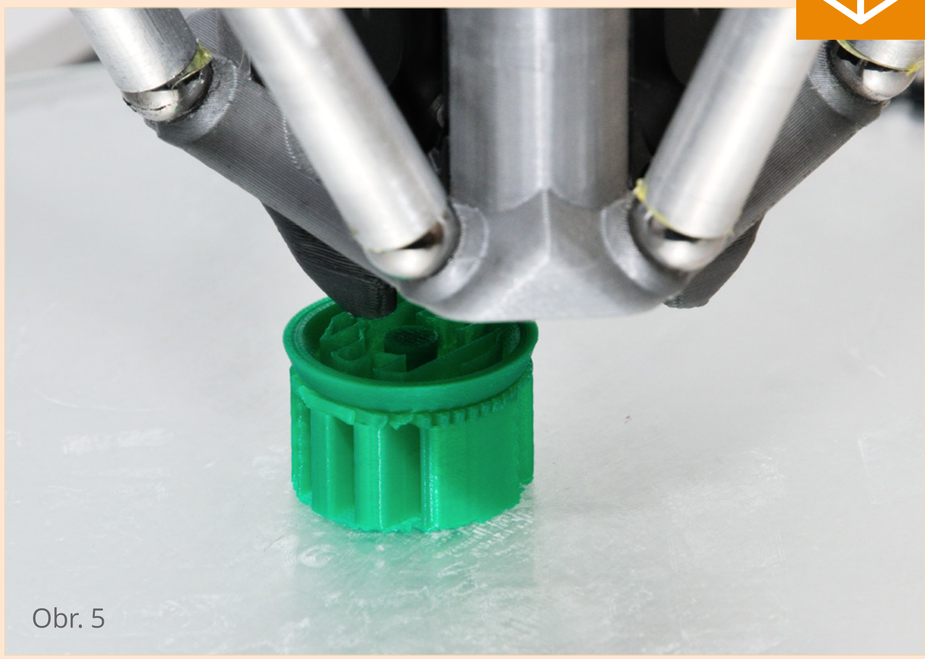




Obr. 4a ▲, 4b ◢,4c ▶, 4d ▼, 4e ⯆: Screenshoty programu KISSlicer







Obr. 5

Jak jsme káču vyráběli

www.thingiverse.com/thing:940906

Pro otestování jsme zvolili zelené **PLA**. Vnitřní prostory jsme vyplnili z 50 % (infill). Model jsme tisknuli otočený stopkou dolů. Vzhledem k převislým částem bylo nutné použít podpory (support). Pro lepší kontakt stopky s podložkou jsme použili 4mm „brim“. Tisk proběhl bez problémů.

Odhadovaná doba tisku kompletu byla 48 min, **reálná doba tisku 34 min**. Kompletace modelu vyžadovala vylámání podpor.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **18 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

U nás si vyberete

PLASTY MLADEČ
Zemědělské družstvo Haňovice

Nabízíme širokou škálu barev:

ABS – bílá, žlutá, oranžová, červená, modrá, zelená, stříbrná, černá**,**
ABS –T – transparent, zelenožlutá, růžová, hnědá, transparentní modrá, transparentní červená, transparentní s flitry, modrá s flitry, perlová bílá s flitry, zlatá, měděná, černá,
PLA-D – transparent, bílá, žlutá, oranžová, červená, modrá, růžová, hnědá, signální zelená, zelená, stříbrná, černá, perlová bílá s flitry, zlatá, měděná
PVA – natur,
PET – transparent,
PP – natur.

www.plastymladec.cz

Mýdlová raketka

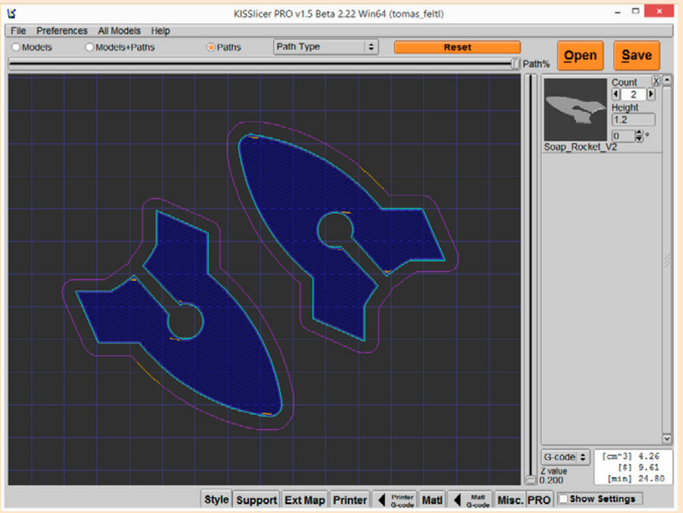
Model představuje velmi jednoduchou pomůcku pro efektní předvedení vlastností povrchového napětí kapalin.

Raketku opatrně položíme na klidnou hladinu čisté vody ve větší nádobě. Do otvoru ve středu raketky následně kápneme kapku saponátu nabranou na konec špejle (pokus funguje nejlépe s Jarem). Raketka vystřelí dopředu, protože povrchové napětí roztoku vody se saponátem, který se vytvoří za raketkou, je menší než povrchové napětí samotné vody po stranách a před raketkou. Povrchová síla vody působící na špici raketky je tak větší než povrchová síla saponátového roztoku působící na zadní část, takže výsledná síla uvede raketku do pohybu směrem dopředu. Pro opakování pokusu je potřeba raketku osušit a do nádoby nalít novou čistou vodu, protože i malé množství saponátu rychle pokryje celý povrch kapaliny a znemožní fungování popsaného jevu.

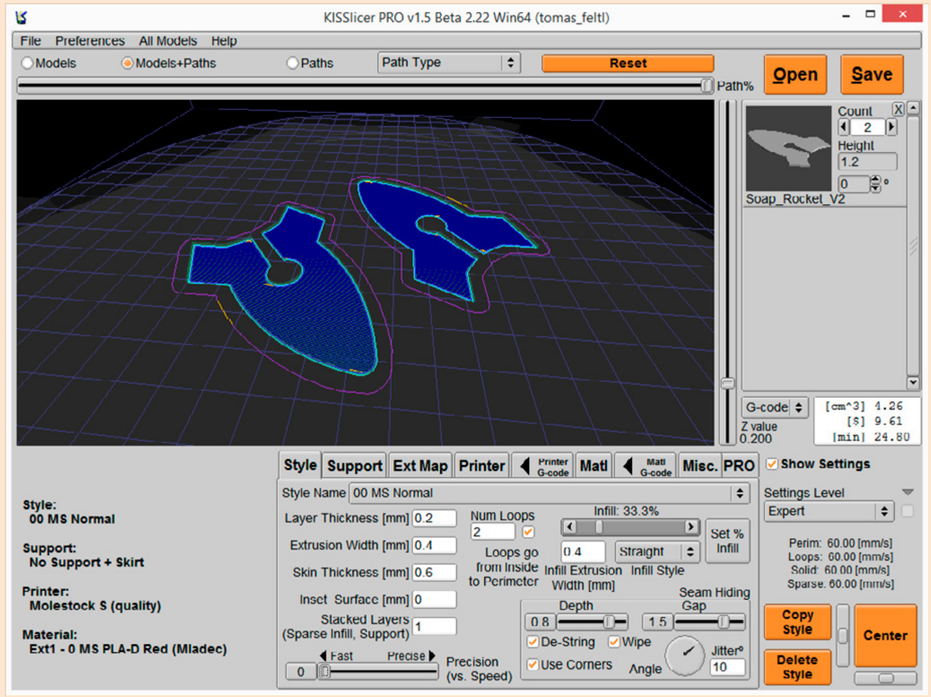
Stejný pokus bývá v literatuře popsán s použitím raketky (lodičky) vystřižené například z papírového kartónu. Plastová vytištěná raketka je oproti tomu mnohem trvanlivější a díky velmi nízkým nákladům na výrobu můžeme snadno vytisknout celou sadu raketek pro samostatné experimentování jednotlivých žáků současně.

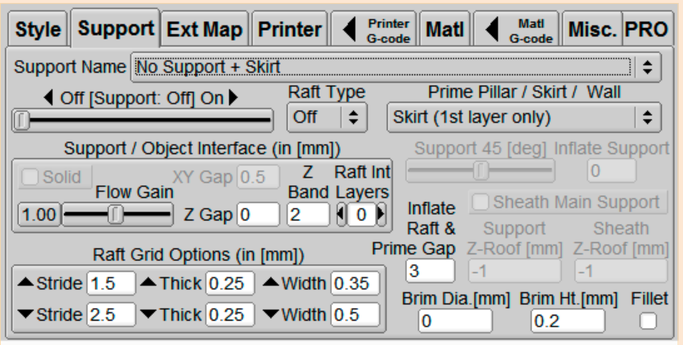
V souvislosti s pokusem je vhodné ukázat, že raketka díky povrchovému napětí vody také drží na hladině (při ponoření pod hladinu padá ke dnu, protože má při stoprocentní výplni větší hustotu než voda). Menší povrchové napětí saponátu proto můžeme ukázat také tak, že na povrch vody s položenou raketkou postupně přilévá-me Jar, až se raketka potopí a nelze ji na hladinu znovu položit.

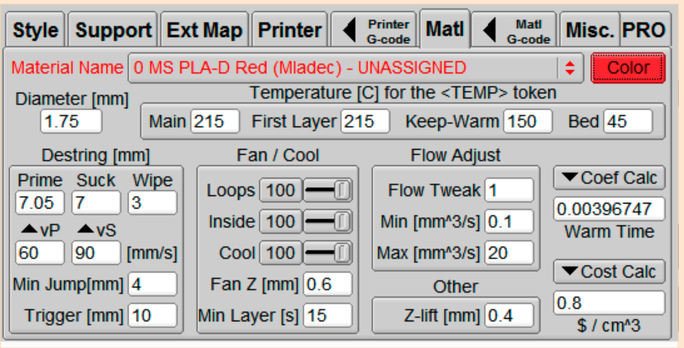
Obr. 1

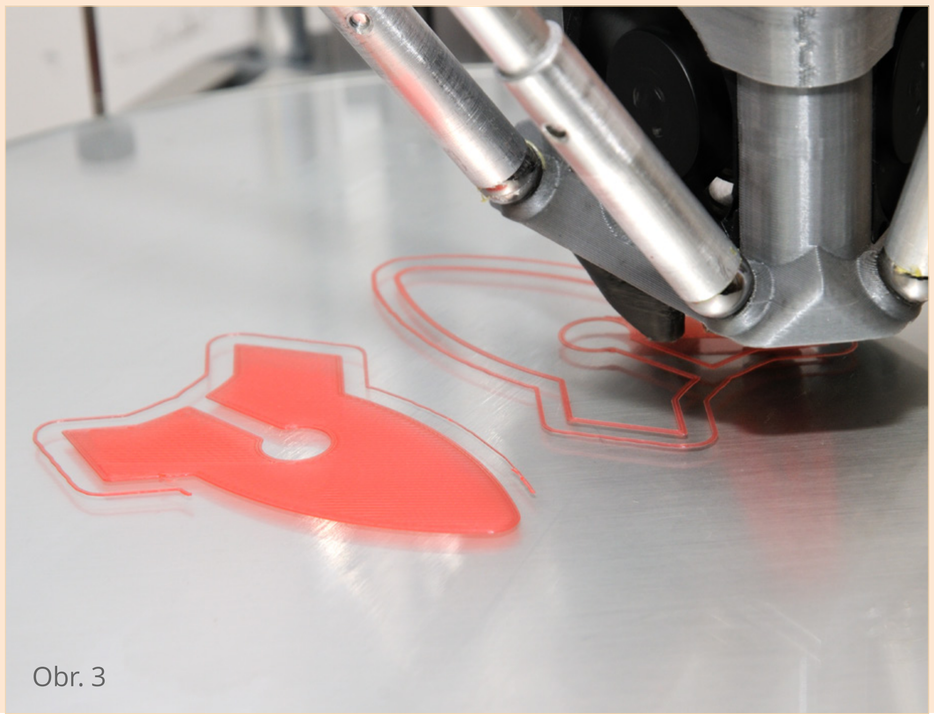


Obr. 2a ▲, 2b ▶, 2c ▼, 2d ▼▼:
Screenshoty programu KISSlicer



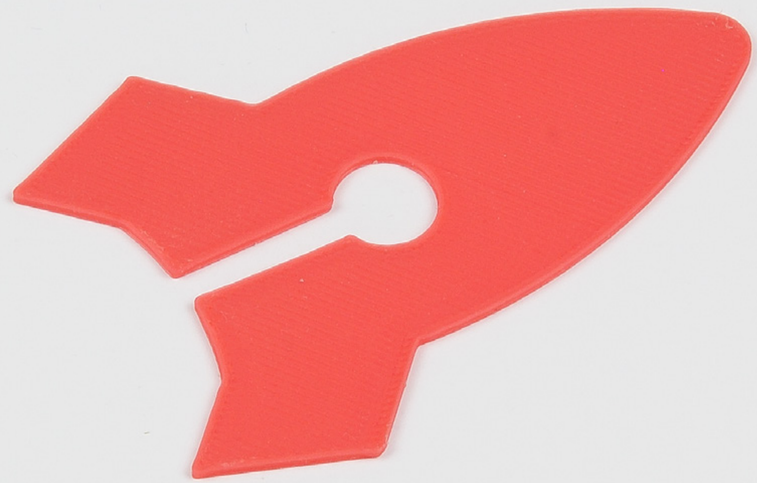






Obr. 3

Obr. 4



Jak jsme raketky vyráběli

www.thingiverse.com/thing:23112

Raketka je z pohledu tisku naším nejjednodušším testovaným modelem. Pro tisk jsme zvolili červené **PLA**. Vzhledem k tomu, že je raketka tenká, nastavení vyplně (infill) se při tisku neuplatnnilo. Tisk proběhl bez problémů. Odhadovaná doba tisku dvou raketek byla 24 min, **reálná doba tisku 21 min**.

Odhadované náklady na jednu raketku jsou **5 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Molekulová stavebnice

Struktura chemických látek a její pochopení je jedním z nejdůležitějších aspektů výuky chemie na všech stupních vzdělávání. Struktura souvisí s vlastnostmi látek a ze struktury lze vyčíst mnohé – od reaktivity ke spektrům, odhadnout body varu atd. Strukturu látek velmi dobře zobrazují různorodé modely, sestavené mj. z různých modelových stavebnic. Ve školních lavicích jsou asi nejběžnější modely tyčinkové a kuličkové.

S nástupem 3D tisku, bylo zřejmé, že se dříve či později objeví i modelové stavebnice chemických struktur. Dnes bychom rádi představili jednu z nich, stavebnici vhodnou spíše pro ZŠ. Od klasických tyčinkových a kuličkových modelů se poněkud liší a spíše než na tvar molekul a vazebné úhly se zaměřuje na vazebné možnosti vybraných prvků, elektronovou strukturu prvků (slupky), principy tvorby chemické vazby a částečně také na typickou geometrii molekul a dále na pojmy jako vaznost, elektronový pár nebo elektronový oktet.

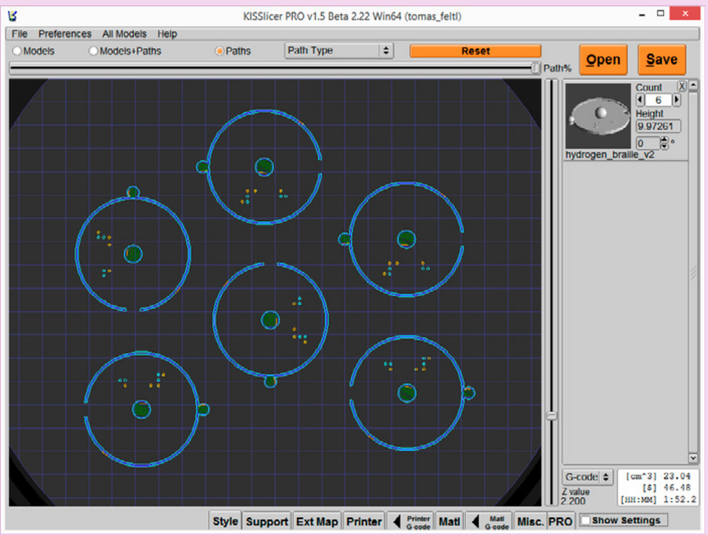
Stavebnice obsahuje pouze ty nejzákladnější prvky – uhlík, vodík, dusík a kyslík. Ty lze vytisknout barevně, tedy kyslík červeně, dusík modře, vodík bíle a uhlík černě. Stavebnici (a vytvořeným modelům) lze mnohé vytknout. Postavíte z ní pouze základní jednoduché molekuly. Stavebnice také neznázorňuje podstatu vazby jako sdílení elektronového páru a zejména v tomto aspektu mohou vznikat u žáků miskoncepce v chápání podstaty chemické vazby. Vytvořené struktury také jen zřídka reprezentují skutečnou prostorovou strukturu molekuly. Na druhé straně, až na drobnosti, se stavebnice drží konceptu používaného v učebnicích ZŠ a v nich prezentovaným obrázkům.

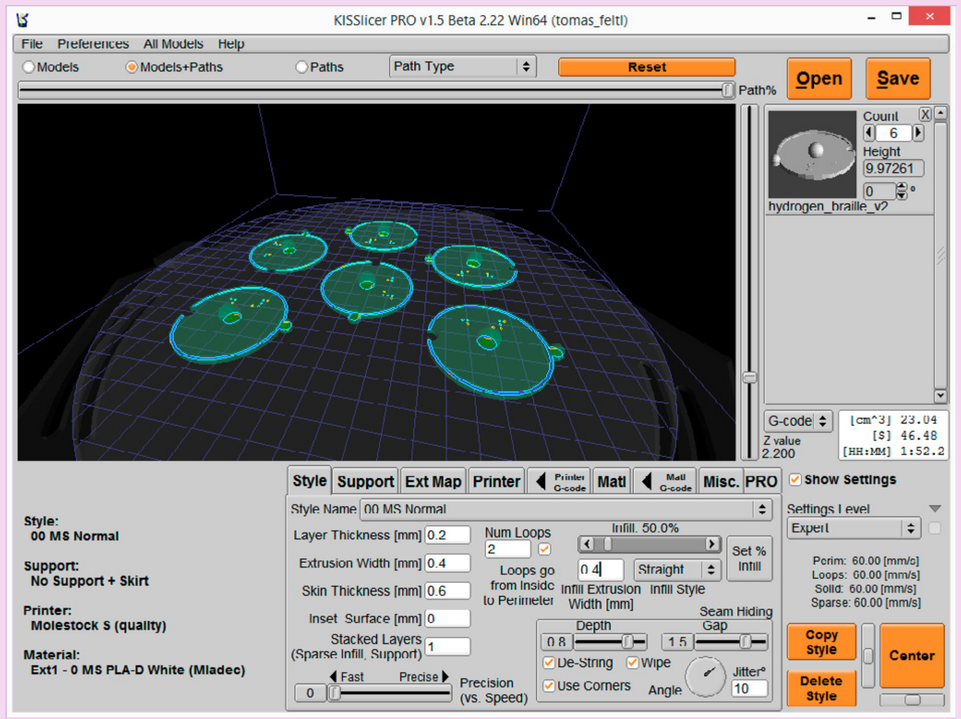
Stavebnice má ale i jedno významné plus. Je totiž navržena s ohledem na zrakově postižené. Každý atom nese označení v braillově písmu a je na něm možné spočítat jak elektrony ve valenční (vazebné) vrstvě, tak částice v jádře. I spojování atomů je z tohoto pohledu řešeno velice dobře. Tvar jednoduchých sestavených molekul odpovídá často běžnému zápisu vzorců, což může být při výuce výhodné.

Mechanicky je stavebnice navržena velmi dobře, jednotlivé části u sebe drží a dobře se s nimi manipuluje. V rukách dobrého učitele, který vhodným způsobem a ve správné chvíli upozorní na nepřesnosti, které stavebnice má, může být dobrým pomocníkem a vhodným motivačním prvkem k pochopení struktury velmi jednoduchých sloučenin a některých principů tvorby chemické vazby – a to vše zábavnou a zajímavou formou. Za vyzkoušení každopádně stojí, zejména s ohledem na cenu a jednoduchost tisku.

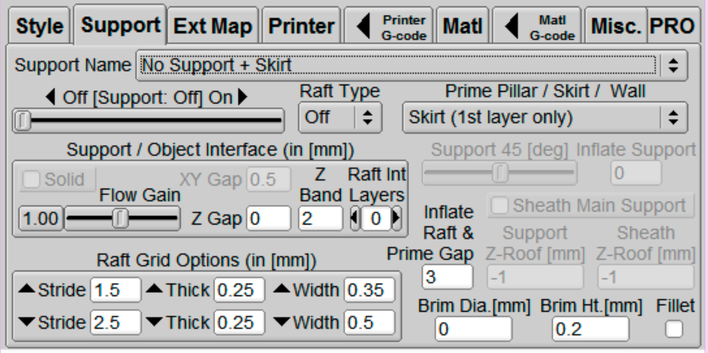
Obr. 1

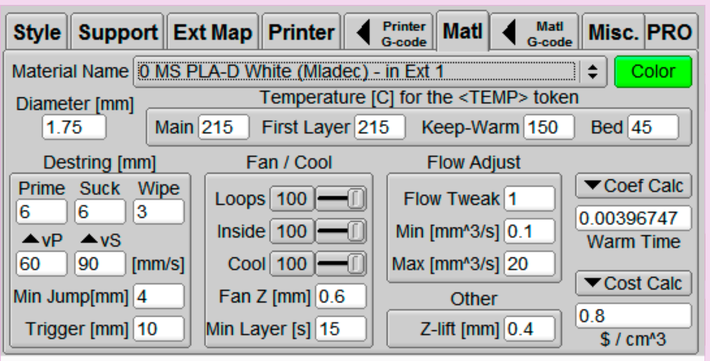
Obr. 2

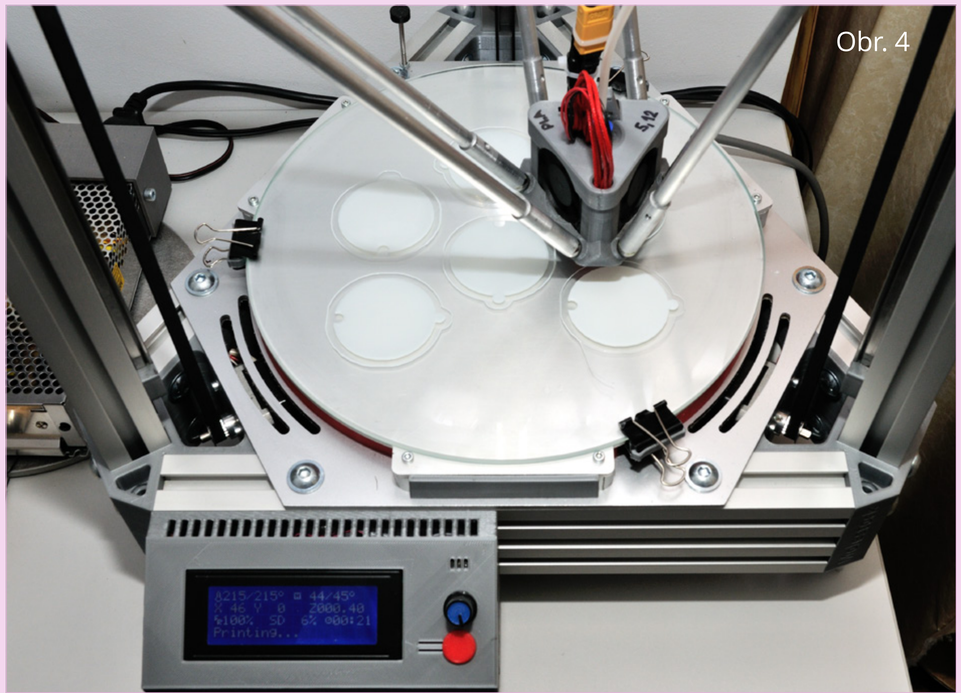




Obr. 3a ▲, 3b ▶, 3c ▼, 3d ⏬:
Screenshoty programu KISSlicer







Jak jsme stavebnici vyráběli

www.thingiverse.com/thing:148855

Pro tisk jsme použili opět **PLA**. Výběr barvy odpovídá barevnému kódu používanému pro kyslík (červená), uhlík (černá), vodík (bílá), dusík (modrá). Jako základní sadu je vhodné si vytisknout alespoň 6 vodíků, 2 dusíky, 2 uhlíky, 2 kyslíky. Pokud si chcete ponechat sestavených více jednoduchých molekul, bude se vám hodit dvojnásobný počet.

Tisk plochých modelů je bezproblémový (dá se tisknout zcela bez podpor) a relativně rychlý. Aby byl výtisk dostatečně pevný zvolili jsme hustší výplň (infill 50 %). Odhadovaná doba tisku **sady šesti vodíků** byla 1 h 52 min, **reálná doba tisku 1 h 34 min**. **Celková doba tisku celé sady 12 atomů byla něco málo přes pět hodin**.

Kompletace stavebnice si vyžádala jemné dočištění propojovacích otvorů tak, aby se atomy lehce propojovaly a přitom u sebe dobře držely. Použili jsme k tomu jehlový kulatý pilník odpovídajícího průměru. **Pozor!** Pokud to přeženete, nebudou atomy držet pohromadě.

Odhadované náklady na kompletní sadu jsou **150 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Pokud chcete výrobu stavebnice urychlit, můžete všechny atomy zmenšit třeba na 75 % původní velikosti. Pro ještě větší zmenšení by již bylo nutné zvětšit spojovací body (elektrony).

Odměrky („lžičky“) na chemikálie místo vah

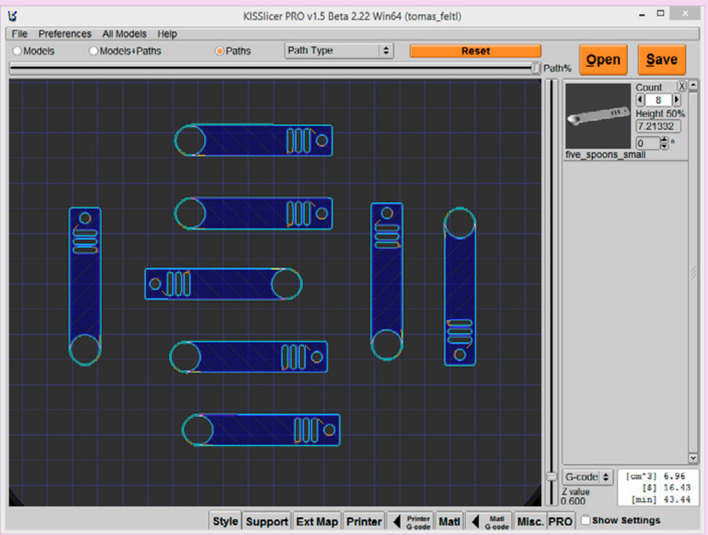
Odměřování a dávkování čehokoliv patří mezi hlavní činnosti, které chemik v laboratoři provádí. Zvláště důležité je vážení, o tom asi nelze pochybovat. Je dobře známo, že plná (ne vrchovatá) čajová lžička odpovídá zhruba 2 g krystalické látky, polévková lžíce pak asi 8–10 g. Přirozeně, záleží na látce, kterou odměřujeme – jak velké má krystaly, či jde-li o prášek, záleží na její hustotě apod. V případě použití lžiček se nabraný a dávkovaný objem může lišit i o 100 %. Nicméně pokud nám nejde o přesnost a reprodukovatelnost, ale spíše o rychlost, může být i takováto nepřesnost akceptovatelná.

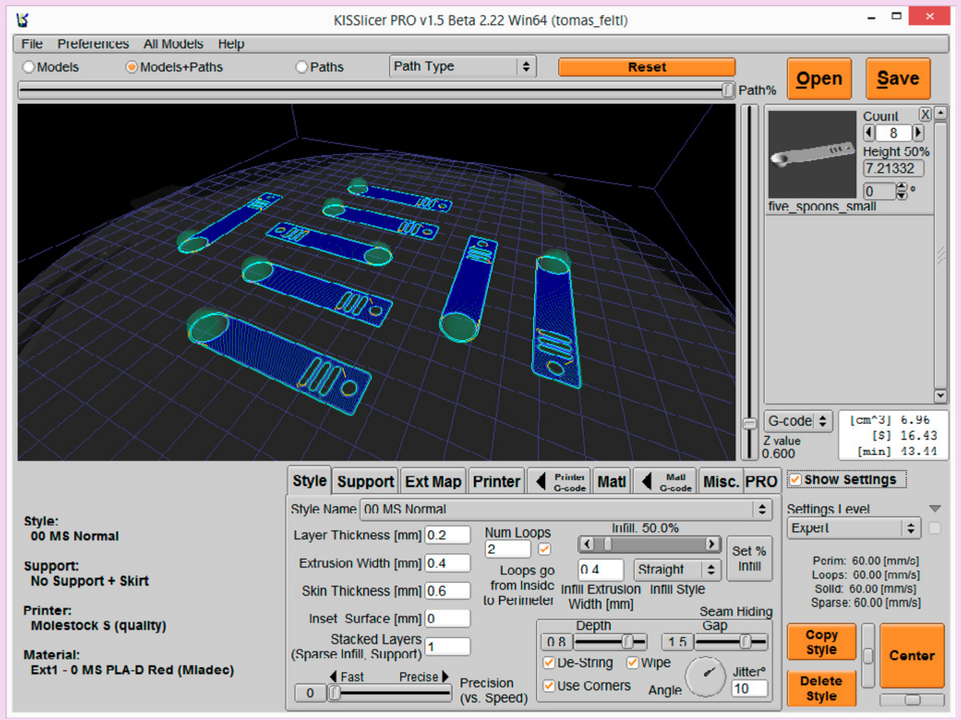
Vylepšit odhad dávkovaného množství a hlavně rozšířit spektrum dávkovaných množství lze tak, že si na 3D tiskárně vytiskneme odměrky k tomuto účelu přímo určené. Na stránce **Thingiverse** lze modely k takové sadě lžiček nalézt. Jedná se o pět modelů různých velikostí, s nimiž lze relativně přesně nabírat zhruba od 0,5 do 5 g krystalických látek a prášků. Změnou velikosti modelu si lze přizpůsobit i odměrku (či chcete-li lžičku) a její velikost i pro jiné hmotnosti, jak je potřeba. Tisk uvedeného modelu není nijak problematický, všechny odměrky lze tisknout i najednou (pokud je nechceme odlišit barevně), manipulace a práce s nimi je jednoduchá. Konstrukce je stabilní, odměrky se nijak nepřevrací a rozumně naplněná (přesně po okraj) se nevysypává.

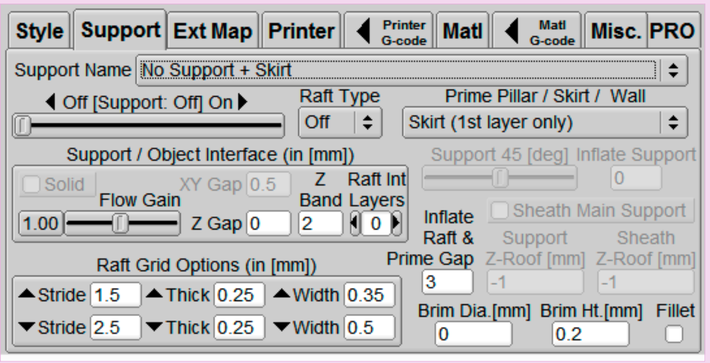
Nabrané množství je samozřejmě oproti vahám nepříliš reprodukovatelné. Na druhou stranu je ale reprodukovatelnější oproti zmiňované čajové lžičce. Odměrky lze doporučit zejména na ZŠ, tam, kde chybí váhy, ale i na jiné typy škol, všude tam, kde je třeba rychle nabrat a přidat dané množství látky, ale vážení je zbytečně přesné a zdlouhavé. Ideální je pak např. pro badatelské experimenty na prvním stupni ZŠ. Za všech okolností, jde o chytrou a praktickou věc, která nám život v laboratoři usnadní, takže kdo máte tiskárnu, běžte tisknout. A kdo ne, najděte někoho, kdo ji má…

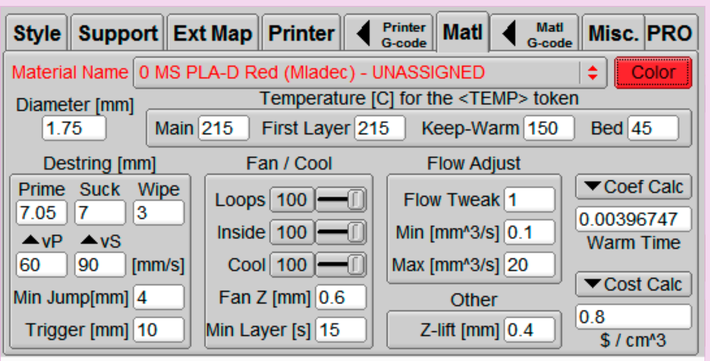
Obr. 1

Obr. 2









Obr. 3a ▲, 3b ▶, 3c ▼, 3d ⏬:
Screenshoty programu KISSlicer

Jak jsme odměrky vyráběli

www.thingiverse.com/thing:359335

Pro tisk jsme použili **PLA** různých barev (červená, zelená, oranžová, modrá). Vytisknuli jsme si několik barevně rozlišených sad lžiček (8 ks od každé velikosti). Protože jsou odměřovací lžičky navržené opět s ohledem na zrakově postižené, je zde i haptický „kód“ v podobě různého počtu otvorů v uchopovací části. Po pár testech jsme přistoupili ke zmenšení lžiček na 50 % původní velikosti. Umožní nám to efektivněji pracovat s menším množstvím látek a tím i ušetřit. Přibližná dosažená hmotnost je po zmenšení: 0,2 g; 0,5 g; 1,5 g a 3 g.

Lžičky jsou dobře tisknutelné bez podpor. Pokud ale chcete dokonalé zaklenutí vnitřní části, raději si podpory ve sliceru zapněte. Aby byl výtisk dostatečně pevný, zvolili jsme hustší výplň (infill 50 %).

Odhadovaná doba tisku **jedné sady osmi lžiček** se pohybovala kolem 40 min, **reálná doba tisku byla kolem 30 min**.

Odhadované náklady na sadu 8 lžiček jsou **15–25 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Stojánek na zkumavky

Stojánek na zkumavky je klasickým pomocníkem každého učitele chemie, který ještě nezanevřel na praktické vyučování a rád dělá se žáky pokusy. Slouží k odkládání (či uchovávání) zkumavek, v nichž provádíme různé experimenty ☺.

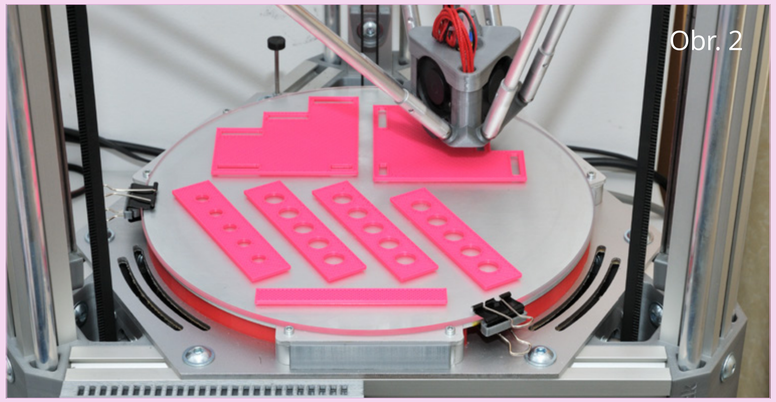
Stojánky na zkumavky se vyrábí v různých variantách a z různých materiálů. Ceny komerčně dostupných stojánků se značně liší. Ty „běžné“ lze sehnat v ceně zhruba 100 až 150 Kč (hliníkové, plastové), často i cca za 500 Kč. Výjimečně se lze dostat i na ceny pod 100 Kč, ale často za cenu jistých ústupků v materiálu, počtu pozic apod. Pokud si stojánek vytiskneme sami, cena bude nižší, nicméně, možná ne tak dramaticky, aby stálo za to věnovat tisku čas. Hlavní výhodou tištěného stojánku je, že ho můžeme jednoduše upravit tak, aby vyhovoval našim specifickým potřebám – například změnit velikost či počet otvorů na zkumavky (viz obr. 1).

Představovaný model je variantou „třípatrového“ stupňovitého stojánku. Celkem do něj lze vložit 15 malých zkumavek o objemu 1,5 ml ve třech řadách po 5 zkumavkách. Model se skládá ze 7 dílů – 2 postranic, 3 obdélníků s otvory na zkumavky, 1 základny (pro 1. řadu zkumavek) a 1 spojovacího dílu, aby u sebe obě postranice lépe držely. V postranicích jsou zářezy, do nichž lze díly s otvoru a spojovací díl vložit a přilepit, aby byl stojánek co nejstabilnější.

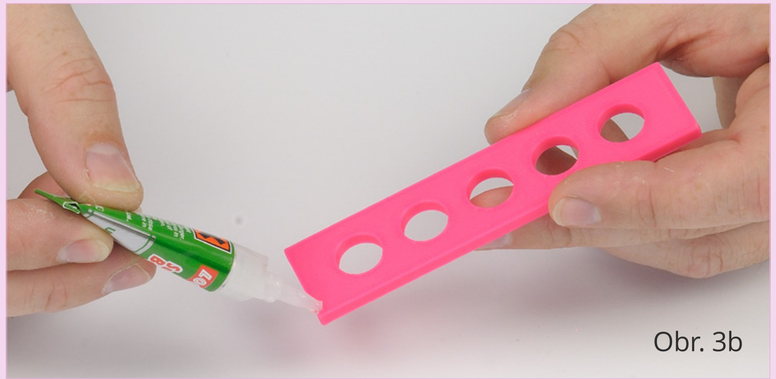
Takto vyrobený stojánek svou úlohu plní dobře, jeho hmotnost je optimální a stabilita dostatečná. Ve srovnání s komerčně dostupnými stojánky mu nic nechybí.

Vzhledem k tomu, že stojánek bude nepochybně často polit různými chemikáliemi či vodou, doporučujeme k tisku použít spíše ABS místo běžnějšího PLA, nicméně, i stojánek z PLA bude při trochu „něžnějším“ zacházení schopen plnit svou úlohu několik let.

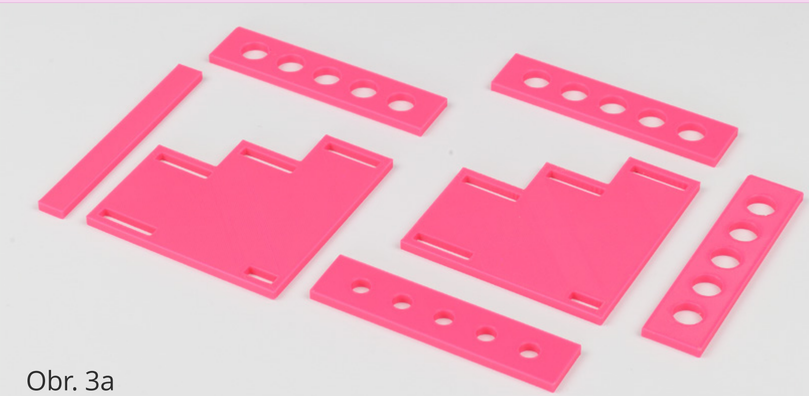
Obr. 1: Původní (růžový) a upravený (bílý) stojánek



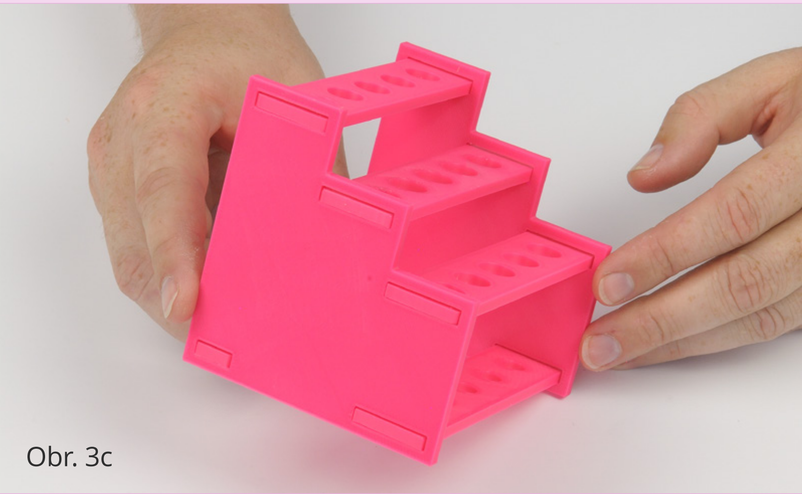
Obr. 2



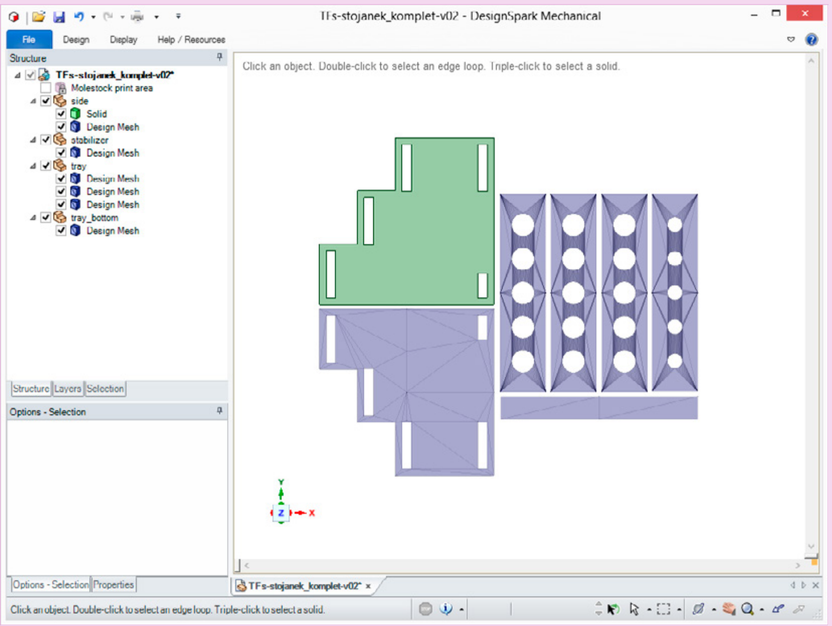
Obr. 3b

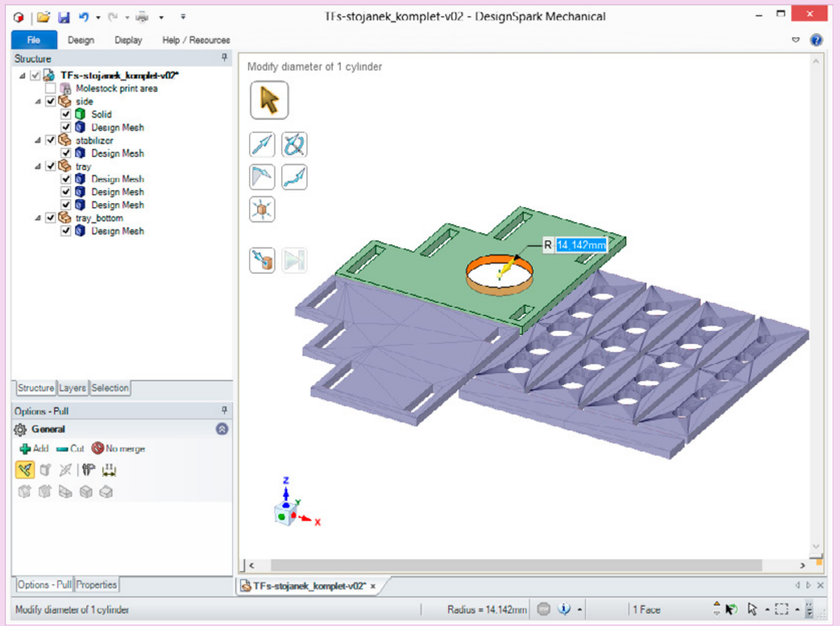


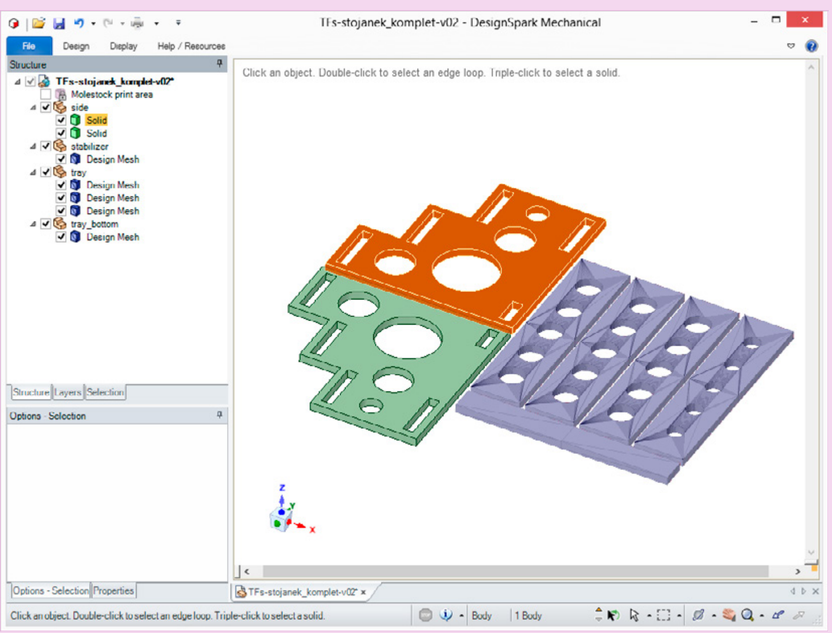
Obr. 3a

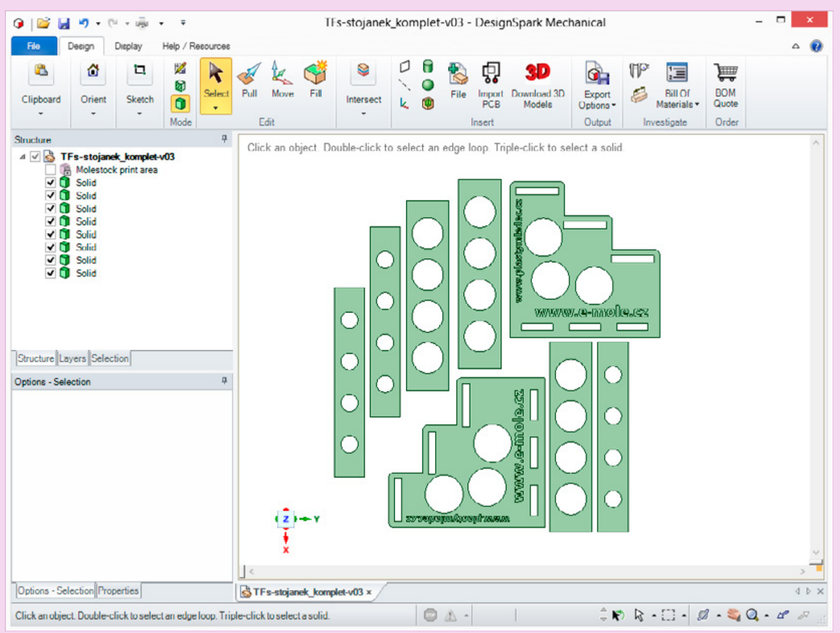


Obr. 3c









Obr. 4a ▲, 4b ◪, 4c ▲, 4d ◥: **Postupná úprava stojánku na zkumavky v programu DesignSpark Mechanical**

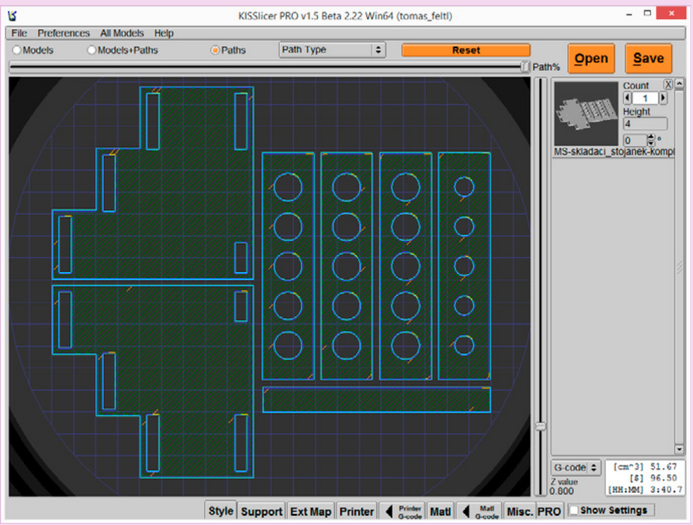
Jak jsme stojánek vyráběli

www.thingiverse.com/thing:780443

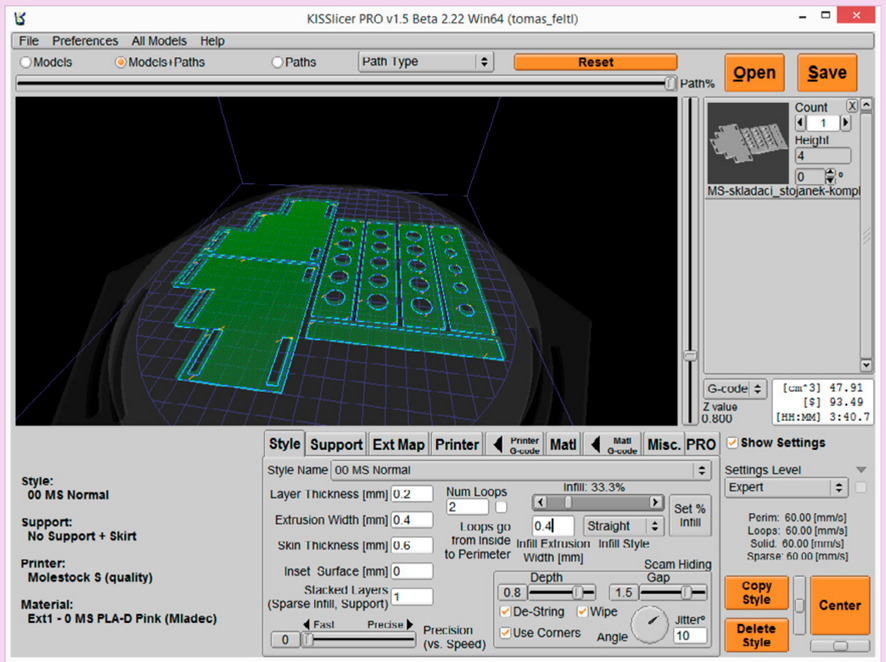
Pro první otestování jsme ponechali stojánek v původní velikosti a beze změn otvorů. Následně jsme udělali pár úprav (naznačeno na obr. 4a až 4d) – otvory pro zkumavky jsme zvětšili tak, aby se do nich vešly zkumavky o průměru 18 mm a několika otvory jsme ještě odlehčili bočnice. Stojánek tak bude nouzově použitelný i překlopený na bok, třeba na odstavení velkých demonstračních zkumavek (viz obr. 6a). Upravený stojánek si můžete stáhnout **z webu časopisu e-Mole v sekci 3D modely**.

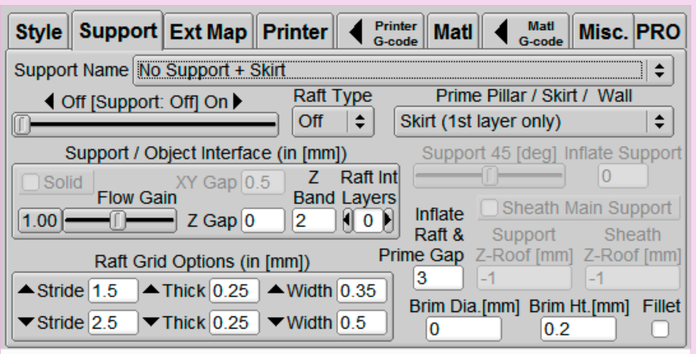
Pro tisk jsme použili **ABS** a **PLA**. Neupravený stojánek jsme vytiskli růžovou a upravený bílou barvou. Co je pro naše účely vhodnější? Pokud budeme posuzovat barevnost roztoků, bude výhodnější bílá barva stojánku (nebo přírodní průhledná). Z hlediska odolnosti je rozhodování problematičtější – ABS vydrží vyšší teplotu (krátkodobě vydrží i odstavení horké zkumavky s teplotou kolem 100 °C), ale není příliš odolný vůči organickým rozpouštědlům; PLA je na tom hůře s teplotní odolností, ale zase je na tom podstatně lépe s odolností k organickým rozpouštědlům a olejům. Je třeba počítat i s tím, že i když je PLA tvrdší, je také křehčí (pád na zem nemusí být pro stojánek z tohoto materiálu „to pravé“). Jak z toho ven? Asi nejlepší by bylo stojánek vytisknout z **PP** (polypropylen), což je materiál, který se také pomalu, ale jistě začíná

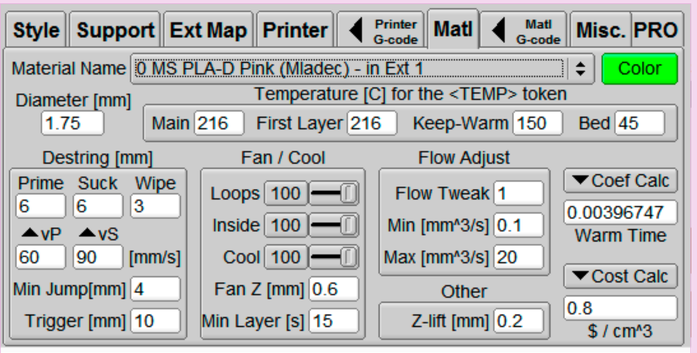
3D tisk a levné výukové pomůcky do chemie: Stojánek na zkumavky

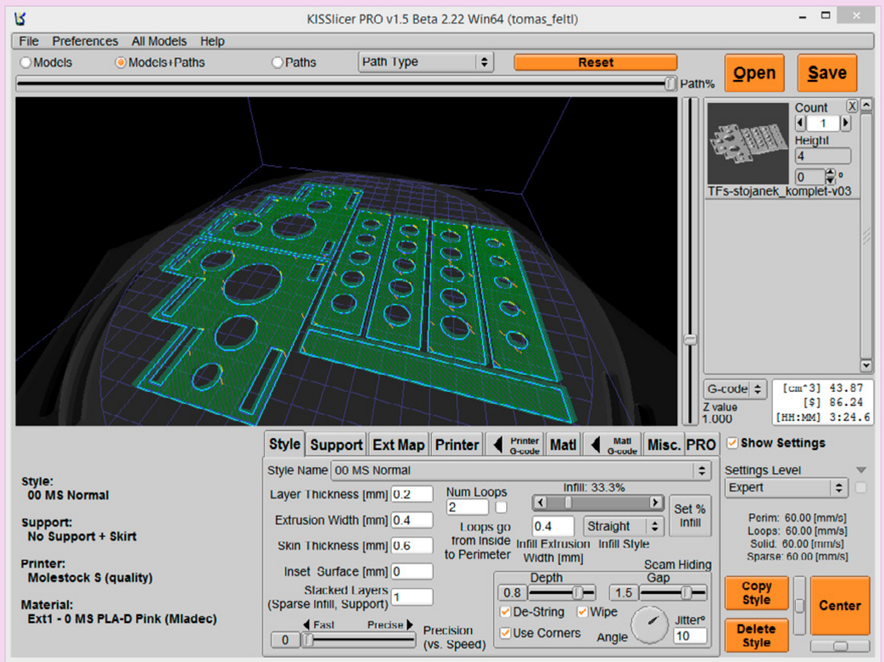


Obr. 5a ▲, 5b ▶, 5c ▼, 5d ▼, 5e ◢:
Screenshoty programu KISSlicer









v osobních 3D tiskárnách používat. Bohužel jsme v době testování stojánku neměli PP k dispozici.

Stojánek je sestaven z plochých částí, takže se dá tisknout zcela bez podpor. Aby byl výtisk dostatečně pevný, zvolili jsme hustší výplň (infill 33 %). Tisk proběhl bez problémů.

Odhadovaná doba tisku stojánku byla 3 h 40 min, **reálná doba tisku 3 h 4 min**.

Kompletace originálu modelu vyžadovala nanesení vteřinového lepidla a slepení jednotlivých dílů. V případě upravené verze jsme otvory zmenšili tak, že již pouhé zasunutí dílů je dostačující a není třeba nic lepit. (Je ovšem třeba mít dobře zkalibrovanou tiskárnu, jinak je možné, že otvory budete muset dodatečně zvětšovat.)

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **93 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Obdobné stojánky přesně dle svých požadavků si můžete snadno sami vymodelovat.

Obr. 6a

Obr. 6c

Obr. 6b

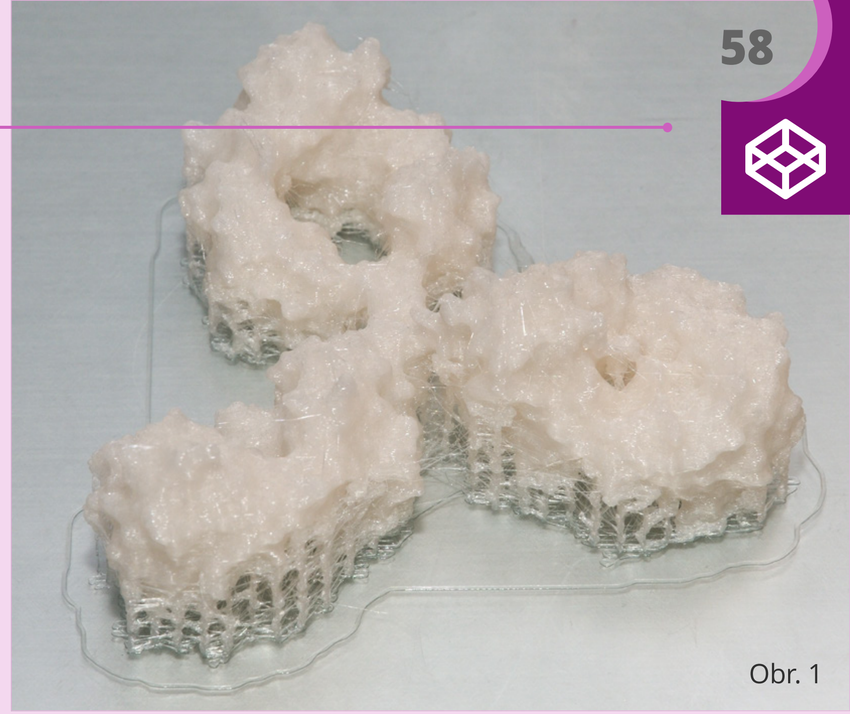
Proteiny a peptidy (IgG)

Proteiny (či češtěji bílkoviny) a peptidy jsou pro lidský organizmus nepostradatelné. Jsou složkou mnoha částí lidského těla a mají obrovské množství funkcí. Díky nim se můžeme hýbat (aktin, myosin), dýcháme (hemoglobin), neskolí nás jen tak nějaká nemoc či úraz (imunoglobin, fibrinogen), díky nim máme tělo, jaké máme (kolagen, keratin, elastin) a díky nim vůbec fungujeme tak, jak fungujeme. Pro objasnění tolika rozličných funkcí bílkovin či peptidů je naprosto zásadní umět si představit jejich tvar a strukturu. A právě v tom mohou žákům tištěné 3D modely hodně pomoci.

Jako ukázku jsme pro vás vybrali model Imunoglobinu G (IgG). IgG je protein, který je klíčovou součástí humorální složky imunitní odpovědi organizmu. V případě našeho modelu IgG je velmi pěkně vidět jeho klasický tvar připomínající písmeno Y (viz obr. 4). Dále lze na modelu pěkně demonstrovat strukturní motiv tzv. imunoglobulinové domény. Domény obsahují asi 100 aminokyselin a mají globulární strukturu. Zajímavé je, že vytváří neúplné prstence spojené disulfidovým můstkem dvou cysteinů, což je důležitý strukturní motiv, který lze žákům taktéž ukázat. Obecně lze na 3D modelech proteinů a peptidů žákům demonstrovat důležité strukturní aspekty těchto látek, z čeho jsou složeny a jak souvisí jejich struktura s jejich funkcí.

Na ZŠ bude mít model využití asi jen stěží, možná jako jistá forma motivace. Využití modelů proteinů je významné především na SŠ a VŠ. I zde může mít model také motivační charakter – z vlastní zkušenosti mohu říci, že vytištěný model zaujme více než 3D model prohlížený např. na počítači. Studenti si jej mohou „osahat“, dobře prohlédnout a lépe se soustředit na důležité vlastnosti.

Modely proteinů a peptidů prakticky nejsou komerčně dostupné. V zahraničí sice existují stavebnice, kde jsou „určité“ stavební jednotky, které lze skládat a tvořit z nich větší celky, ale ty jsou obvykle velmi drahé a ne příliš praktické. Vytištění modelu proteinu (nebo peptidu) je tak jedinou možností, jak se k němu dostat. Bohužel, tisk proteinů není úplně jednoduchý. Mnohdy se totiž jedná o komplikované látky, s mnoha strukturními motivy, z niž mnoho leží „ve vzduchu“ a jsou tvarově komplikované. K tisku modelu, který trvá několik hodin, je tedy nezbytné tisknout poměrně velké množství podpor, což zvyšuje spotřebu materiálu a komplikuje finalizaci modelu. Pokud chcete důležité části modelu i nabarvit, počítejte s dalším časem navíc. Post-tiskové zpracování je náročné i s ohledem na jemnost práce. Při odlamování podpor je důležité dávat pozor, abychom s podporami neodlomili kus proteinu.

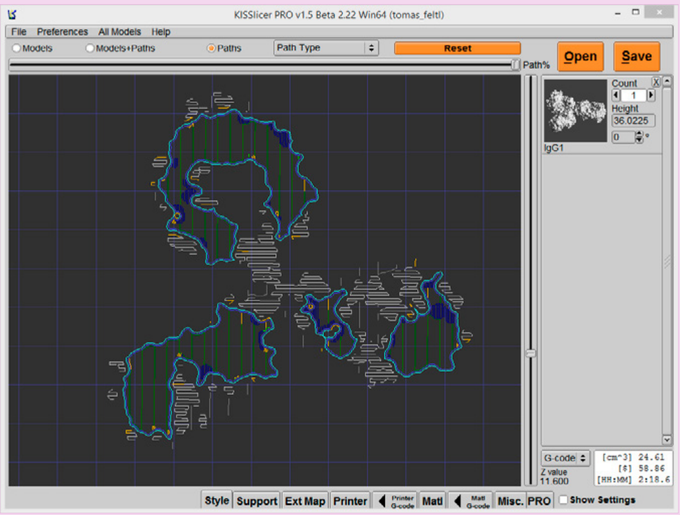

Obr. 1

Obr. 2

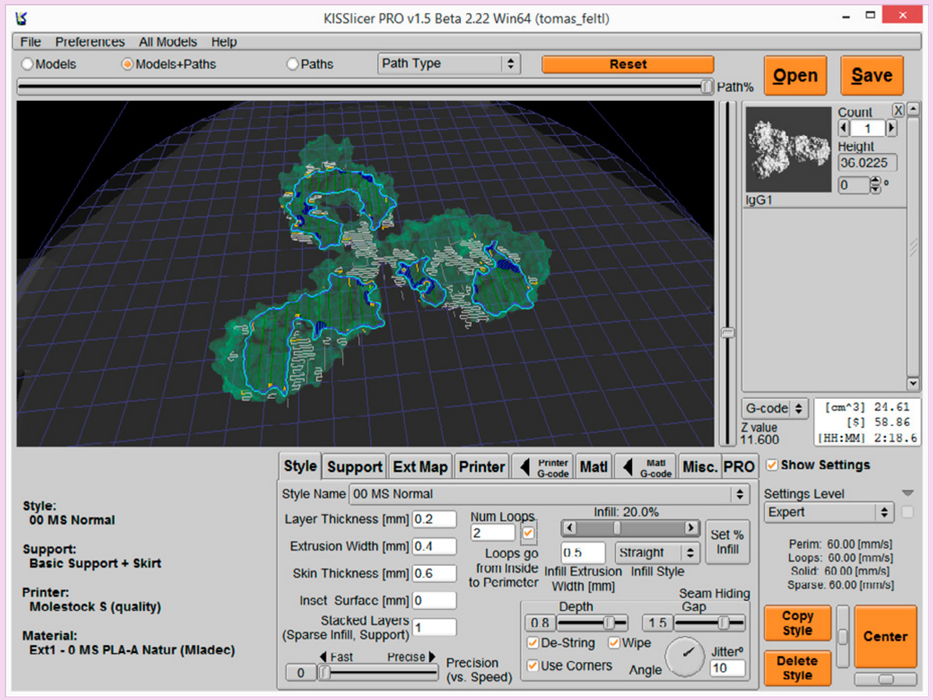
Obr. 4

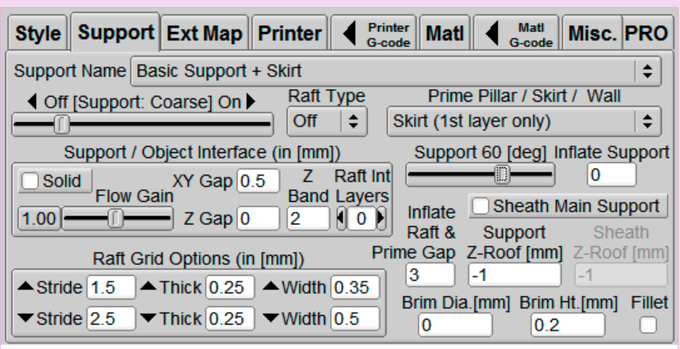
Obr. 3

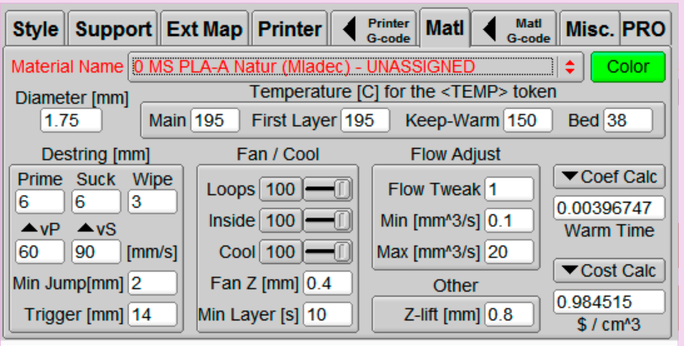
3D tisk a levné výukové pomůcky do chemie: Proteiny a peptidy (IgG)

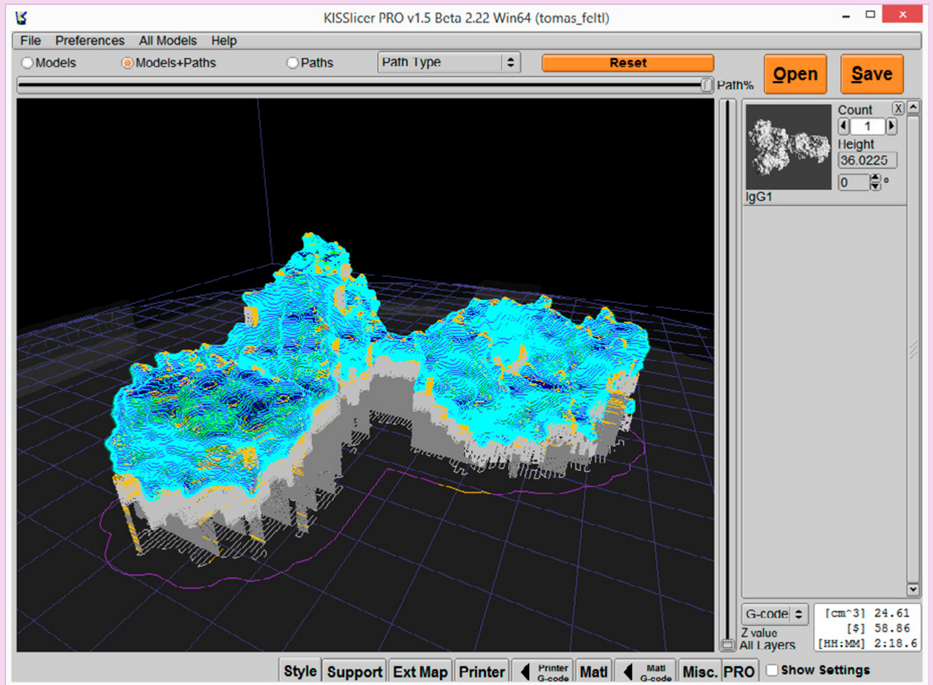


Obr. 5a ▲,5b ▶, 5c ▼, 5d ⏬, 5e ◢: Screenshoty programu KISSlicer









Velký didaktický přínos vytištěných 3D modelů proteinů a peptidů je ale neoddiskutovatelný, a proto věříme, že se nenecháte odradit náročností a směle se pustíte do tisku ☺.

Jak jsme IgG vyráběli

www.thingiverse.com/thing:24011

Pro tisk jsme použili **natural PLA-A**, které je lehce mléčně zakalené a měkčí než klasické PLA. Výsledný výtisk tak působí téměř „proteinovým“ dojmem ☺.

Podpory (support) jsou při tisku modelu IgG nezbytností (viz obr. 1 a 5e). Naopak pevnost zde nehraje až takovou roli. Přesto jsme ponechali výplň (infill) 20 %. Jde totiž také o tisk různých dutin, které by se mohly při řídké výplni bortit. Dále je vhodné nastavit ve sliceru vzdálenost mezi podporami a „tělem“ proteinu větší než obvykle – povrch sice nebude tak dokonalý, ale podpory půjdou lépe vylámat. Odhadovaná doba tisku byla 2 h 18 min, **reálná doba tisku byla 2 h 2 min**.

Finalizace modelu si vyžádala pouze rychlé vylámání tiskových podpor (viz obr. 2).

Odhadované náklady jsou **59 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Pokud chcete dosáhnout plynulého povrchu, použijte co nejtenčí tiskovou vrstvu (např. 0,1 mm namísto 0,3 mm – to bude u takto nepravidelných struktur působit výrazně „hladším“ dojmem). Musíte ale počítat s až několikanásobně delší dobou tisku.

Automatická pipeta či mikropipeta

Nedílnou součástí laboratoří, zejména těch zaměřených na biochemii či molekulární biologii, ale samozřejmě i jiných, se stala automatická pipeta či mikropipeta. Jde o jednoduché zařízení, které umí rychle a snadno odebrat a dávkovat velmi přesný objem. Obvykle pipety fungují na principu podobném jako např. injekční stříkačka. Posunem pístu ve válci nasáváme, díky vzniku podtlaku, kapalinu do pipety.

Ceny automatických pipet se značně liší – zejména v závislosti na dávkovaném objemu a přesnosti pipety – běžně se pohybují v řádu tisíců, vícekanálové pipety stojí obvykle nad 10 000 Kč a za mikropipetu není problém utratit i 20 000 Kč. Ve šťastných případech a slevových akcích se lze k mikropipetě dostat za cca 1000 Kč, ale jde spíše o výjimku. Z daného důvodu je velmi příjemné, že zjednodušenou, ale funkční mikropipetu, lze vytisknout na 3D tiskárně.

Mikropipetu, byť vytištěnou z 3D modelu, lze ve výuce využít opravdu široce – všude tam, kde potřebujeme přidat relativně přesně daný objem kapaliny. Dále lze pipetu využít, pokud máme zájem, aby se žák naučil s mikropipetou pracovat. Přesností a reprodukovatelností nadávkovaného objemu se komerční a vytištěná pipeta samozřejmě nemohou srovnávat, ale pokud chceme, aby žák získal žádoucí návyky, naučil se s pipetou pracovat, popřípadě pochopil princip nějakého stanovení (a není nutné dostat přesnou hodnotu), vytištěná pipeta k těmto účelům zcela postačí. Její relativně nízká cena je nezanedbatelnou výhodou.

K sestavení funkční pipety budeme potřebovat nejen vytištěné díly – mezi něž patří: vrchní díl, tělo, dvě ozubená kolečka (sloužící jako mikrometrický šroub) a píst; ale také nafukovací balónek či gumovou rukavici, pružinku (kterou vyrobíme z kousku PLA tiskové struny ponořeného do vroucí vody a po změknutí omotaného kolem vhodné tyčky), lepicí pásku (např. „stříbrnou“ nebo elektrikářskou) a brčko (viz obr. 8e). Do otvoru ve vrchním dílu nasuneme obě ozubená kolečka a přes jejich středy zasadíme píst, který odpružíme pružinou zasazenou mezi vršek pístu a vršek vrchního dílu (obr. 8f–i). Do spodního dílu zasuneme pečlivě brčko. Vrchní díl balónku (asi ½) odstřihneme, nasadíme jej přes tělo pipety a do něj zasuneme horní díl (obr. 8k–m). Přečnívající balónek ostříhneme (obr. 8n). Nakonec oblepíme spoj obou dílů páskou a je hotovo.

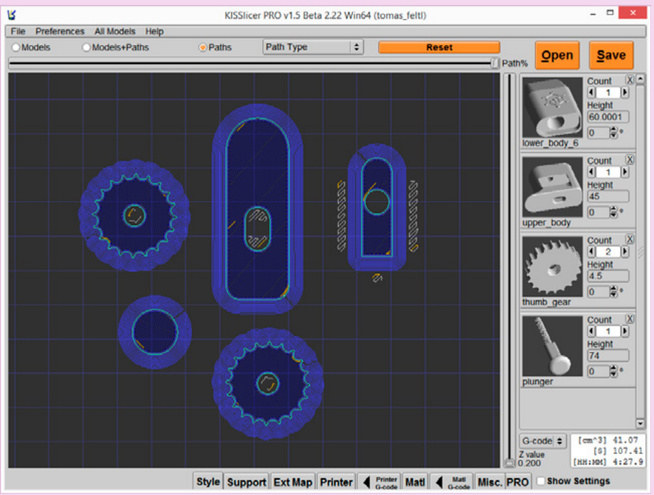
Pipeta funguje celkem dobře, přiměřeně reprodukovatelně a lze ji vřele doporučit.

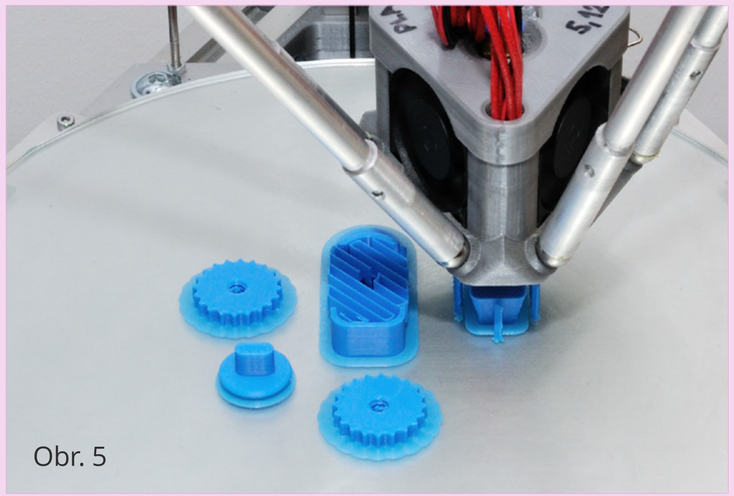
Obr. 1

Obr. 2

Obr. 3: Pipetovaný objem lze měnit

3D tisk a levné výukové pomůcky do chemie: Automatická pipeta či mikropipeta

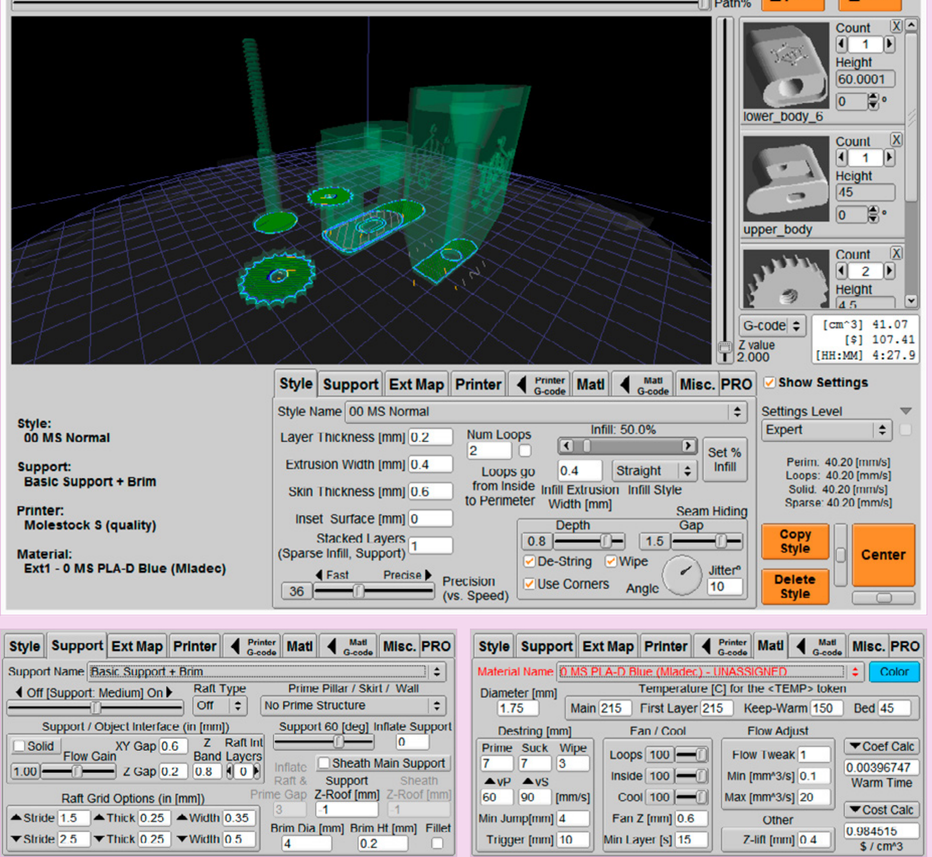




Obr. 5

Obr. 6

Obr. 7



Obr. 4a, 4b, 4c, 4d:
Screenshoty programu KISSlicer

Jak jsme pipetu vyráběli

www.thingiverse.com/thing:64977

www.thingiverse.com/thing:702535

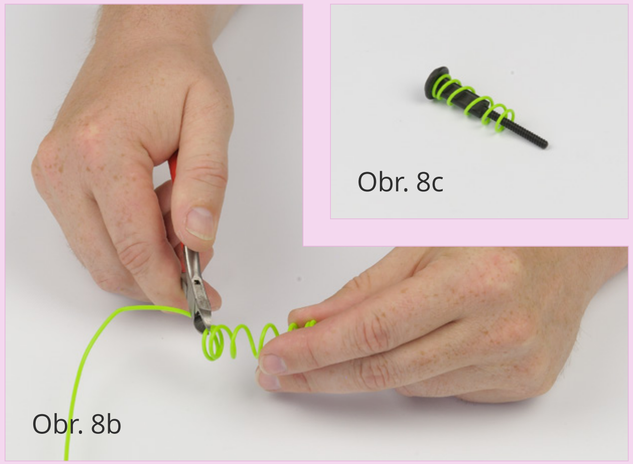
Pro tisk jsme použili žluté, modré a zelené **PLA**. Vzhledem k tomu, že díly jsou poměrně masivní, nemusíte mít strach, že pipeta z PLA vinou jeho větší křehkosti nepřežije např. pád na zem. Snad jedině píst s mikrometrickým šroubem by mohl být vytištěn z odolnějšího materiálu.

Vytiskli jsme hned několik sad pipet a při kompletaci jsme barvy dílů promíchali. Výsledné pipety jsou tak výraznější a na první pohled zaujmou svou barevností. Vyzkoušeli jsme také různé průměry brček, což předpokládá tisk několika variant spodního dílu. Nejlépe se nám osvědčilo klasické brčko o průměru 5 mm – nejlepší reprodukovatelnost (nasátá kapalina v brčku dobře „drží“ a snadno se „vypouští“, přitom neulpívá formou kapiček na vnitřních stěnách).

I když autor uvádí, že pipeta je tisknutelná bez podpor (support), raději jsme tentokrát podpory použili – přišlo nám, že horní díl pipety by nemusel dopadnou nejlépe. U ostatních dílů jsou při správné orientaci podpory spíše na škodu, proto je vhodné nastavit ve sliceru generování podpor jen do výšky potřebné pro horní díl (jak se ukázalo, především drobný závit je dobré tisknout bez podpor). Pro píst se závitem je také vhodné použít „brim“ (díl je vysoký a styčná plocha s podložkou poměrně malá). Aby byl výtisk dostatečně pevný a byl v ruce „cítit“, zvolili jsme na rozdíl od autora hustší výplň (infill 50 %). První pipetu jsme netisknuli naší standardní tiskovou rychlostí 60 mm/s, ale zpomalili jsme na 40 mm/s. U dalších pipet jsme se vrátili k rychlejšímu tisku. Odhadovaná doba tisku sady jedné pipety byla 4 h 27 min, **reálná doba tisku 3 h 42 min** (pomalejší tisk), **3 h 6 min** (po zrychlení tisku). Kompletace pipety si vyžádala vylámání podpor a jemné dočištění. Postup sestavení pipety je vyfocen na následující straně (viz obr. 8a až 8q). Odhadované náklady na kompletní pipetu jsou **107 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

3D tisk a levné výukové pomůcky do chemie: Automatická pipeta či mikropipeta

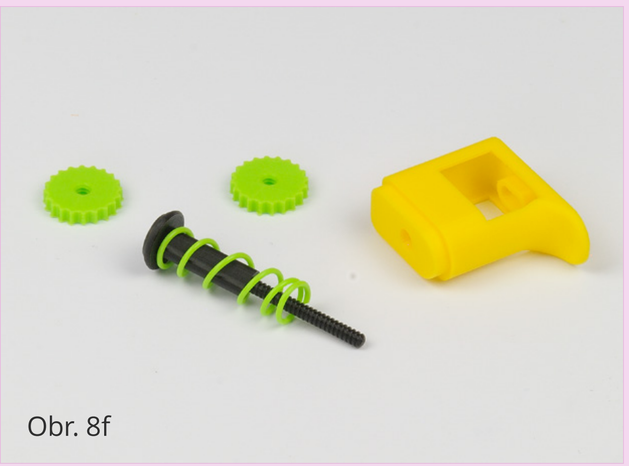
Obr. 8a

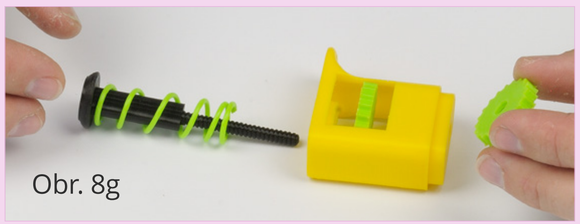

Obr. 8b

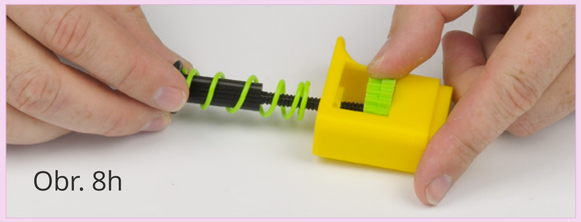
Obr. 8c

Obr. 8d

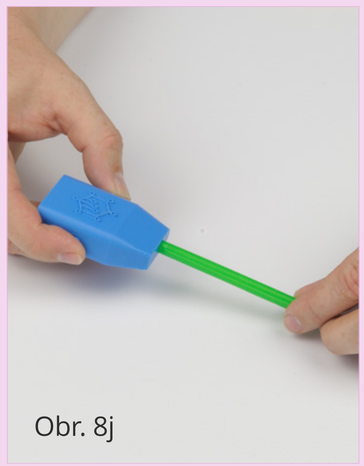
Obr. 8e

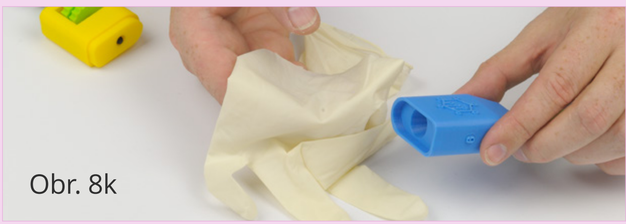

Obr. 8f


Obr. 8g

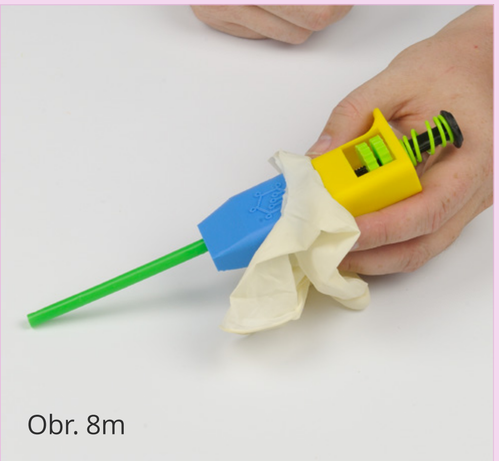

Obr. 8h

Obr. 8i


Obr. 8j


Obr. 8k

Obr. 8l


Obr. 8m

Obr. 8n

Obr. 8o

Obr. 8p

Obr. 8q

Reliéfní glóbus

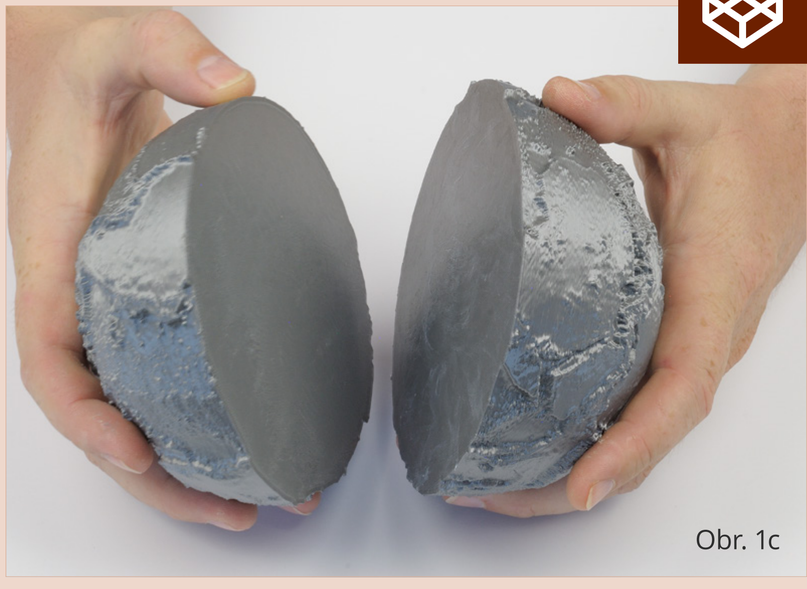
Když kolega přišel s nápadem tisknout glóbus, připadalo mi to jako nošení dříví do lesa. Glóbů je ve škole několik a navíc jsou v daleko větším měřítku – tento má v průměru pouze 13 cm. Vzhledem k tomu, že se jedná o reliéfní glóbus, jeho využití jsem spatřoval „pouze“ jako haptickou pomůcku pro integrované nevidomé žáky.

Na druhý pohled je však tento globus jedinečný. Oproti jiným reliéfním glóbům, kde je převýšením zvýrazněna pouze souš, znázorňuje tento glóbus nejen povrch kontinentů, ale i dno oceánů. Proto jsou zde zachyceny geomorfologické megastruktury přecházející mezi oceánem a souší (např. Středoatlantský hřbet a Island nebo Austrálie s Novou Guineou). Globus lze tak použít při výkladu kontinentálního driftu, neboť jsou na něm dobře patrné pevninské štíty nebo hranice jednotlivých kontinentálních desek. Na základní škole se glóbus hodí také jako demonstrační pomůcka při probírání kapitoly o tvaru Země. Žákům, kteří zarytě tvrdí, že Země je koule, stačí vložit tento model planety do dlaní.

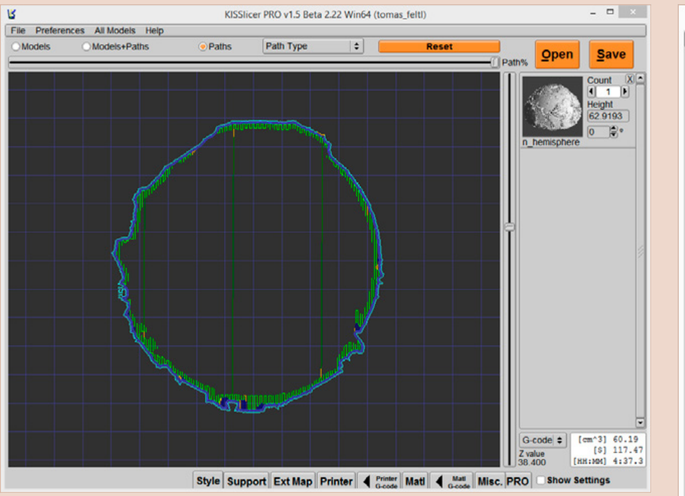
Cena reliéfních glóbů na trhu se pohybuje mezi jedním a dvěma tisíci, je tudíž nesrovnatelná. Přestože jsou komerčně nabízené glóby barevné a větší (obvykle o průměru 30 cm), postrádají výše zmíněnou výhodu – znázornění dna oceánů. Na koupeném glóbu například uvidíme Velkou Británii jako samostatný ostrov, ale teprve s tímto modelem z 3D tisku zjistíme, že Británie je geomorfologicky integrální součástí evropského kontinentu.

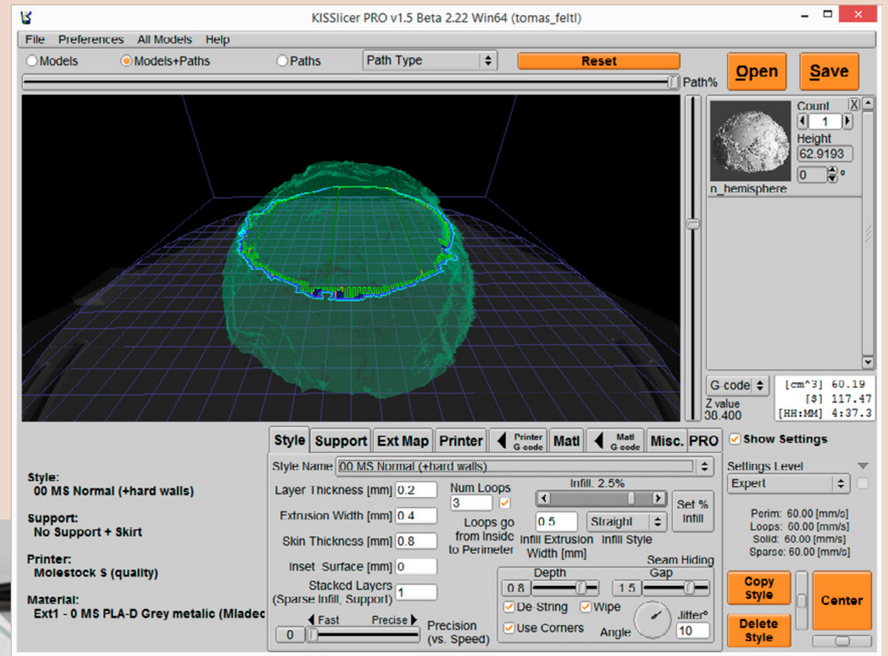
Obr. 1a

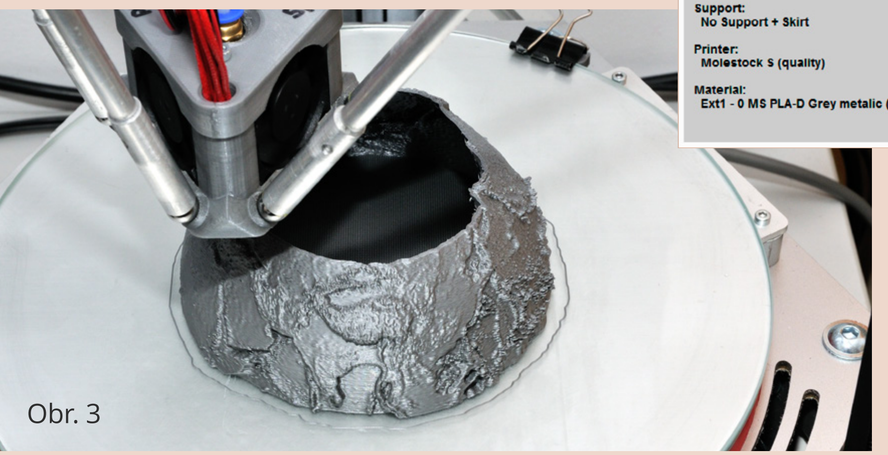
Obr. 1b


Obr. 1c

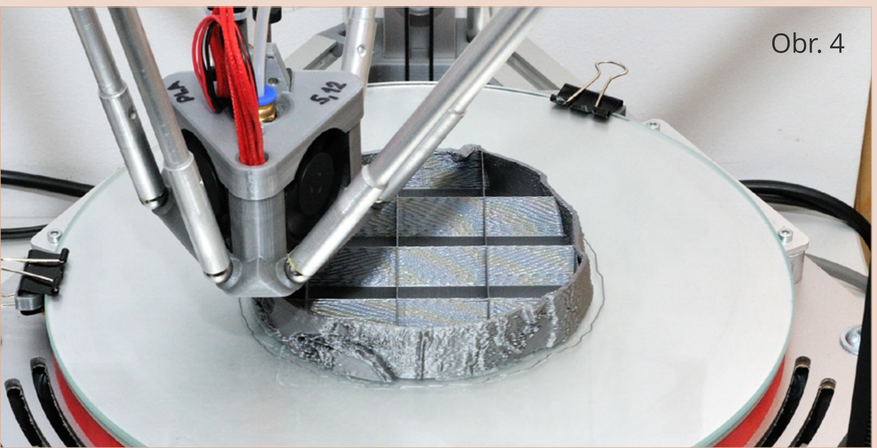
Obr. 1d





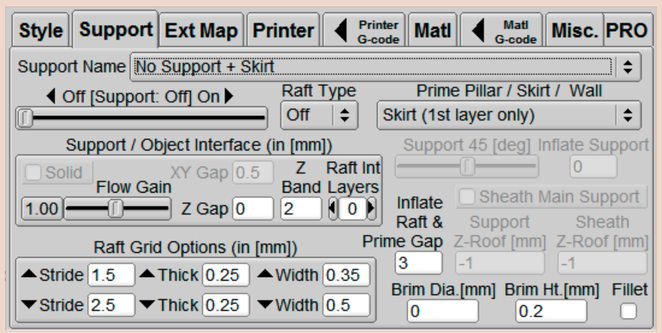


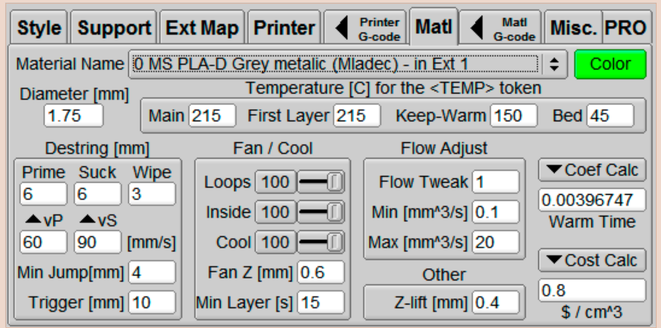
Obr. 3



Obr. 4

Obr. 2a ◤,2b ▲, 2c ▼, 2d ▼:
Screenshoty programu KISSlicer





Jak jsme glóbus vyráběli

www.thingiverse.com/thing:86681

Pro otestování jsme ponechali glóbus v původní velikosti – průměr 12,7 cm. Pro tisk jsme použili **PLA**, protože dobře vyhoví našim požadavkům na tuto výukovou pomůcku. Výběr barvy padnul na šedo-stříbrnou, která hezky zvýrazní reliéf. Díky tomu, že je model rozdělen na dvě části, dá se tisknout zcela bez podpor. Jižní polokouli je možné vytisknout dutou, bez vnitřní struktury (infill 0 %), ale severní ne (na pólu je prohlubeň – mořské dno, nikoli kontinent). Pro severní polokouli jsme tedy nakonec zvolili výplň (straight infill) 2,5 %. Tisk proběhl bez problémů.

Odhadovaná doba tisku **severní polokoule** byla 4 h 37 min, **reálná doba tisku 4 h 1 min** (**jižní polokoule** –bez výplně – byla vytištěna rychleji, jen za **2 h 36 min**).

Kompletace modelu vyžadovala pouze nanesení lepidla a slepení polokoulí k sobě. Stačí k tomu i běžné lepidlo na papír, které na PLA dobře drží. Musíte ale počítat s delší dobou tuhnutí (asi jeden den). Pokud chcete model vzít ihned do hodiny, bude se lépe hodit vteřinové lepidlo.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **230** Kč (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).

Tip: Pokud přemýšlíte o úpravě modelu, jednou z možností je nechat glóbus rozebírací a na styčných plochách naznačit v průřezu stavbu Země. Spojení polokoulí můžete zajistit např. klasickými „kolíky“, nebo malými zapuštěnými magnety.

Reliéfní mapa povodí Bílého potoka

nebo jiného toku protékajícího kolem Vaší školy

Pokud probíráme hydrografii vodních toků, reliéfní model známého území dobře poslouží k vysvětlení pojmu povodí. Pokud pomocí kropáčku nasimulujeme dešťové srážky na daném území, veškerá voda by se měla soustředit v ústí toku nebo v korytě toku nižšího řádu, do kterého sledovaný tok ústí. Naopak, pokud „prší“ na druhé straně rozvodí, do povodí sledovaného toku by se neměla dostat ani kapka.

Aby byla reliéfní mapa prakticky využitelná pro výše nastíněný účel, je potřeba před tiskem upravit osu „z“. Při prvním tisku území jsme ji ponechali bez úpravy, a model tak byl převýšený jen velmi nezřetelně – podle skutečných proporcí (viz obr. 1 a 2). Proto je užitečné rozměry na ose „z“ alespoň zdvojnásobit (viz obr. 3). Je však nezbytné si uvědomit, že čím větší území, tím více je potřeba nerovnosti reliéfu zvýraznit.

Model území je vytvořen za pomoci nástroje **STL Generator**, který vychází z GoogleMaps. Prostřednictvím rámečku, jehož rozměry upravujeme tahem myší, vybereme libovolné zájmové území, jehož rozloha je však omezená. Zhruba se dá říci, že maximální území, z kterého lze vygenerovat podklad pro 3D tisk, odpovídá našemu kraji.

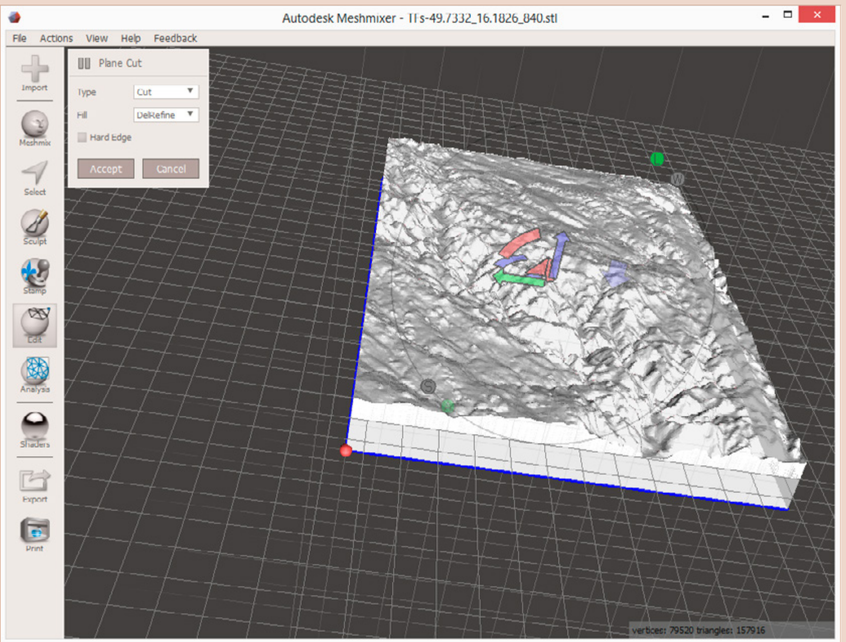
Pokud reliéfní mapa vašeho území již existuje, pak nejspíš žijete v Krkonoších, či jiném turisticky atraktivním pohoří. Mapy českých pohoří o rozměrech 60 × 80 cm se v e-shopech nabízejí přibližně za tisícikorunu, avšak slouží především dekorativním účelům. Pro pochopení hydrografických jevů má daleko větší smysl právě model území, které žáci znají. A ten lze získat pouze vytištěním na 3D tiskárně. Nevýhodou tištěného modelu je jeho fádní jednobarevné provedení.

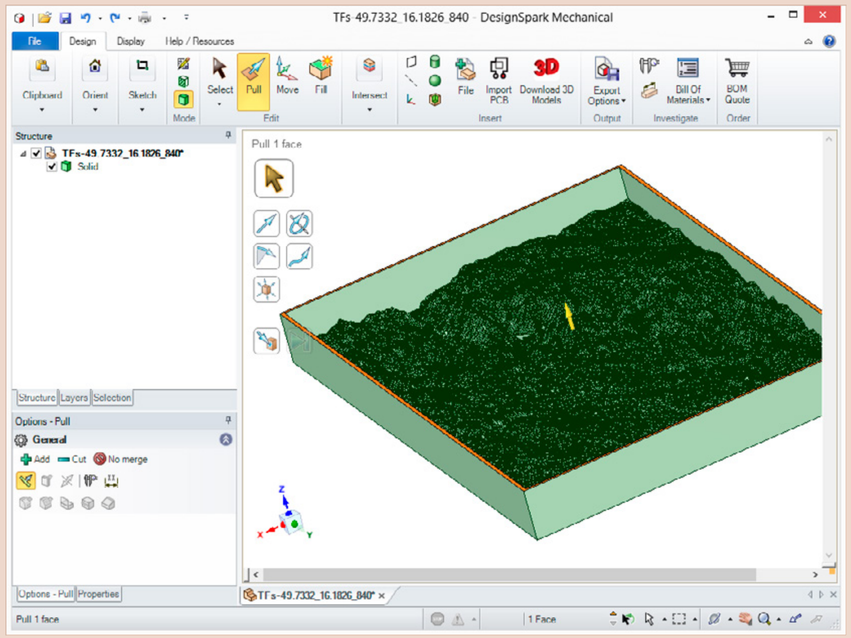
Obr. 1

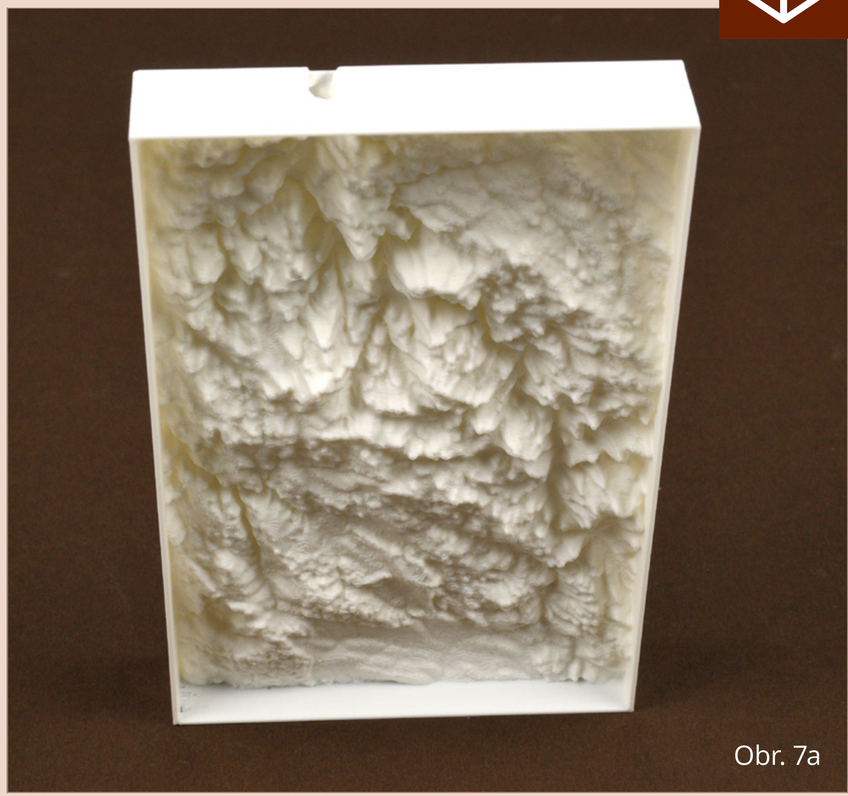
Obr. 2

Obr. 3

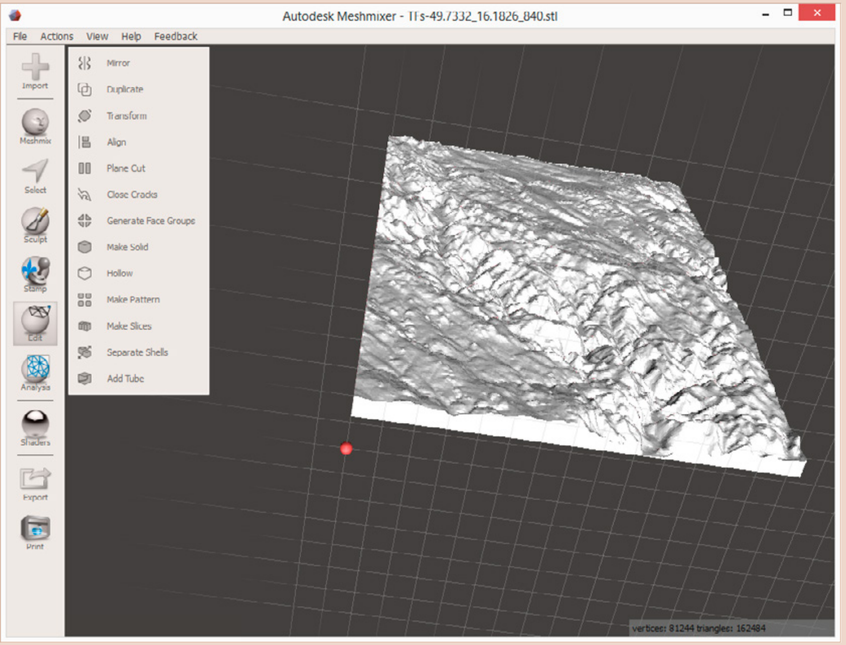
3D tisk a levné výukové pomůcky pro zeměpis: Reliéfní mapa povodí Bílého potoka



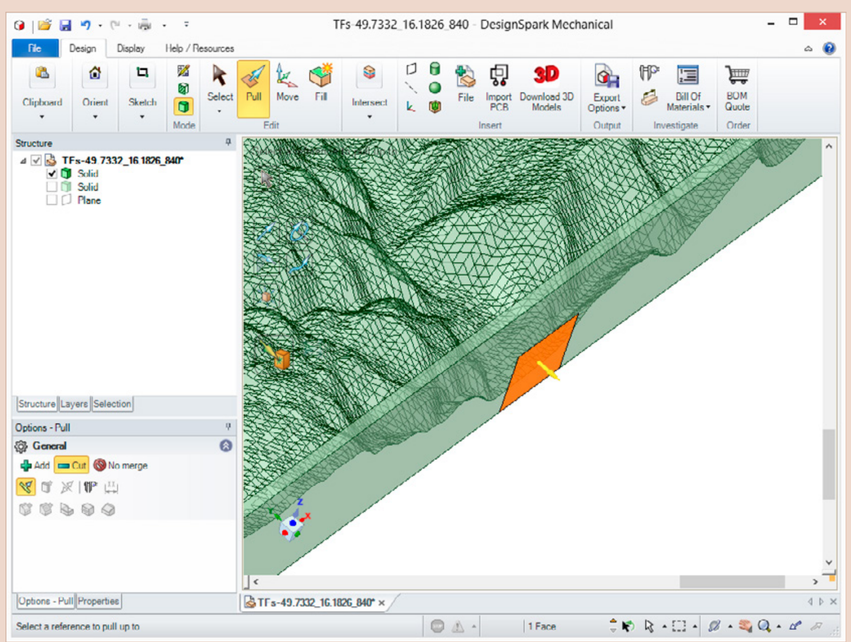




Obr. 7a

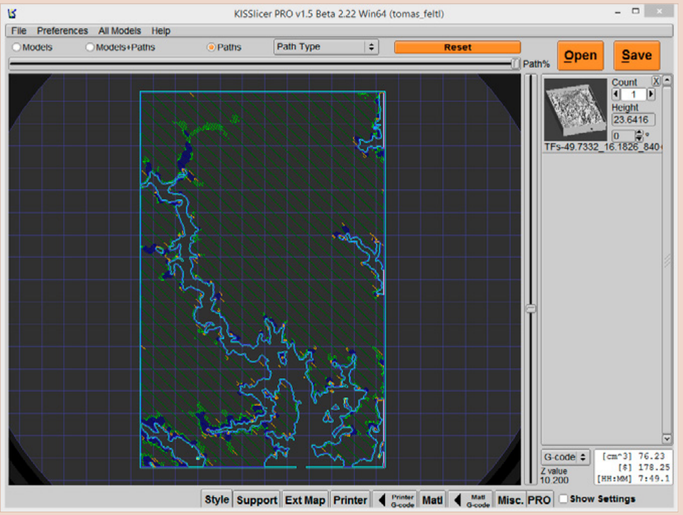


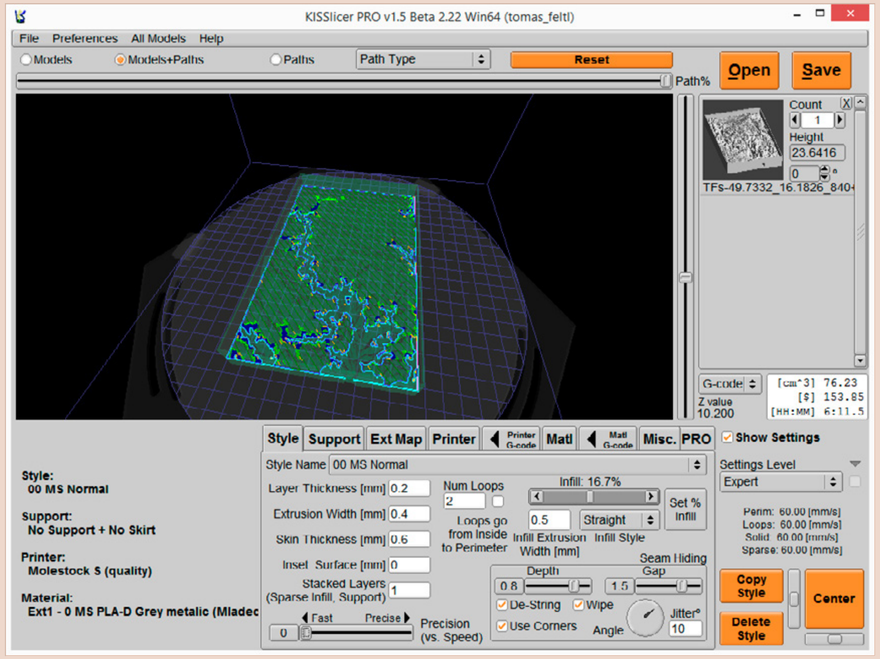
Obr. 4a ▲, 4b ▲: **Odříznutí spodní části v Autodesk Meshmixeru**

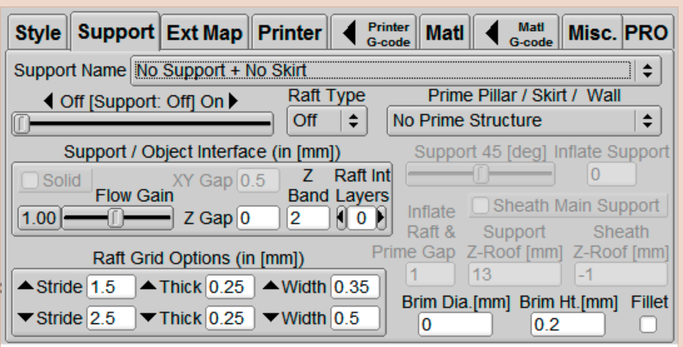


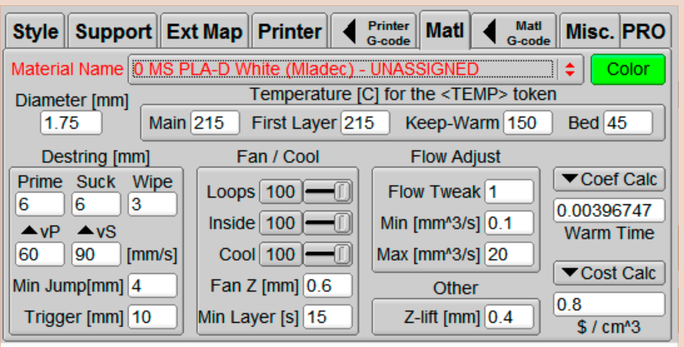
Obr. 5 ▲, 6 ▲: **Úpravy modelu v programu DesignSpark Mechanical**

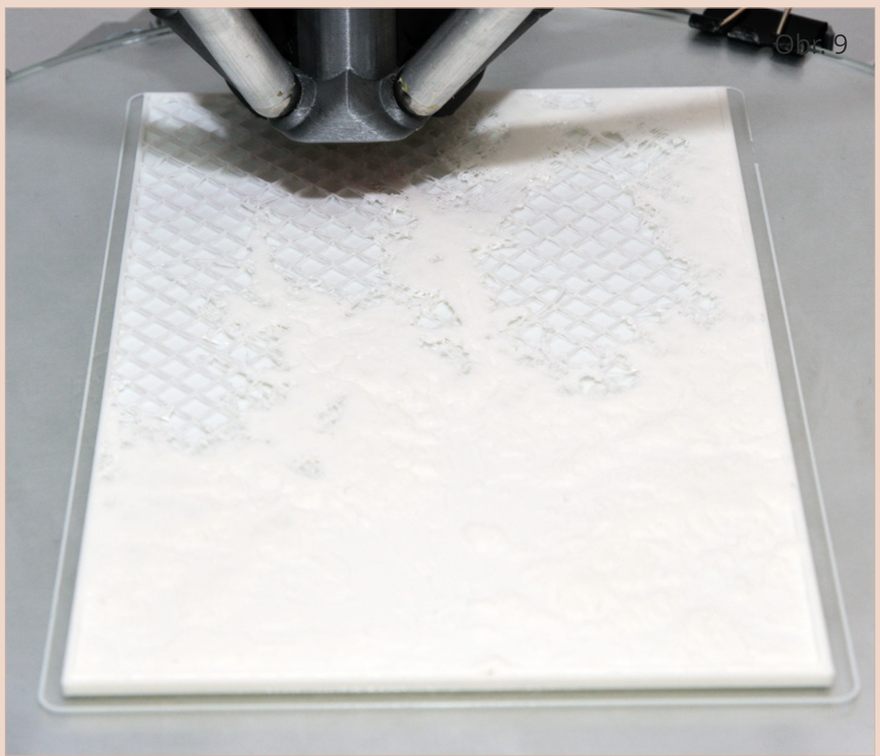
Obr. 7b











Obr. 9

Jak jsme reliéfní mapu vyráběli

http://jthatch.com/terrain2stl

Vygenerovaný STL model byl vzhledem k mělkému reliéfu zbytečně vysoký. Proto jsme z něj nejdříve odřízli spodní část (viz obr. 4a, 4b). Tím, že se model ztenčil, nebude třeba tolik materiálu a doba tisku bude výrazně kratší. Aby bylo možné model zaplavit, upravili jsme ho dále tak, že jsme k němu přidali „ohrádku“, která lehce převýší nejvyšší „kopec“ v modelu (viz obr. 5).

V rámci druhého pokusu jsme reliéf zvýraznili natáhnutím osy z na dvojnásobek a přidáním odtokového otvoru (viz obr. 6). Poslední úpravou bylo proporční zvětšení modelu tak, že jeho delší strana měřila 18 cm.

Pro tisk jsme použili **PLA**. Výběr barvy skončil u bílé, která umožní kontrastující zaplavení vodou s přídavkem modrého potravinářského barviva (viz obr. 2). Pro tisk prvního terénního reliéfu jsme zvolili výplň (straight infill) 12,5 %. Ve druhém testu byl model výrazně vyšší, a tak jsme výplň raději zvýšili na 16,7 %. Žádné oporné struktury nejsou třeba. Tisk proběhl v obou případech bez problémů.

Odhadovaná doba tisku prvního modelu byla 3 h 28 min, **reálná doba tisku 2 h 53 min** (v případě druhého, vyššího modelu **5 h 14 min**).

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **85 Kč** (druhá, vyšší verze **150 Kč**), (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny.

Tip: Pokud se vám model vytištěný jednou barvou zdá málo názorný, zkuste v průběhu tisku vyměnit tiskovou strunu (jednou či vícekrát) a tím místa ležící v různých nadmořských výškách barevně rozlišit.

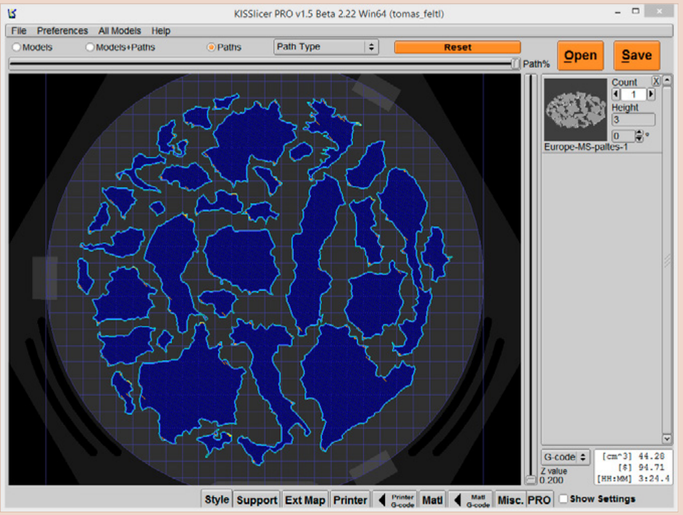
Státy Evropy jako 3D puzzle

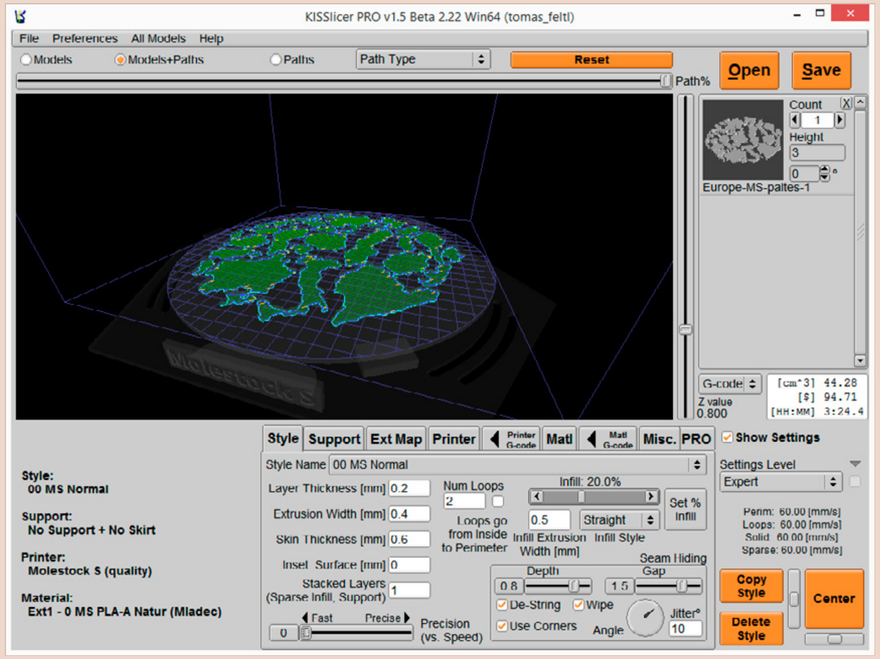
Poskládat si klasické puzzle zemí Evropy, po jehož složení vznikne evropský kontinent, může být zábavnou chvilkou v hodinách regionální geografie Evropy. Na **thinkverse.com** je skládaček států nepočítaně. Škarohlídi, kteří tvrdí, že takovýmto typem hraní se ve škole nic nového děti nenaučí, mohou mít pravdu. Ale uznejte – chvíle zábavy do školy určitě patří, mozek se osvěží a po kratochvíli, kterou můžeme pojmout jako soutěž, se můžeme vrátit k seriózní práci.

Navíc, didaktická hodnota obyčejné skládačky stojí a padá s fantazií vyučujícího. Při skládání mapy Evropy si uvědomíme proporce a rozdíly v rozloze jednotlivých států. Studenti tak mohou hledat státy obdobně velké jako naše země. Anebo během úvodní hodiny regionální geografie mohou studenti dle svého názoru rozdělit Evropu na jednotlivé regiony a následně své rozdělení zdůvodnit – a hle, máme zde diskuzi o socio-ekonomických a fyzickogeografických rozdílech jednotlivých regionů. A co třeba si vybarvit unijní státy?

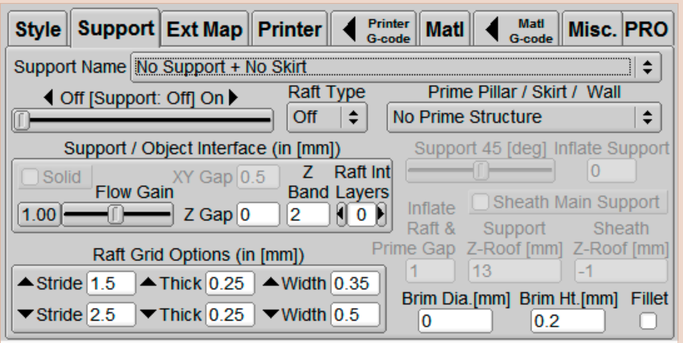
Klasické kartonové puzzle Evropy stojí od 200 Kč výše. Je tedy otázkou, kolika páry rukou 3D puzzle projde. Výhodou tohoto puzzle je fakt, že co stát, to dílek, tedy s výjimkou mikrostátů typu Andora či Lichtenštejnsko.

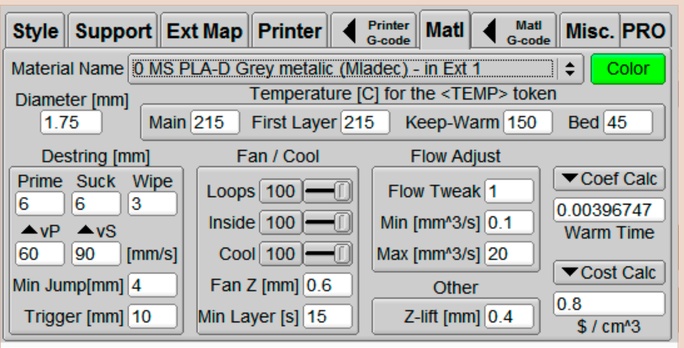
Obr. 1





Obr. 2a ▲,2b ▶, 2c ▼, 2d ▼▼:
Screenshoty programu KISSlicer





Obr. 3

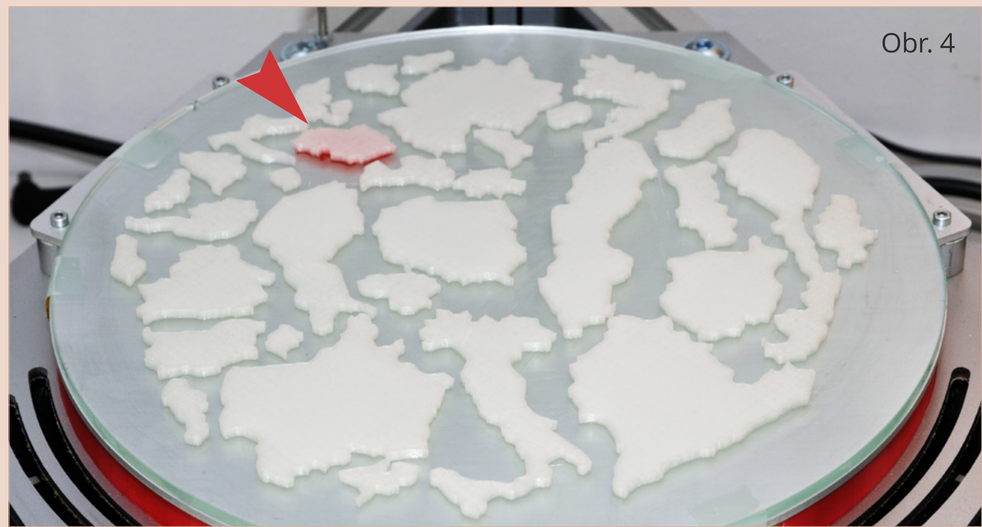
Jak jsme 3D puzzle vyráběli

www.thingiverse.com/thing:11216

Tato výuková pomůcka je z hlediska tisku bezproblémová. Vzhledem k velké ploše je ale třeba počítat s poměrně dlouhou dobou tisku. Puzzle budou brát žáci do rukou, takže je třeba dostatečná pevnost. Tu by měla zaručit výplň (straight infill) 20 %. Jako materiál jsme použili **natur PLA-A**, tedy nezbarvený materiál měkčí než klasické PLA, který je příjemnější „do ruky“. Po vytisknutí prvních tří vrstev jsme navíc červenou fixkou vybarvili naši republiku (viz obr. 3). Žádné oporné struktury nejsou třeba. Tisk proběhl bez problémů.

Všechny dílky se nám najednou na podložku nevešly, tisknuli jsme je na dvakrát. Odhadovaná doba tisku všech částí byla 7 h 37 min, **reálná doba tisku 5 h 56 min**.

Odhadované náklady na kompletní pomůcku jsou **110 Kč** (v nákladech je započítána také energie a amortizace tiskárny).



Obr. 4

Tomáš Feltl

Proč si postavit 3D tiskárnu Molestock?

Vzhledem k nebývalému nástupu cenově dostupných řešení 3D tisku je jen otázkou, kdy se 3D tiskovými technologiemi vybaví běžné školy. Zásadní ovšem je, jakou tiskovou technologii pořídit. Z hlediska cenové dostupnosti a nároků na obsluhu zatím stále vyhrává technologie FDM/FFF.

Jaké řešení je vhodné pro „běžnou“ školu?

Jednou z možností je pořízení proprietárního řešení, které je obdobné jako při pořízení klasické běžné „papírové“ tiskové technologie. Co to znamená? Můžeme si to přiblížit příkladem, který všichni dobře známe: Zakoupíme např. inkoustovou tiskárnu od firmy XY. Po patřičném počtu výtisků jsme nuceni zakoupit nové tiskové náplně firmy XY (pokud nechceme přijít o záruku, nebudeme pořizovat náplně třetích stran), dále pak nové tiskové hlavy firmy XY či další spotřební materiál od firmy XY. Pokud se něco s tiskárnou stane, zavoláme technika se specializací na tiskárny XY. Velice podobné to bude v případě 3D tiskárny.

A ono to jde i jinak?

U 3D tiskárny máme skutečně i jinou možnost. Můžeme využít **Open hardware** projektu (obdoba Open source software) **RepRap** a celou tiskárnu si sami postavit z celkem běžně dostupných a poměrně levných komponent. Kompletní servis tiskárny si pak zvládneme zajistit sami. Nemusíme se přitom vázat na jednoho dodavatele a můžeme více experimentovat. V případě poruchy ji dokážeme snadno identifikovat a také odstranit. Tyto kompetence pak zvládneme přenést i na naše žáky. A to nejsou zdaleka všechny výhody, které RepRap projekt přináší.

Není to pro školu zbytečné? Ceny komerčních tiskáren jdou přece dolů!

Myslíme si, že druhá možnost – RepRap – je pro školu lepší právě vzhledem k jejím vzdělávacím účelům. Pokud si tiskárnu sami postavíme, pochopíme fungování technologie 3D tisku mnohem více do hloubky a budeme žákům schopni předat podstatně více i z hlediska potenciální stavby další tiskárny. Dokážeme žákům přiblížit, jak funguje firmware tiskárny – vždyť jsme si jeho zdrojový kód v rámci stavby přímo upravovali. Budeme detailně znát, jak probíhá kalibrace tiskárny i úskalí, na která při tom můžeme narazit. Můžeme tiskárnu dále vyvíjet a zdokonalovat, a tím se s žáky nakonec zapojit do RepRap projektu s novou variantou vlastní 3D tiskárny!

RepRapů je celá řada. Proč stavět právě Molestock?

Jistě, k dispozici je skutečně řada RepRap tiskáren. Některé jsou ve školním prostředí použitelné dobře, jiné hůře. Právě problémy, na které jsme při používání RepRap tiskáren narazili, nás vedly k tomu, že jsme nakonec navrhli tiskárnu vlastní – Molestock. Molestock je obecný Delta robot s výměnnými hlavami na magnetickém nosiči. Jednou hlavou je právě 3D tisková hlava. Místo ní se ale bude v budoucnu dát snadno umístit třeba frézovací hlava nebo laserová gravírovací hlava. Samozřejmě, že si se svými žáky můžete navrhnout i svoji speciální hlavu s jinou funkcí. V konstrukci Molestocku je ale řešena i řada daších věcí, které vám práci s 3D tiskárnou usnadní. Některé z nich najdete v přehledu na další stránce.

Pokud tu „svoji“ RepRap 3D tiskárnu teprve začínáte hledat, určitě navštivte stránky **www.reprap.org** a porozhlédněte se napříč různými řešeními RepRap tiskáren. Třeba zjistíte, že některý z alternativních RepRap projektů vám bude vyhovovat více než Molestock.

A co srovnání s ostatními RepRapy a technické parametry?

Nikomu Molestock nenutíme a nemáme potřebu srovnávat ho s ostatními RepRap tiskárnami či tiskárnami komerčními. Naším hlavním cílem bylo postavit si pro sebe spolehlivou robustní školní 3D tiskárnu, na které bude možné tisknout výukové pomůcky z různých materiálů takříkajíc od rána do večera. Molestock se nám osvědčil, a tak ho nabízíme i vám. Základní technické parametry najdete na další stránce.

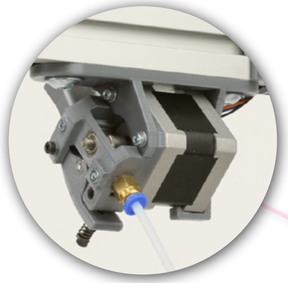
Postavte si školní 3D tiskárnu Molestock!

www.interactivelearning.cz/vzdelavani/stavba-provoz-udrzba-3d-tiskarny

Náš tým pro Vás připravil stavebnici 3D tiskárny Molestock. Vycházeli jsem z osvědčeného konceptu tiskáren Rostock a Kossel (Johann C. Rocholl). Při návrhu jsme se snažili maximálně zohlednit specifika školního prostředí...

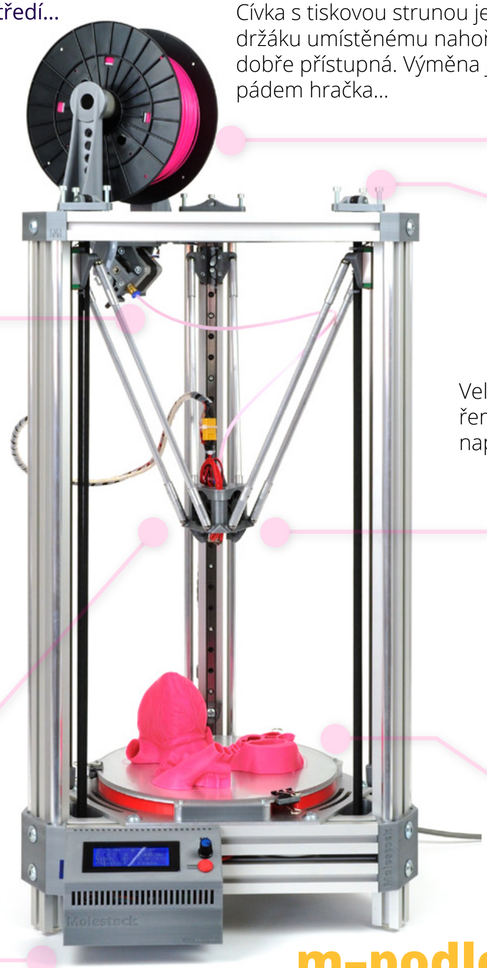
m–extrudér

Vyzkoušeli jsme řadu dostupných extrudérů a s každým jsme narazili na nějaký vážný problém. Nakonec jsme si navrhnuli vlastní, se kterým tiskneme s celou řadu plastů, včetně materiálů jako je NinjaFlex či Flexfill.
Na extrudér je připojeno **čidlo přítomnosti filamentu** – když dojde cívka, tisk se přeruší a tiskárna počká na založení cívky nové.



m–hlava (3D tisk)

K zavěšení snímatelné tiskové hlavy je použito **magnetů**. Hlavu tak můžete jednoduše vyměnit za jinou. Jednodušší je tím pádem také jakýkoli servis (např. výměna trysky). Tryska je **výškově stavitelná**. Hotend chladí dva 4 cm větráčky s MagLev rotory. Systémem kanálků je ovšem vzduch veden také dolů, kde můžeme díky výměnným zakončovacím modulům volit **optimální chlazení** vytlačeného plastu (např. pro PLA, Nylon, ABS, ASA, PET, ...). Speciálně ofukována může být také stopka „heatbreaku“, čímž je umožněn i tisk s médii, která se na jiných tiskárnách mohou jevit jako velmi problematická. Integrována je také **Z-sonda** pro kalibraci výšky trysky nad podložkou.



m–box

Řídicí elektronika je uložena do **jednoho boxu** s ovládacím panelem a volitelně **českým menu**. Jednoduchým odkrytováním můžete žákům ukázat, co ve skutečnosti tiskárnu pohání (a to i za provozu). Tím pádem je značně zjednodušený jakýkoli **servis** a třeba i různé **experimenty** (optimalizace nastavení referenčního napětí na driverech krokových motorů, ...). Zvýrazněno je **bezpečnostní tlačítko** pro rychlé zastavení tiskárny (emergency stop). Pokud byste si chtěli tiskárnu postavit do temperované komory, můžete box s elektronikou snadno umístit mimo komoru, což je jeho další výhoda.

m–podložka

Vyhřívaná hliníková podložka s výkonem 180 W zajišťuje, že na dosažení požadované teploty nebudete dlouho čekat. Od spodní části tiskárny je podložka izolována speciálním žáruvzdorným materiálem s odolností 1000 °C.

m–držák

Cívka s tiskovou strunou je díky držáku umístěnému nahoře dobře přístupná. Výměna je tím pádem hračka...

m–napínák

Velice důležité je správné napnutí řemenů. Používáme proto nezávislé napínáky na každé věži.

m–hlava (Proxxon adaptér)

Připravujeme gravírovací hlavu (adaptér pro frézku Proxxon). Zatím je ve stádiu testování...

Základní technické parametry modelu **MOLESTOCK S**:

Tisková plocha: válec o průměru 24 cm (extrém až 26 cm), výška cca 24 cm
Typická tloušťka vrstvy: 0,1/0,2/0,3 mm
Průměr dodávané trysky: 0,4 mm
Kalibrace výšky trysky nad podložkou: automatická
Typická rychlost tisku 30–60 mm/s
Tisk jedním materiálem (1 extrudér)
Vyhřívaná podložka 180 W
Rozhraní: USB, tisk z SD karty (ovládací panel)
Doporučené materiály: PLA, ABS, PET, ASA, PP, POM, PMMA, TPE
Rozměry: 44×46×78 cm (š×h×v), bez m-držáku

Jak to probíhá?

- Workshop, na kterém si tiskárnu postavíte a naučíte se ji používat, je obvykle dvoudenní.
- Workshop probíhá v termínu vybraném po vzájemné domluvě, nejčastěji u nás v Poličce, za příplatek i u Vás na škole.
- Stavby jedné tiskárny se mohou účastnit maximálně tři stavitelé.

Co je ke stavbě potřeba?

- S dostatečným předstihem se s Vámi spojíme a dostanete podrobné instrukce, co si s sebou přivézt.

Kolik to stojí?

- Cena je 24 999 Kč. Cena zahrnuje vlastní stavebnici tiskárny a dvoudenní workshop.

Z jakých prostředků může škola akci financovat?

- Samozřejmě záleží na Vašich možnostech. Vzhledem k tomu, že je akce akreditovaná, můžete použít také prostředky k dalšímu vzdělávání pedagogických pracovníků.

Dostanu certifikát?

- Ano, pokud jste učitel(ka), dostanete řádný certifikát potvrzující Vaše další vzdělávání v systému DVPP.

Akreditováno v rámci systému **DVPP** (Další vzdělávání pedagogických pracovníků) Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy pod č. MSMT-7474/2015-1-366

Tiskárnu stále vylepšujeme.
Změny v konfiguraci a parametrech tiskárny vyhrazeny.

Jak si postavit 3D tiskárnu Molestock

*Pokud jste si z mnoha možností open hardware RepRap 3D tiskáren vybrali právě Molestock, nabízíme vám **akreditovaný workshop**, na kterém si tiskárnu postavíte a zprovozníte.*

Jak stavba tiskárny Molestock v rámci workshopu probíhá?

V rámci dvoudenního workshopu si (s naší pomocí) sami postavíte, zprovozníte, zkalibrujete a odvezete kompletní delta tiskárnu **Molestock S**. Stavba není nikterak náročná a pokud jste již měli v ruce kleště, šroubovák a nůž, věříme, že stavbu zvládnete. Celá akce probíhá nejčastěji u nás v Poličce, ale nebráníme se zorganizovat workshop přímo na vaší škole (za odpovídající příplatek a cestovné). Akce je akreditována v rámci systému MŠMT DVPP. Pokud jste učitelé, obdržíte řádný certifikát potvrzující vaše další vzdělávání.

A co když nechci na workshop, stačil by mi návod...

Samozřejmě i s touto možností počítáme. Již nás oslovila řada zájemců, kteří mají se stavbou 3D tiskáren bohaté zkušenosti a chtějí si postavit i Molestock. Právě proto jsme přímo do e-Molu zařadili kompletní soupis všech potřebných dílů a podrobný stavební návod. Pokud tedy chcete, můžete si vše sami nakoupit (jistě pomohou portály jako **eBay.com**, **AliExpress.com** a další ☺) a tiskárnu si pro svoji osobní potřebu postavit nezávisle na nás. Tímto postupem samozřejmě ušetříte, protože jednotlivé díly často pořídíte v ceně, která nedosahuje hranice pro řádné proclení a přes celnici projdou v režimu „bez cla“. Ve výsledku tak ušetříte jak clo, tak DPH (více informací naleznete na stránkách **Celní správy ČR**.

Když budeme mít s tiskárnou nějaké problémy, přijedete nám je vyřešit?

Tak takto RepRap nefunguje. Proto si tiskárnu sami stavíte, abyste zládli i všechny problémy a servisní úkony související s jejím provozem. Právě to je velkou devizou RepRap tiskáren – velká míra nezávislosti a svobody. Samozřejmě, že těm, kteří si s námi tiskárnu postavili, jsme k dispozici a mohou s námi své případné problémy konzultovat. Nikdo k vám ale nebude jezdit a řešit věci za vás, vždyť vy to určitě zvládnete!

Všechny komponenty před stavbou testujeme, ale může se stát, že se něco časem „pochroumá“. V takovém případě vám samozřejmě dodáme náhradní díl.

UPOZORNĚNÍ I

Součástí stavebnice je průmyslový napájecí zdroj AC 230V/DC 12V s otevřenou svorkovnicí. Budete pracovat se síťovým napětím. Hrozí úraz elektrickým proudem!

Pracujete na vlastní nebezpečí!

UPOZORNĚNÍ II

Na 12V výstupu zdroje protékají značné proudy. Při nesprávném zapojení hrozí nebezpečí požáru!

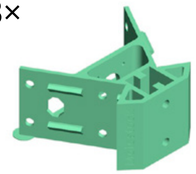
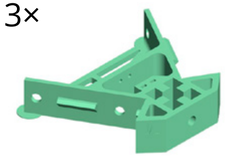
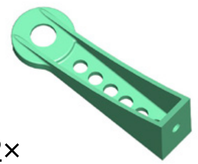
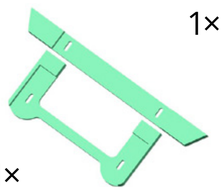
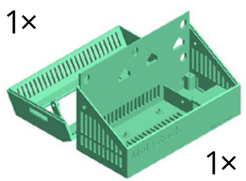
Tryska i vyhřívaná podložka dosahují vysokých teplot. Hrozí nebezpečí popálení!

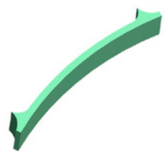
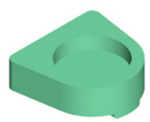
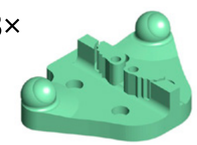
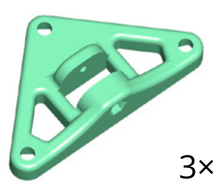
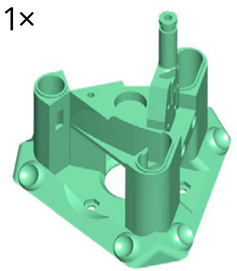
UPOZORNĚNÍ III

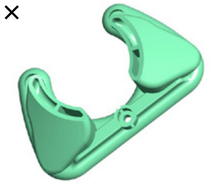
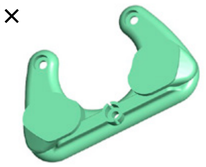
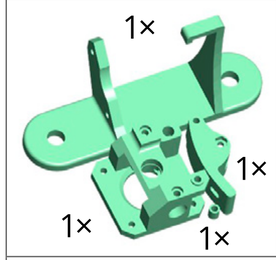
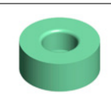
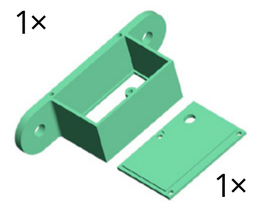
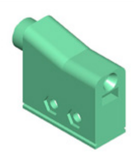
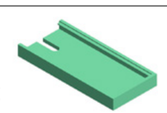
Pokud je 3D tiskárna v provozu, nenechávejte ji bez dozoru.

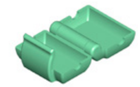
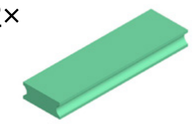
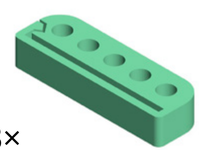
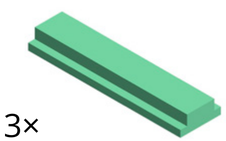
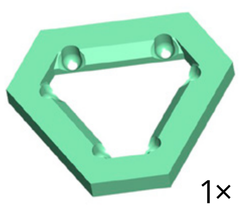
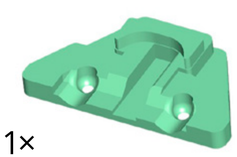
Tiskárnu a její síťový kabel udržujte mimo dosah dětí mladších 8 let!

Molestock – seznam tištěných dílů

vyobrazení a počet	název
3× 	roh dolní
3× 	roh horní
2× 	držák špulky
1×  1×	úchytka zdroje zadní úchytka zdroje přední
1×  1×	Arduino case – spodní díl Arduino case – horní díl
1×	tlačítko STOP (červené)
1×	kryt plotýnky přední

vyobrazení a počet	název
3×	kryt plotýnky dlouhý (červený)
2× 	kryt plotýnky krátký (červený)
3× 	zarážka lineárního vedení
3× 	vozík
 3×	napínák řemene
1× 	tisková hlava (efektor)
1×	horní kryt tiskové hlavy

vyobrazení a počet	název
1× 	vzduchovod PLA
1× 	vzduchovod ABS
1×  1× 1× 1×	držák extrudéru tělo extrudéru přítlak extrudéru redukce k ložisku (váleček)
1× 	„knoflík“ pro zasunutí z-sondy
1×  1×	„skříňka“ elektrické zásuvky kryt „skříňky“ elektrické zásuvky
1× 	tělo čidla tiskové struny
1× 	kryt čidla tiskové struny

vyobrazení a počet	název
1× 	prachový filtr
20×	úchytka do profilové drážky
2×	středicí U pro kolejnici lineárního vedení
2× 	nasouvací element vozíku lieárního vedení
 3×	distanční návlek na klip
3× 	distanční měrka 45 mm
 1×	přípravek na lepení kuliček k tiskové hlavě
1× 	přípravek na lepení kuliček k vozíku

Všechny 3D modely tištěných dílů a pomůcek naleznete v GitHub repozitáři: **https://github.com/e-Mole/Molestock**

Molestock – seznam spojovacího materiálu, elektroniky a kabelů a ostatních dílů

Spojovací materiál *	
název	**počet**
M2,5×10	2
M2,5×12	2
M2,5×12 nízká hlava	6
M2,5 matice	8
M3×4	2
M3×6	9
M3×6 nízká hlava	2
M3×8	37
M3×8 (zápustné)	3
M3×10	24
M3×12	1
M3×14	8
M3×20	7
M3×30	2
M3×40	2
M3 podložka	8
M3 podložka velká	16
M3 matice	12
M3 matice nízká	3
T matice profilová M3	24
M4×8	1
M4 podložka	1
M5×25	9
M5 matice	9
M8×10 button	63
M8×12 button	2
M8 matice nízká čtvercová	74
Třmínek 1,6–1,9 mm	1
Nerezový drát ⌀ 1,6 mm	11 cm

* Všechny šrouby jsou imbusové.

Elektronika a kabeláž	
název	**množství**
RAMPS 1.4	1 ks
LCD 2004	1 ks
DRV8825 (nebo A4988)	4 ks
Arduino Mega 2560	1 ks
Napájecí zdroj 360 W (větráček s teplotní regulací)	1 ks
Rele 40 A 12 V	1 ks
Motory SX17 (např. Microcon SX17-1005)	4 ks
Hotend RebelMod, komplet pro bowden ext.	1 ks
Topná plotýnka MK3 (Al), průměr 265 mm	1 ks
Větráček 40 × 40 mm, 12V (např. ME40101VX)	2 ks
Mikrospínač pro endstopy + z-sondu	4 ks
Mikrospínač s rolnou pro čidlo filamentu	1 ks
Pojistka 2A (1,6A) pomalá	1 ks
EU konektor s vypínačem a pojistkou	1 ks
Kabel síťový EU	1 ks
Termistor „skleněný“ (100 KΩ NTC 3950)	2 ks
Konektory XT60 (samec + samice)	1+1 ks
Pin DuPont 2,54 mm samice	22 ks
Pin DuPont 2,54 mm samec	10 ks
Konektor DuPont 2,54 mm blok 2×3	2 ks
Konektor DuPont 2,54 mm blok 2×1	6 ks
Konektor DuPont 2,54 mm blok 3×1	1 ks
Konektor DuPont 2,54 mm blok 4×1	2 ks
Konektor Faston plochý 6,3 mm samice	6 ks
Konektor Faston plochý 6,3 mm samec (pájecí)	2 ks
Kabel napájecí ~230 V (CYSY 3×1,5)	56 cm
Kabel červený (2,5 mm^2)	55 cm
Kabel černý (2,5 mm^2)	30 cm
Dvojlinka černý + červený (2×1,5 mm^2)	222 cm
Prodlužovačka k motoru extrudéru (4 žíly)	48–65 cm
Kabel k efektoru (6× 0,22 mm^2, 8× pro dual extrudér)	140 cm
Kabel černý tenký (0,22 mm^2)	583 cm
Kabel červený tenký (0,22 mm^2)	513 cm
Kabelový svazkovač	70 cm
Smršťovací bužírky	

Ostatní díly/pomůcky	
název	**počet**
Lineární vedení 500 mm s vozíkem (MGN12 + MGN12H)	3
Al profil 30×30×322 mm	9
Al profil 30×30×745 mm	3
Al trubička 8×244 mm (závěsná ramena)**	6
Al trubička 10×45 mm (zakončení záv. ramen)**	12
Ložisko F623ZZ	6
Ložisko 625ZZ	1
Ložisko MR105ZZ	1
Řemenice GT2 16T (5 mm, pro 6 mm řemen GT2)	3
Zubatice MK8 1,75 mm	1
Pružina přítlačná (extrudér), dostatečně silná	1
Pružina „propisková“ (z-sonda)	1
Zavírací špendlík (z-sonda)	1
Hadičková rychlospojka 4 mm (průchozí)	2
Distanční sloupek + frézovaná deska (pertinax)	6+1
Řemen GT2 6 mm (3×147 cm)	441 cm
Celokovový heatbreak bez PTFE insertu	1
Náhradní tryska 0,4 mm	1
Čistítko na trysku 0,35 mm	1
Samolepicí nožička čirá (průměr 25 mm)	3
Kruhové sklo 265 mm, tl. 4 mm	1
Klip na sklo (kovový kancelářský klip na papír)	3
Lepidlo UHU stic	1
Hadička PTFE 4/2 mm (bowden)	60 cm
Izolační rouno tl. 13 mm (vystřihnutý kruh)	1
Kulička ložisková 10 mm	12
Neod. magnet válcový 8×20 mm (alespoň N42)	12
Trubka 32 × 120 mm (novodurová odpadní)	1
Stahovací pásky tenké	10 ks
Silikonový tmel (např. na aut. výfuky)	

** Závěsná ramena jsou sestavena z dlouhé hliníkové trubičky a dvou kratších nalisovaných trubičkových zakončení se zafrézovanou kulovou plochou a vloženým neodymovým válcovým magnetem. Styčná plocha s ložiskovou kuličkou je poplastovaná. Celková délka od bodu rotace na vozíku k budu rotace na efektoru je 299 mm (od středu kuličky do středu kuličky). Alterantivně je možné použít vytištěná plastová zakončení závěsných ramen.

Potřebné nářadí

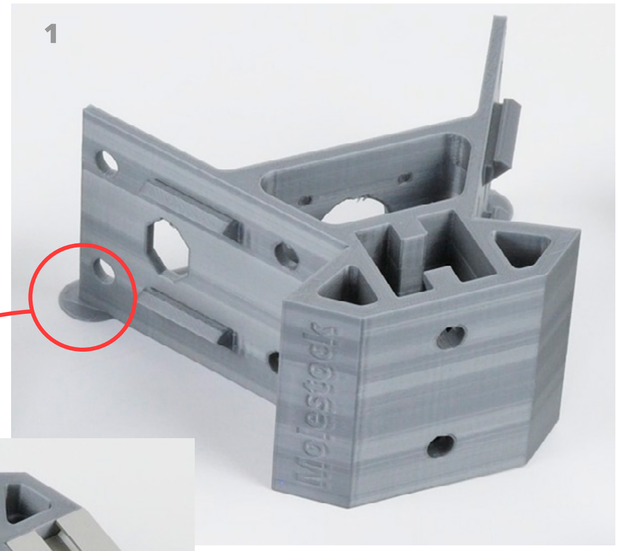
- sada imbusových klíčů „s kuličkou“ (1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5)
- šroubováky ploché (malý 3 mm, hodinářský 1,5 mm)
- klíče 8 a 10 (matice trysky a spojky bowdenu), klíč stavitelný (k uchycení heatblocku)
- odlamovací výsuvný nůž (hodí se úzký i široký)
- skalpel (má ostřejší hrot, který se někdy hodí)
- vrtáčky (⌀1,8 mm; 3,1 mm; 5,5 mm)
- nůžky (ideálně chirurgické rovné hrotnaté)
- malé ploché kleště
- malé boční štípací kleště
- pinzeta
- posuvné měřítko („šuplera“)
- lihový fix
- páječka + pájka
- multimetr
- hořák/zapalovač
- krimpovací kleště pro konektory DuPont a Faston, odizolovávací kleště
- úhelník

Pokud si chcete tiskárnu Molestock postavit na našem workshopu, je dobré dovézt si své nářadí. Proč? Každý nějaké to nářadí doma již má a přijde nám zbytečné navyšovat cenu tiskárny o sadu nářadí. Při stavbě tiskárny si tak vyzkoušíte, zda máte nářadí použitelné při budoucím servisu (nebojte se, vše, co je zde uvedeno není k běžné údržbě třeba). Pokud něco ze seznamu nemáte, dejte nám s předstihem vědět, nářadí vám na dobu stavby tiskárny zapůjčíme.

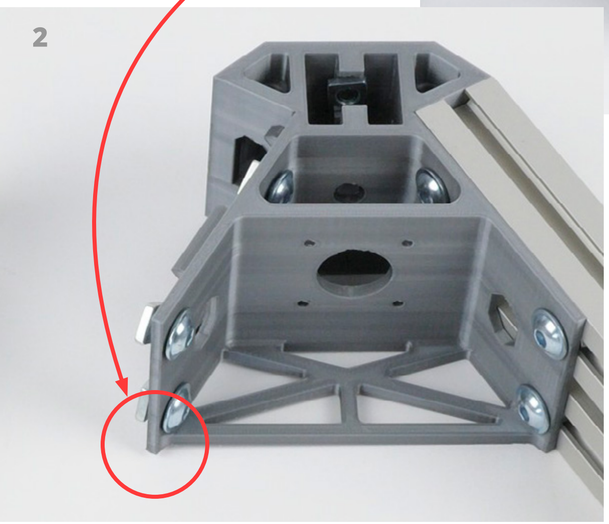
Kompletace

Očištění tištěných dílů

Z tištěných dílů je třeba odstranit různé typy pomocných výplní (podpor), pomocné plochy pro lepší přilnavost při tisku, … a díly finálně začistit.

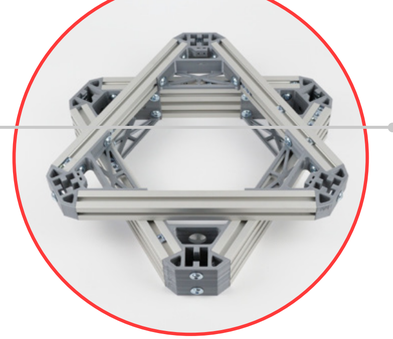


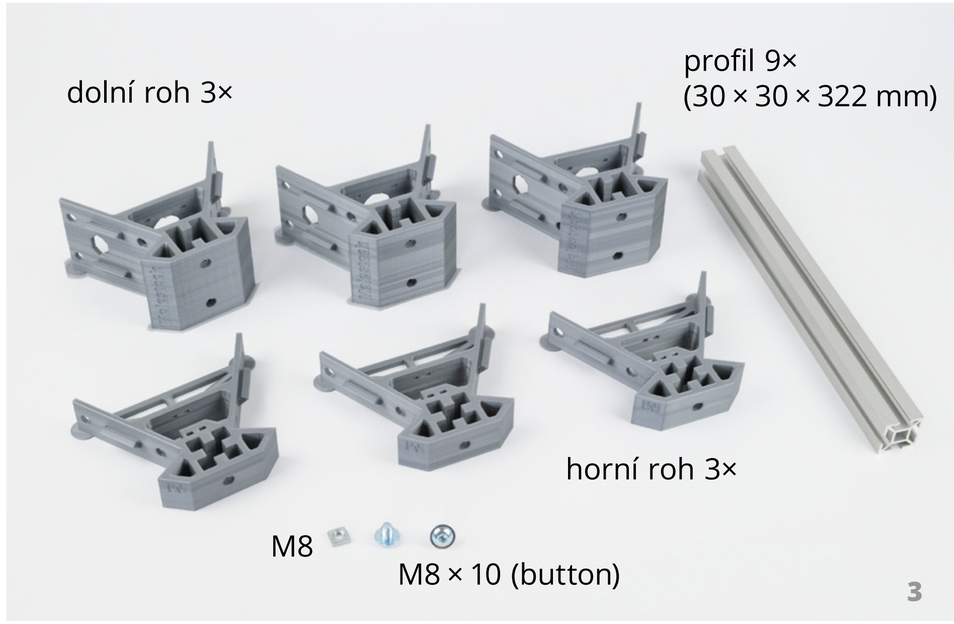
1



2

Horní a dolní trojúhelník kostry tiskárny

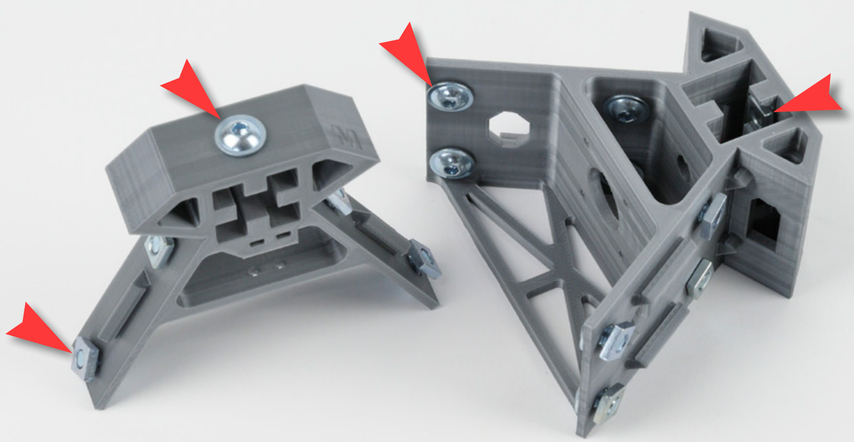




3

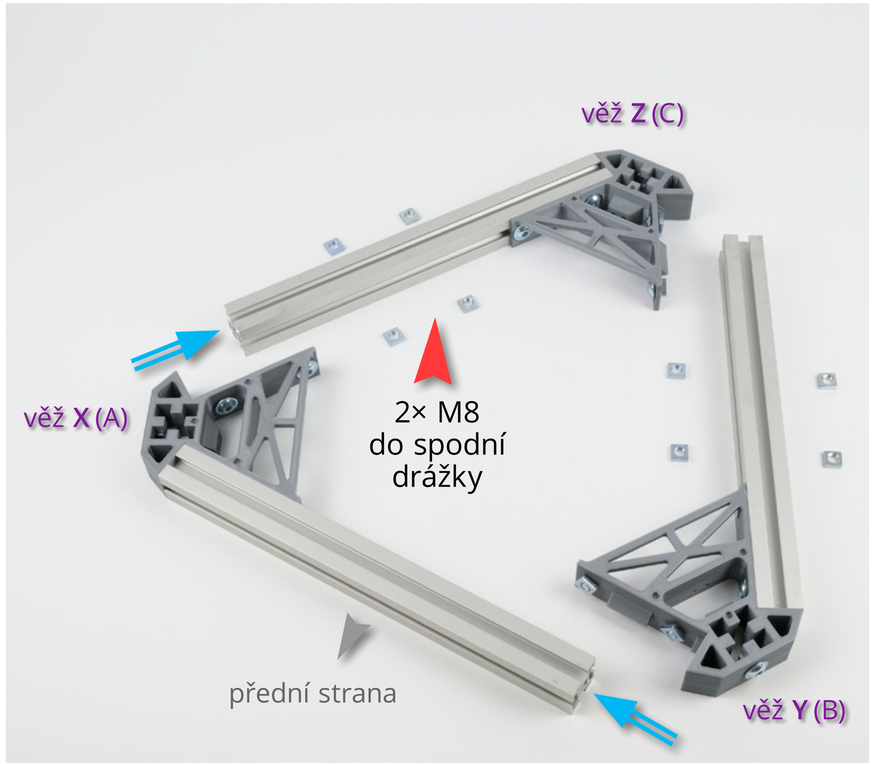
K montáži horního a dolního trojúhelníku budeme potřebovat tyto typy vyobrazených dílů.

Rohové díly nejdříve osadíme šrouby a maticemi. Matice nedotahujeme, ponecháme dostatečný prostor pro nasunutí hliníkového profilu.

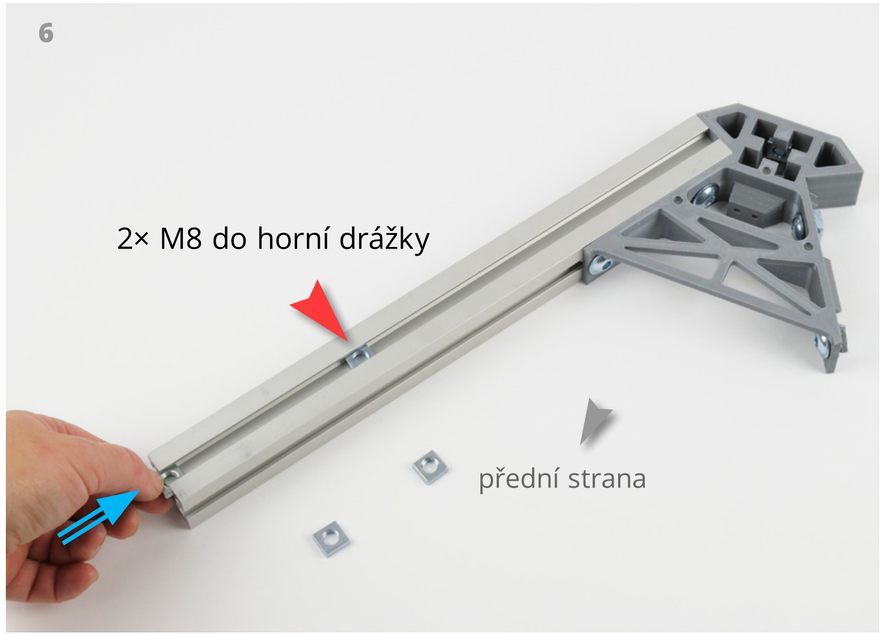


4

Horní trojúhelník

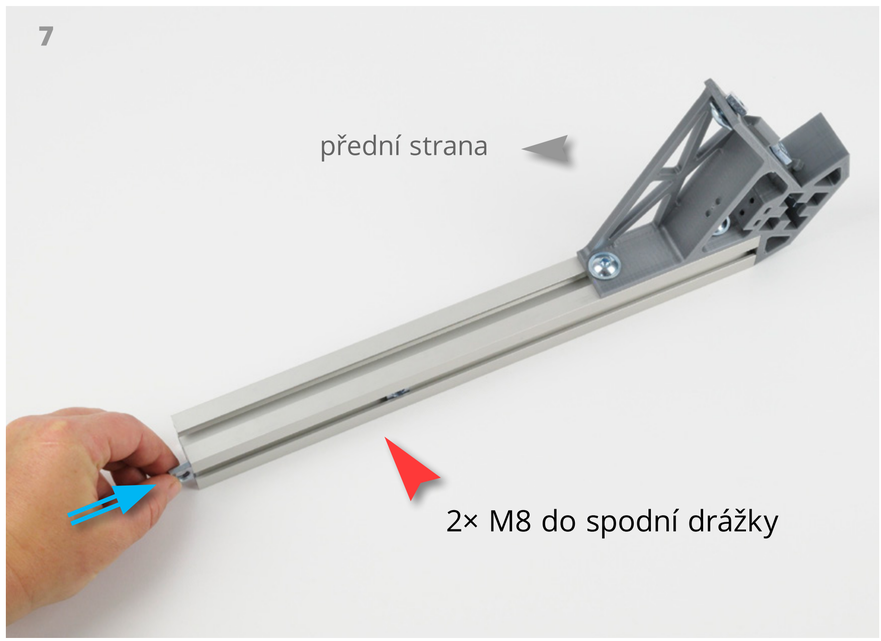


Na každý rohový trojúhelník nejdříve nasuneme jeden hliníkový profil a lehce ho zafixujeme dotažením jednoho ze šroubů tak, aby profil nemohl vypadnout.



Do odpovídajících drážek profilu nasuneme matičky.

Zde dvě do horní drážky...

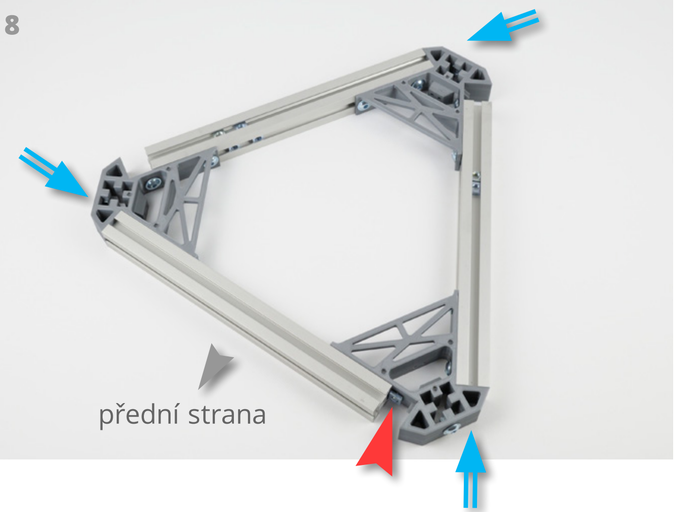


... a dvě do drážky spodní.

Pokud plánujete další vývoj/rozšiřování tiskárny, je vhodné připravit si do drážek i další matičky (např. do vnitřní a vnější drážky nebo do předního profilu, ve kterém v základní konfiguraci žádná matička není).

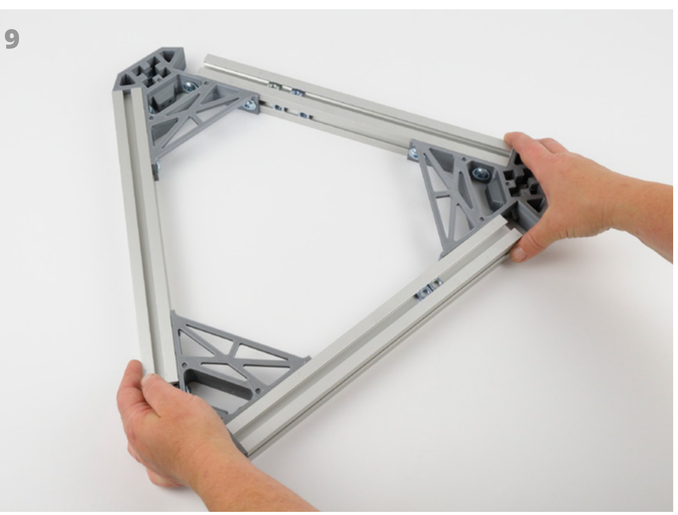
Počet a umístění matiček dle obrázku počítá s případným budoucím rozšířením tiskárny o druhý extrudér.

8



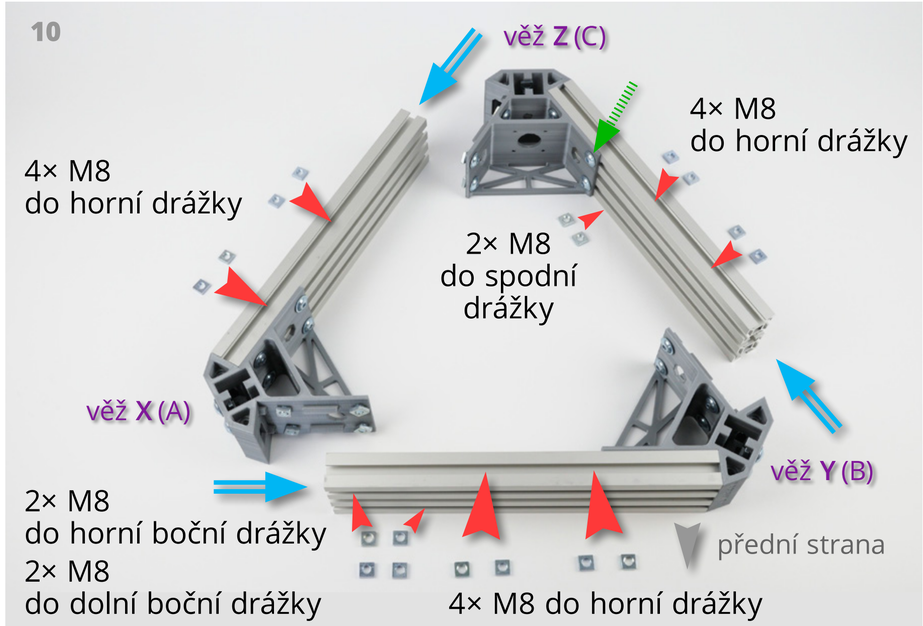
Každý předpřipravený komplet roh–profil nasuneme profilem na jiný tak, aby spolu vytvořily trojúhelník. Současným tlakem na rohy zasuneme profily až k tělu tištěných rohů. Následně na rovné podložce (např. 15mm sklo flatglass) trojúhelník vyrovnáme a všechny šrouby pevně dotáhneme.

9



Dolní trojúhelník

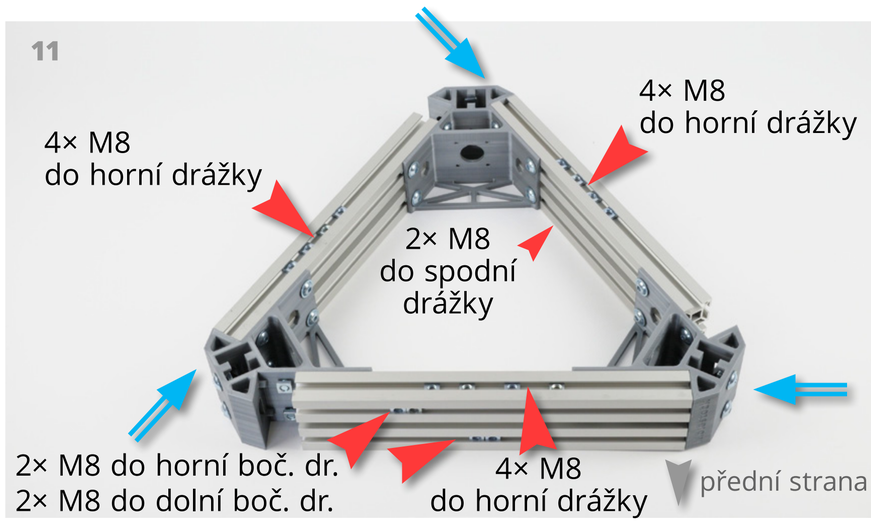
10



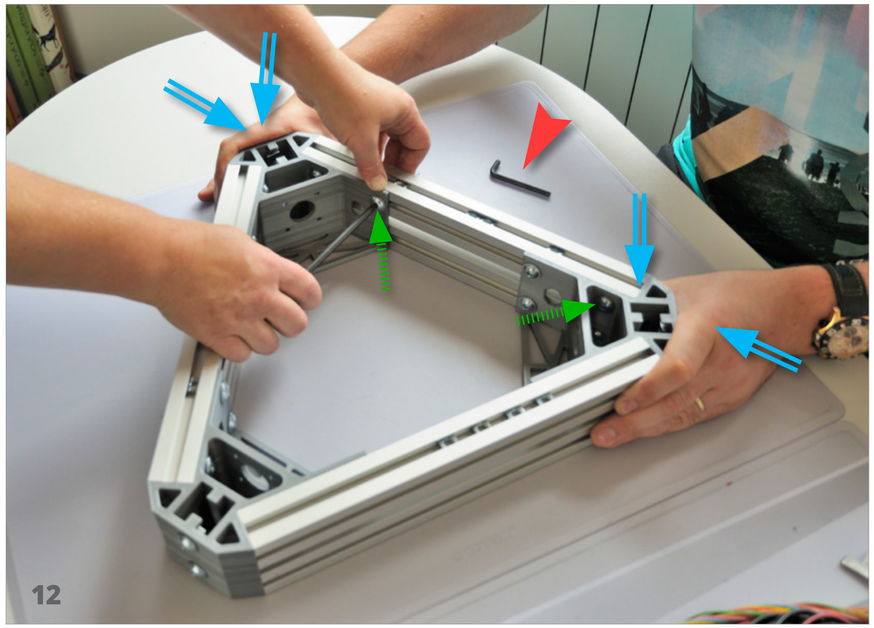
Dolní trojúhelník je masivnější (celkem šest hliníkových profilů) a obsahuje v drážkách více vložených matic. Všechny zde uvedené matice jsou potřebné pro montáž dalších dílů. Na žádnou nezapomeňte!

Pokud plánujete další vývoj/rozšiřování tiskárny, je vhodné připravit si do drážek i další matice.

11



Po vložení matic postupujeme obdobně jako v případě horního trojúhelníku.

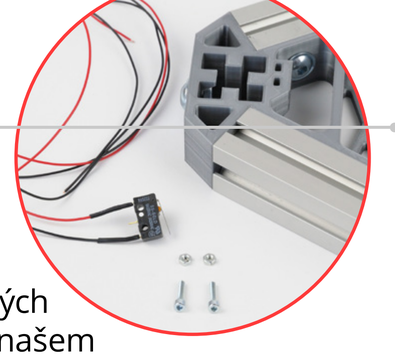


12

Nakonec na rovné podložce (např. 15mm sklo flatglass) trojúhelník vyrovnáme a všechny šrouby pevně dotáhneme. Snažíme se pracovat co nejpřesněji. Pokud někde hliníkový profil plošně nedosedá na plastový díl, bude patrně třeba plastový díl začistit.

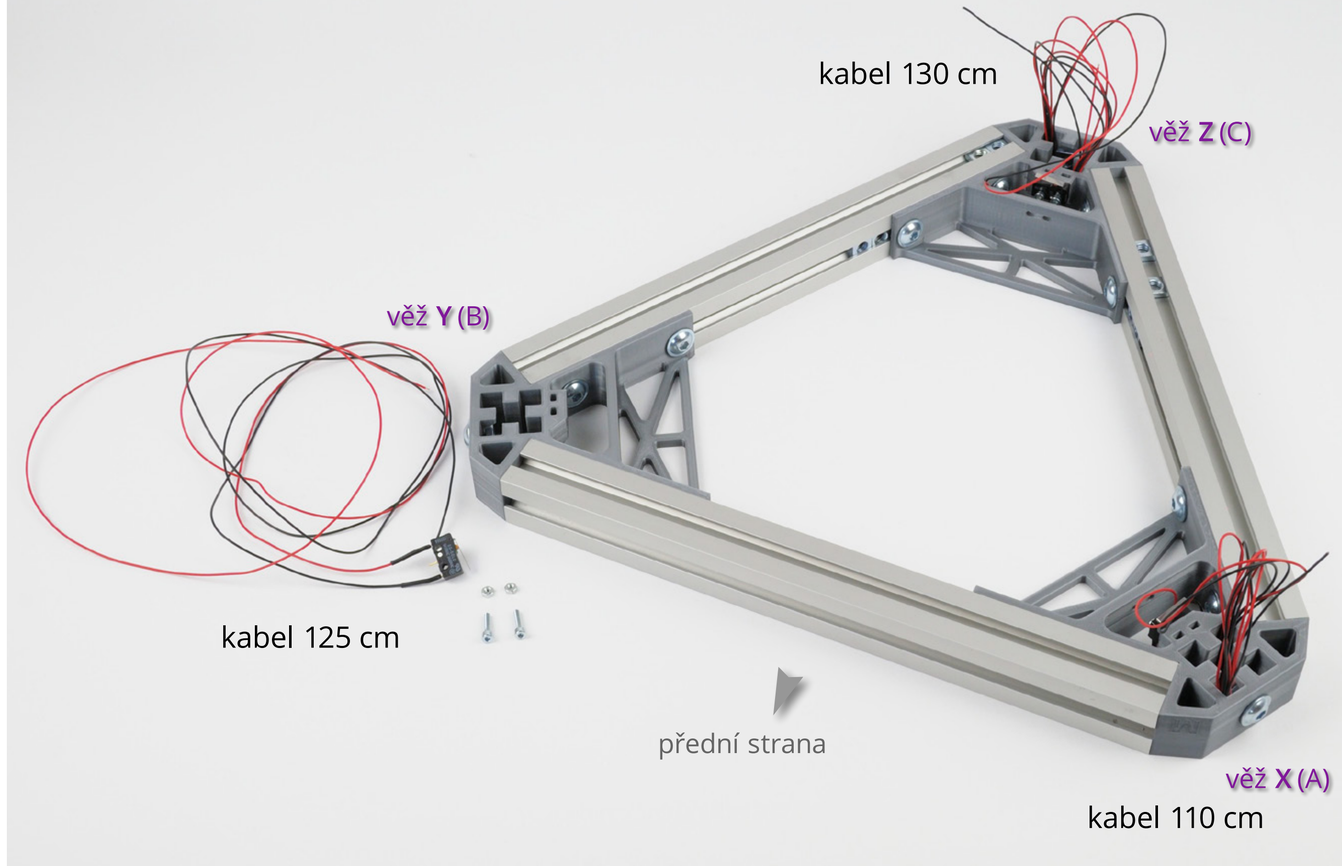
13

Endstopy (koncové spínače)

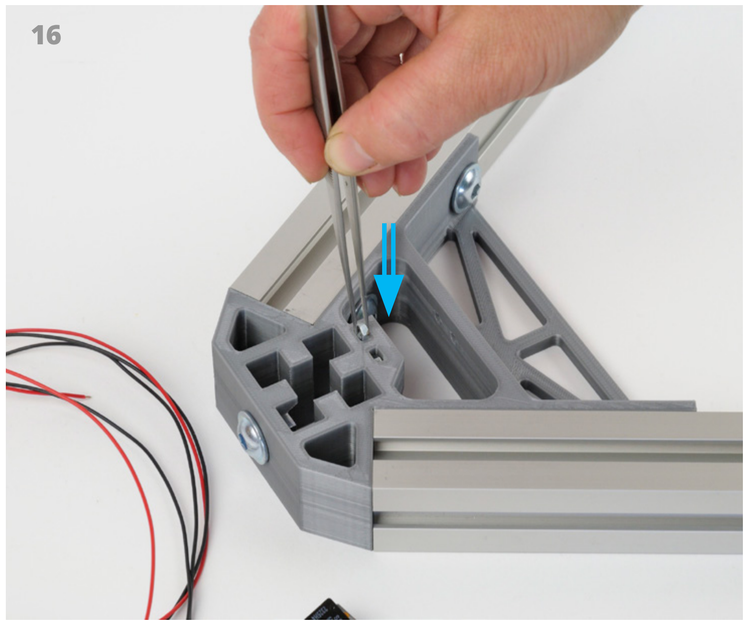


Koncové spínače (endstopy) je třeba přišroubovat do vytištěných rohů horního trojúhelníku. Pozor na délku kabeláže! Ta je v našem setu pro každou věž jiná.
Pokud chcete předejít problémům při nechtěném přehození endstopů s připájenými kablíky, použijte pro všechny endstopy délku kabeláže 130 mm.

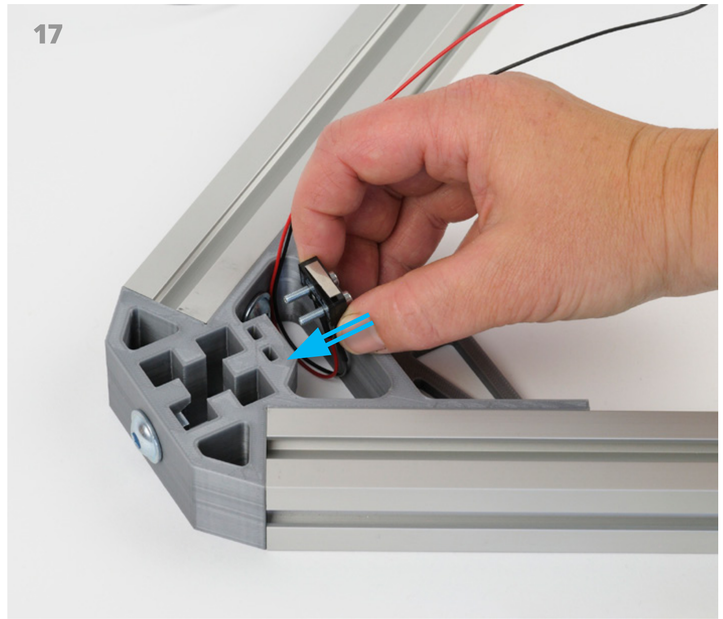
14



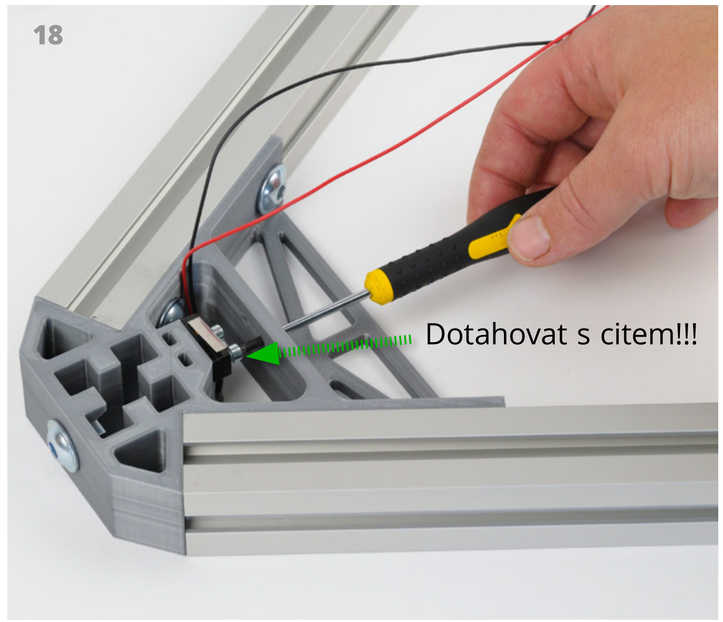
Jako koncové spínače je vhodné použít kvalitní spínače, kterými jsou např. Omron SS-5GLD.



Matičky je třeba zasunout až na dno připravených otvorů. Dotlačit na dno je můžeme sevřenou pinzetou nebo tenkým šroubovákem.



Spínač orientujeme tak, aby páčka směřovala ke zkosené ploše plastového rohu.

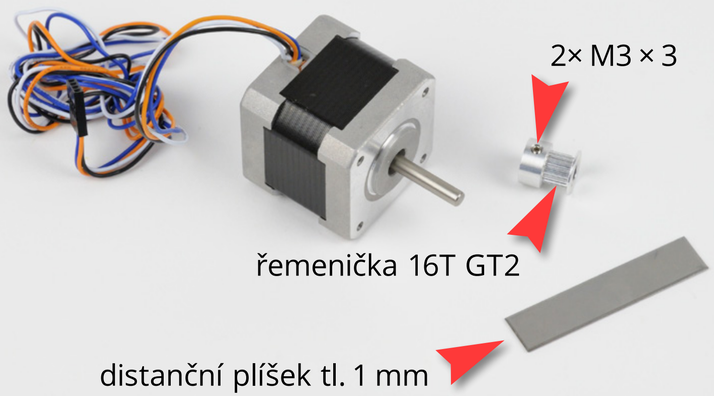


Skrz montážní otvory pevně dotáhneme šroubky. Pozor, pokud to přeženete, můžete tělo spínače rozdrtit.

Motory

Pro montáž řemeničky na osu motoru využijeme distanční plíšek tloušťky 1 mm.

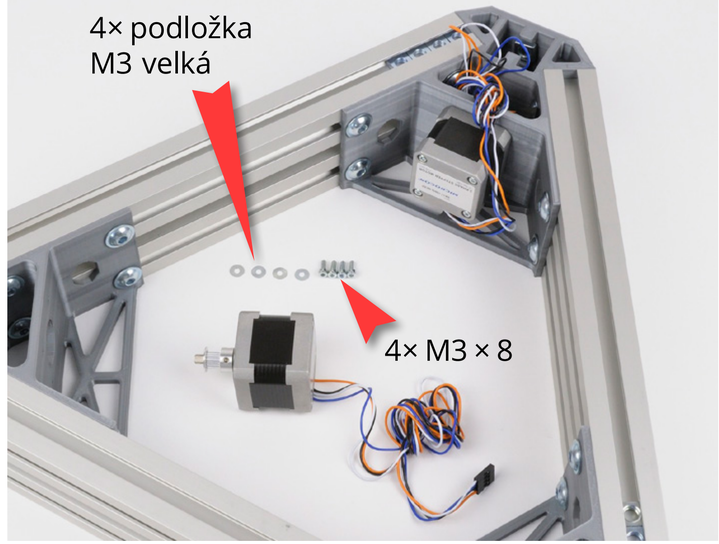
19



První ze šroubků orientujeme proti rovné části osy motoru a pevně ho dotáhneme. Následně pevně přitáhneme i druhý šroubek, umístěný v pravém úhlu k prvnímu.

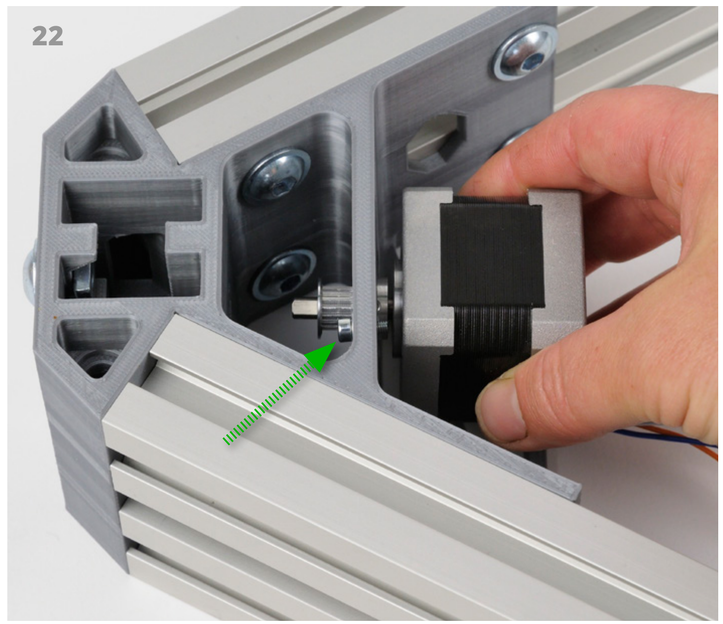
20

21



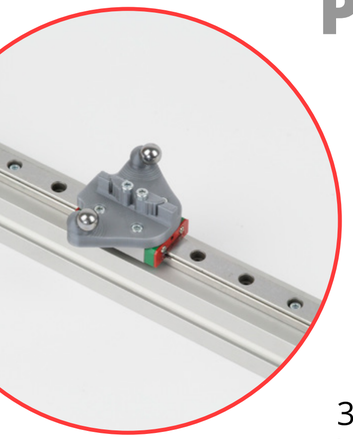
Po montáži řemeničky přistoupíme k osazení motoru do spodního trojúhelníkového rámu.

22



Hlavičky šroubů nezapomeneme podložit velkými podložkami. S citem pak dotáhneme všechny 4 šrouby.

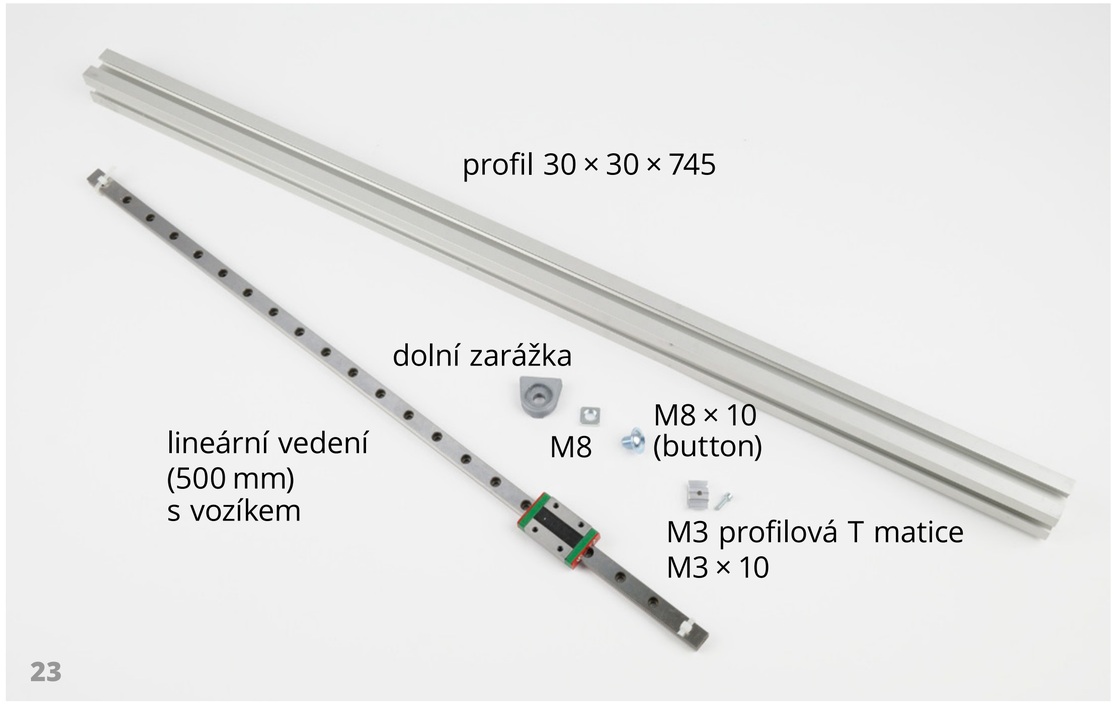
Ke šroubům je horší přístup a jejich utahování je tím pádem zdlouhavé. Pokud chcete pracovat rychleji, můžete použít flexibilní nástavec, nebo si k tomu klíč upravit zkrácením tak, aby se s ním v úzkém prostoru lépe manipulovalo.

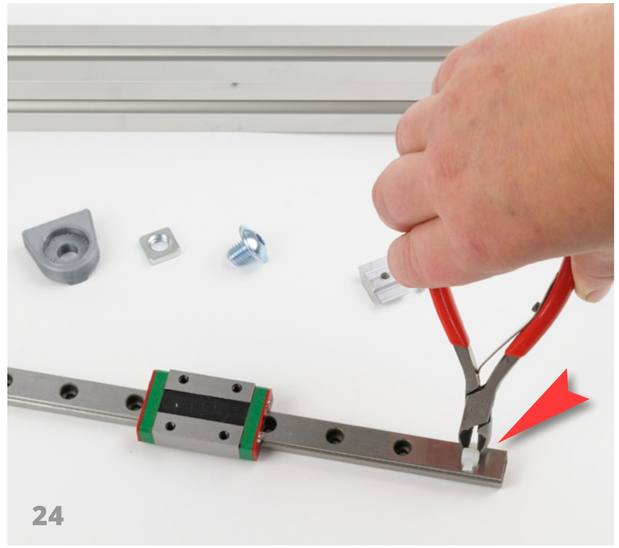


Pojezdy (věže)

Všechny tři vertikální profily, jinak také nazývané „věže“, sestavíme stejným způsobem.

Na každou věž je třeba přišroubovat lineární vedení s pojízdným vozíkem. Nejenže musí být vedení dobře vycentrováno, ale také orientace profilu by měla být u všech tří věží stejná. Nejdříve je tedy dobré překontrolovat rozměr profilu (skutečný rozměr profilu se od teoretického rozměru 30 × 30 mm může lišit, může být např. 30 × 30,1 mm) a všechny profily si zorientovat stejným způsobem. Teprve potom přistoupíme k montáži lineárního vedení. K monáži je zapotřebí profilových T matic se závitem M3.





Odstraníme plastovou pojistku proti vyjetí vozíku.

S využitím pomocné destičky (neboli pomůcky pro „vyjetí“ vozíku) vysuneme vozík mimo kolejnici.

Dáváme pozor, aby nám destička nevypadnula – mohlo by dojít k vysypání drobných kuliček z cirkulačního ložiska.

Molestock – stavba tiskárny

27

Pomocnou destičku opatrně vysuneme.

28

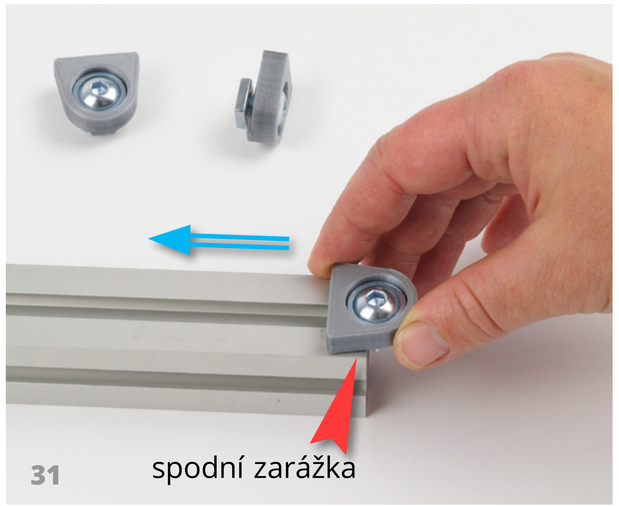
Vozík promažeme ložiskovou vazelínou tak, že prstem vtlačíme vazelínu mezi kuličky v obou viditelných řadách. Je vhodné vozík nasadit na kolejnici (s využitím pomocné destičky) a několikrát s ním popojet sem a tam, poté ho znovu sejmout a mazání ještě jednou zopakovat.

29

Také na kolejnici naneseme jako ochranu proti korozi vazelínu či konzervační olej na lineární pojezdy.

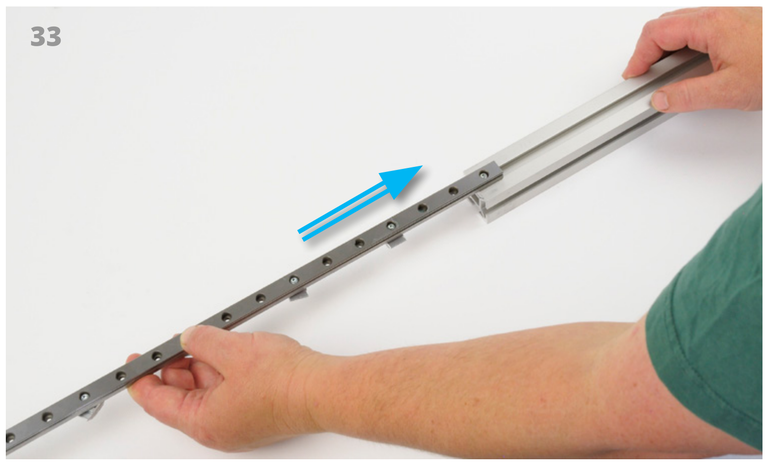
30

Vazelínu hadříkem postupně rozetřeme po celé kolejnici do tenké vrstvičky.



Ze spodní části profilu vložíme spodní zarážku.

Připravíme si kolejnici s T maticemi. (Není třeba využít každý montážní otvor, můžeme vždy dva vynechat.)



Kolejnici lineárního vedení nasuneme z horní části do drážky profilu.

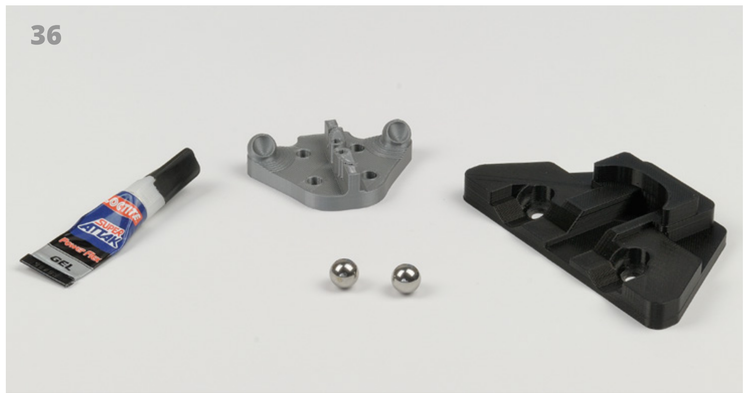
Lineární vedení srovnáme 30 mm od horní hrany profilu.

Kolejnici srovnáme pomocí středicí U pomůcky a po zkontrolování vzdálenosti od horní hrany dotáhneme všechny šroubky. Dotahujeme pevně, ale s citem – v případě použití velké síly není problém M3 závit strhnout. Na závěr přisuneme a dotáhneme spodní zarážku.

Středicí U pomůcky vkládáme na všechny tři věže stejně zorientované a nezaměňujeme horní se spodní.

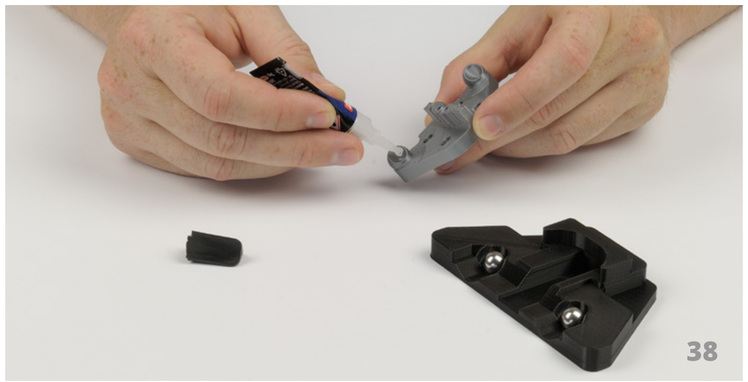
Lepení kuliček k vozíku

Na očištěné kulové plochy vozíku je třeba nalepit ocelové kuličky. (Předem magnetem vyzkoušejte, zda jsou kuličky z magnetické oceli.) Kuličky je třeba dokonale odmastit (5 h benzín + petrolej 1:1, 1 h aceton) a po odmaštění je již nebrat holou rukou. Ke vlepení můžete použít speciální dvousložková epoxidová lepidla (kov–plast) nebo bežné methakrylátové vteřinové lepidlo. (Osvědčil se např. Loctite Super Attak Power Flex Gel.)

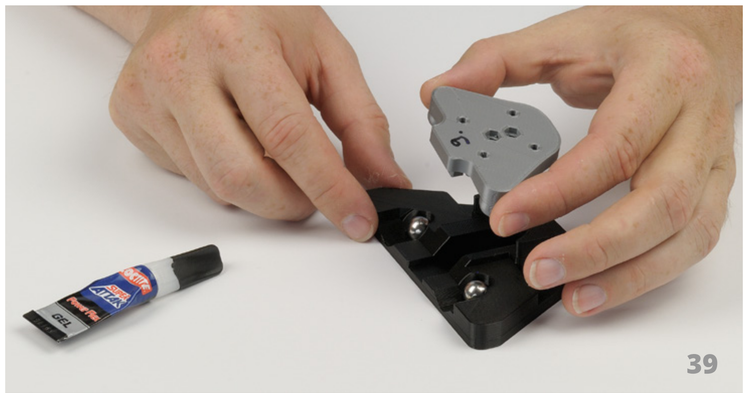


K přesnému vlepení je určena vytištěná pomůcka (černě).

Kuličky vložíme do jamek. (POZOR, nebrat je jen tak rukou!)

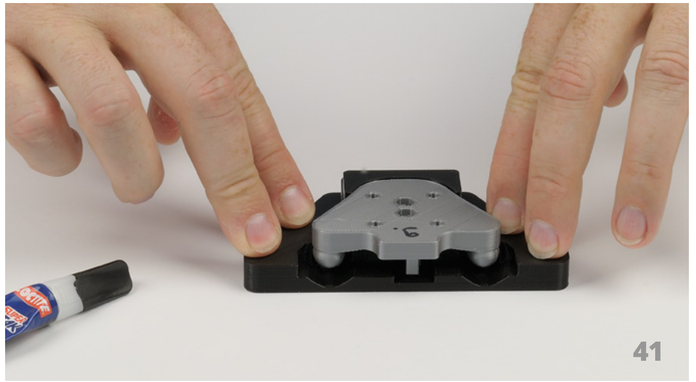


Do jamek vozíku nanaseme přiměřené množství lepidla.

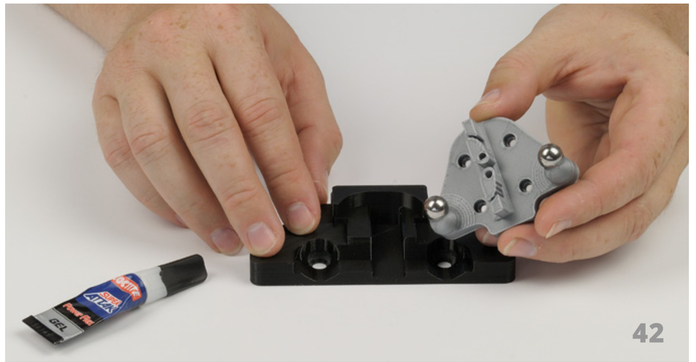


Vozík opatrně přiložíme na pomůcku s kuličkami.

Pevně stiskmene proti sobě a alespoň minutu držíme.

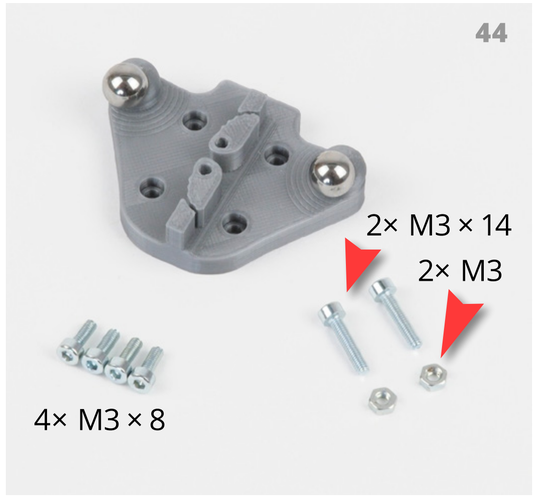


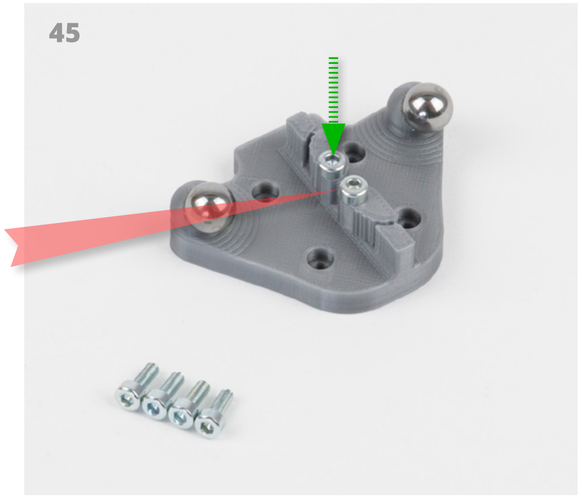
Pomůcku položíme na rovnou podložku a zatlačíme na okraje.

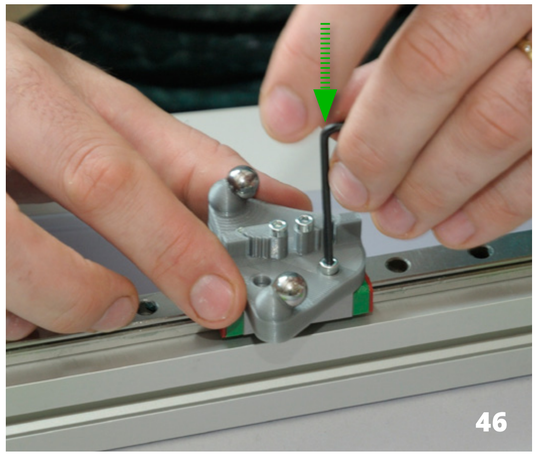


Vozík vyjmeme z pomůcky.

Před montáží necháme lepidlo dostatečně vytvrdnout.

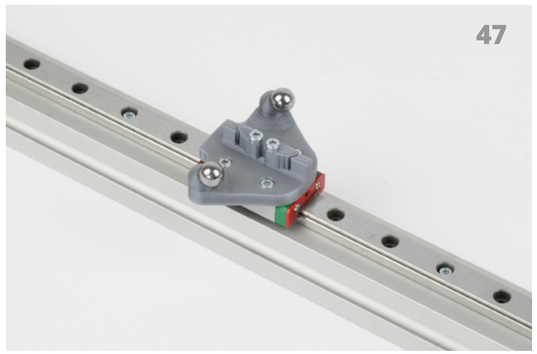






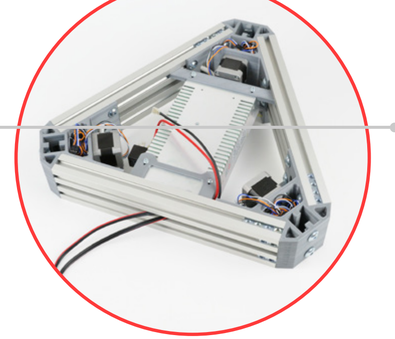
Kotvicí místa hnacího řemene jsou na vozíku zpevněna pomocí dvou šroubků M3 × 14. Po jejich montáži již můžeme vozík přišroubovat k ocelovému pojezdovému vozíku.

Plastový vozík musí být pevně přitažen, mezi jeho zadní částí a dosedací plochou ocelového vozíku nesmí být mezera.



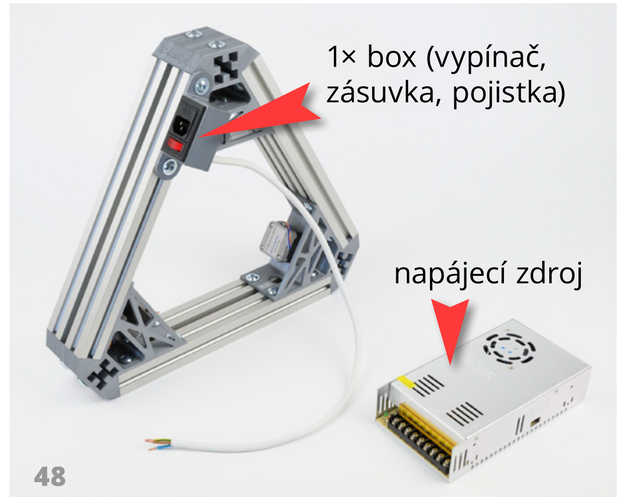
Při další manipulaci dáváme pozor, aby nám vozík v horní části věže nevyjel z kolejnice!

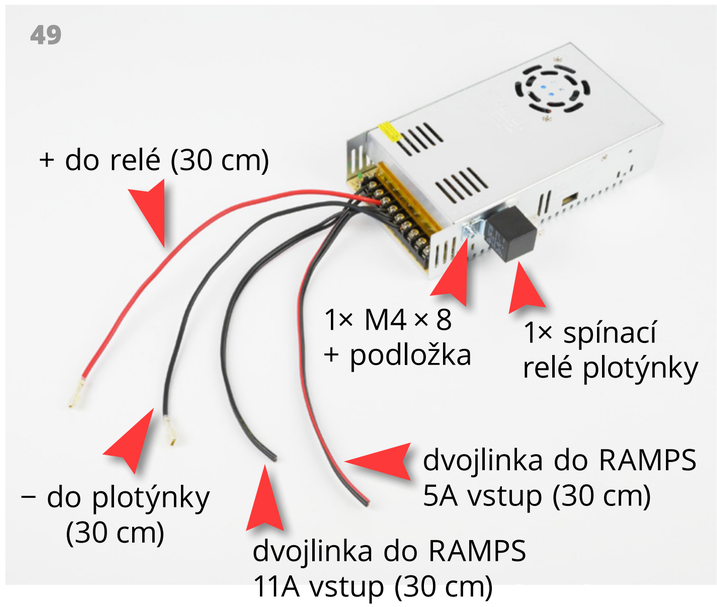
Napájecí zdroj



K připojení síťového napájecího kabelu je použita klasická „euro“ (EU) kabelová zásuvka s integrovaným vypínačem a pojistkou.

Po připojení kabelu (CYSY 3G×1,5) namontujeme zásuvku do „skříňky“ a tu pak ke spodní ploše dolního trojúhelníku v zadním rohu u věže Z (C).



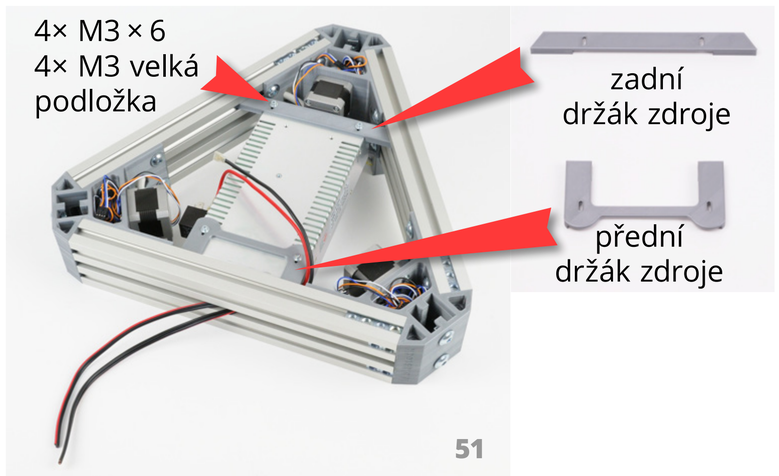


K napájecímu 12V zdroji si nejdříve připojíme vše potřebné podle obrázku (červená **+**, černá **–**).

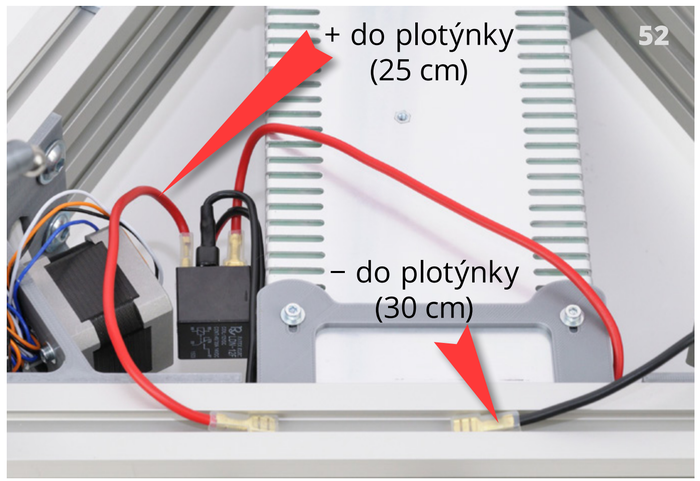
Na samostatné kablíky (červený a černý) vložíme plastový převlečný díl a nakrimpujeme Faston konektor. Převlečný díl přetáhneme přes nakrimpovaný konektor.

Spodní trojúhelník si položíme dle obrázku vlevo. Na trojúhelník umístíme předpřipravený komplet napájecího zdroje. Napájecí kabel ze „skříňky“ napojíme na svorkovnici zdroje. POZOR na správné zapojení!

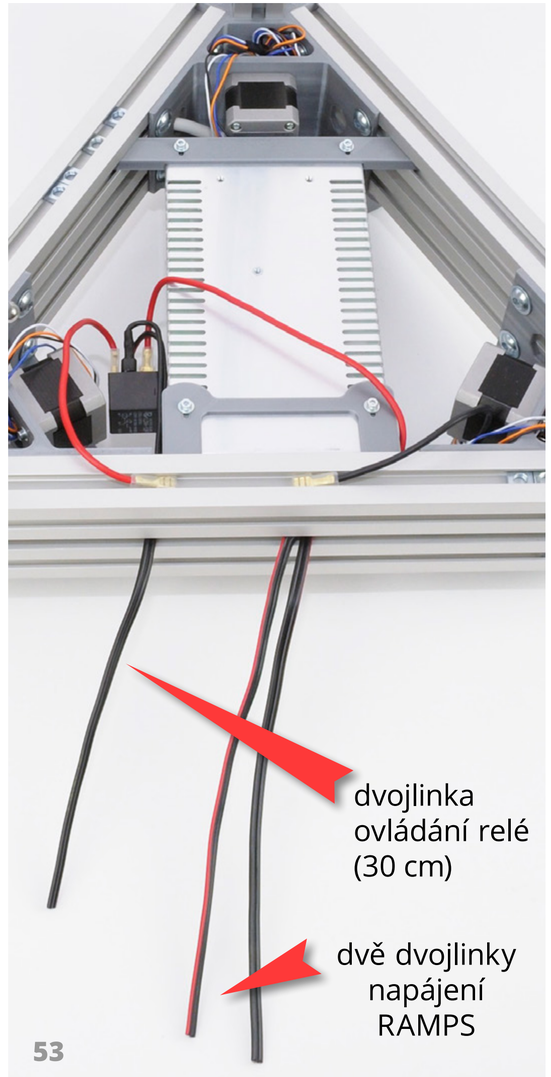
Dalším krokem je montáž zdroje do spodního trojúhelníku a připojení kabeláže na relé pro spínání topné plotýnky.



Spodní trojúhelník otočíme a do vnitřní drážky profilů zasuneme přední a zadní držák zdroje. Zespodu přitiskneme napájecí zdroj a pomocí šroubků zdroj k držákům zafixujeme. Před finálním dotažením zatlačíme zdroj co nejvíce dozadu (ke věži Z). Při správném usazení se zdroj nesmí pohybovat do stran.

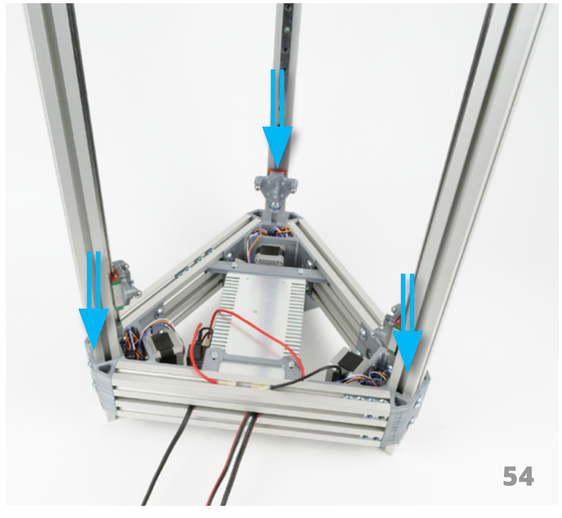


Nyní můžeme připojit další kablíky. Červený s dvěma nakrimpovanými Faston konektory o délce 25 cm připojíme na jeden spínaný kontakt relé. Na druhý spínaný kontakt připojíme červený kablík vedoucí ze zdroje. Na spínací kontakty si připojíme dvojlinku ovládání relé, která bude propojena s RAMPS.

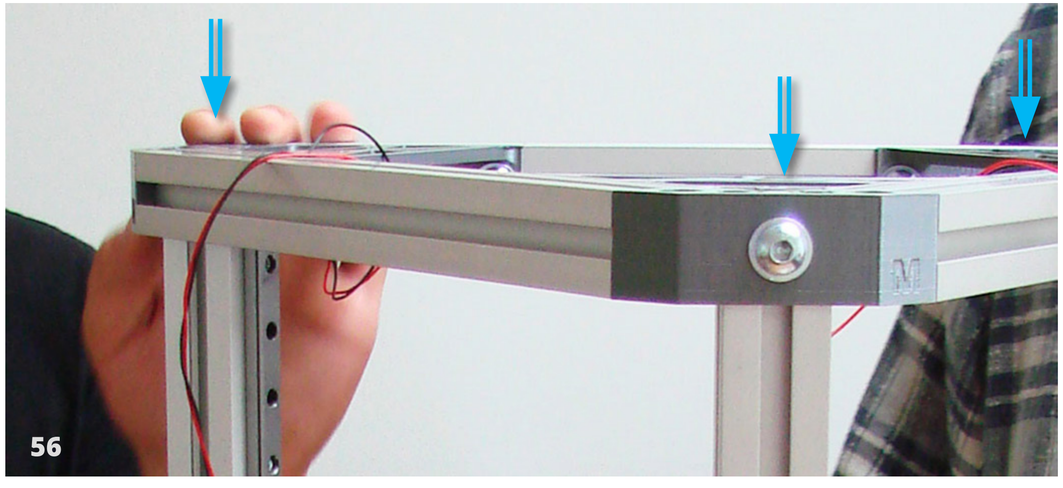


Všechny tři dvojlinky protáhneme mezerou mezi profily dopředu. Do drážky horního profilu si dočasně odložíme černý a červený kablík pro budoucí napájení topné plotýnky. (Nebudou nám tak překážet při další manipulaci.)

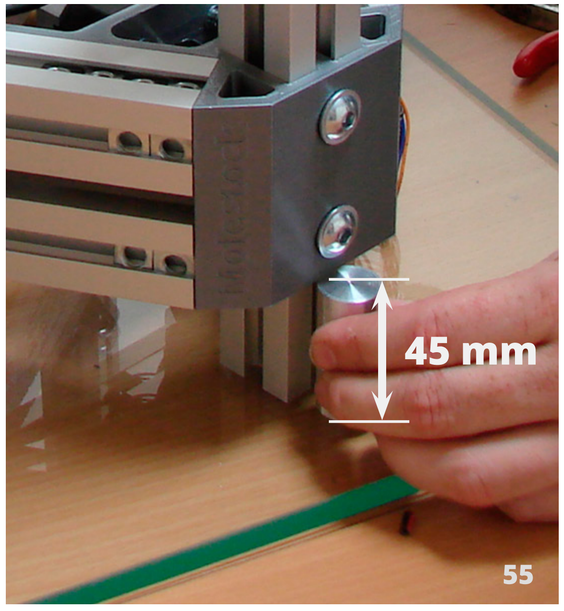
Věže (kompletace kostry)


54

Do dolního trojúhelníku postupně nasuneme všechny tři věže.


56

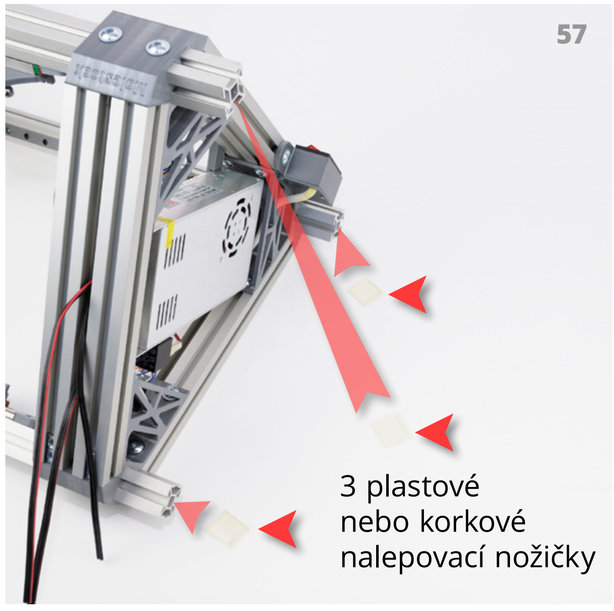
Poté nasuneme na věže horní trojúhelník. Pokud jsme měřili přesně, měl by trojúhelník lícovat s profily. Po finálním dorovnání všechny šrouby pečlivě dotáhneme. Pomocí úhelníku zkontrolujeme pravoúhlost konstrukce.



55

Na rovné podložce (např. 15mm sklo flatglass) nastavíme přesah (nožičky) přesně na 45 mm a lehce dotáhneme šrouby. Pro co nejpřesnější nastavení všech nožiček je vhodné použít např. vytištěnou „distanční měrku 45 mm“. (Na obrázku je použit kovový váleček.)

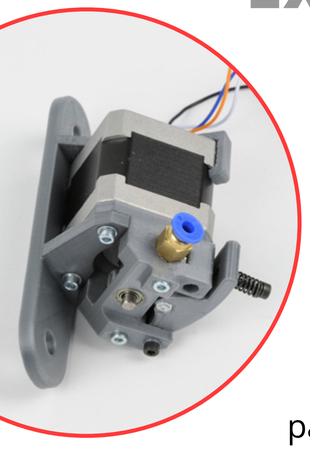
Po dorovnání nožiček pečlivě dotáhneme všechny šrouby fixující věže v dolním trojúhelníku.



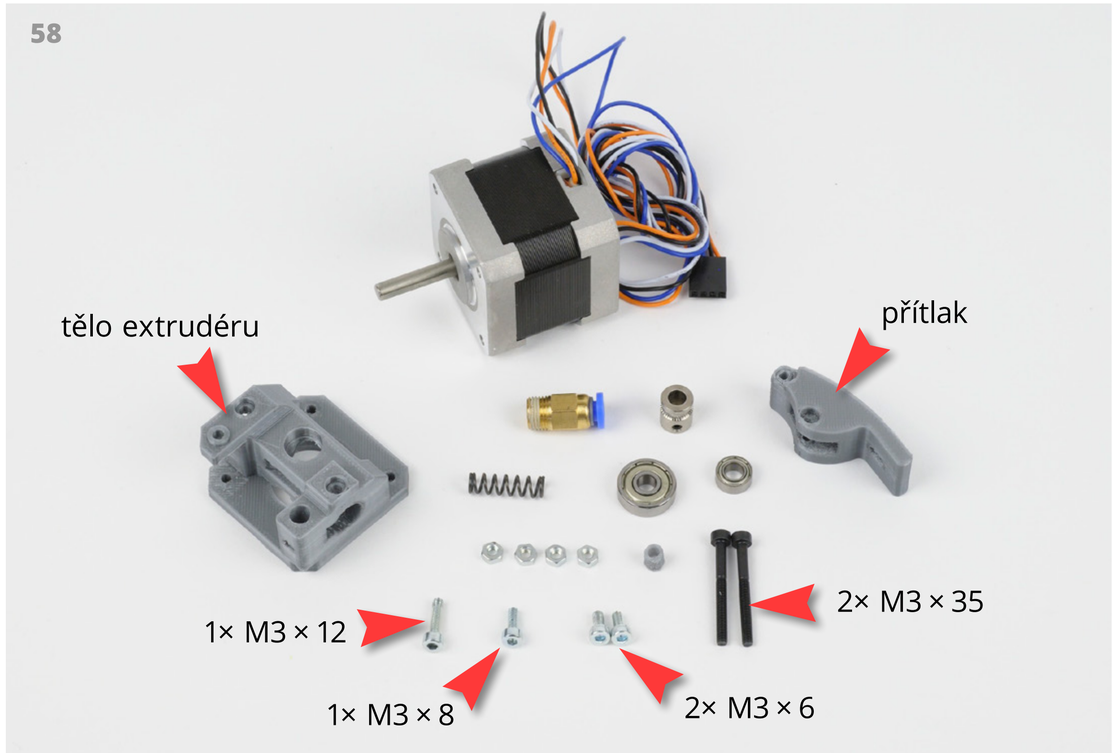
57

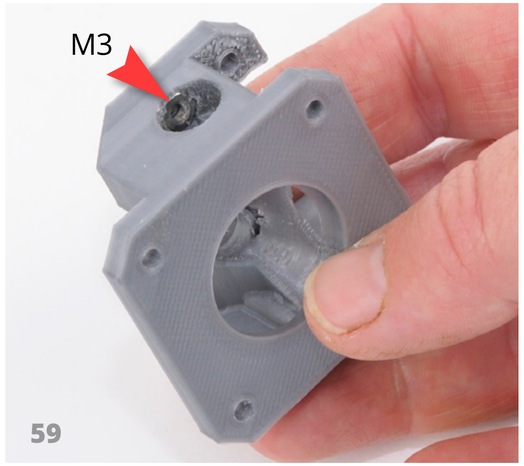
Zespodu na profily věží nalepíme měkké samolepicí nožičky.

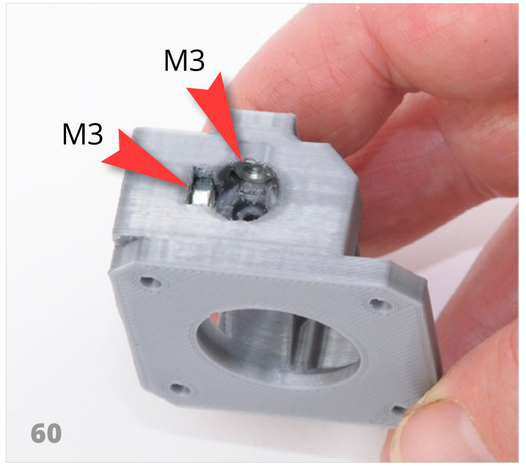
Extrudér a senzor filamentu



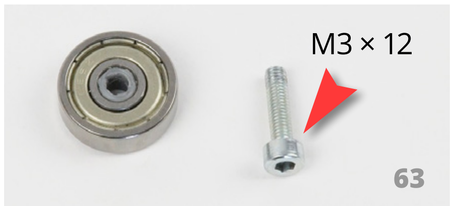
Při sestavování extrudéru je prvním krokem očištění výtisku těla extrudéru a páčky přítlaku od podpor. Zvláštní pozornost věnujeme začištění průvlaku pro tiskovou strunu (protáhnutí vrtáčkem ⌀1,8 mm) a kapsy pro přítlačné ložisko (v těle i v přítlaku). Extrudér je navržen tak, že umožňuje také posun flexibilních tiskových strun (např. Ninjaflex). Při kompletaci však nesmí být poškozena (zdrsněna, odlomena, …) jemná část pro vedení tiskové struny v okolí podávací „zubatice“. Extrudér je „obousměrný“ a může být případně napojen na vnější hadičkový rozvod tiskových strun.



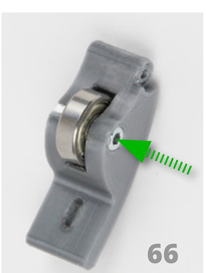




Na horní stranu vložíme do vnitřní boční kapsičky jednu M3 matičku. Na spodní stranu pak přijdou tyto matičky dvě. Pokud je otvor menší, můžeme si pomoci nahřátím matiček pomocí hořáku/zapalovače.

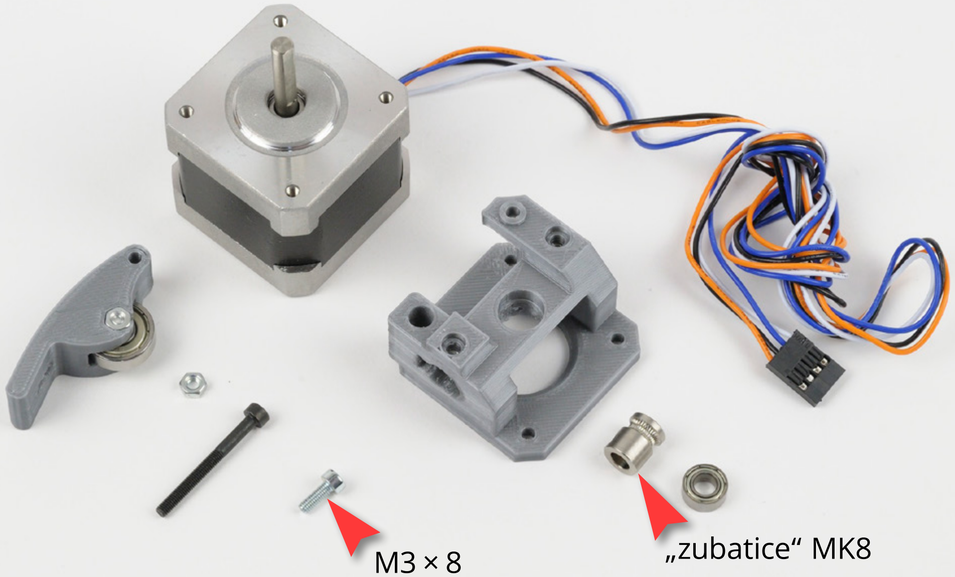


Redukci je třeba odvrtat –> M3 šroubek musí volně projít.



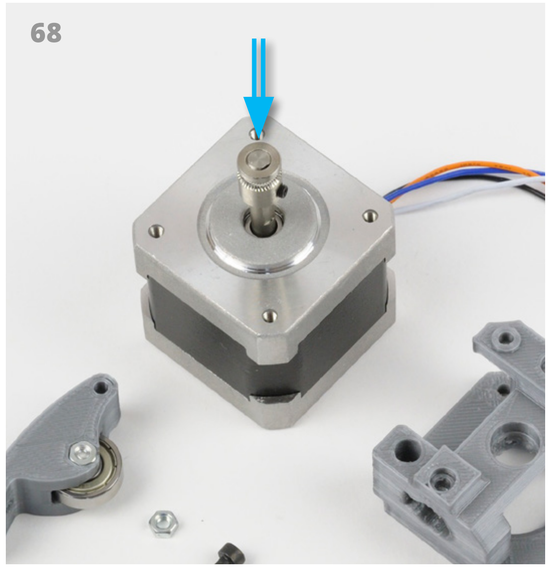
Po dotáhnutí je šroubek zcela skryt v těle přítlaku.

67

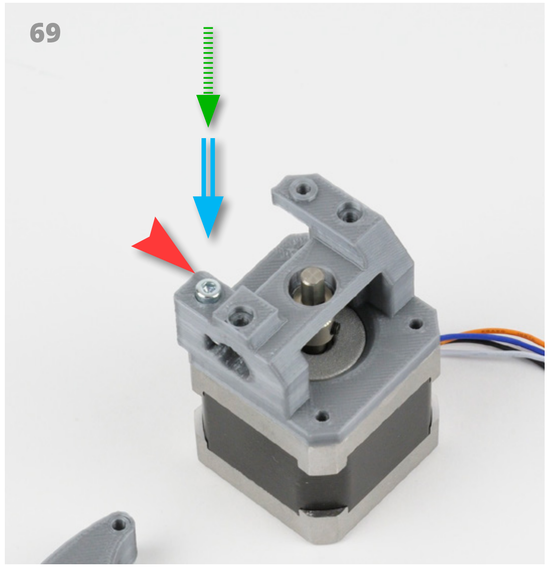


Na osu motoru nasuneme „zubatici“ MK8. Nasadíme tělo extrudéru a v naznačeném rohu zašroubujeme šroub M3. (Šroub je třeba zatlačit dolů. Pokud to nejde, opatrně pročistíme otvor vrtáčkem 5,5 mm.)

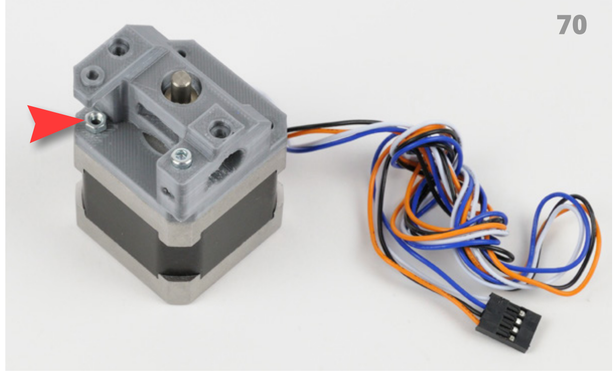
68



69



70



Do místa dalšího šroubku si připravíme matičku M3.

71

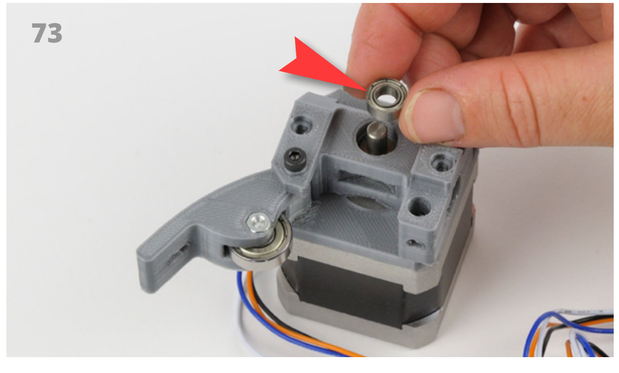
Nasuneme komplet přítlaku a zasuneme delší šroubek až k položené matičce.

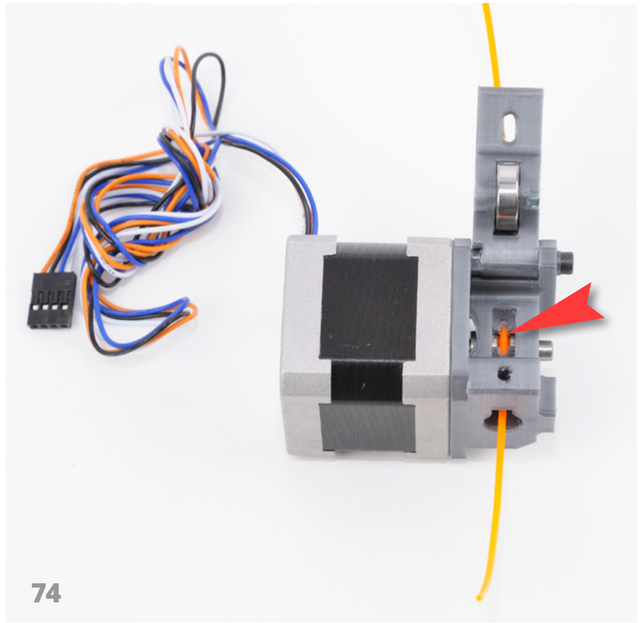
72

Šroubek procházející přítlakem dotáhneme a následně dotáhneme i matičku. (K dotažení matičky je možné použít pohyb přítlaku, mezi tělo přítlaku a matičku za tím účelem vždy vsuneme malý plochý šroubováček.)

Na závěr na osu motoru nasadíme malé ložisko.

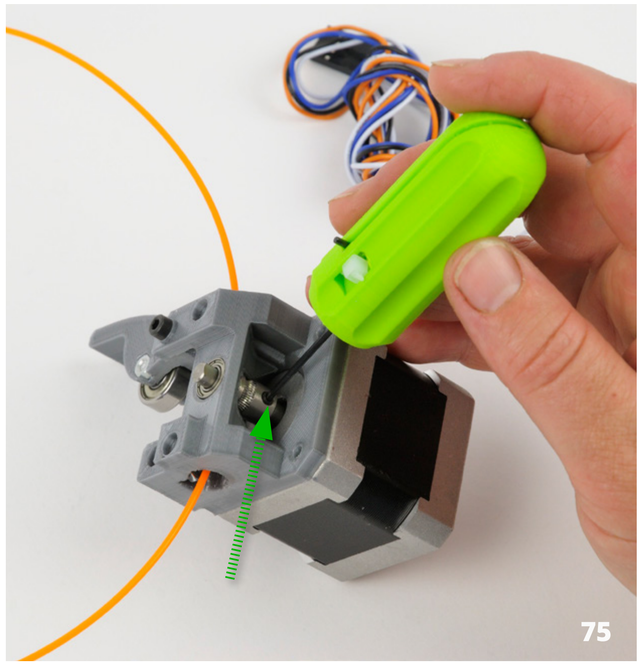
73





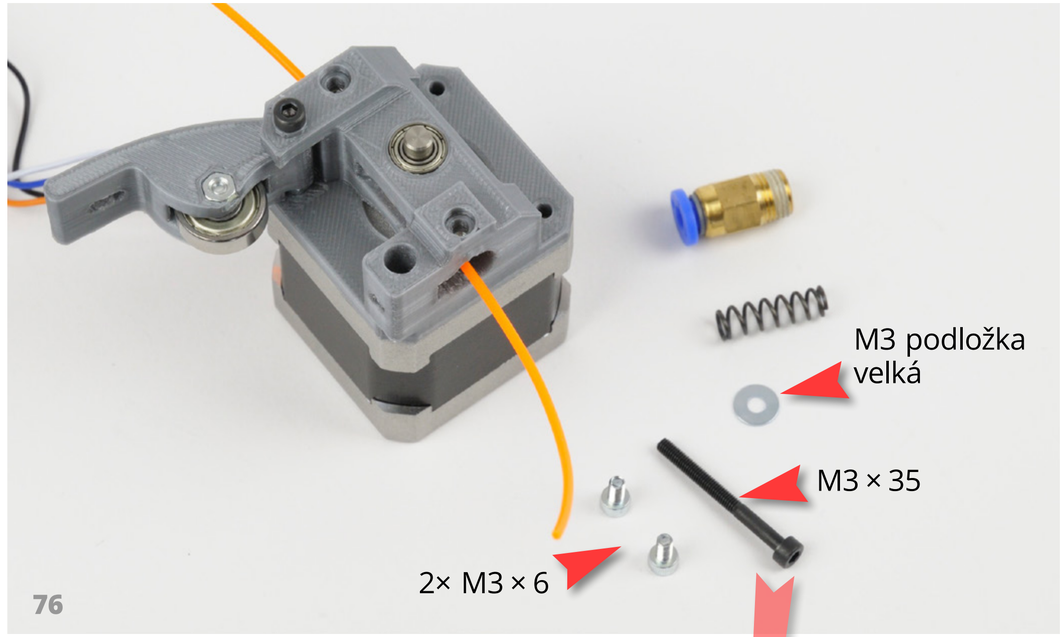
74

K vycentrování zubatice využijeme tiskovou strunu výrazné barvy.

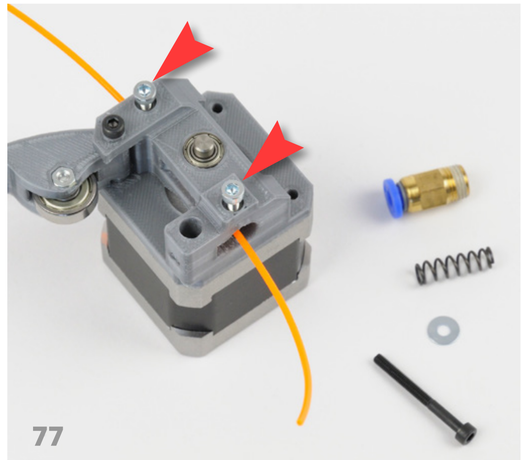


75

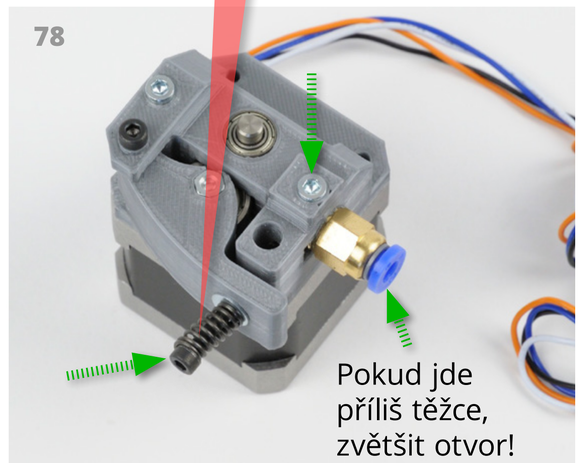
Po srovnání zubatice pevně dotáhneme jisticí šroubek proti rovné ploše osky motoru.



76

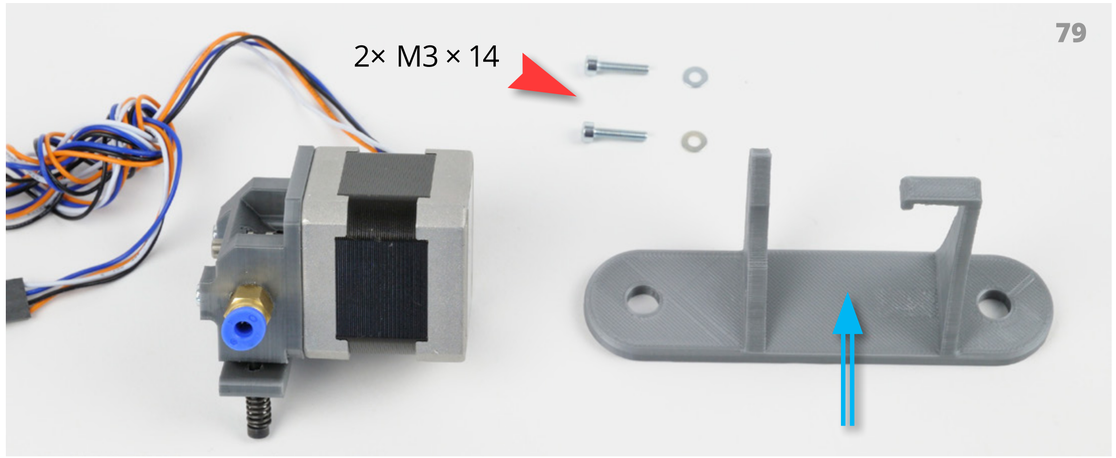


77

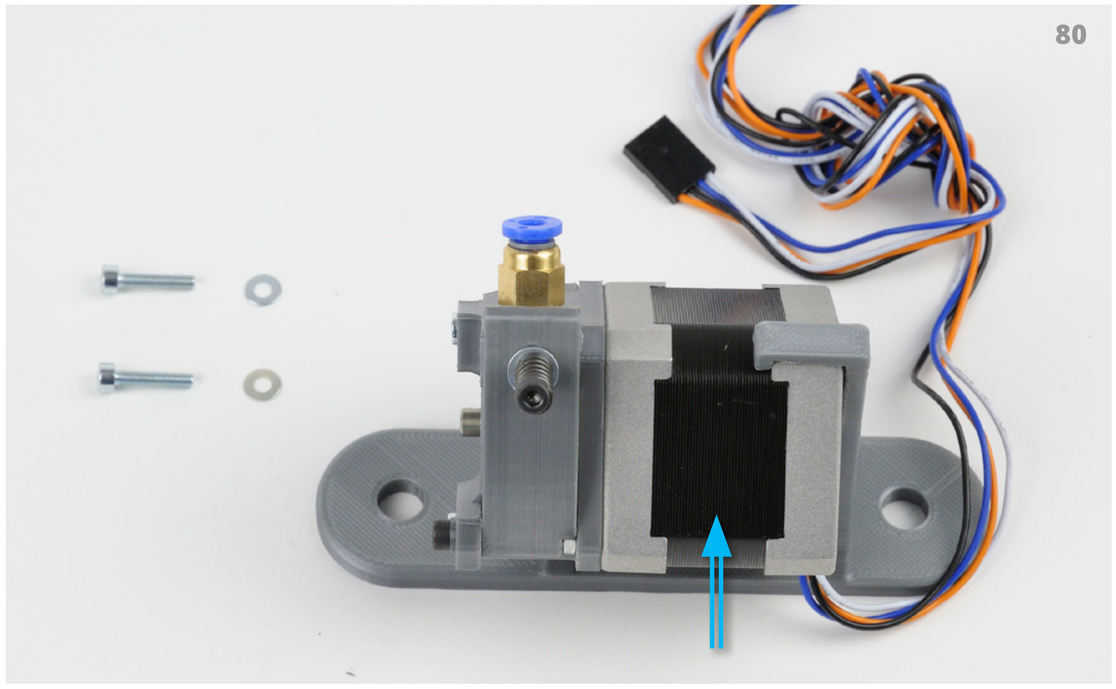


Extrudér finalizujeme tak, že pomocí druhého delšího šroubku a pružiny s podložkou napružíme a zafixujeme přítlak tiskové struny.

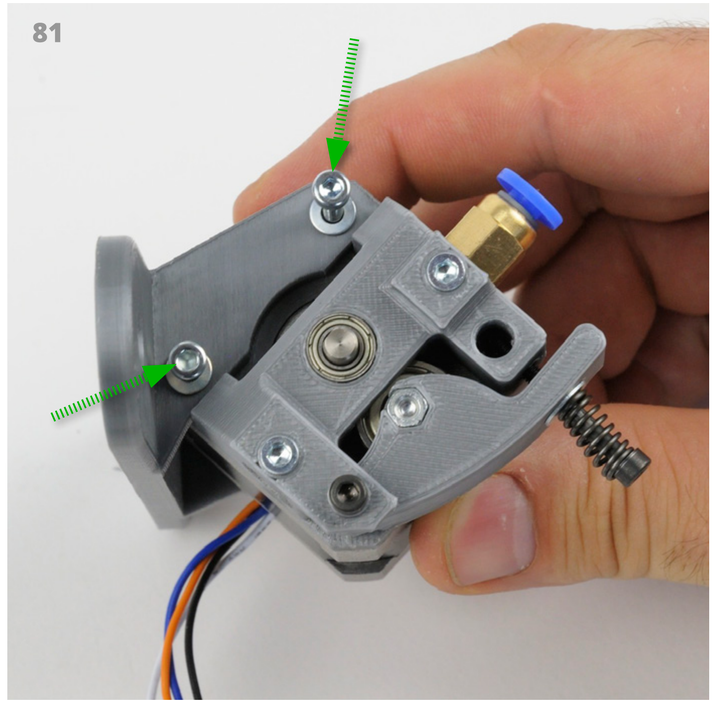
Posledním krokem je našroubování hadičkové rychlospojky a její zajištění dotažením přítlačného bočního šroubku.



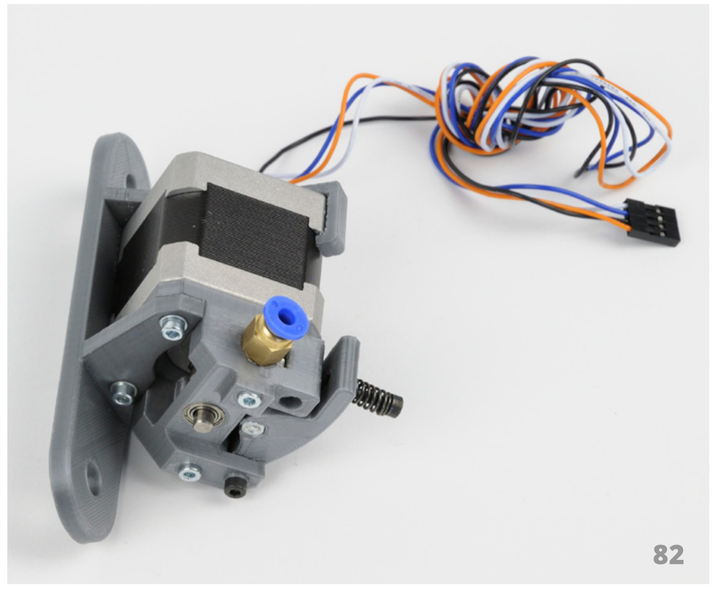
79


80

Abychom mohli extrudér připevnit k tiskárně, přišroubujeme na něj rámový držák. Nejdříve do držáku extrudér nasuneme. Pokud někde držák špatně dosedá, upravíme místa s větším odporem např. zabroušením.

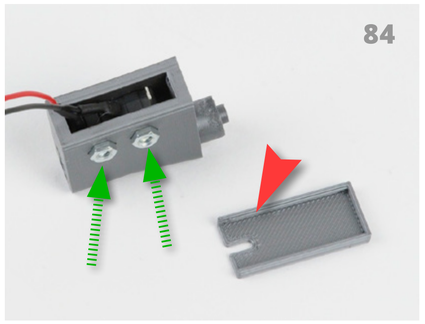

81

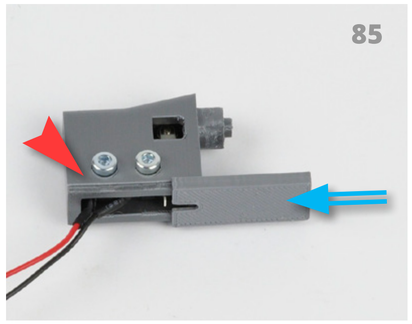
Extrudér k držáku připevníme pomocí dvou šroubů až do kovového těla motoru.


82

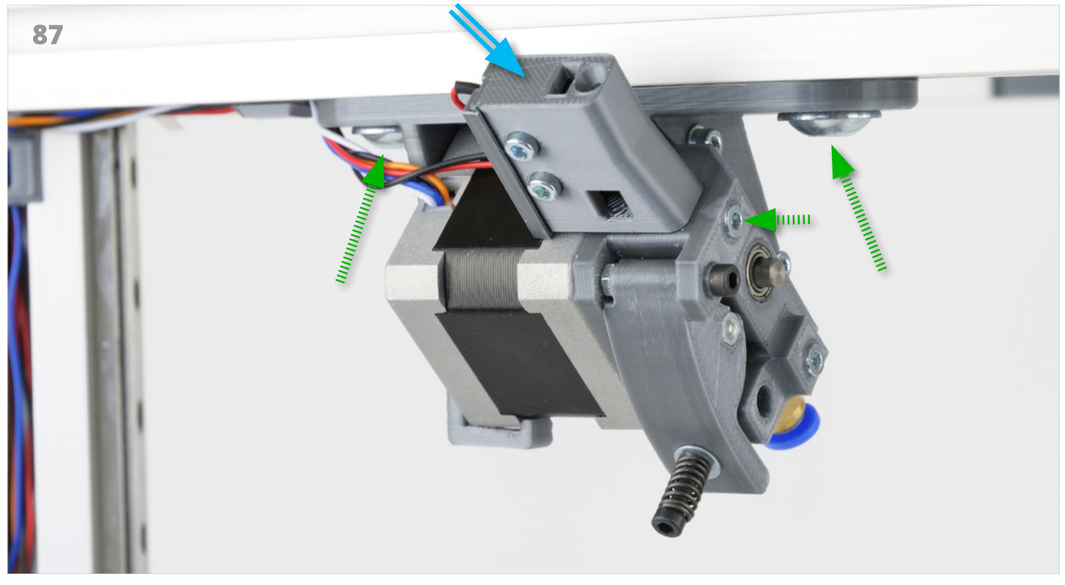
K extrudéru můžeme volitelně připojit čidlo přítomnosti tiskové struny. Tuto možnost doporučujeme!

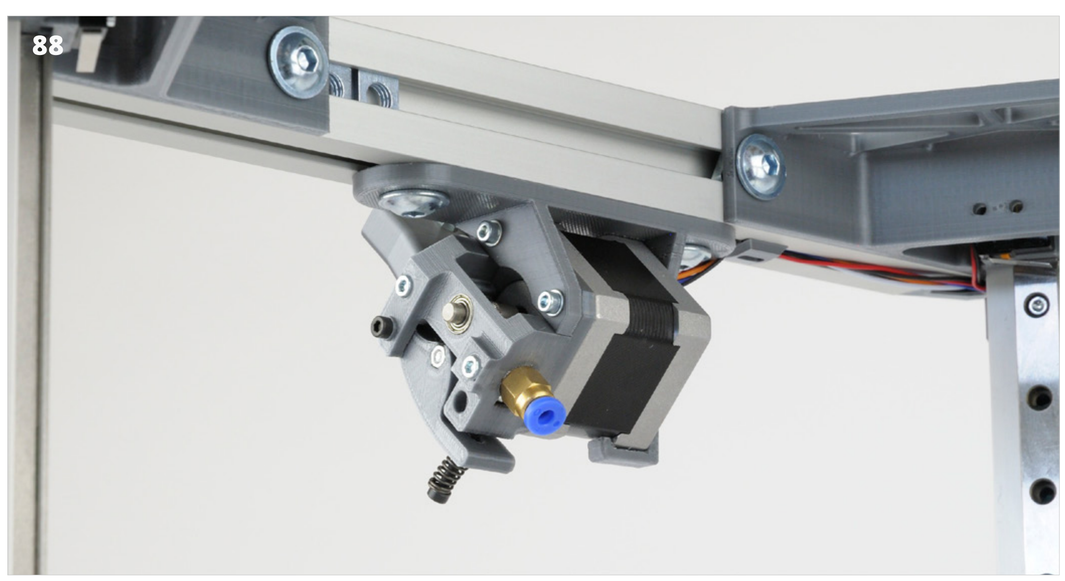
Nejdříve celý díl pečlivě začistíme (především cestu pro tiskovou strunu).





Mikrospínač vložíme do těla čidla tak, aby byla rolnička viditelná v malém kontrolním okénku. Ještě před zavřením nasunovacím krytem vyzkoušíme vsunutím tiskové struny, zda spínač funguje tak, jak má. (K detekci sepnutí je vhodné použít multimetr.) Pokud spínač po vložení/vyjmutí struny obvod nesepne/nerozpojí, je třeba opatrně napružit (nebo přiohnout) plíšek s rolničkou.





Do těla extrudéru nasuneme čidlo přítomnosti struny a dotáhneme boční pojistný přítlačný šroubek. Nakonec celý komplet extrudéru namontujeme do rámu tiskárny na spodní plochu levého horního profilu.

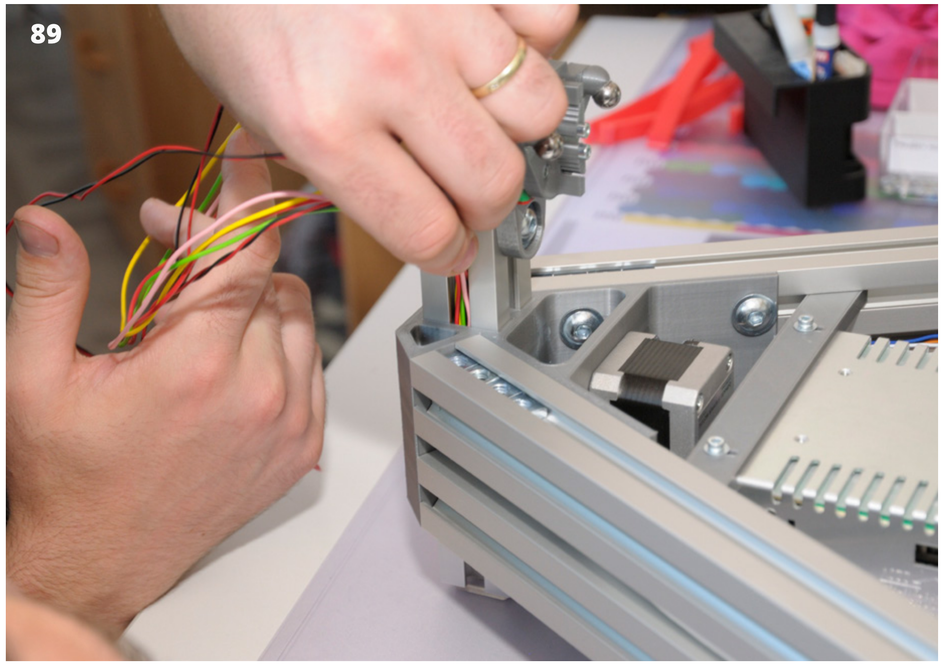
Protahování kabelů

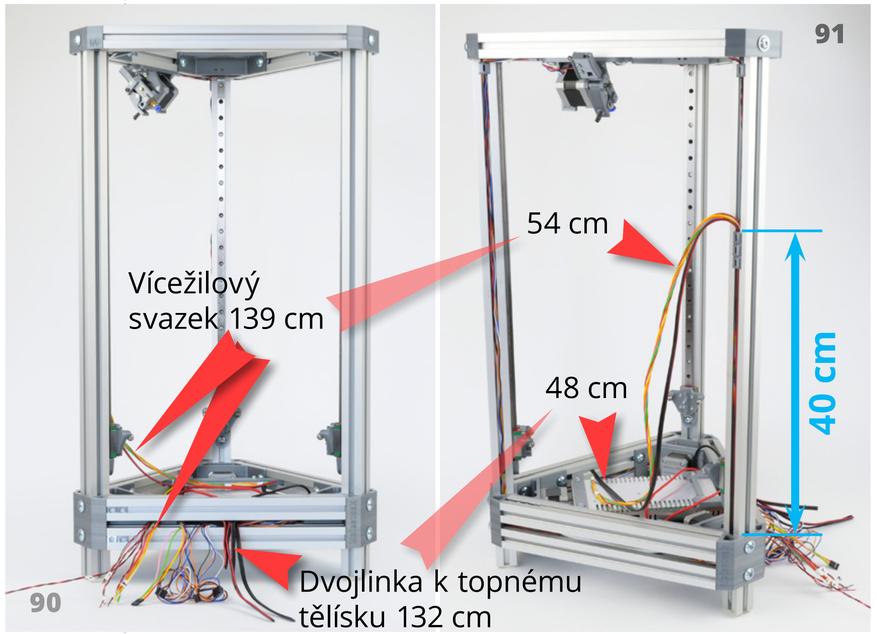
Nyní musíme protáhnout všechny kabely do přední části tiskárny, do místa kde bude skříňka s elektronikou (Arduino a RAMPS). K protahování je vhodné využít profilové drážky a připravené průchody v tištěných rohových dílech.

Kabely v drážkách průběžně fixujeme vytištěnými „uchýtkami do profilové drážky“.

Při protahování čtyř kablíků motoru extrudéru je většinou třeba sejmout koncový černý DuPont konektor.

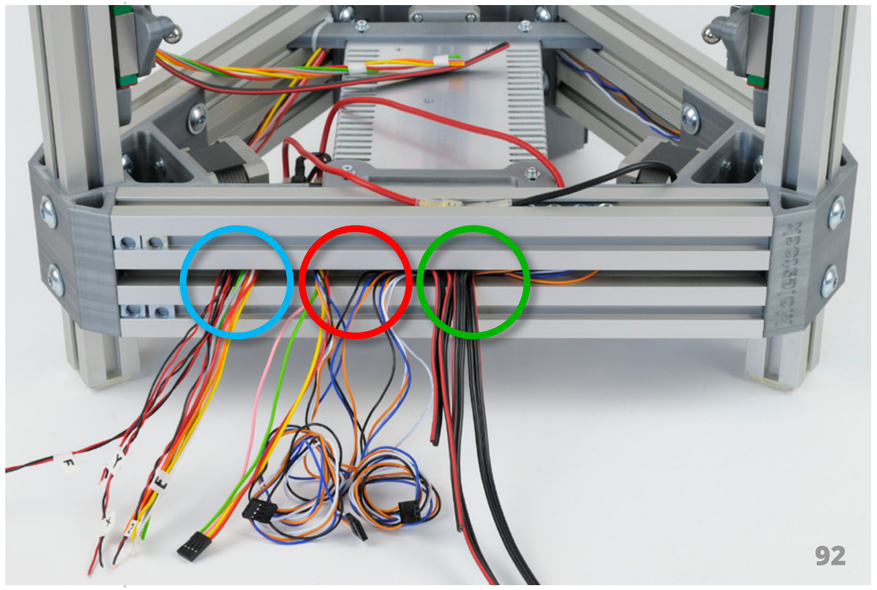
Pokud motor extrudéru nemá kabel dostatečně dlouhý, je třeba vyrobit prodlužovací kabel, nebo lépe kabel kompletně vyměnit za delší.





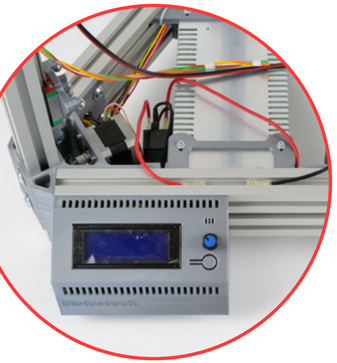
Po protažení nastavíme kabely tak, aby odpovídaly potřebným délkám (viz obrázek).

Kabelový svazek a dvojlinku k budoucí tiskové hlavě (efektoru) zajistíme třemi úchytkami v profilové drážce.



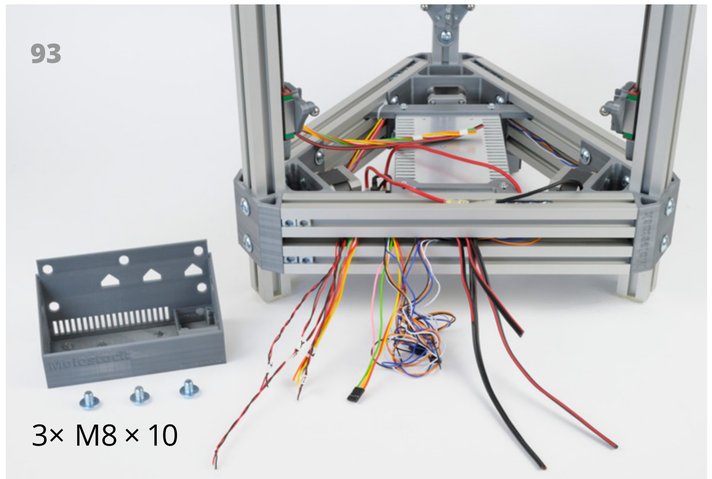
V přední části tiskárny si kabely rozdělíme do tří skupin (zleva):

- 3 endstopy
- čidlo struny
- 6žilový svazek k tiskové hlavě (efektoru)
- motor extrudéru
- motory věží X, Y, Z
- dvojlinka napájení RAMPS (2×)
- ovládání spínání relé
- topné tělísko (tisková hlava – heatblock)

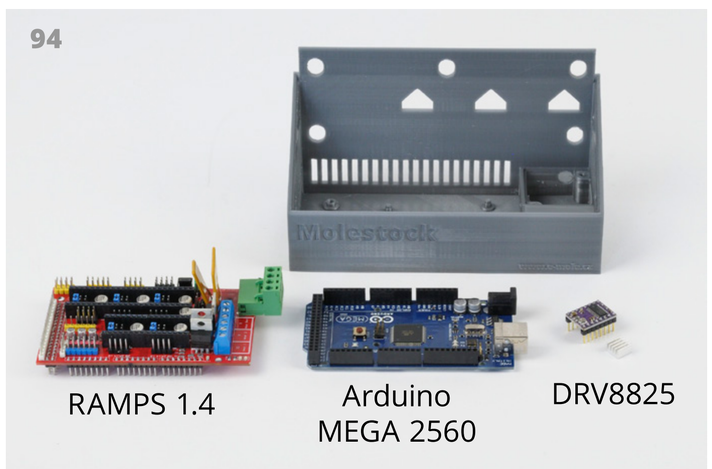


Arduino + RAMPS + LCD

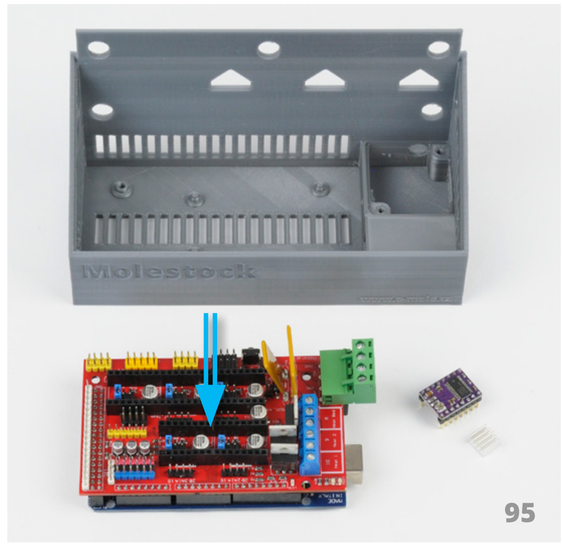
Řídicí elektronika je umístěna mimo tělo tiskárny v externím boxu.



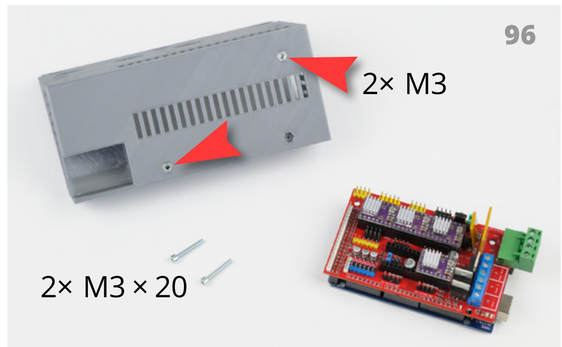
Začneme spodním dílem boxu.



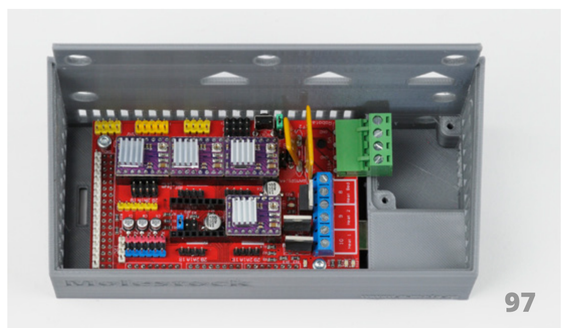
Připravíme si potřebné elektronické komponenty (RAMPS, Arduino a drivery krokových motorů).



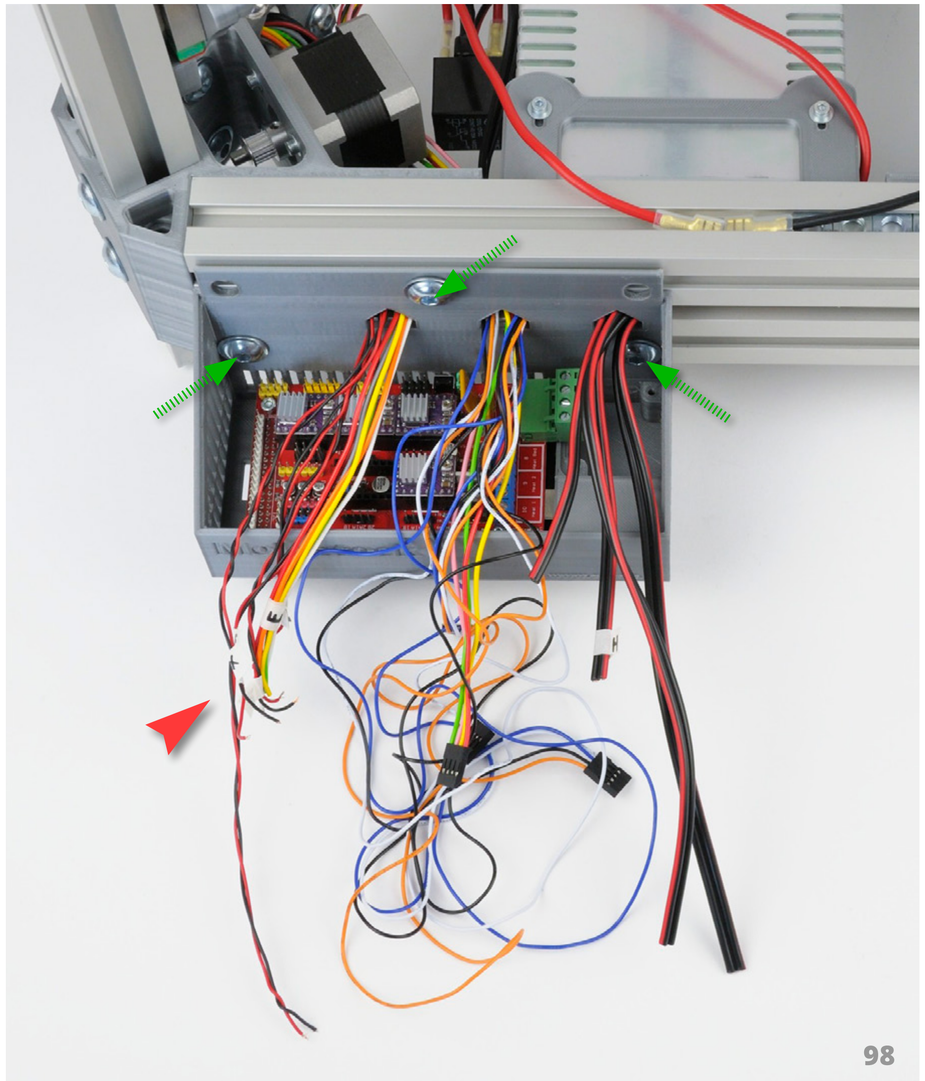
RAMPS shield nasadíme na Arduino a propojkami správně nastavíme microstepping. (Na obrázku je nastaven microstepping 1/16 pro DRV8825, ale v případě DRV8825 můžete experimentovat i s nastavením 1/32. To je ovšem třeba zohlednit také při nastavení firmware.) Na čipy driverů motorů nalepíme chladiče a nasadíme je do odpovídajících patic. (POZOR na správnou orientaci!)



Do spodní části boxu si připravíme dvě M3 matičky.

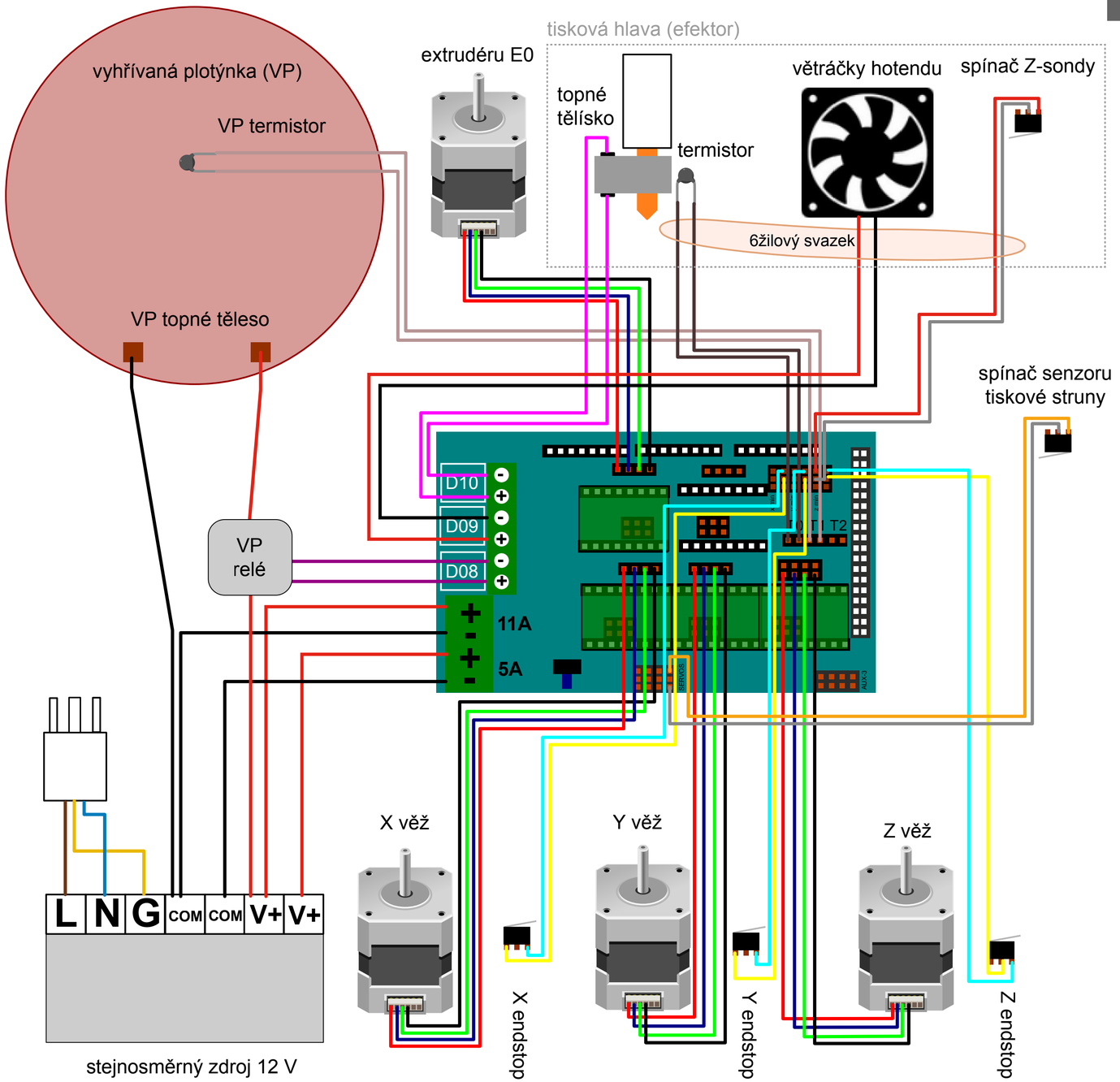


Z druhé strany vložíme komplet Arduino + RAMPS + drivery. Vše lehce přichytíme pomocí dvou šroubků. (Nedotahovat silou, aby nedošlo k deformaci desek s plošnými spoji!)

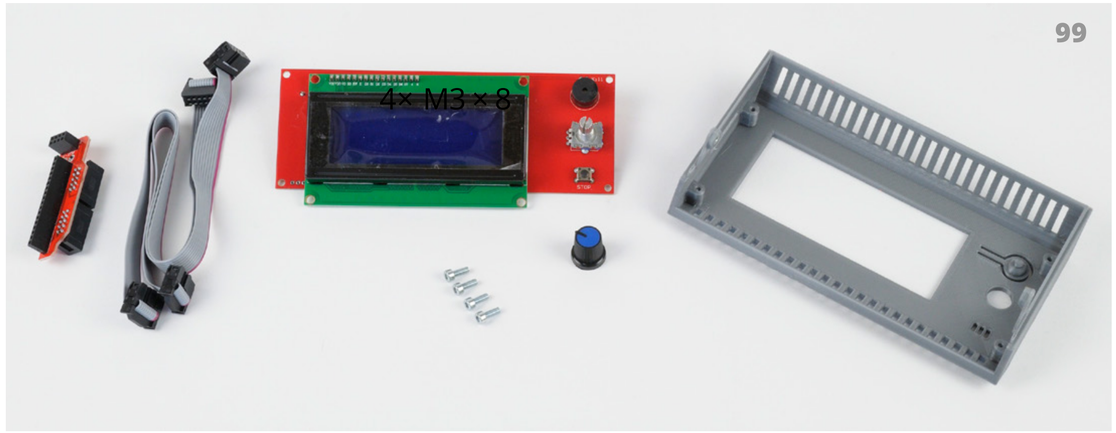


Do boxu protáhneme tři dříve zmiňované skupiny kablíků a následně spodní díl boxu přišroubujeme z boku k tiskárně.

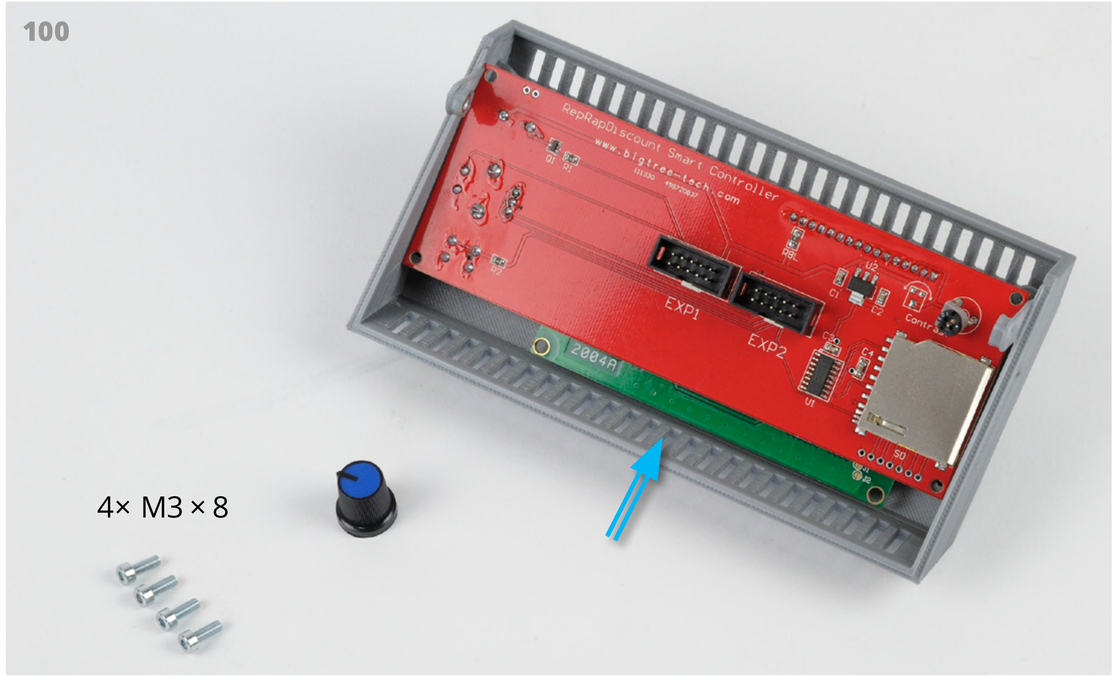
Poté všechny kabely zakrátíme na optimální délku (viz schéma vpravo) a nakrimpujeme konektory (DuPont 2,54 mm, samice). Na nakrimpované konektory nasuneme černé koncovky.



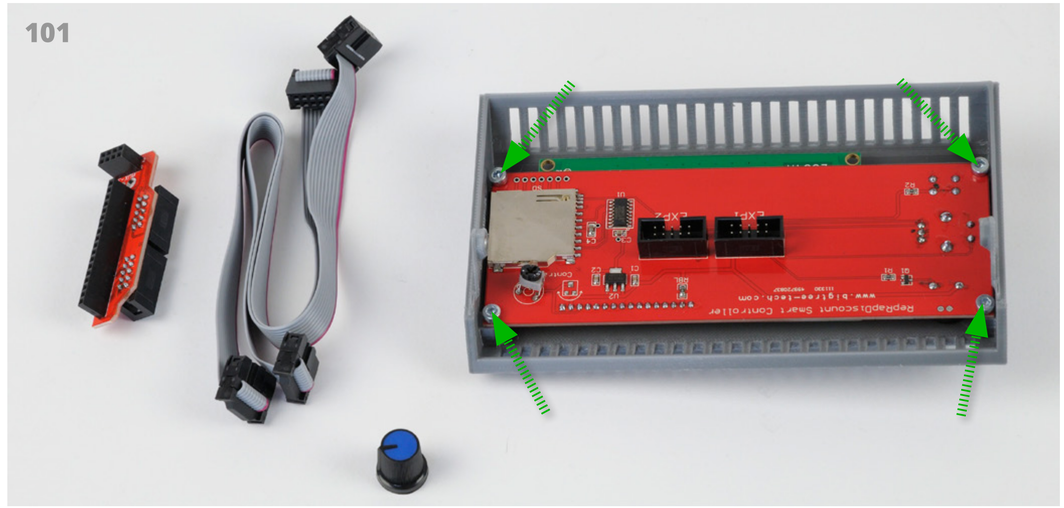
Schematický nákres zapojení



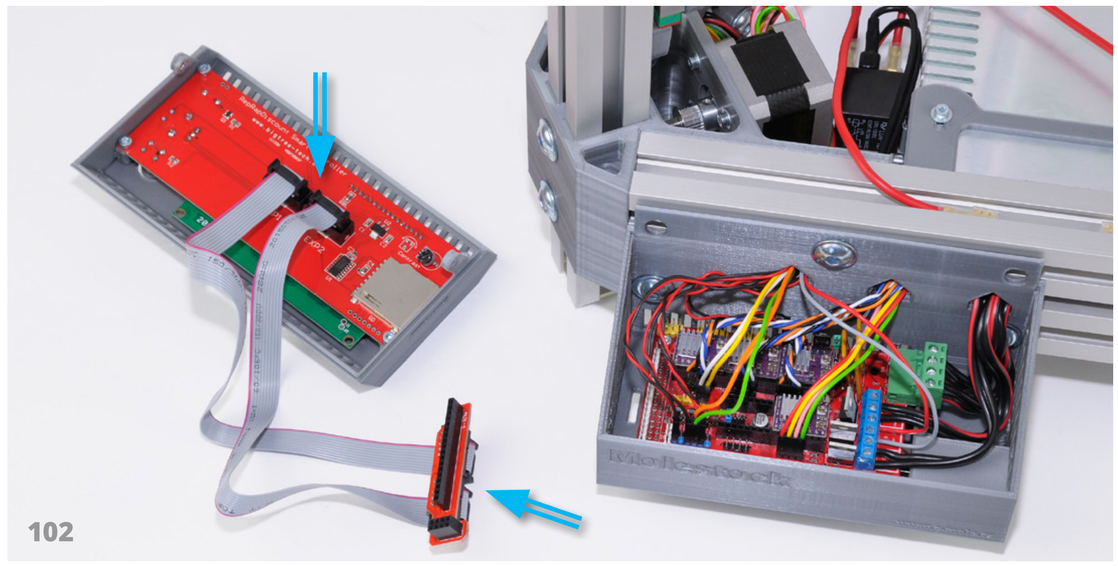
Kompletace boxu na elektroniku vyžaduje montáž desky s LCD se čtečkou SD karty a ovládacími prvky do horní části boxu.



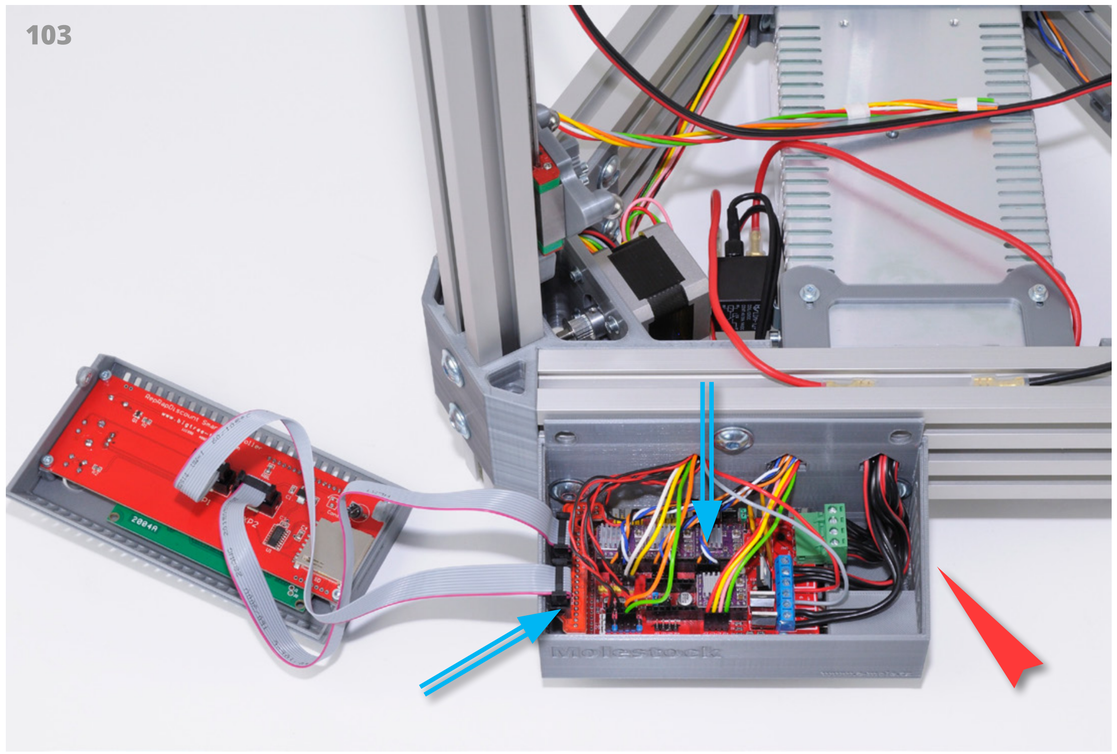
Desku LCD2004 nasuneme ze spodní strany.

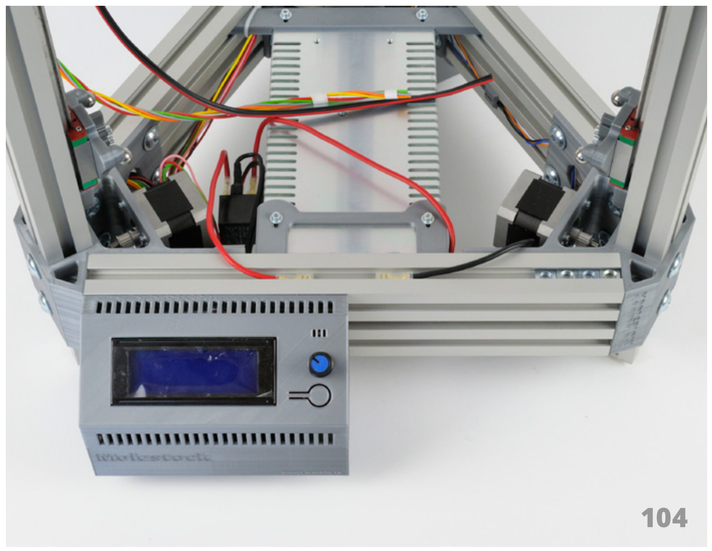


V rozích desku ukotvíme šroubky. Šroubky se šroubují přímo do plastových sloupků, je vhodné použít samořezné šroubky do plastu. (Na obrázku jsou použity běžné šroubky M3, pro které je třeba otvory lehce zvětšit).



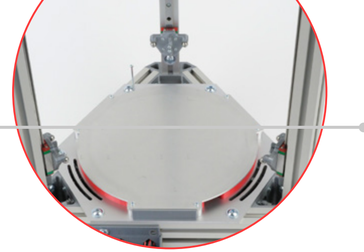
Zapojíme propojovací kabely EXP1 a EXP2 do LCD2004 panelu a redukce k RAMPS.





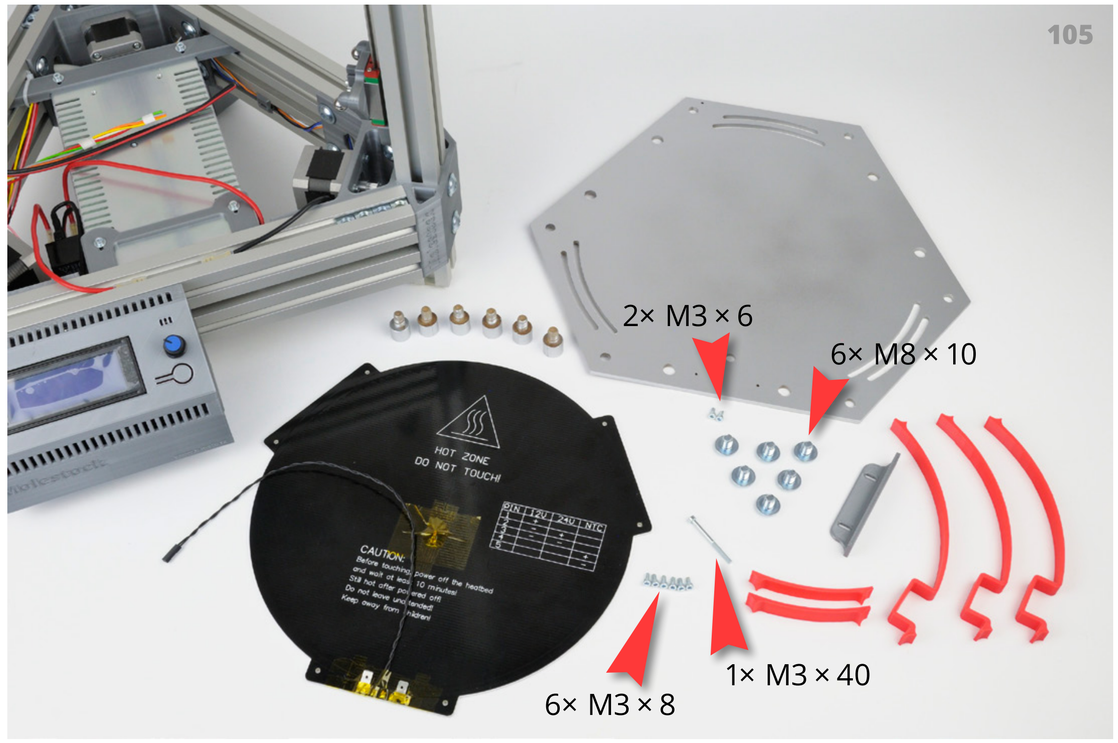
Do RAMPS zapojíme redukci s kabely EXP1 a EXP2. K RAMPS připojíme také všechny nakrimpované konektory (viz schéma u obrázku 98). Konektor pro termistor vyhřívané plotýnky (T1) zůstane zatím prázdný.

Vyhřívaná plotýnka

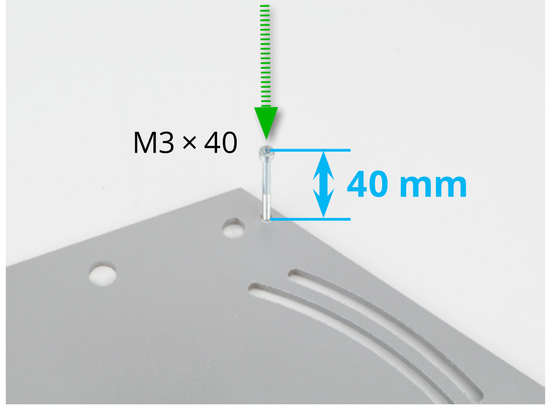


K montáži vyhřívané plotýnky je třeba několika dílů, které nejsou vytištěné. Jde o distanční izolační sloupky a izolační desku. Tyto díly jsou vyrobeny z pertinaxu. (Modely těchto dílů jsou společně s díly tištěnými k dispozici v našem **GitHub repozitáři**.) Mezi topnou plotýnkou a deskou je vloženo speciální izolační rouno s vysokou tepelnou odolností. Tato konstrukce jednak zabraňuje tepelným ztrátám (rychlejší ohřev plotýnky, menší spotřeba energie, dokonalá izolace napájecího zdroje od plotýnky atd.), ale z určitého pohledu je také „protipožární“ bezpečnostní pojistkou.

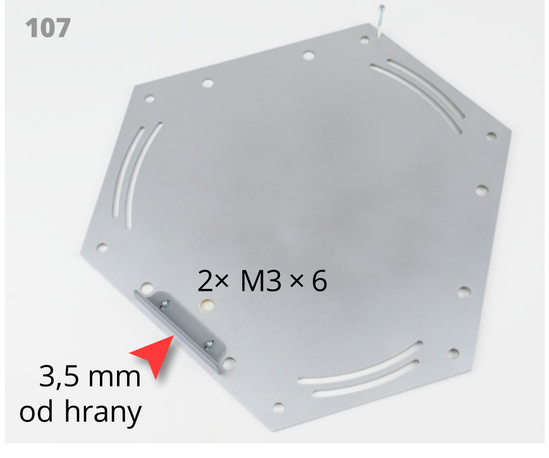
Alternativně je k montáži vyhřívané plotýnky možné využít klasických tištěných distančních sloupků (např. z ABS, či lépe z nylonu), jejichž modely jsou také k dispozici. Toto řešení ale do školního prostředí nedoporučujeme.



106



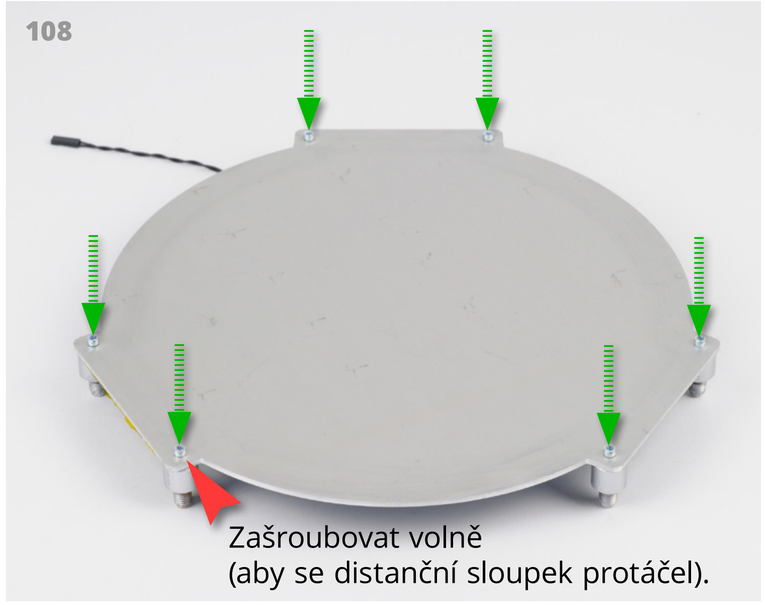
107



Do malého otvoru zadního levého rohu desky našroubujeme šroubek, který bude sloužit k zasunutí z-sondy.

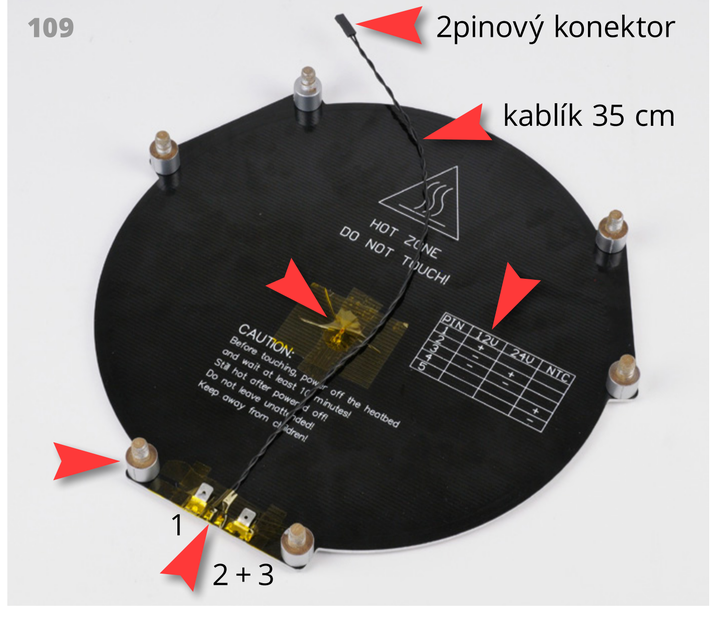
Do přední části přišroubujeme kryt přední části plotýnky.

108



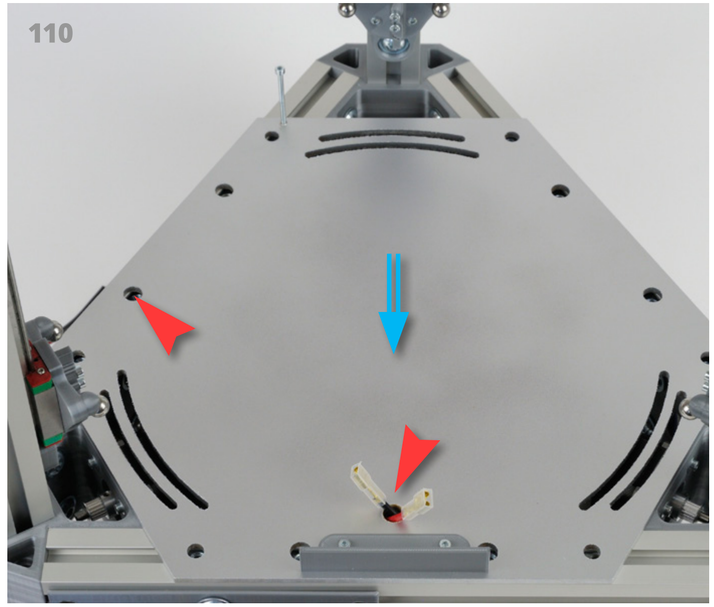
Skrz montážní otvory plotýnky volně přišroubujeme distanční izolační sloupky. (Sloupky se musí volně protáčet.)

109



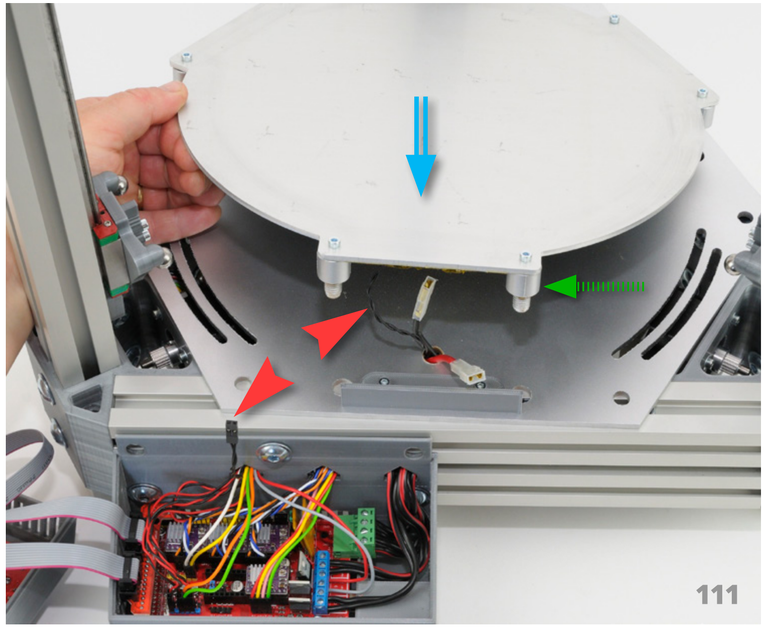
Z druhé strany plotýnky připájíme do středu termistor. Kablík k propojení termistoru s RAMPS (T1) připájíme na vývody 4 a 5 v přední části plotýnky. Na konec kablíku opět nakrimpujeme dva konektory DuPont 2,54 mm).
Na vývody 1 a 2+3 připájíme dva pájecí konektory Faston 6,3 mm (samec).

110

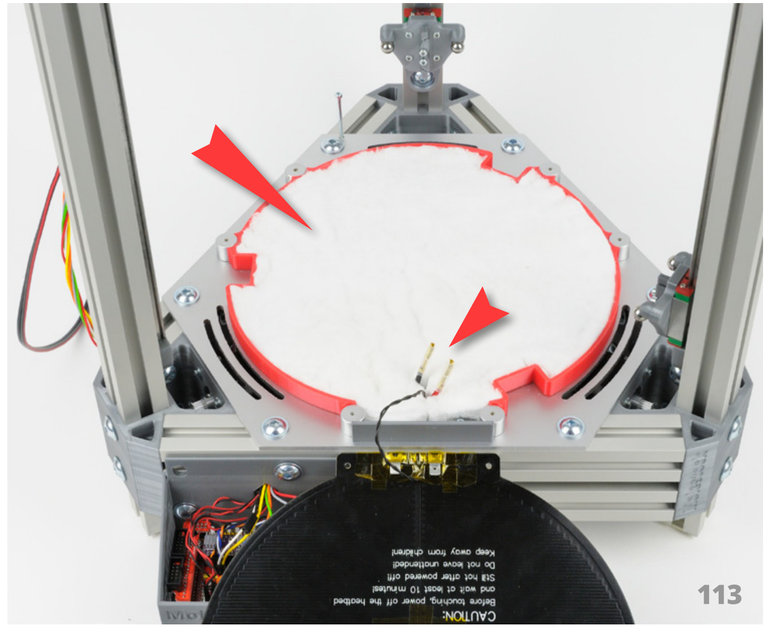


Otvorem za předním krytem protáhneme kablíky pro napájení plotýnky.

Izolační desku zarovnáme na trojúhelníkový rám a matičky v profilových drážkách srovnáme s 12 montážními otvory.


111

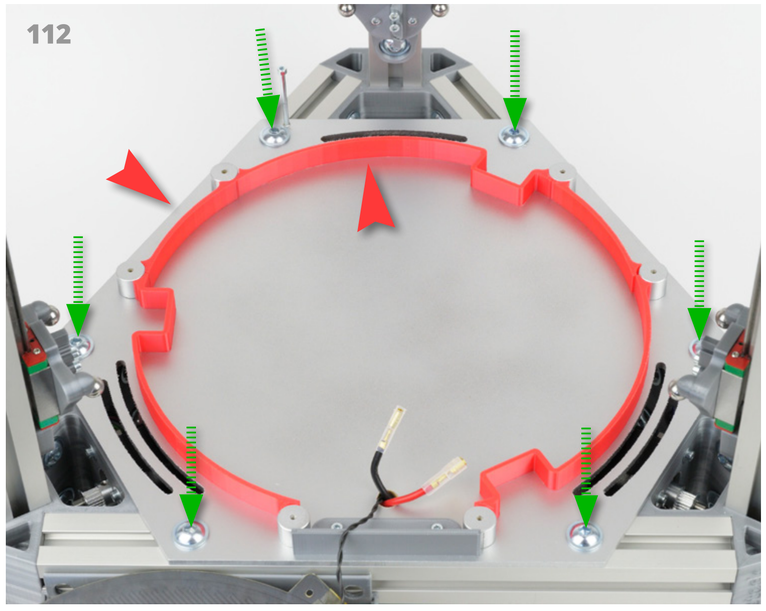
Kablík od termistoru plotýnky protáhneme do boxu s elektronikou a zapojíme do T1 konektoru RAMPS. Distanční sloupky nasadíme na montážní otvory, srovnáme hrany desky a sloupky zašroubujeme. (Abychom sloupky nepoškodili, otáčíme jejich tělem např. kleštěmi s vloženým proužkem tlustší gumy.)



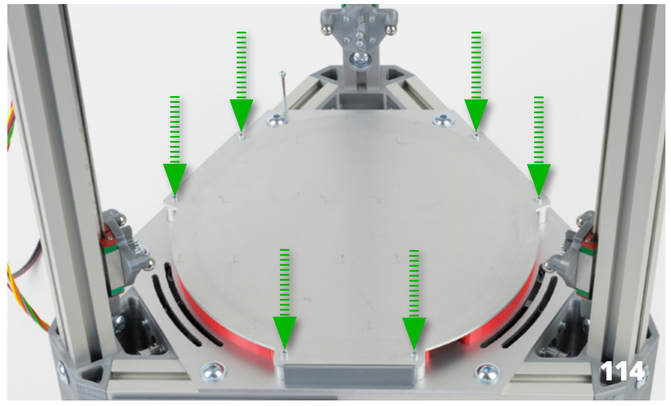
113

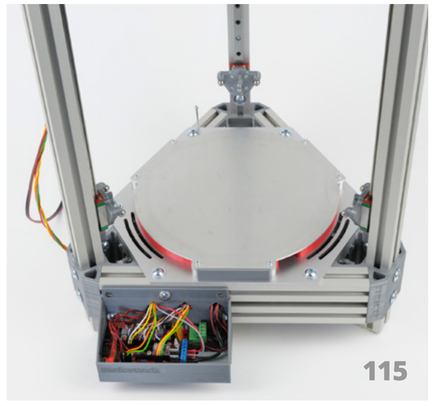
Vystřihneme odpovídající tvar z izolačního rouna a vložíme ho mezi spodní kryty plotýnky. Rouno nesmí nikde přesahovat (nahoře ani dole).

Při kompletaci nezapomeneme do plotýnky zapojit konektory napájení plotýnky!

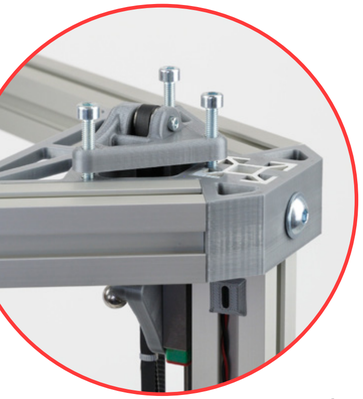

112

Nyní sejmeme plotýnku. (Distanční sloupky již zůstanou pevně přišroubované k profilům.)
Montáž desky zakončíme jejím přitažením k rámu (6 krajními rohovými šrouby).
Mezi distanční sloupky vložíme spodní kryty plotýnky (3× dlouhý, 2× krátký).


114

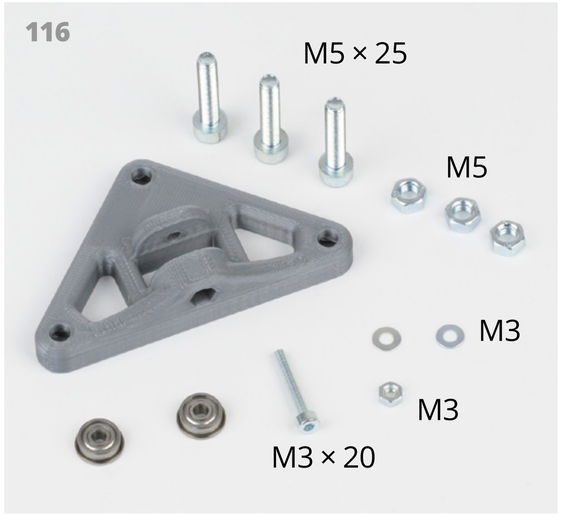

115

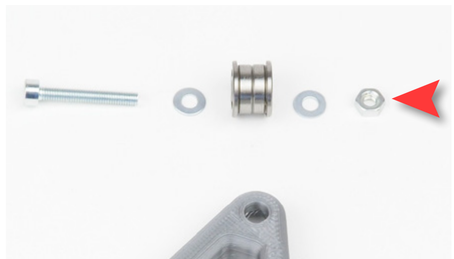
Vyhřívanou plotýnku srovnáme s montážními otvory v distančních sloupcích. Plotýnka musí volně ležet. Pokud je nadzvedávána, je třeba zkontorlovat, zda jejímu dosednutí nebrání např. konektory napájení (opatrně přihnout, neulomit!). Nakonec plotýnku shora přišroubujeme.



Napínáky a řemeny

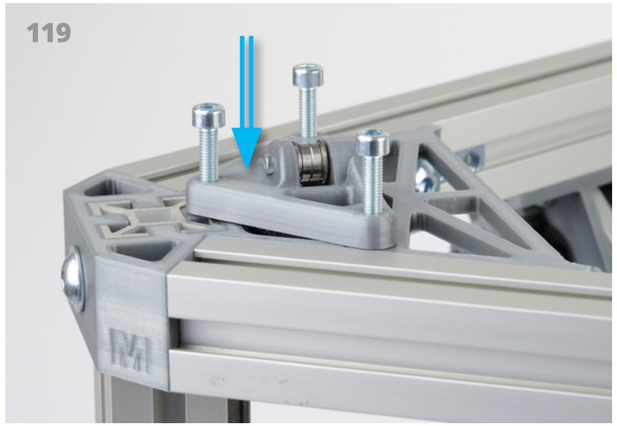
Správné napnutí řemenů se často podceňuje. Je však velice důležité a může negativně ovlivnit kvalitu výsledného výtisku. Na každé věži je proto samostatný napínák, jehož funkčnost není podmíněna zásahem do rámu tiskáry (jako je tomu např. u tiskárny Kossel).



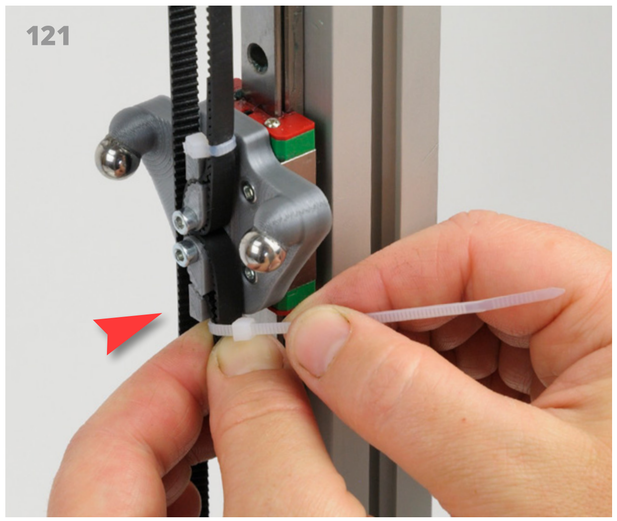


Řemenice je v napínáku řešena pomocí dvou malých ložisek F623ZZ. Použít ale můžeme i klasickou řemenici pro 6mm řemeny GT2. Po vnějších stranách ložisek je vložena podložka M3.

Napínací šrouby zašroubujeme tak, aby dole vyčnívaly asi 3 mm.

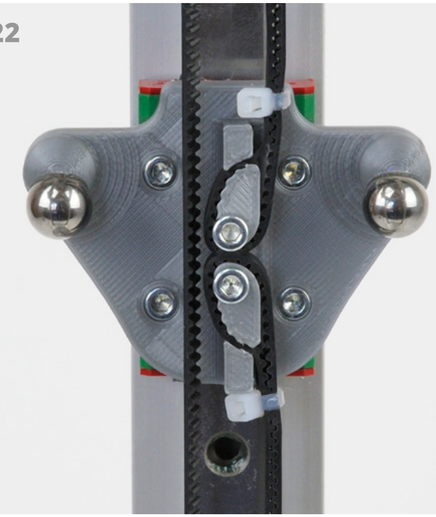


Zkompletovaný napínák nasadíme do otvorů horního trojúhelníku.



Po protažení řemen pomocí plastových stahovacích pásků zajistíme.

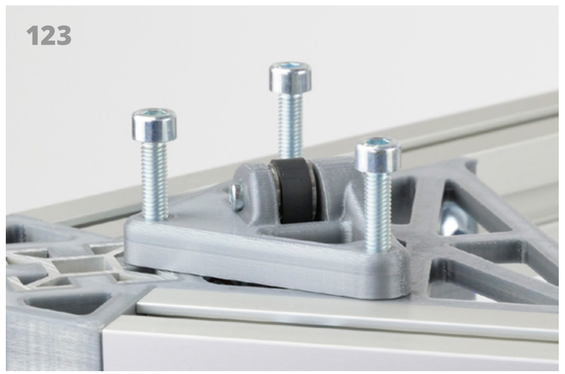
122



Na obrázku je vidět řemen připojený k vozíku, a to před napnutím řemene.

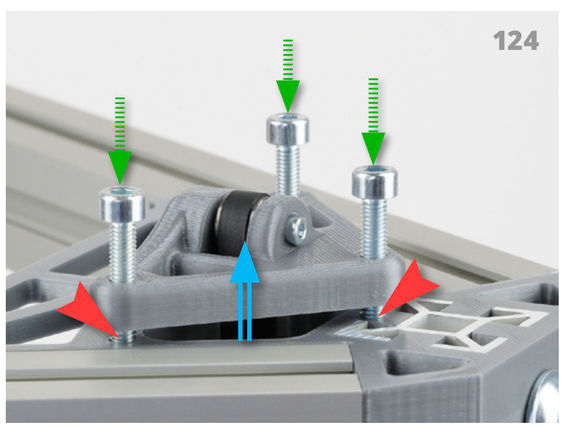
Tip: Pokud se vám stahovací pásky nelíbí, můžete přečnívající konce řemene slepit vteřinovým lepidlem (ale pozor na nechtěné přilepení řemene k tělu vozíku).

123



Stav před napínáním.

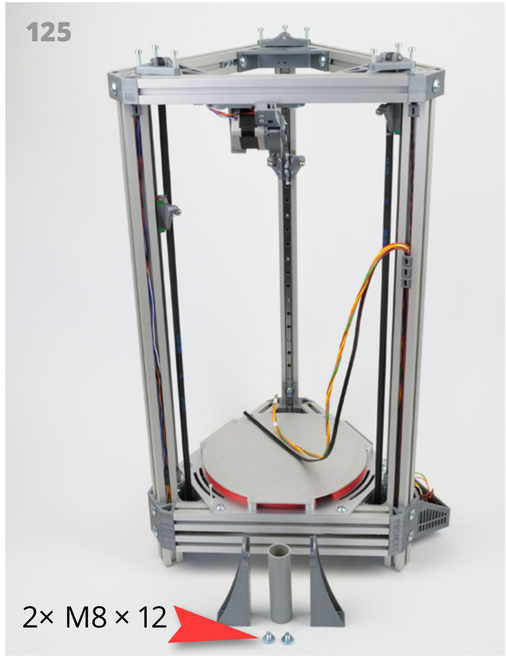
124



Postupným zašroubováváním všech tří šroubů řemen napneme. Řemen zbytečně nepřepínáme, ani ho nenecháváme příliš volný.

Držák špulky se strunou

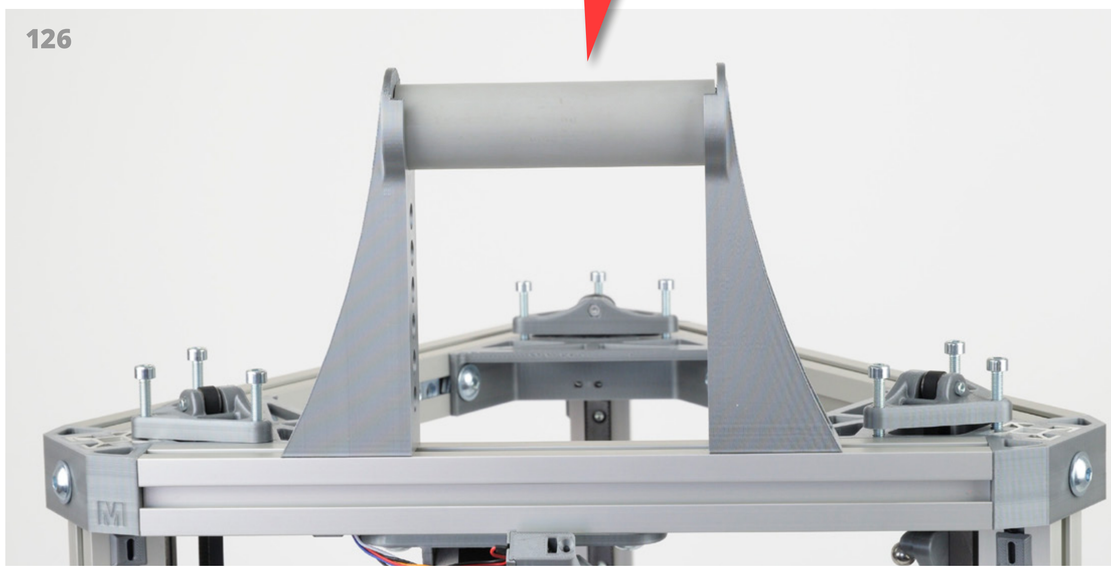
125

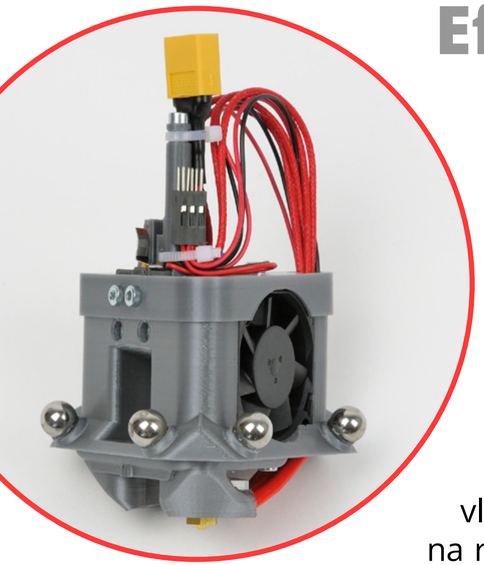


Na horní rám nad extrudér připevníme držák špulky s tiskovou strunou. K připevnění použijeme delší, 12mm šrouby.

Jako osu použijeme novodurovou „odpadní“ trubku (⌀ 32 mm) o délce 120 mm.

126

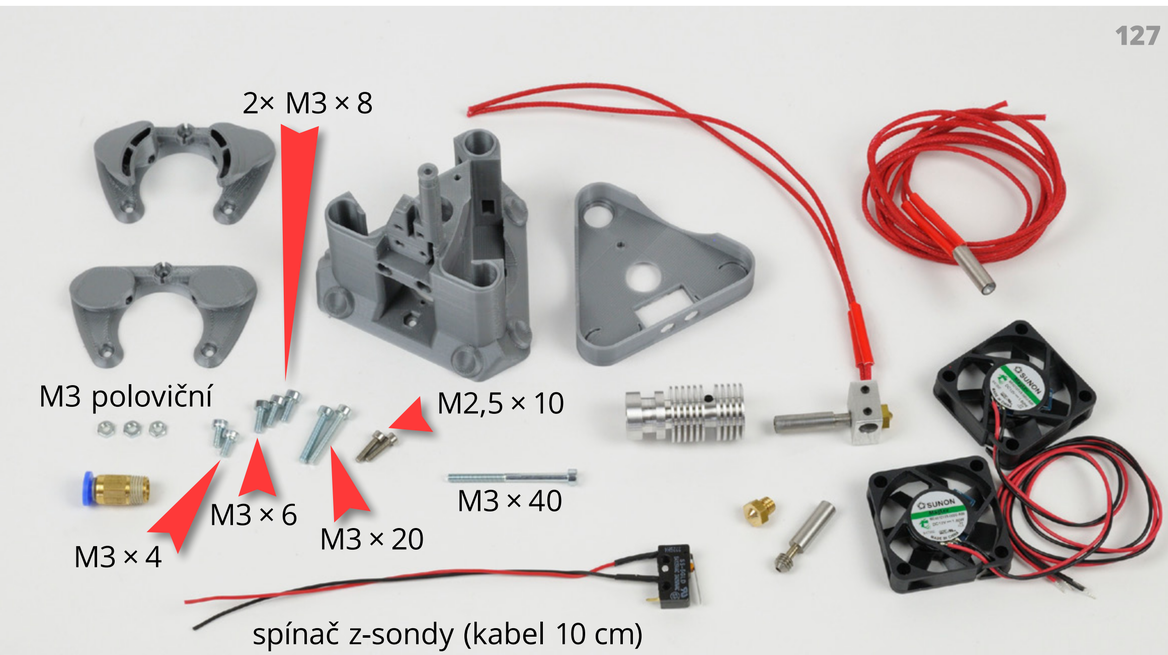




Efektor (tisková hlava)

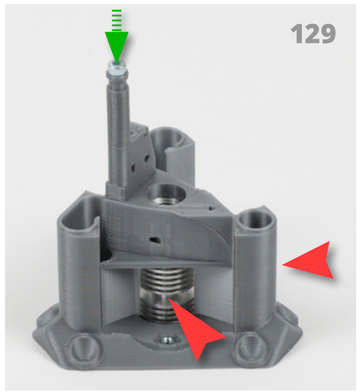
Vlastní efektor je patrně nejkomplexnějším dílem tiskárny Molestock, jeho sestavení proto věnujeme náležitou pečlivost. Začneme začištěním těla efektoru tak, abychom mohli do jeho středu zespoda zasunout hliníkový žebrový chladič. Chladič by měl v otvoru co nejpřesněji lícovat. K jeho zasunutí je třeba vyvinout přiměřenou sílu. Chladič orientujeme tak, aby byly přístupné oba šroubky v jeho dolní části (budoucí fixace vloženého heatbreaku). Nakonec pak můžeme na rovné podložce tištěný díl na chladič shora lehce doklepnout. Chladič by měl spodní hranu efektoru přesahovat asi o 0,5 mm.

127

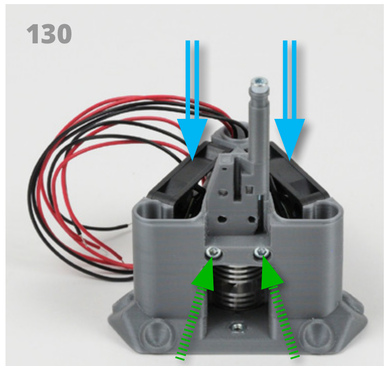


128

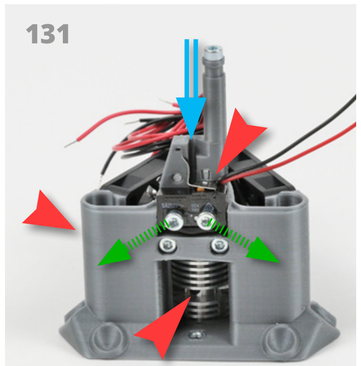
129



130



131



132

Do připravených otvorů vložíme poloviční (tenké) matky M3.

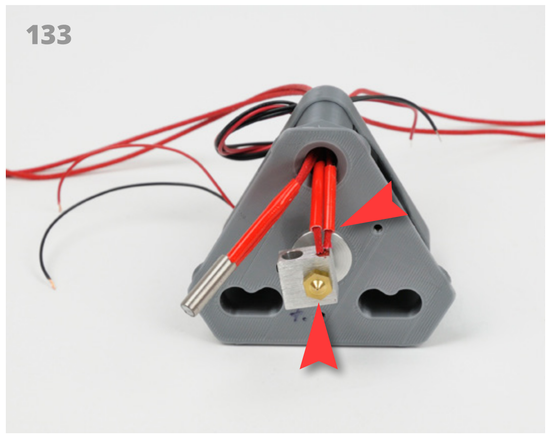
Do sloupku zašroubujeme zpevňující 40mm šroubek (díru, pokud je malá, předvrtat) a zkontrolujeme přístupnost šroubků v chladiči.

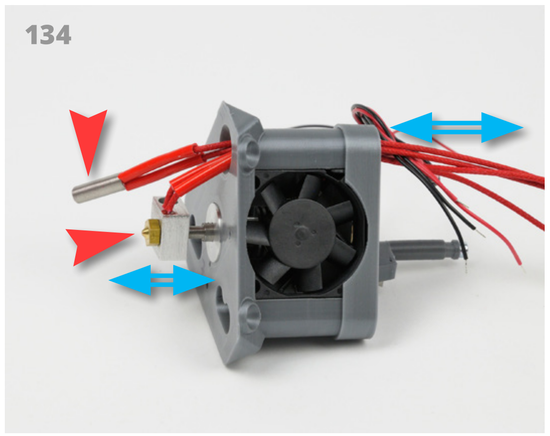
Chladič v těle efektoru zafixujeme 20mm šroubky M3 (obr. 130) a zasuneme větráčky. (Jejich napájecí kablíky protáhneme do kruhové přední šachty).

Plíšek spínače z-sondy přihneme (podle obrázku 131 – nesmí se opírat o hlavu šroubku, který bude vlevo).

Spínač shora zasuneme a jeho kablíky protáhneme v připraveném žlábku. Spínač zkusmo přišroubujeme šroubky M2,5. Pak šroubky vyšroubujeme.

Nasadíme horní kryt efektoru. Ten musí po celé horní ploše dosednout. Poté spínač z-sondy opět zajistíme šroubky. (Dotahujeme pevně, ale s citem, abychom spínač nerozdrtili.) Na závěr horní kryt efektoru v přední části přišroubujeme jedním šroubkem M3 × 8.

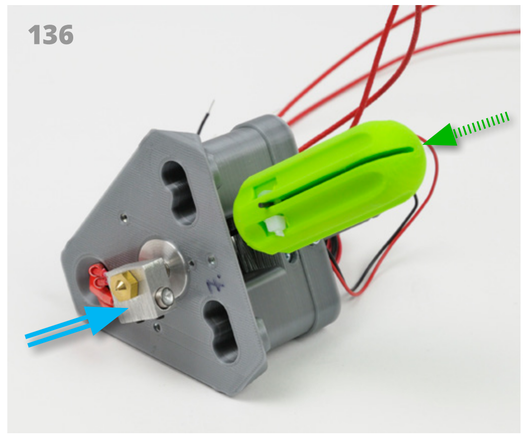


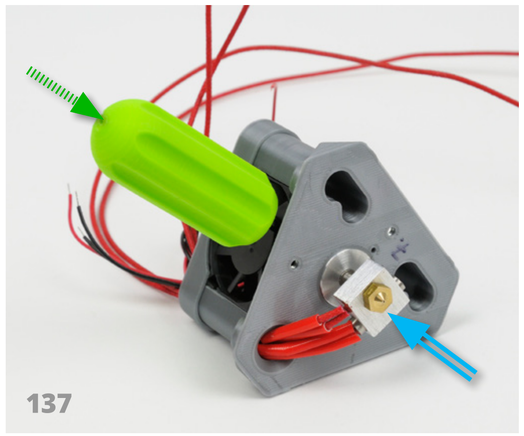


Kruhovou přední šachtou protáhneme dvojici kablíků termistoru a dvojici kablíků napájení topného tělíska. (Termistor vlepíme do otvoru v heatblocku silikonovým tmelem s teplotní odolností do 500 °C.)

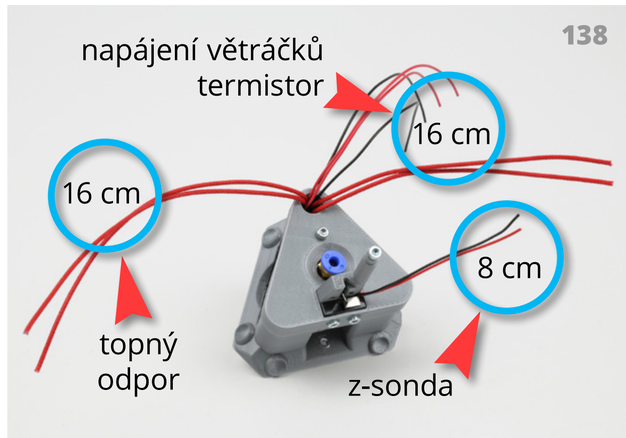
Celý komplet tryska–heatblock–heatbreak je výsuvný, což nám montáž, seřizování i budoucí údržbu výrazně usnadní.

Do heatblocku zasuneme topné tělísko a zajistíme ho pomocí dvojice šroubků na boku. Dáváme přitom pozor, abychom nechtěně nevytrhnuli vlepený termistor.



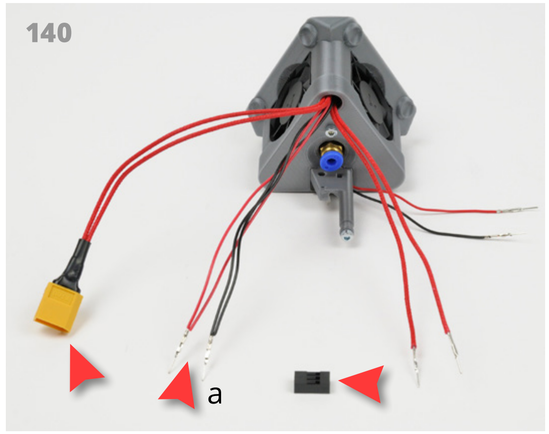


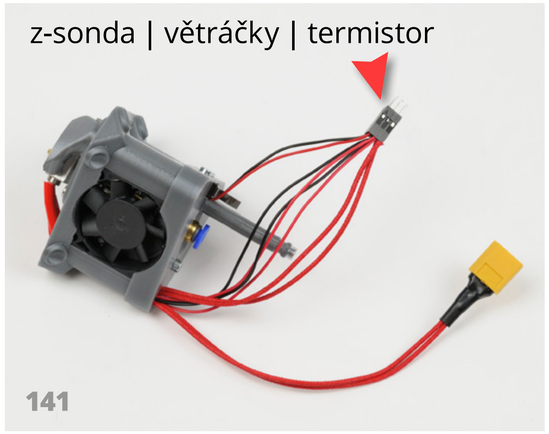
Celý komplet heatblocku zatlačíme nadoraz do chladiče a současně dotáhneme dvojici šroubků v těle chladiče.



Kabely vycházející z kruhové přední šachty zkrátíme dle obr. 138.

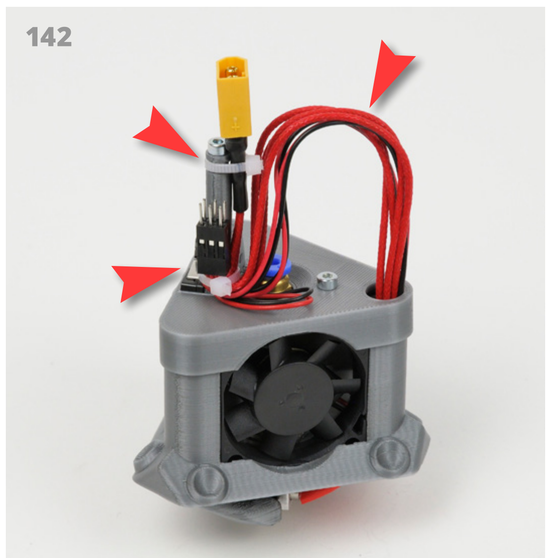
Na spodní stranu nyní můžeme pomocí tří šroubků nainstalovat vzduchovod (viz obr. 139, zde varianta vzduchovodu pro tisk PLA).





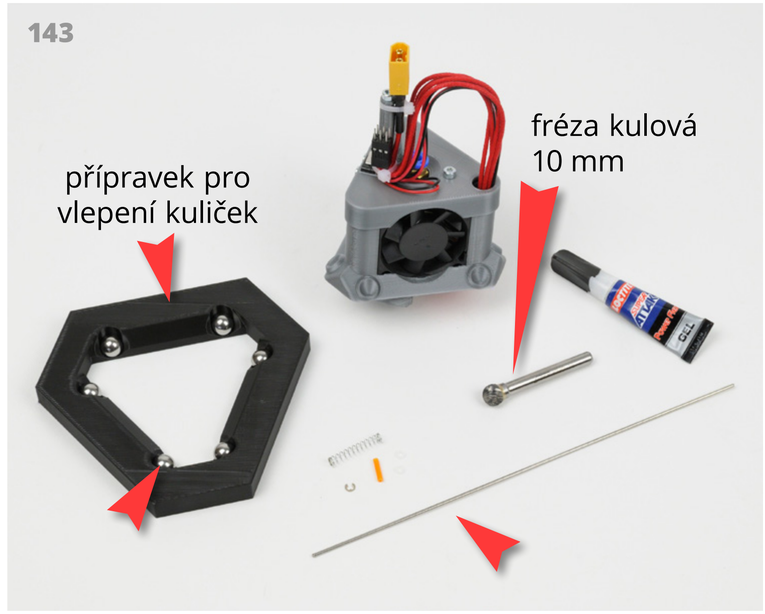
Na kabel k topnému tělísku připájíme konektor XT60 (samec). Bázi konektoru je dobré zaizolovat a zpevnit pomocí smršťovací bužírky.

Na ostatní kablíky nakrimpujeme konektory DuPont 2,54 mm (samec). V případě napájení větráčků kablíky sdružíme (obr. 140, a). Konektory zasuneme do plastového bloku 2×3 od prvního pinu v pořadí: z-sonda, větráčky, termistor (obr. 141, POZOR na napájení větráčků: umístění +!).

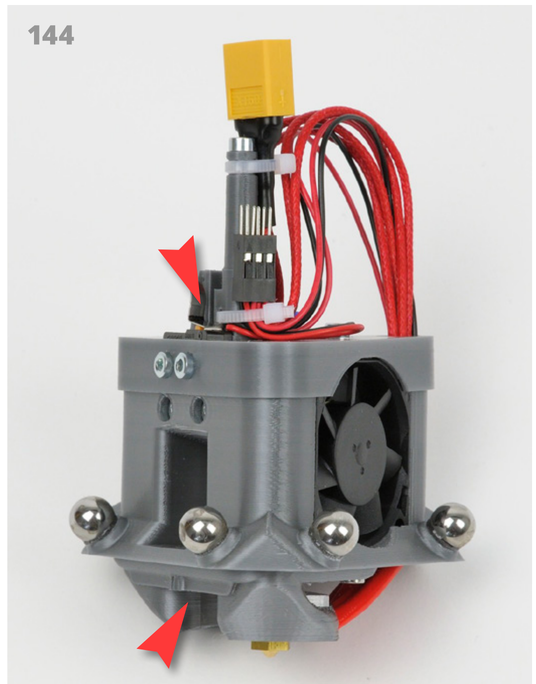


Pomocí dvou stahovacích pásek připevníme konektory ke sloupku.

Kablíky srovnáme do úhledného oblouku, který umožní celý komplet heatblocku kdykoli vytáhnout a provést jeho údržbu nebo např. výměnu heatbreaku či trysky.

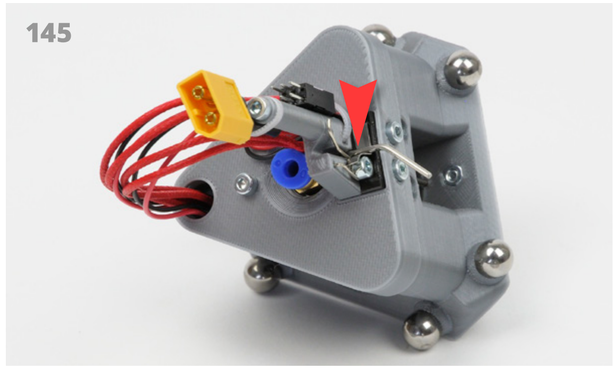


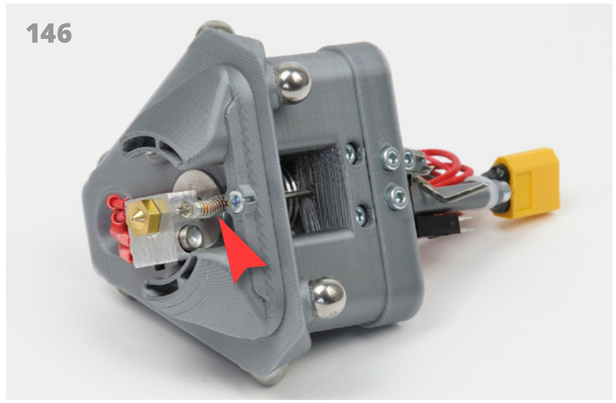
Nyní přistoupíme k vlepení ocelových kuliček. Použijeme k tomu odpovídající pomůcku. Jamky je vhodné lehce ručně začistit např. kulovou 10mm frézou. Další postup je obdobný jako při vlepování kuliček na vozíky.

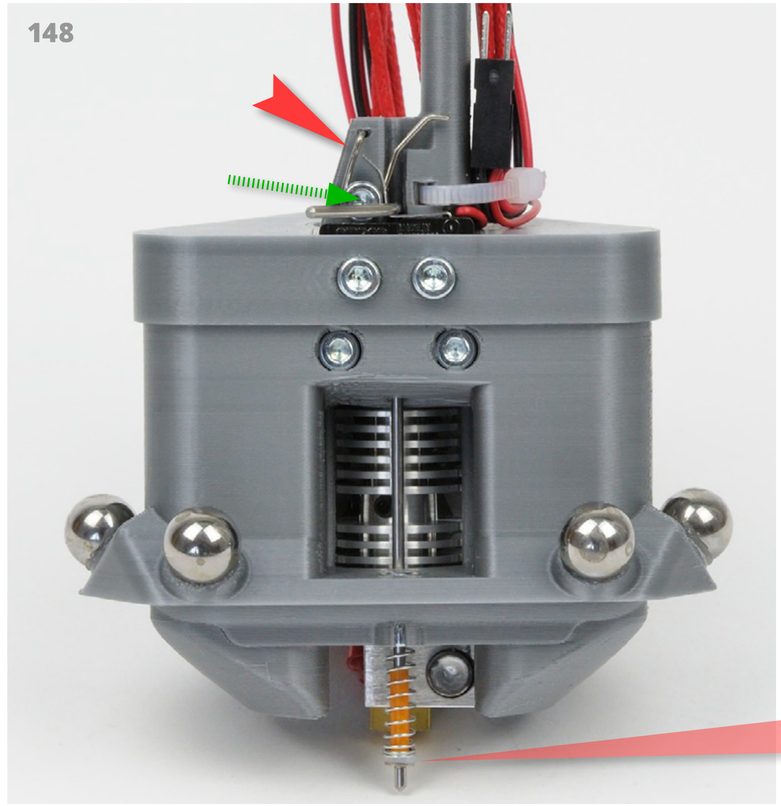


Po vlepení kuliček si připravíme pružinu, třmínek, plastovou trubičku, nerezový drát (⌀ 1,6 mm) a dvě teflonové podložky (obr. 143). Vše poslouží k výrobě z-sondy.

Otvor, kterým bude z-sonda procházet (obr. 144), „protáhneme“ vrtáčkem o průměru 1,8 mm.



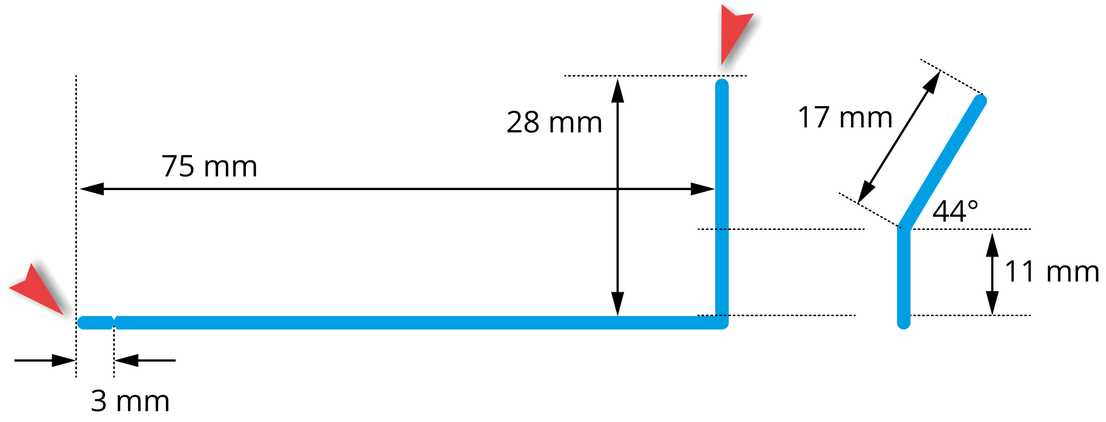




Jako trubičku je možné použít kousek tenkého brčka nebo plastovou trubičku z vatové tyčinky na čištění uší.

Schematický nákres z-sondy

Oba volné konce připraveného nerezového drátu nejprve zabrousíme do hladké půlkulové plochy. Především část, která bude „zachytávat“ o řemen, musí být zcela hladká.



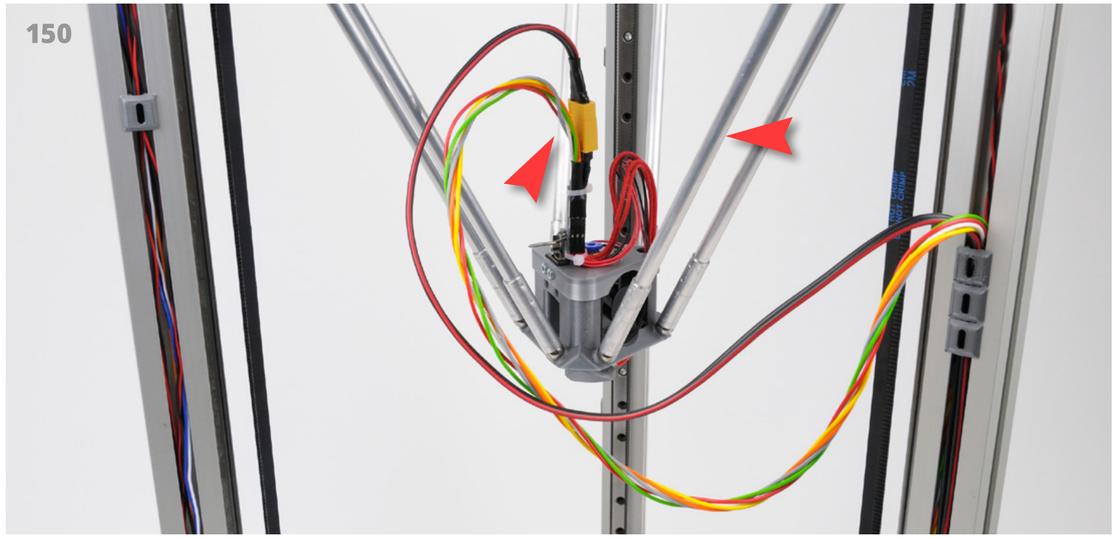
Nerezový drát naohýbáme dle schématu vlevo. V takto připravené sondě uděláme po obvodu jemný zářez pro nacvaknutí třmíku. Sondu zasuneme shora do otvoru v těle efektoru. Vedle spínače z-sondy nainstalujeme přítlačnou pružinu vyrobenou ze zavíracího špendlíku (šroubek příliš nedotahujeme, aby pružina správně fungovala). Vyzkoušíme, zda se sonda volně pohybuje a zda je v horní pozici automaticky aretována. Pokud ne, musíme pružinu ze zavíracího špendlíku správně dotvarovat.

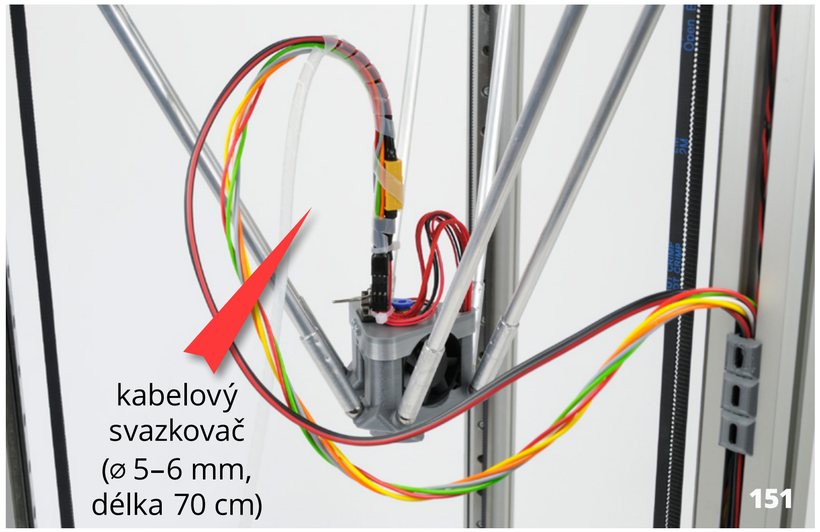
Na spodní, vyčnívající část sondy nasadíme teflonovou podložku (= 1 mm održíznuté PTFE hadičky 4/2 mm, na obr. 149 vpravo), 11 mm dlouhou trubičku, pružinku a druhou teflonovou podložku. Nakonec nasuneme třmínek a pomocí kleští ho nacvakneme do připravené drážky.

Funkci sondy pečlivě otestujeme, včetně proměření spínače multimetrem.

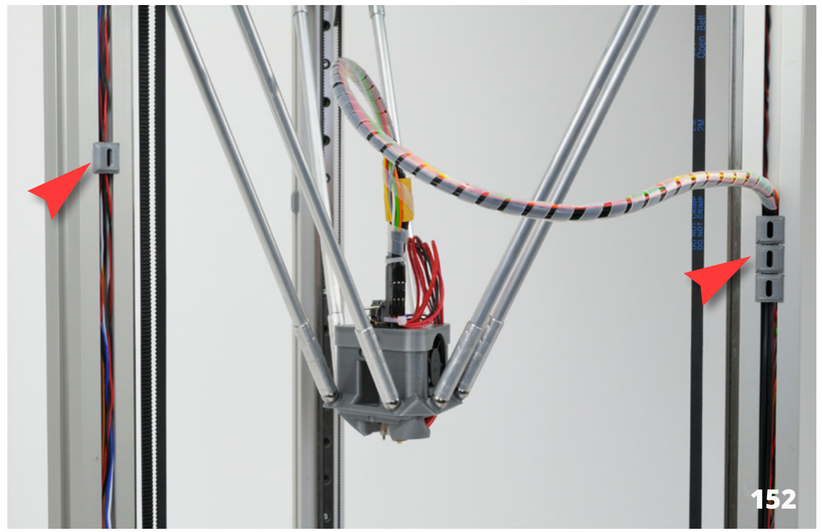
Na kabely vedoucí k efektoru (tiskové hlavě) z RAMPS připájíme a nakrimpujeme odpovídající protikusy ke konektorům použitým na efektoru. (POZOR na správné zapojení větráčků!)

Efektor zavěsíme na závěsná ramena a konektory propojíme. Poté kabely omotáme svazkovačem.

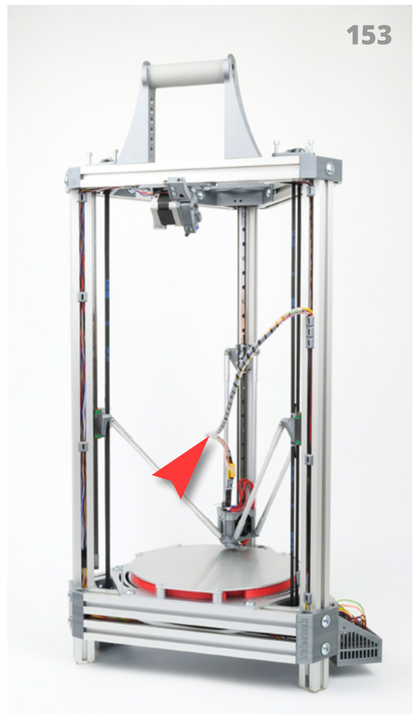

150

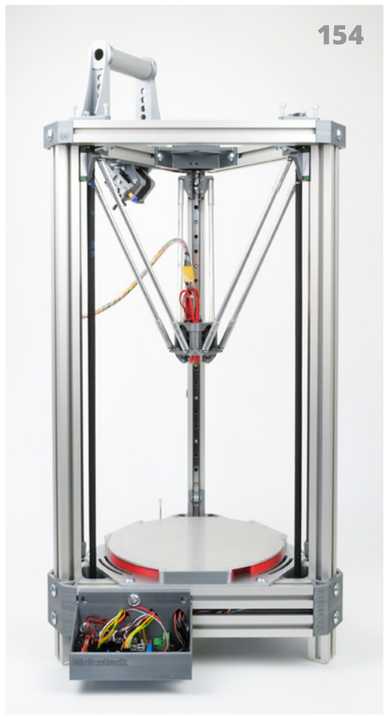


151


152

Projdeme vedení kabeláže a případně doplníme úchytky do profilových drážek.

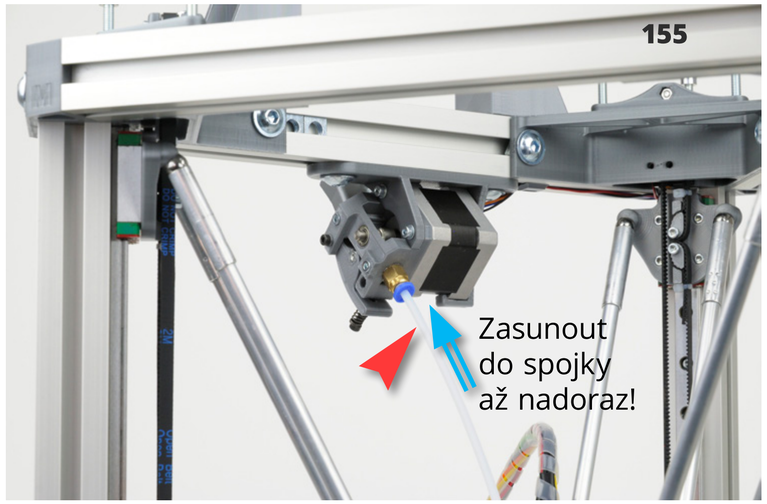

153


154

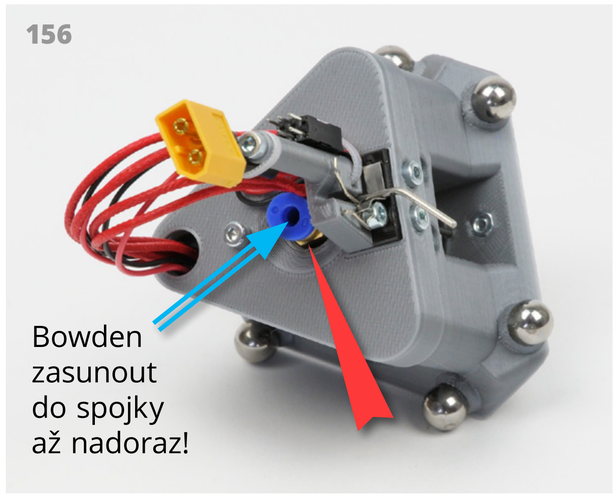
Zkontrolujeme, jestli ani v mezní pozici efektoru, na kraji skla, není kabelový svazek napnutý.

Upozornění:
Vozíky pohybujeme pomalu! (Správně bychom měli z RAMPS odpojit motory X, Y a Z.)

Instalace „bowdenu“



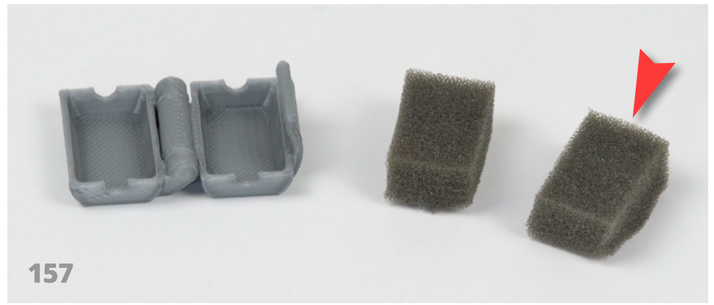
PTFE (teflonovou) hadičku zasuneme do rychlospojky extrudéru. (Celková délka bowdenu je 69,5 cm.) Trubička musí projít skrz spojku až do prohlubně v těle extrudéru.



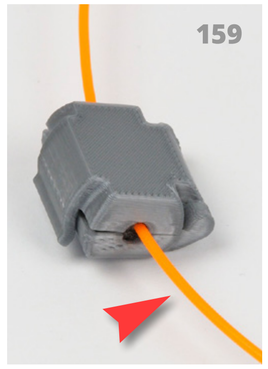
Obdobně zasuneme hadičku na straně efektoru. (Efektor při tom sundáme ze závěsných ramének.)

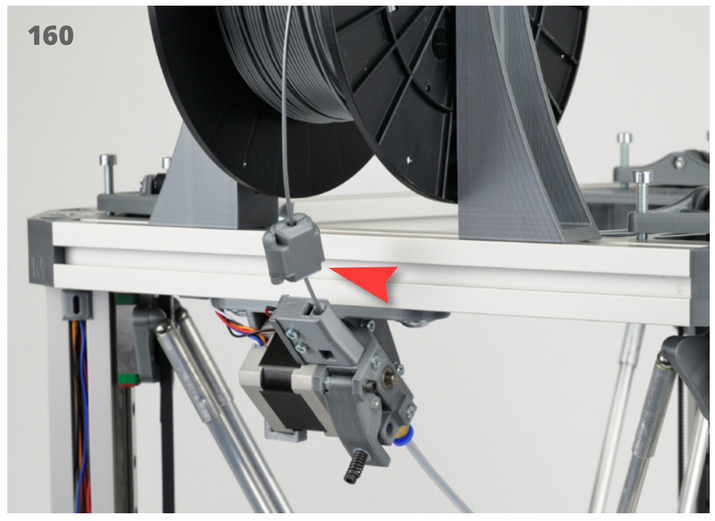
POZOR! Hadička musí projít až do heatbreaku, což je poměrně hluboko. Pokud si nejsme jisti, povolíme šroubky na těle chladiče a zatlačíme na trubičku – mělo by dojít k vysunování celého kompletu heatblocku. Poté stiskneme modrý kroužek na rychlospojce dolů a držíme ho v této poloze. Opatrně zasunujeme komplet heatblocku zpět. (Hadička bude plynule vysunována zpět.) Po zasunutí nadoraz uvolníme modrý kroužek a šroubky v chladiči opět dotáhneme.

Instalace stírátka nečistot



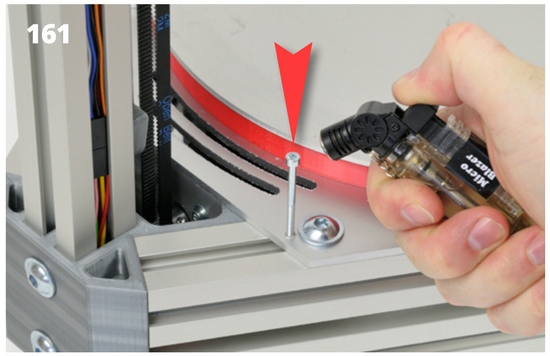
Stírátko (neboli filtr) nečistot je důležitou součástí, která nám ušetří nejedno čištění trysky.

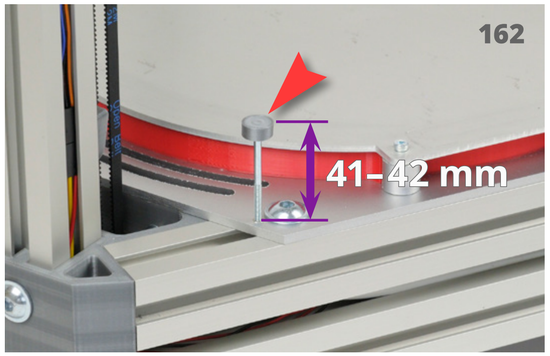




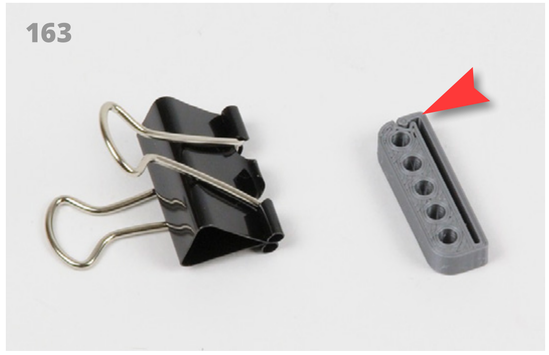
Stírátko nečistoto instalujeme na tiskovou strunu před čidlo přítomnosti filamentu.

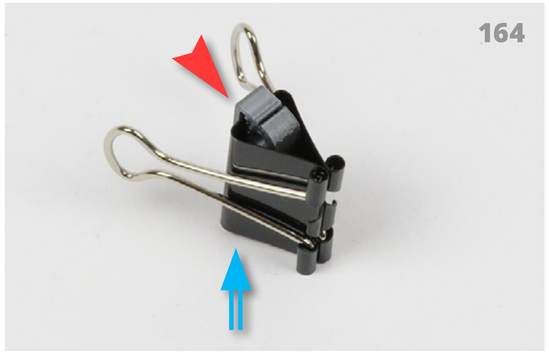
Závěrečné drobnosti



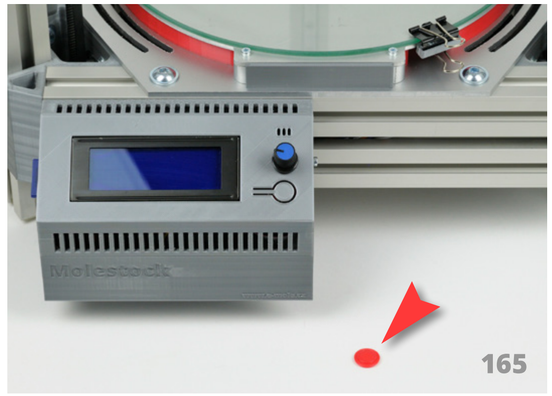


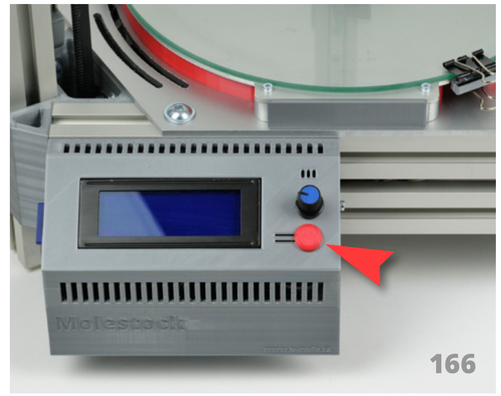
Zadní šroub nahřejeme hořákem/zapalovačem a nasadíme na něj „knoflík“ pro zasunutí z-sondy. Finální vzdálenost od jeho horní plochy k ploše izolační desky je naznačena na obrázku.





Klipy, které na vyhřívané plotýnce přidržují sklo, upravíme nasazením distančních návleků.



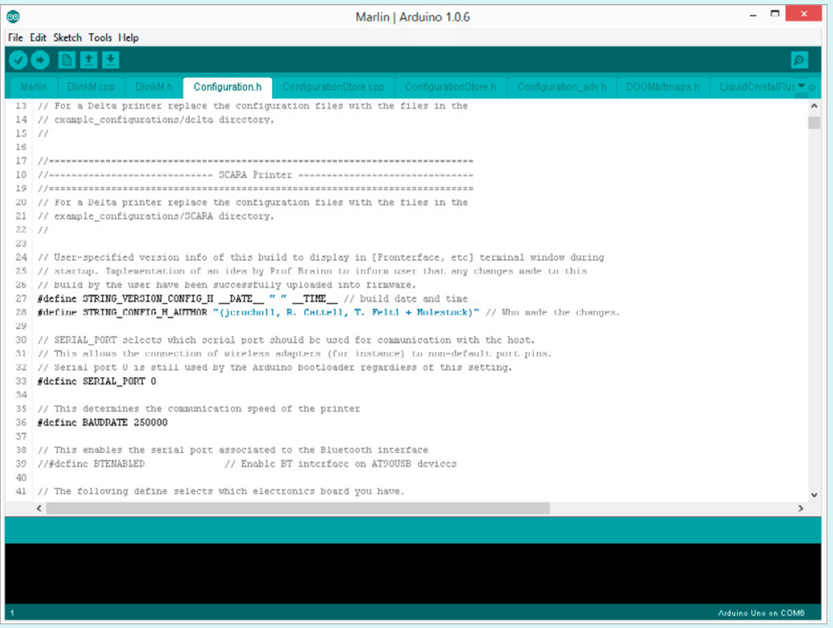


Na závěr nalepíme červené tlačítko STOP.

Kompletace tiskárny Molestock je dokončena a můžeme přistoupit k jejímu oživení a kalibraci.

Jaký software si mám nainstalovat?

Pro oživení tiskárny je nezbytné nainstalovat si tři aplikace. Jsou buďto zcela zdarma, nebo je k dispozici omezená „free“ verze (u KISSliceru – pro školní potřeby zcela dostačující). Všechny uvedené aplikace jsou k dispozici pro MS Windows, Linux, Mac.



Arduino IDE 1.0.6

www.arduino.cc/en/Main/OldSoftwareReleases#previous

Jedná se o vývojové programátorské prostředí pro Arduino.

Použijeme ho k úpravám a nastavením parametrů firmwaru (v našem případě upravená verze firmwaru Marlin). Poslouží nám také ke kompilaci firmwaru a jeho „nahrání“ do Arduina.

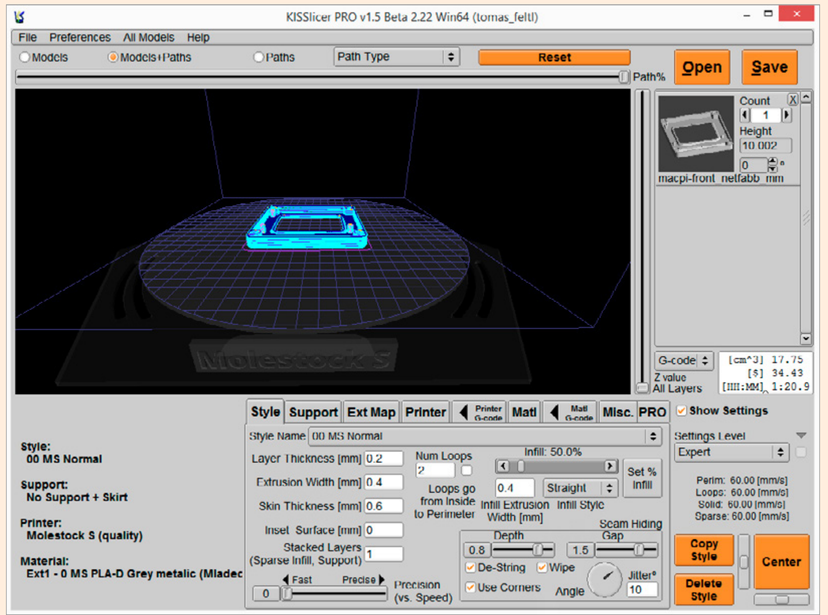
UPOZORNĚNÍ: nainstalujte si starší **verzi 1.0.6**.

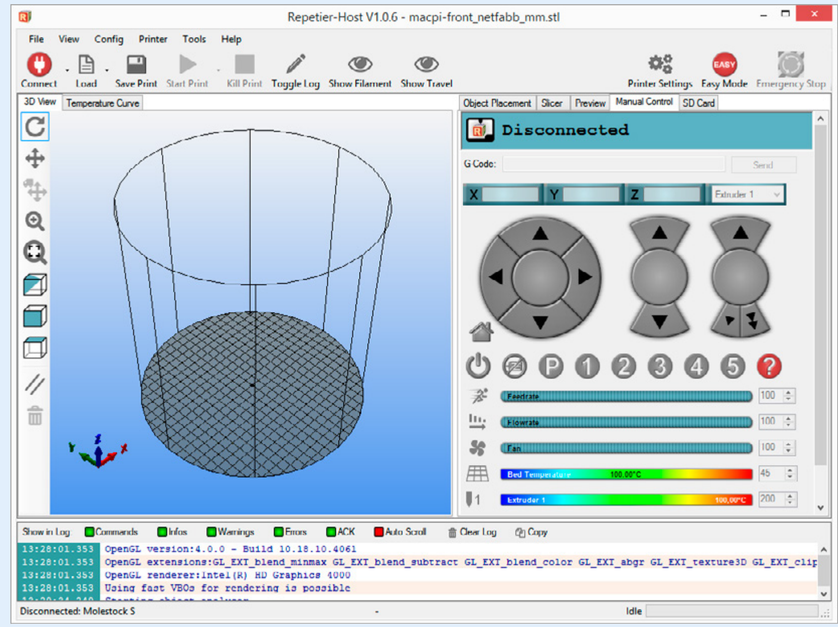
KISSlicer

www.kisslicer.com/download.html

O KISSliceru jsme v tomto čísle e-Molu již na několika místech hovořili. Připomeňme si, že jde o aplikaci, která „rozřeže“ 3D model na vrstvy a vytvoří kód, kterému „rozumí“ 3D tiskárna.

Ve sliceru je možné nastavit řadu parametrů, kterým je třeba porozumět. Pokud budete stavět tiskárnu s námi, budeme se jim samozřejmě podrobně věnovat. (Dostanete také konfigurační soubor s přednastavenými profily různých tiskových médií.)





Repetier-Host

www.repetier.com/downloads

Jde o multifunkční program, kterým budeme z PC přes USB kabel (COM) s tiskárnou „komunikovat“.

Umožní nám tiskárnu ovládat a můžeme ho použít i k přímému tisku z PC. Standardně ale budeme tisknout z SD karty.

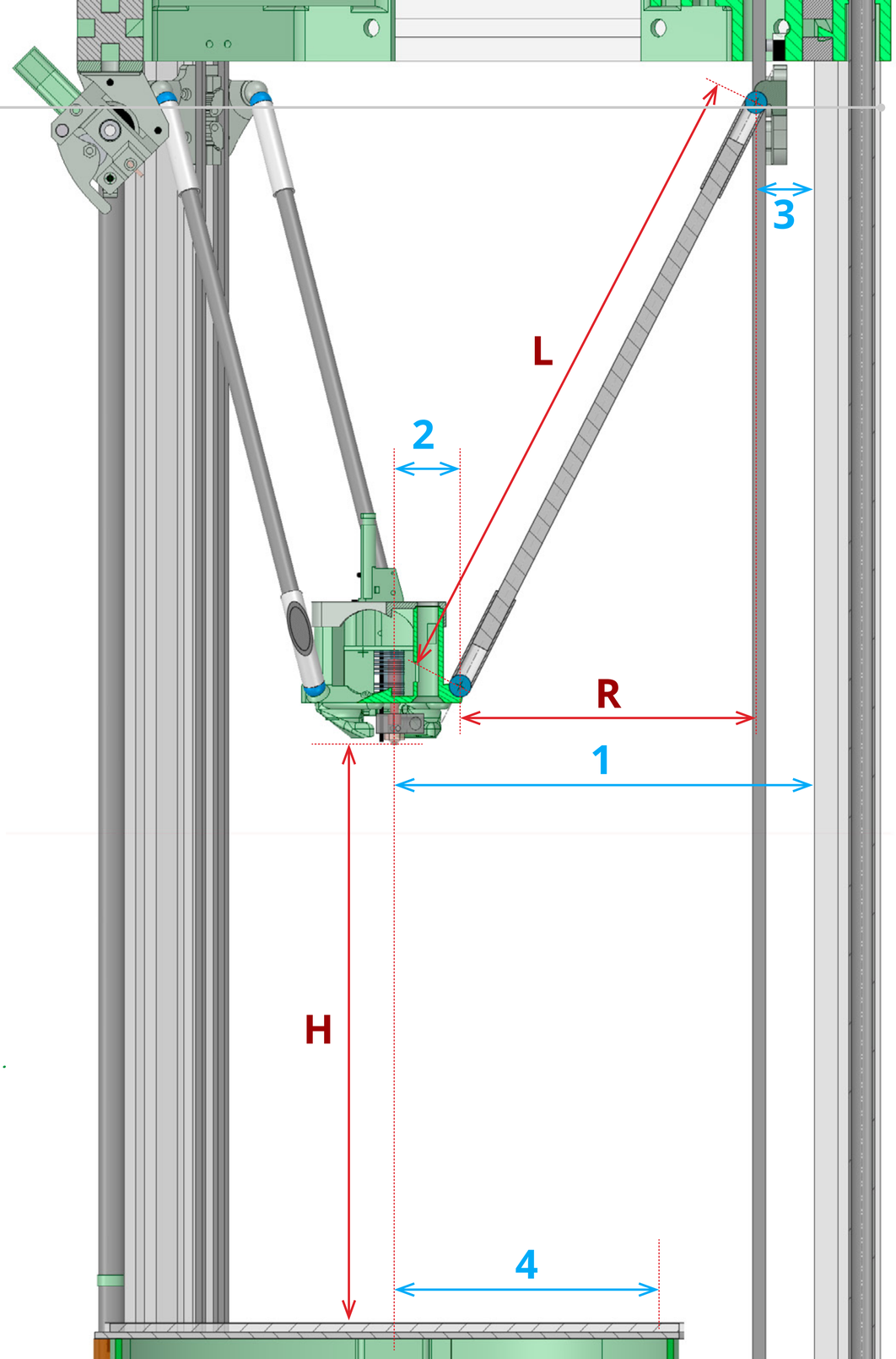
Při úvodní kalibraci tiskárny budeme využívat Repetier-Host k monitorování jejího stavu, k zadávání různých „příkazů“ a k nastavování parametrů – to vše s pomocí panelu Manual Control a samozřejmě také s využitím „příkazové řádky“ a konkrétních G-kódů.

Oživení tiskárny

Trocha „delta“ geometrie

Než se pustíme do oživování tiskárny, měli bychom se seznámit s několika základními parametry, které je třeba nastavit ve firmwaru tiskárny. Jde o několik rozměrů, které zásadním způsobem ovlivní výsledný výtisk. Tyto základní „delta“ parametry jsou schematicky znázorněny na obrázku vpravo.

Mít v těchto parametrech jasno je důležité pro následující kalibraci tiskárny, při které např. korekcí hodnoty L (délka závěsného ramene, DELTA_DIAGONAL_ROD) můžeme ovlivnit velikost tištěného objektu.



Schematický nákres delta tiskárny Molestock s označenými důležitými rozměry ▸
a odpovídající vybraná nastavení upraveného firmwaru Marlin ▾

L
```
// Center-to-center distance of the holes in the diagonal push rods.
#define DELTA_DIAGONAL_ROD 298 // mm
```

1
```
// Horizontal offset from middle of printer to smooth rod center.
#define DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET 192 // mm
```

2
```
// Horizontal offset of the universal joints on the end effector.
#define DELTA_EFFECTOR_OFFSET 30 // mm
```

3
```
// Horizontal offset of the universal joints on the carriages.
#define DELTA_CARRIAGE_OFFSET 27 // mm (HIWIN 27 mm), (IGUS 23.4)
```

R
```
// Horizontal distance bridged by diagonal push rods when effector is centered.
#define DELTA_RADIUS (DELTA_SMOOTH_ROD_OFFSET-DELTA_EFFECTOR_OFFSET-DELTA_CARRIAGE_OFFSET)
                      1                      2                      3
```

4
```
// Print surface diameter/2 minus unreachable space (avoid collisions with vertical towers).
#define DELTA_PRINTABLE_RADIUS 120.0 // mm For Z-probe push-up zone testing set 145
```

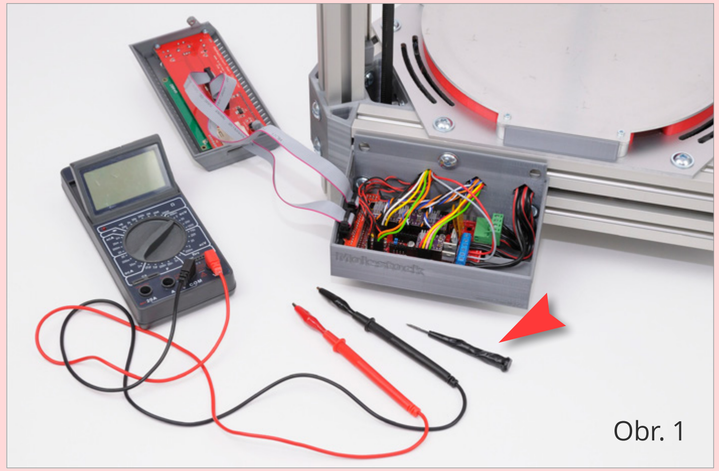
```
//Manual homing switch locations:
// For deltabots this means top and center of the Cartesian print volume.
#define MANUAL_X_HOME_POS 0
#define MANUAL_Y_HOME_POS 0
```

H
```
//For delta: Distance between nozzle and print surface after homing.
#define MANUAL_Z_HOME_POS 262  // mm Set 267 for first Molestock S calibration
```

Oživujeme…

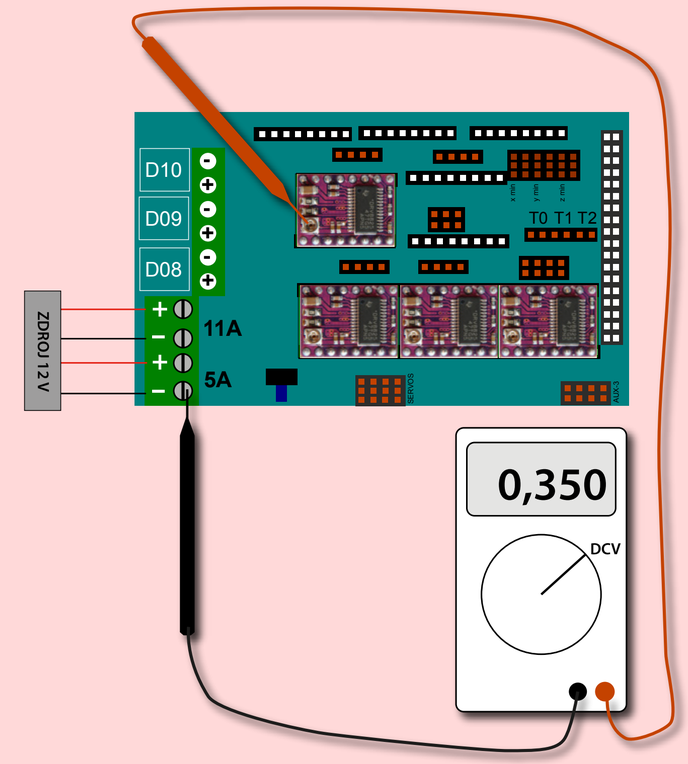
Při oživování tiskárny Molestock budeme potřebovat multimetr a malý izolovaný šroubováček. Doporučujeme postupovat dle následujících bodů:

1. Ověříme si, že napájecí zdroj je na vstupu přepnutý na ~230 V. (Většina zdrojů má přepínač s volbou 110 V, nebo 230 V.)
2. Odpojíme zelený konektor napájení RAMPS.
3. Připojíme tiskárnu do elektrické sítě.
4. Zapneme tiskárnu (síťový vypínač) a zkontrolujeme napětí na 12V výstupu zdroje – hodnotu napětí a správné zapojení +/− (podle **schématu zapojení** na str. 96; viz obr. 2 vpravo). Velikost napětí případně zkorigujeme potenciometrem ve zdroji.
5. Vypneme tiskárnu (síťový vypínač).
6. Připojíme napájecí konektor do RAMPS.
7. Zapneme tiskárnu a propojíme ji pomocí USB kabelu s počítačem.
8. Spustíme Arduino IDE a otevřeme upravený firmware Marlin (je k dispozici v **GitHub repozitáři**).
9. Ve firmwaru nastavíme parametry podle tiskárny, kterou jsem postavili.
10. Zkompilujeme a nahrajeme upravený Marlin firmware do tiskárny. (Po chvíli se na displeji tiskárny již objeví základní informace.)
11. Nastavíme „drivery“ krokových motorů takto (viz obr. 3 a schéma vpravo, pro DRV8825):
    - → Pro motory věží X, Y a Z referenční napětí 0,300 V až 0,350 V
    - → Pro motor extrudéru (E) referenční napětí 0,350 V až 0,500 V

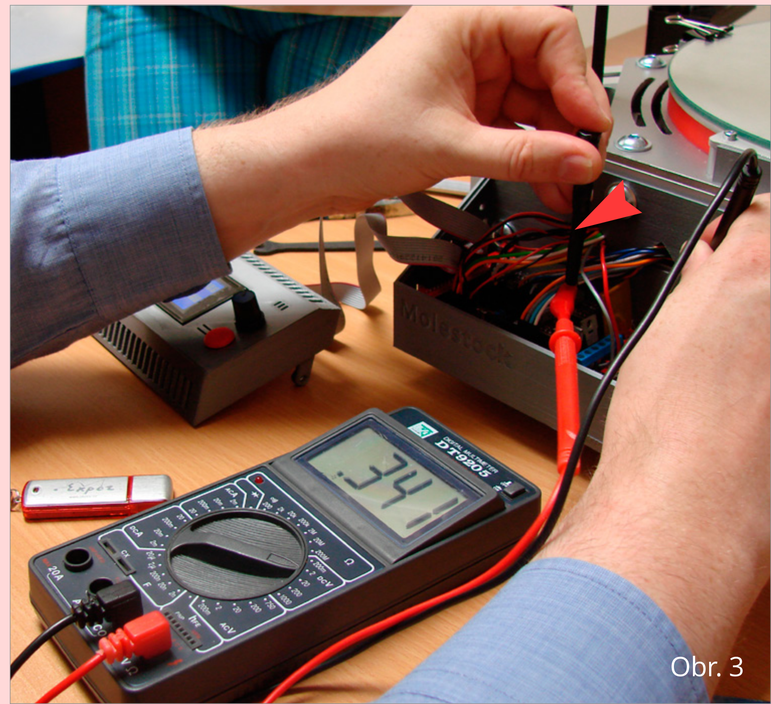


Obr. 1

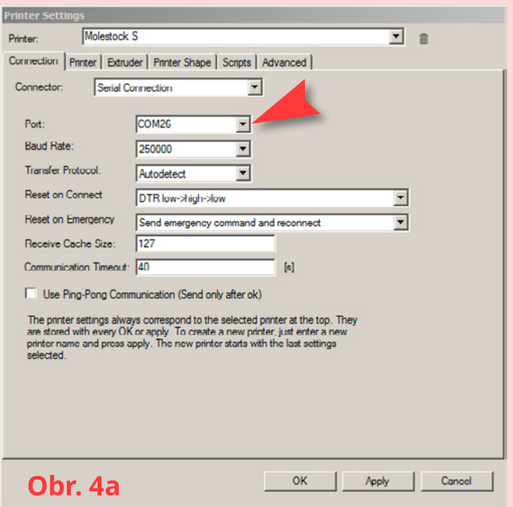
Obr. 2



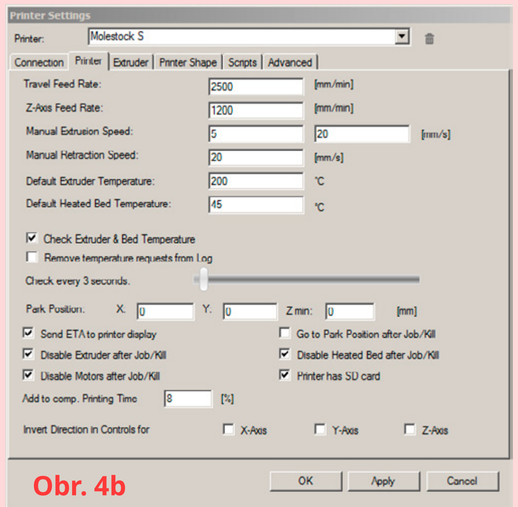
Schematický nákres měření při nastavování „driverů“ krokových motorů



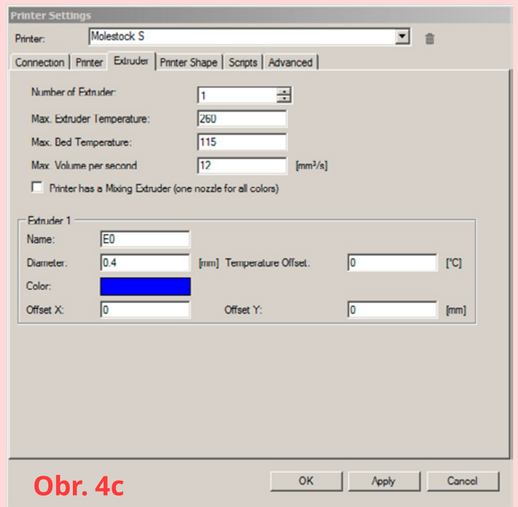
Obr. 3



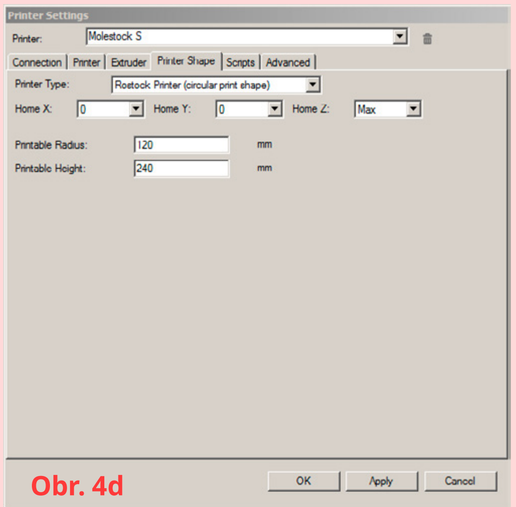
Obr. 4a



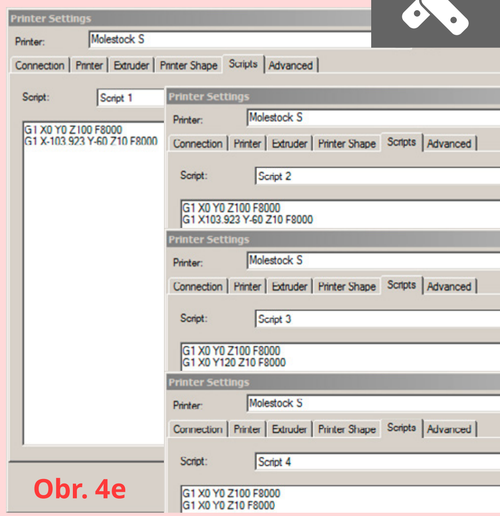
Obr. 4b



Obr. 4c



Obr. 4d



Obr. 4e

12. Spustíme si Repetier-Host a nastavíme parametry tiskárny dle screen-shotů (obr. 4a–4e), včetně přípravy 4 skriptů (souřadnic kalibračních pozic).

13. Zkontrolujeme funkci endstopů, čidla filamentu a z-sondy (v příkazové řádce Repetier-Hostu zadáme a odešleme příkaz M119 při současném sepnutí jednoho z endstopů –> informace jsou vypisovány do logu ve spodní části; postup opakujeme pro všechny endstopy, čidlo filamentu a z-sondu). Pokud je vše v pořádku odešleme příkaz G28 (home).

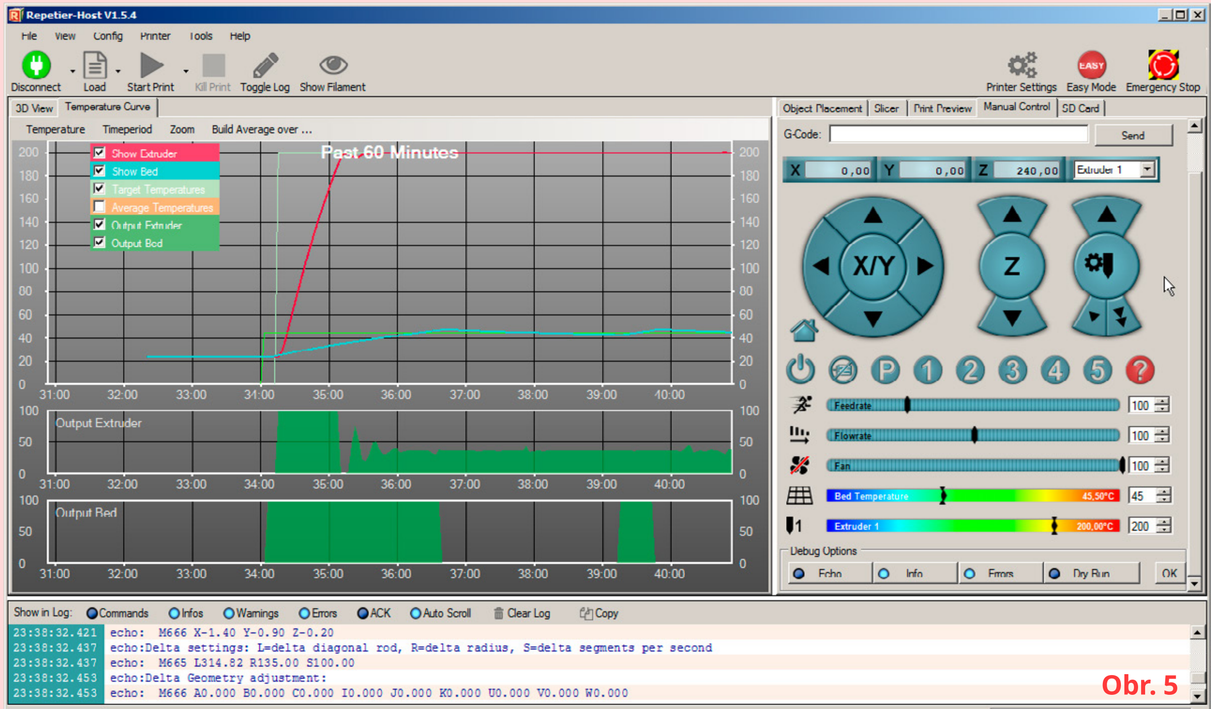
14. Z Repetier-Hostu otestujeme předehřátí plotýnky a trysky (včetně průchodnosti trysky).

Teplota trysky

Při oživování tiskárny a při prvních kalibracích použijeme PLA z Mladče při teplotě 215 °C.

Jak najít optimální teplotu pro tisk určitým materiálem?

- Základní rozmezí uvádí vždy výrobce (např. 190–210 °C). Je dobré začít spíše na udávané horní hranici.
- Nejlepší možnost – ručně zatlačit na strunu a sledovat, jak vytéká a jaký odpor klade (což vyžaduje nějaké ty zkušenosti). Takto teplotu nastavíme orientačně a při testovacím tisku ji případně ještě jemně doladíme.
- Je řada možností exaktnějšího hledání optimální teploty trysky (nejčastěji různé testovací objekty).
  - → Dobré je začít dvojicí/trojicí dutých válců a měnit teplotu po cca 5 mm (nejlépe nastavit přímo v G-kódu).
  - → POZOR na příliš nízkou teplotu a tím pádem na velké namáhání motoru extrudéru!
  - → Velmi záleží na rychlosti tisku! Rychleji => je třeba vyšší teplota.



Obr. 5

Kalibrace a testování

Kalibrace delta tiskárny je poměrně komplexní záležitost, proto jsme připravili dva přehledné protokoly a několik testovacích modelů, které vám s kalibrací pomohou. Následující postup ovšem vyžaduje určité zkušenosti a neobejde se bez zadávání různých G-kódů s parametry k nastavení tiskárny a případných korekcí. Proto tento postup doporučujeme pouze pokročilým uživatelům. K dosažení požadovaných výsledků je často potřeba provést několik iterací a parametry postupně měnit. Musíte si být zcela jisti, co který příkaz vlastně „udělá“.

Začneme základní kalibrací podle protokolu č. 1:

EXTRUDÉR

1. Nejdříve zkalibrujeme extrudér (bod č. 1 v protokolu). Cílem je, abychom počet kroků motoru extrudéru nastavili tak, že bude vytlačeno přesně požadované množství tiskové struny.

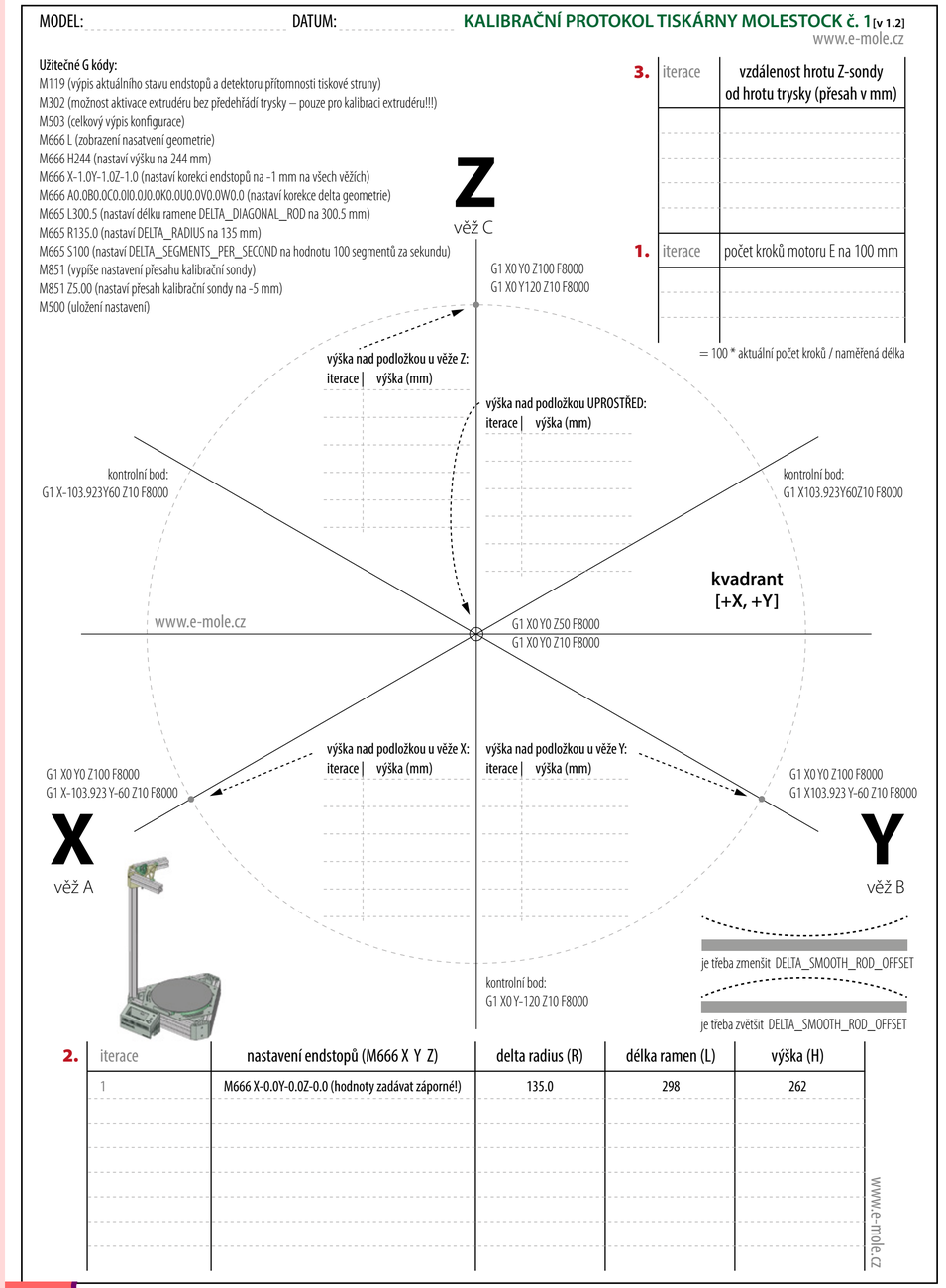
TISKOVÁ PLOCHA (ENDSTOPY)/ZÁKLADNÍ „DELTA GEOMETRIE“/VÝŠKA

2. Dalším krokem je tzv. softwarová kalibrace endstopů (bod č. 2 v protokolu). Při ní zavedeme korekce horní polohy každého z vozíků na všech věžích (X, Y, Z), a to tak, aby byla tryska ve všech kalibrovaných bodech nad podložkou stejně vysoko. Pozice těchto kalibračních bodů máme definované v Repetier-Hostu ve skriptech 1–3 (viz obr. 4e na předchozí straně). Současně ale musí být tryska ve stejné výšce i ve středovém bodu (definován je ve skriptu 4). *Proměřování výšky při kalibraci se v domácích podmínkách často provádí takzvaně „na tloušťku papíru“ – u gramáže 80 g/m² je to asi 0,1 mm. Přesnější a rychlejší měření je možné provést klasickým úchylkoměrem. Mezi jednotlivými iteracemi nezapomenme vždy použít příkaz G28 (= home).*

Z-SONDA

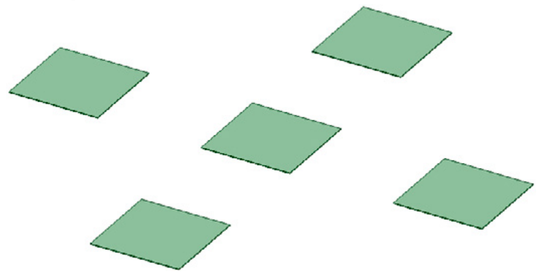
3. Jakmile máme provedené výše uvedené kalibrační kroky, změříme a nastavíme korektní přesah z-sondy (bod č. 3 v protokolu).
4. Poté provedeme test autokalibrace. Pomocí sledu příkazů G28 (home) a G29 (vlastní autokalibrace) spustíme autokalibraci a zkontrolujeme její výsledek – hodnoty se vypisují do logu v Repetier-Hostu. Otestujeme autokalibraci několikrát za sebou a porovnáme hodnoty (odchylky).

Pokud je vše v pořádku, je tímto základní kalibrace dokončena a můžeme přistoupit k prvnímu kontrolnímu tisku.

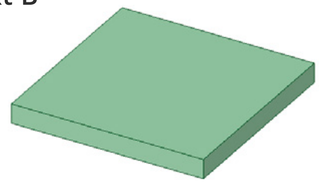


5. Vytiskneme testovací objekt A a zkontrolujeme tloušťku všech pěti samostatných částí (= tloušťka první vrstvy = 0,2 mm).
6. Pokud je třeba výšku objektu A zkorigovat, upravíme parametr Z-Offset, buďto pomocí G-kódu, nebo přímo z menu tiskárny a test opakujeme dokud není vrstva v toleranci dle našich představ. Nastavení si nezapomeneme uložit (M500, nebo přímo z menu tiskárny).

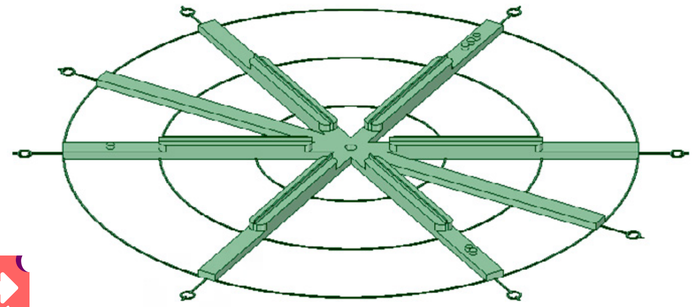
Testovací objekt A



Testovací objekt B



Testovací objekt C



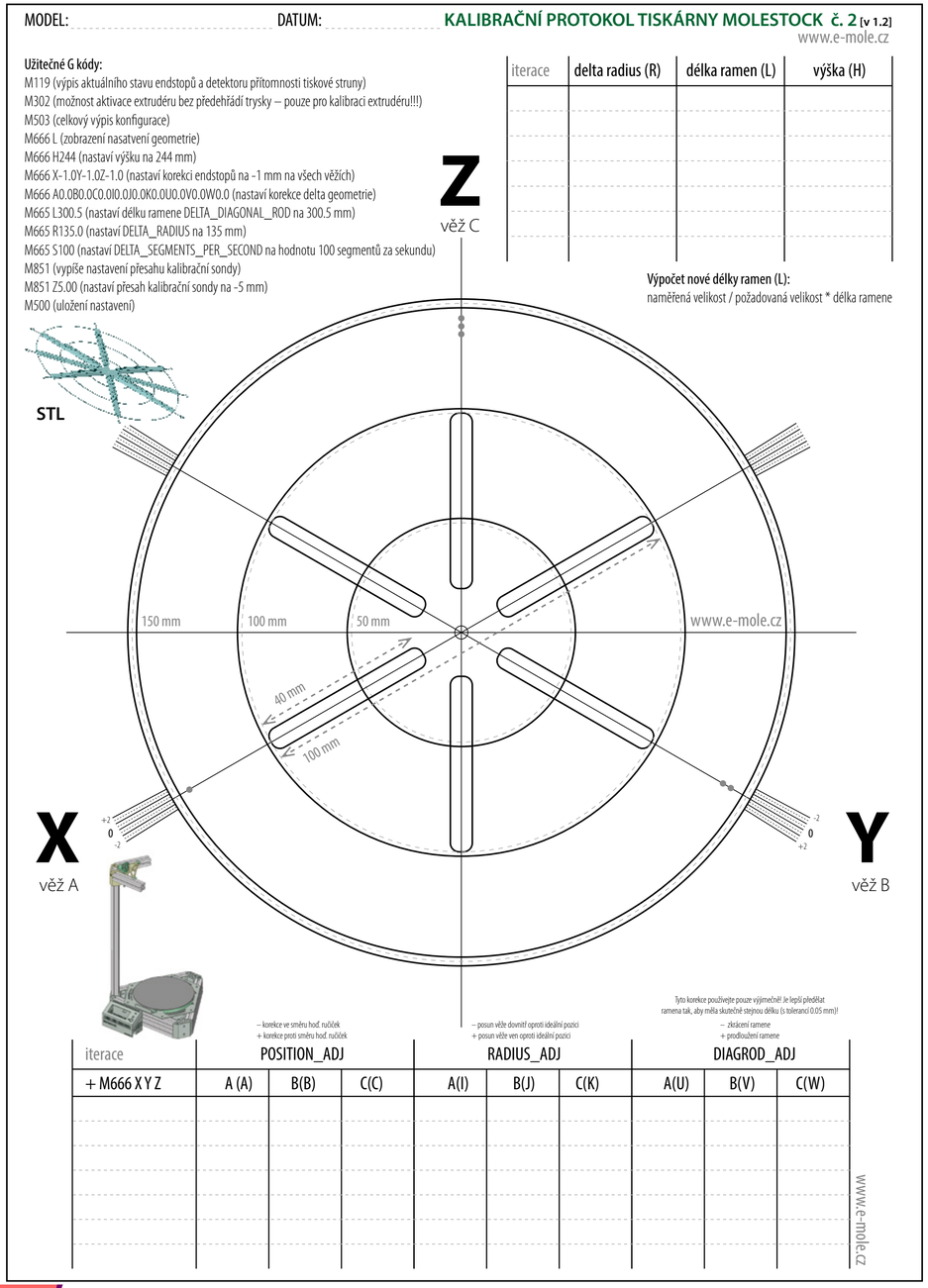
7. Vytiskneme testovací objekt B a přeměříme ho ve všech osách.
   → Pokud jsme spokojeni, je tiskárna zkalibrovaná.
   → Pokud spokojeni nejsme, pokračujeme pokročilou kalibrací dle protokolu č. 2.

Pokračujeme pokročilou kalibrací podle protokolu č. 2:

POKROČILÁ „DELTA GEOMETRIE“

8. Vytiskneme komplexní testovací objekt C a zkontrolujeme jeho rozměry a kvalitu povrchu.
9. Vytištěný testovací objekt C přiložíme i se sklem na předtištěný obrazec a kolmo shora odečteme případné úhlové nepřesnosti a zavedeme odpovídající korekce pomocí G-kódu M666 (parametry A, B, C).
10. Přeměříme kontrolní vzdálenosti a velikosti a zavedeme případné korekce – celková korekce velikosti s využitím G-kódu M665 (parametr L), korekce nepravidelností M666 (parametry I, J, K; případně U, V, W).
11. Po každé provedené korekci vytiskneme testovací předmět znovu a kontrolní měření zopakujeme.
12. Celý postup (tj. kroky 8–11) opakujeme tak dlouho, až jsme s přesností spokojeni.

UPOZORNĚNÍ: Kalibraci provádíme s materiálem, který budeme nejčastěji používat, s jiným materiálem můžete být velikost výtisku mírně odlišná.



Závěrečná upozornění

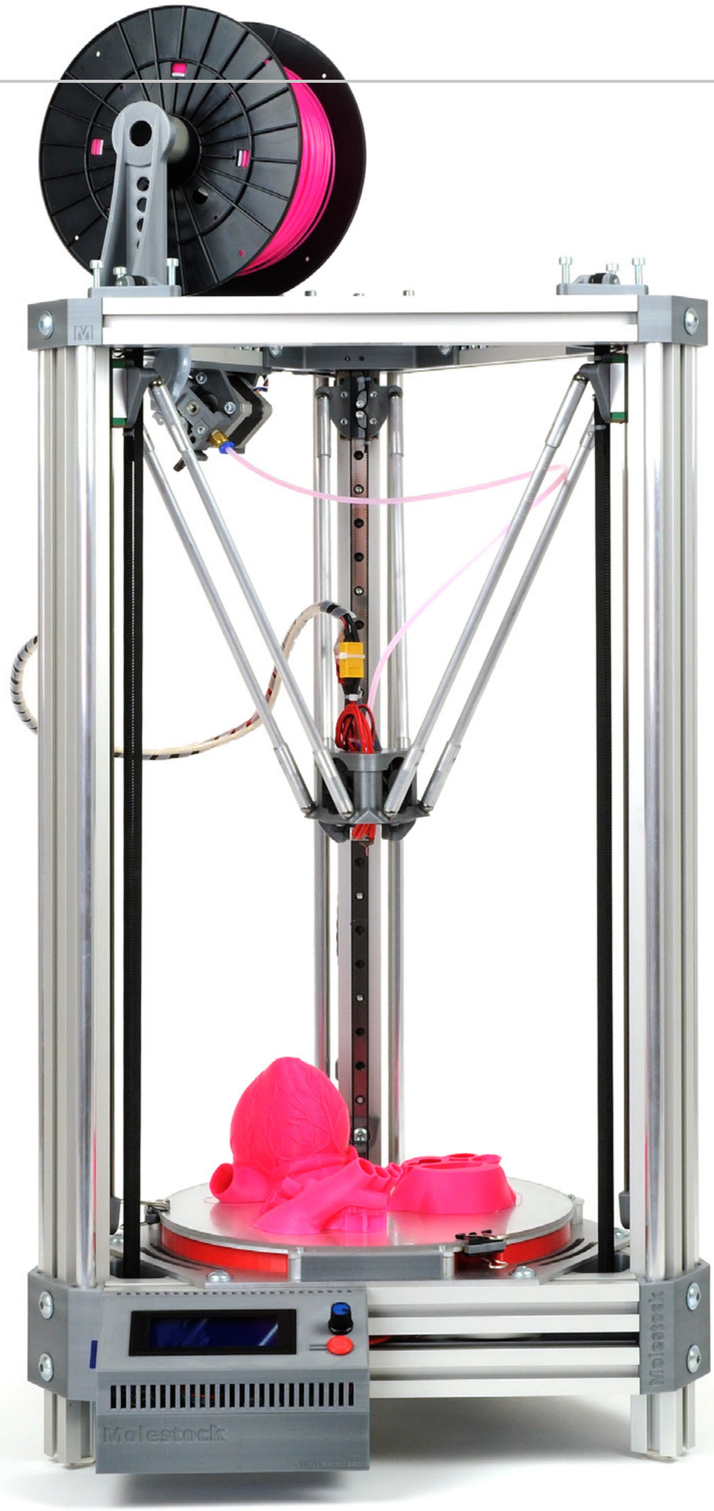
Nepřekračujte teplotní maxima!

Překročením teplotního maxima riskujete poškození nebo zničení tiskárny!

- Maximální teplota hotendu s teflonovým insertem = 230 °C
- Maximální teplota hotendu s celokovovým insertem = 280 °C
- Maximální teplota plotýnky = 110 °C

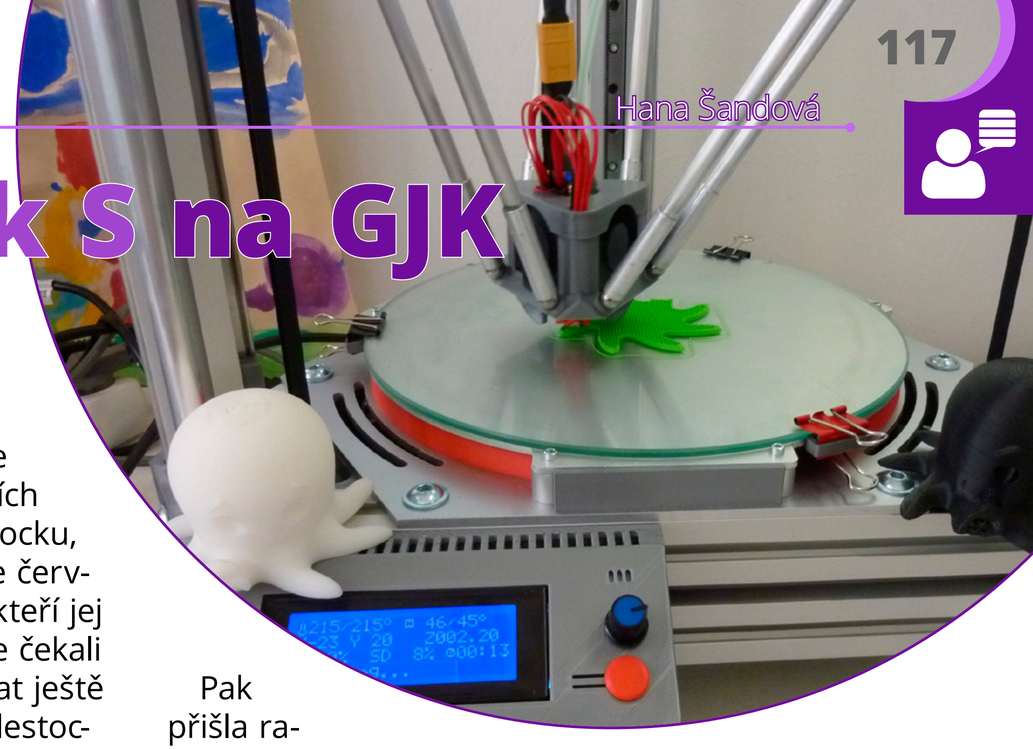
- Pro správnou funkci tiskové hlavy je třeba, aby byly oba větráčky v provozu. Při výpadku jednoho z větráčků přerušte tisk, nechte tiskovou hlavu za provozu zbylého větráčku vychladnout a před pokračováním tisku nefunkční větráček vyměňte.

- Je-li tisková hlava zahřátá a dojde k výpadku el. proudu, může dojít k přehřátí hlavy a k jejímu zdeformování. V takovém případě vycvakněte hlavu z magnetického závěsu a otočte ji „heatblockem“ směrem nahoru. V případě vysokých teplot doporučujeme povolit a vysunout heatbreak a komplet heatbreake–heatblock–tryska pak položit mimo tiskovou hlavu, dokud nevychladne. Vhodnějším řešením je připojení tiskárny k záložnímu zdroji napájení.



Hana Šandová

Cesta 3D tiskárny Molestock S na GJK



Na Letní škole učitelů informatiky v Lipnici nad Sázavou v roce 2013 jsem se dozvěděla o **Akademii cz.nic**, která se zabývá pořádáním seminářů a workshopů nejen pro odborníky, ale především se snaží podpořit zájem studentů a umožnit jim získat dovednosti nad rámec školní informatiky. Na většinu těchto školení mají pro studenty a učitele až 90% slevu na kurzovné. Zaujalo mě to a hned jsem si z nabídky vybrala listopadové školení na 3D tisk (za učitelskou cenu Kč 242,–) pod vedením Marka Žehry z 3D laboratoře FIT ČVUT. Cílem školení bylo „*získat přehled o možnostech a technologiích 3D tisku, vyzkoušet si samostatně celý proces od modelování přes předtiskovou přípravu až po samotný tisk objektů*“. Na závěr školení jsem zvládla vymodelovat háček, připravit jej pro tisk a vytisknout. Toto školení podpořilo „potřebu“ 3D tiskárny pro naše gymnázium.

Po dvou letech, kdy jsme se snažili koupi 3D tiskárny na škole prosadit, se v loňském školním roce, také díky grantové podpoře magistrátu hlavního města Prahy, konečně podařilo. Původně jsme zamýšleli pořídit kartézskou klasiku Prusa i3 nebo Rebelix, které jsou již na řadě škol. Pak jsem ale na konferenci **Počítač ve škole** v Novém Městě na Moravě zavítala na přednášku Tomáše Feltla *Pořizovat 3D tiskárnu do školy?* Po vyslechnutí jeho nadšeného vyprávění o tom, co vše se dá přímo ve škole s 3D tiskárnou dělat, a po představení prototypu delta 3D tiskárny Molestock jsem však začala být „docela dost nalomená“.

Chtěli jsme tiskárnu s workshopem, kde si tiskárnu sami pod dohledem zkušenějších postavíme. Pocitově mě to táhlo k Molestocku, ale tím, že měl být k dispozici až od konce června a cena byla předběžná, byli kolegové, kteří jej neviděli, trochu skeptičtí. Když už jsme ale čekali tak dlouho, tak mi přišlo zajímavější počkat ještě pár měsíců a pořídit delta tiskárnu. U Molestocku mě, kromě skvělé prezentace v Novém Městě na Moravě, zaujaly zejména tyto funkce:

- automatická kalibrace Z osy před každým tiskem;
- sonda na kontrolu došlého filamentu a možnost snadno měnit filament i během tisku;
- displej a možnost tisku přímo z SD karty, nezávisle na počítači.

Tedy drobné vychytávky, které kartézské tiskárny v době, kdy jsem měla možnost je vyzkoušet (prosinec 2013), neměly nebo je v době, kdy jsme se rozhodovali, měly za příplatek, který by překročil náš rozpočet.

Tak nám nastalo velké dilema v podobě volby mezi kartézskou tiskárnou, se kterou jsme měli někteří alespoň nějaké zkušenosti, a delta tiskárnou, která pro nás byla novinkou. Kartézské tiskárny, které jsme mohli stavět doma v Praze, nebo Molestock v Poličce.

Pak přišla radostná zpráva o schválení grantu a jak se přibližovaly prázdniny, blížilo se i rozhodnutí, pro které RepRap řešení se rozhodnout. Byli jsme limitováni cenou 20 tisíc a chtěli jsme si tiskárnu postavit v rámci workshopu tak, abychom věděli o „každém šroubku“.

Nechtěla jsem tlačit na pilu, a tak jsem dál sháněla informace od známých, kteří 3D tiskárnu pro školu pořizovali, a z Tomáše Feltla jsem neustále dolovala podrobnosti – co a jak a proč… Trpělivě mi odpovídal na mé nekonečné dotazy a jasně a podrobně vysvětloval a vyvracel mýty, které jsem o tom či onom řešení zaslechla. Vyrazila jsem i do 3D laboratoře na FIT ČVUT, ale ani tam se mi nedostalo jednoznačné odpovědi, které řešení je lepší. Delta prý slibuje zajímavější „show“ a když se nám nebude líbit, můžeme si ji přestavět. Jak snadné!

Jak to dělám já: Cesta 3D tiskárny Molestock S na GJK

Sepsala jsem své poznatky a nakonec v našem malém konkurzním řízení Molestock vyhrál. Objednali jsme u Tomáše Feltla díly a domluvili předběžný termín workshopu se stavbou 3D tiskárny na druhou polovinu července.

Počátkem prázdnin byl termín stanoven na 21. a 22. července 2015. Začít jsme měli v 9.00, pokud na gymnázium v Poličce, kde měl workshop probíhat, zvládneme dojet.

Na výlet do Poličky jsem vyrazila společně s naším IT správcem a chvilku před devátou jsme zaparkovali na nádvoří poličského gymnázia. Kromě Tomáše Feltla, který nás přišel přivítat, nás v podkrovních prostorách gymnázia čekali další členové školitelského týmu – Jarmila a Míra – a hlavně díly naší nové 3D tiskárny Molestock S. Všechny díly byly přehledně vyrovnané a ty drobnější byly roztříděné a popsané v přihrádkách krabice. Bylo až neuvěřitelné, že ty nařezané profily, krabičky šroubků a matiček a trocha elektroniky dají za pár hodin práce dohromady tak působivý stroj.

Po vzájemném představení a kávě jsme se s příjemnou podporou školicího týmu rovnou pustili do práce. Na zdi jsme sledovali podrobně připravenou prezentaci, ve které bylo shrnuto, co nás čeká a nemine (včetně důležitých poznámek a nákresů).

Začali jsme očišťováním plastových dílů tiskárny od přebytečného plastu. Na profily bylo třeba připravit šrouby a matky ve správném počtu. Pak sestavit horní a dolní trojúhelník, pečlivě vyrovnat. Promazat vazelínou ložiska a lineární vedení, přimontovat je k profilům. Přimontovat endstopy. Připravit zdroj. Spojit profily s přišroubovanými pojezdy horní a dolní rám, vyrovnat a podlepit nožičky. A už se nám tiskárna rýsuje.

K obědu si objednáváme obrovské pizzy, ale ani je nedojíme a pokračujeme. Čas v příjemné atmosféře utíká čím dál rychleji. Kolega se pouští do přípravy motorků a montáže tiskové hlavy. A čeká nás protahování kabelů, ty se krásně skrývají v profilech a v dolním rámu je rovnáme do tří skupin (napájení – čidla – motorky).

Vybalujeme elektroniku, na Arduino nacvakáváme RAMPS a vkládáme do připravené krabičky. Kolega krimpuje a společně s Tomášem pájí, co je třeba, a mým úkolem je podle instrukcí zacvakávat nakonektorované kabely na správná místa. Napínáme řemenice na věžích. Následuje příprava vyhřívané podložky, rovnáme ohrádku, vkládáme rouno, rovnáme vyhřívanou podlož-

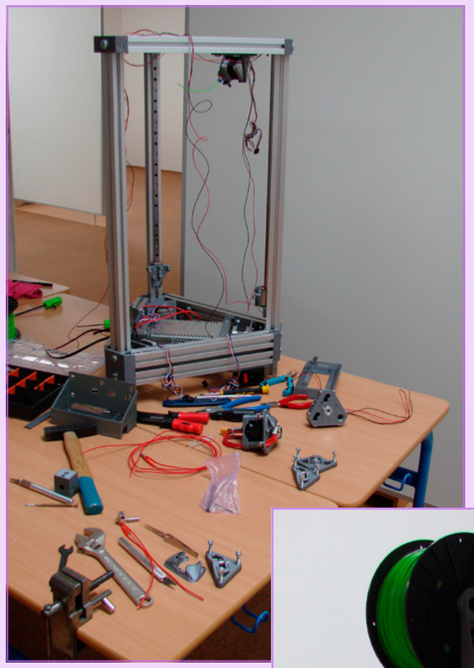
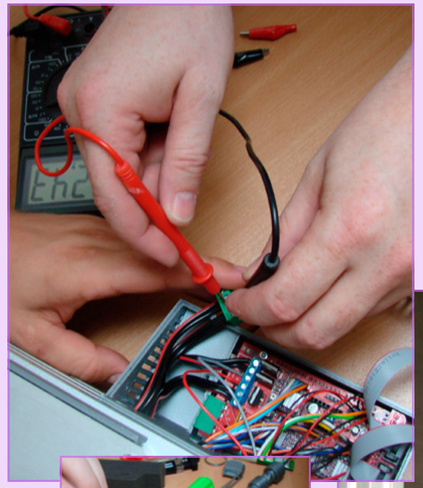
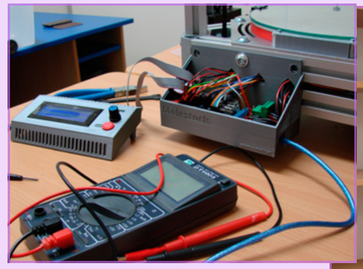
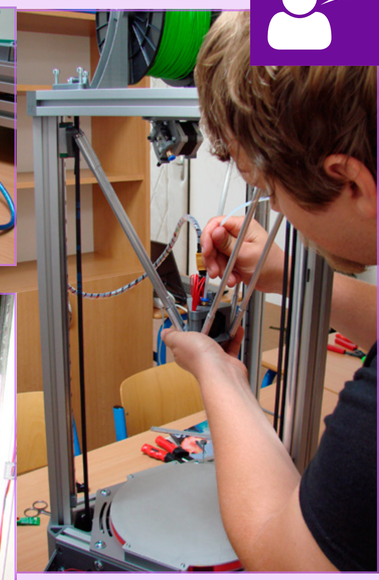
Jak to dělám já: Cesta 3D tiskárny Molestock S na GJK

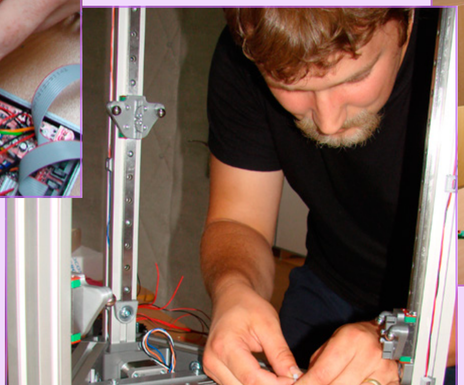
ku, už už bude pro dnešek hotovo, ale najednou křup a ulomila se pacička na vyhřívané podložce. Pokus o připájení, ale hliník odvádí příliš tepla a nedaří se. Pro dnešek, po „dvanáctce“ – tedy po deváté večer, končí formální část workshopu. V rámci té neformální pak ještě probíráme různé materiály a ukázky toho, co se dá vytisknout.

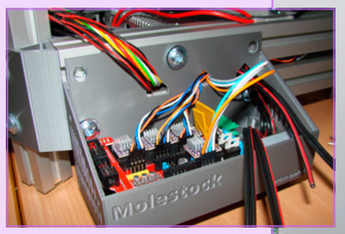
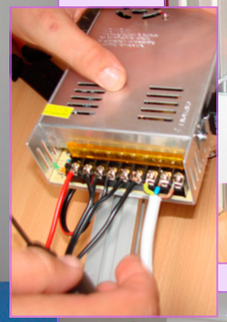
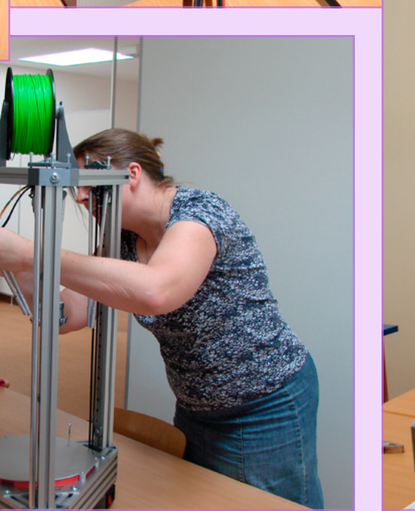
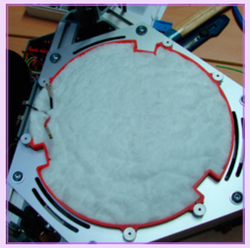
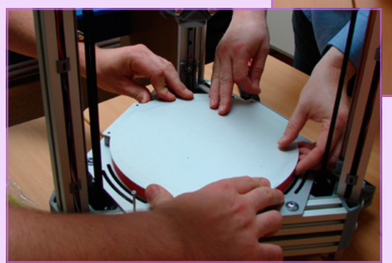
Ráno se scházíme opět na devátou a pokračujeme, kde jsme přestali. Konektor připájený silnější pájkou na vyhřívané desce drží, a tak může být položena a zapojena. Ještě dopájet tiskovou hlavu a už mám tu čest zavěsit ji na závěsová magnetická ramena. Zapojení displeje, proměření zdroje, propojení a jde se na oživování našeho „Molíka“.

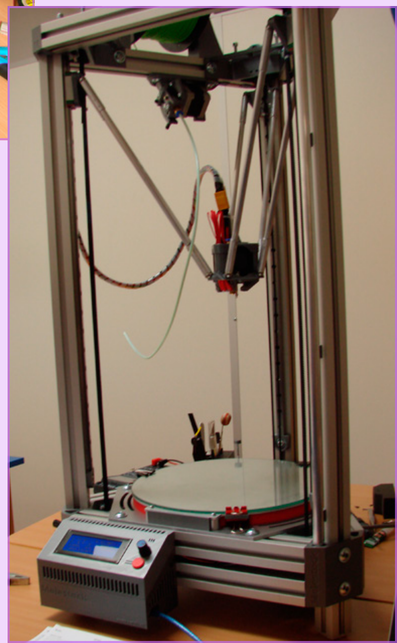
Tady nastal zádrhel, když se Arduino nechtělo kloudně bavit ani s jedním ze tří notebooků. Než jsme se rozkoukali, přinesl Tomáš nové, které se podařilo připojit hned a bez potíží a i můj notebook najednou viděl alespoň jeden port COM.

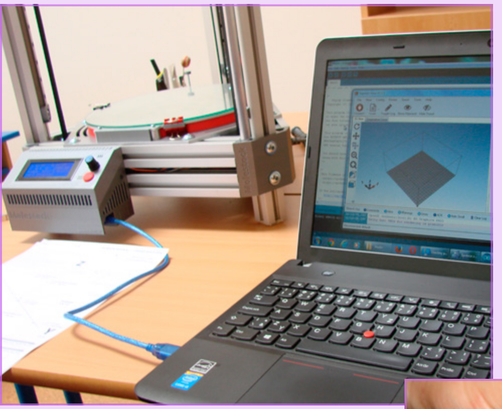
Tak nahráváme a upravujeme firmware, kolega nastavuje referenční napětí u motorků na věžích i u extrudéru. Podle podrobné prezentace kontrolujeme funkci čidel, nastavujeme jas na displeji a zavíráme krabičku. Kontrolujeme filament, ladíme výchozí nastavení pro Z sondu podle prvního kalibračního protokolu. Je v tom trocha matematiky, ale funguje to! A pouštíme se do prvních kalibračních tisků – jednoho čtverečku, pěti čtverečků… Pečlivě přeměřujeme. A čas neúprosně běží… Pouštíme se do tisku podle kalibračního protokolu 2 a měříme, upravujeme nastavení a další kontrolní tisk, kde už jsme v toleranci do 0,2 mm. Další kalibrační tisk, kvádr a 3DBenchy lodička, kde se vyřádíme při tréninku výmě-

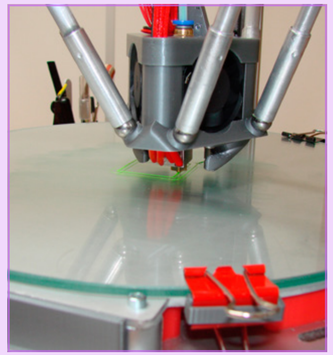





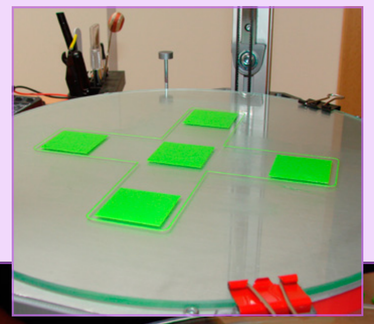


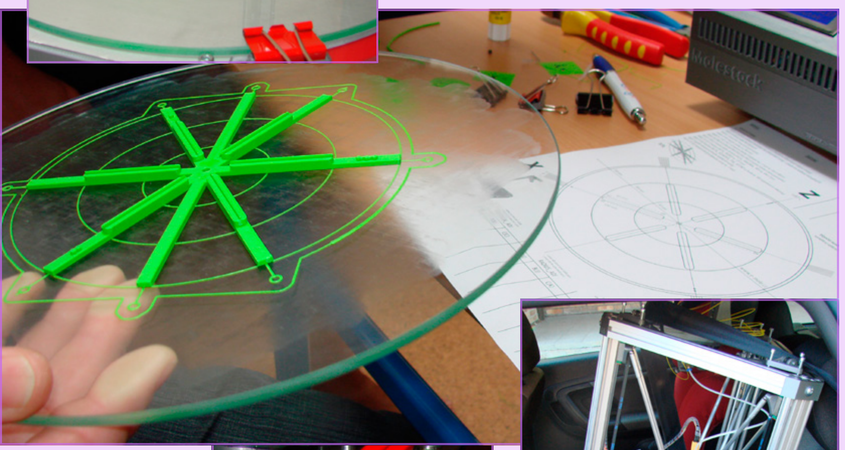






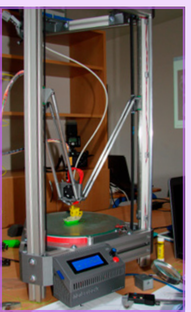


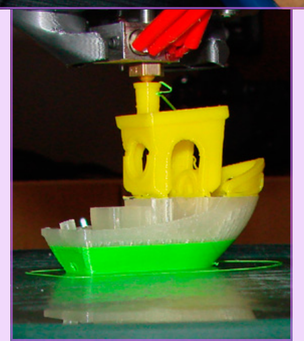












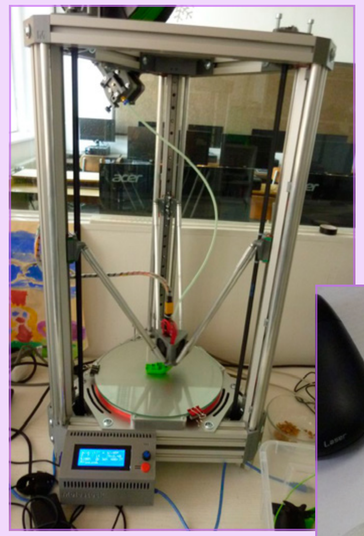
ny filamentu během tisku a testování sondy došlého filamentu, a tak nakonec není tento výtisk úplně výstavní kalibrační kousek – ale kdo by nechtěl tříbarevnou lodičku – na přeměření si ji vytiskneme pořádně doma. V této závěrečné fázi došlo i k vylepšení modelu – po té, co jsme si stěžovali na otlačené prsty při zavádění filamentu, byla na tento šroub přidána vytištěná plastová hlavička a už netlačí! Ono je vůbec na tiskárně spousta milých a funkčních nenápadných vychytávek.

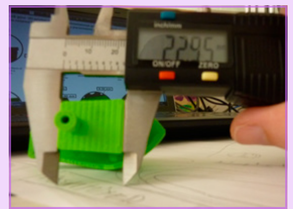
Na řadu přichází trocha teorie přípravy k tisku v programu KISSlicer. Pečlivě probíráme většinu nastavení s podrobným vysvětlením, k čemu a proč... Ještě by toho bylo tolik, co by se dalo tisknout, zkoušet..., ale čas je neúprosný, je 19 hodin, a tak je na čase, abychom tiskárnu naložili do auta a vyrazili zpět ku Praze.

Celý workshop provázela dobrá nálada. Drobné zádrhele byly obratem vyřešeny. Postavit si tiskárnu od nejmenších detailů bylo úžasné. Organizátoři se nám věnovali s velkým nasazením a vše nám řádně vysvětlili, podělili se o zkušenosti. Má původní představa byla, že kolega bude hlavně stavět a já hlavně obsluhovat, ale jsem ráda, že jsme se oba dostali k obojímu. Kdybychom jeli tři, asi bychom měli postaveno o něco rychleji, ale takhle to bylo zase intenzivnější.

Hned druhý den ráno jsme se pustili do experimentování s naší novou tiskárnou a jsme nadšení. Vytiskli jsme pořádně 3DBenchy lodičku – vypadá krásně a i rozměrově sedí – s odchylkou 0,05–0,15 mm, jen při 215 °C se trhalo zakrývání střechy kabinky. Po poradě jsme zvýšili teplotu na 217 °C a tentokrát i zakrývání vyšlo lépe. Zatím stahujeme většinu modelů z internetu, abychom se s naší novou tiskárnou seznámili a zjistili, co a jak. Modelovat budeme až po prázdninách se studenty, nejprve se musíme naučit alespoň něco málo z magie 3D tisku, jak je to s optimálními teplotami a rychlostí tisku, musíme se naučit měnit filament, jaké a zda používat podpory a mnohé další. Také bude třeba vymyslet jednoduchá a jasná pravidla tak, aby tiskárnu mohli naši studenti co nejlépe využívat.

Hana Šandová, Gymnázium Jana Keplera
(srpen 2015)





Tomáš Feltl

Jak na 3D tisk?

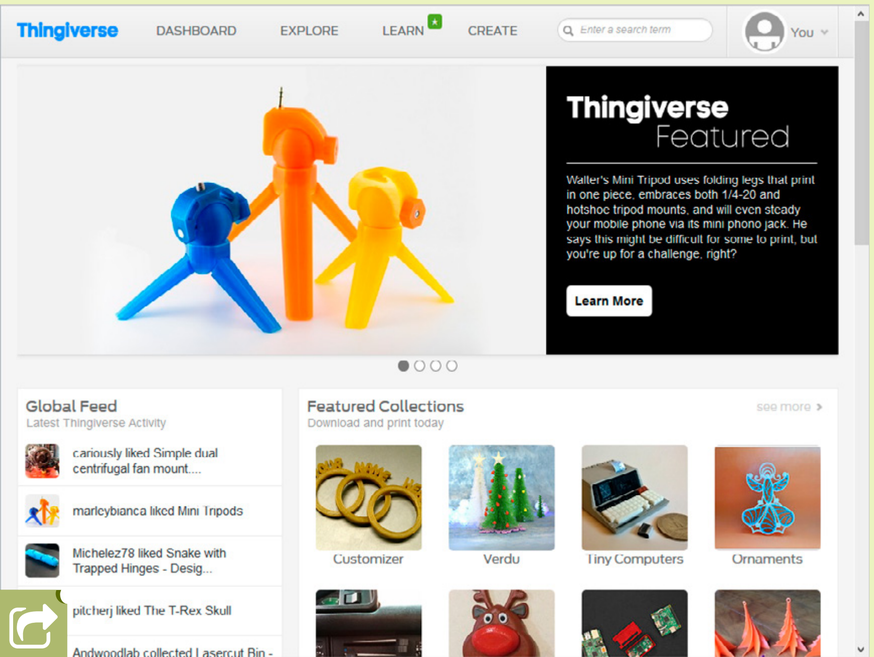
Připravili jsme pro vás přehled několika praktických tipů a triků. V dalších číslech se jednotlivým tipům a trikům budeme věnovat podrobněji.

Kde na internetu získat 3D modely?

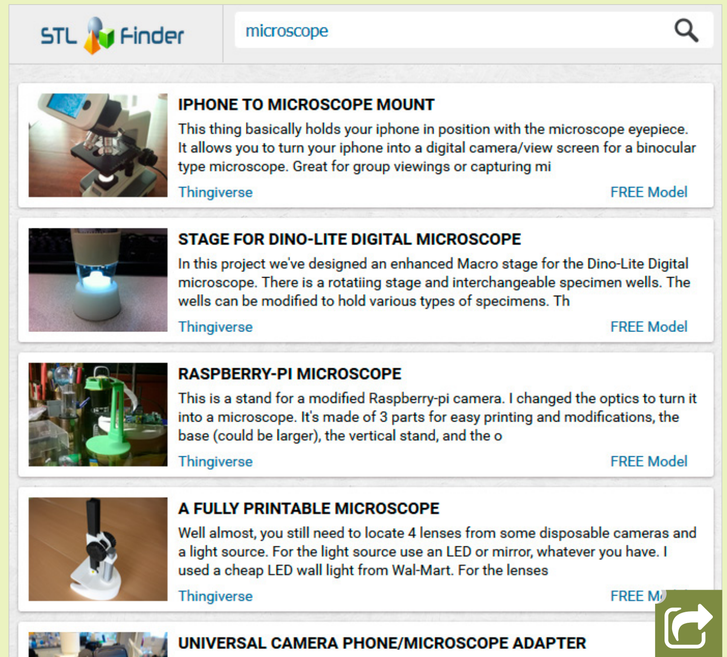
Možností je celá řada. Dobré je začít třeba na **Thingiverse.com** – v oblasti sdílení 3D modelů je to jeden z největších komunitních portálů s více než 100 000 volně dostupnými 3D modely (založený firmou MakerBot).

Pokud chcete současně prohledávat různé portály s 3D modely, využijte některý z vyhledávačů, které vám to umožní. Vyzkoušet můžete například **STL finder** nebo **YEGGI**.

Obr. 1a

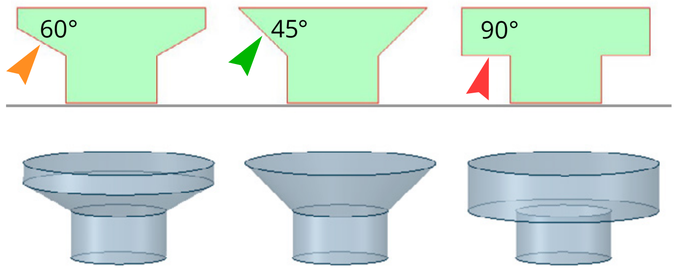


Obr. 1b

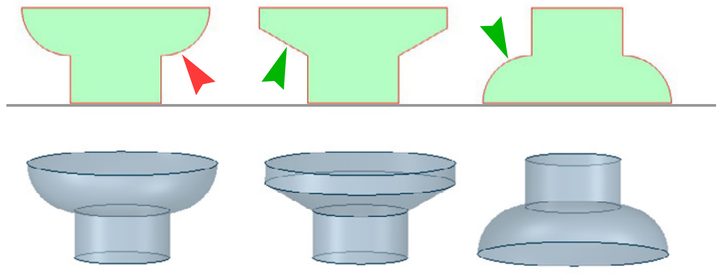


Pár zásad tvorby 3D modelů určených výhradně k FDM/FFF tisku

Pravidlo 45° ▸ Pro tisk bez podpor (supportu) je vhodné používat převisy do 45°. Většinou je ale tisk bez podpor možný až do 60°.

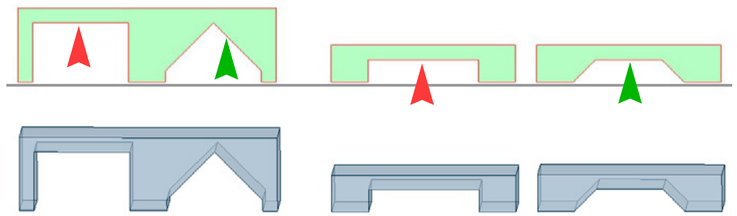


Pravidlo „zaoblených ploch“ ▸ Velmi problematický může být tisk převislé, nahoru stoupající zaoblené plochy. (Hodně zde záleží na stoupání, ale také třeba na průměru použité trysky.) Řešení jsou různá, a nemusí se vždy jednat o eliminaci takovýchto ploch z našeho designu – někdy problém vyřešíme např. otočením předmětu vzhůru nohama.



Možná řešení problémů s tiskem převislých oblých ploch

Pravidlo „přemostění“ ▸ Pro bezproblémový tisk je vhodné minimalizovat počet a velikost oblastí vyžadujících „přemostění“, tedy překlenutí prázdného prostoru bez podpor. Dnešní slicery sice dokáží identifikovat místa přemostění a pohyb tiskové hlavy vést takovým směrem, aby bylo přemostění co nejsnažší, ale přesto jde stále o kritickou operaci, především při rychlém tisku.

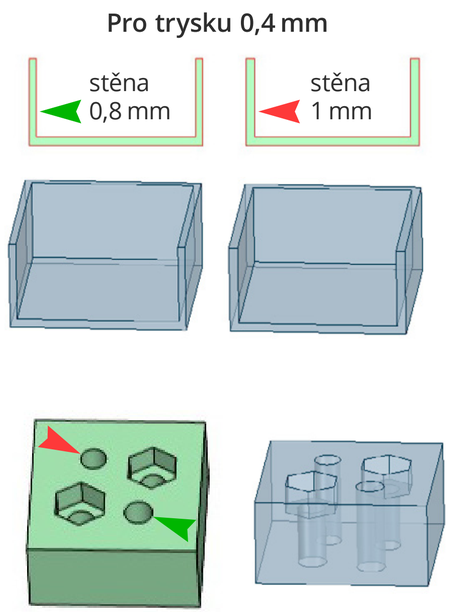


Zmenšení vzdáleností pro „přemostění“ se dá řešit různě

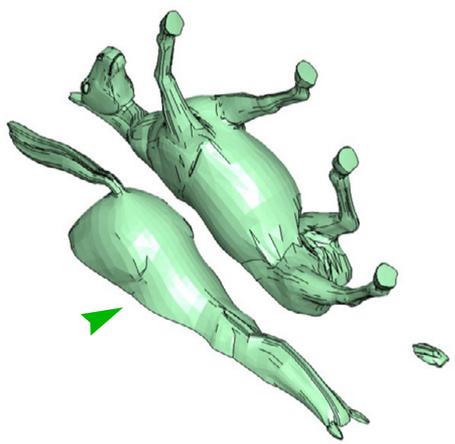
Tipy a triky: Jak na 3D tisk?

Pravidlo „počítej s parametry své tiskárny“ ▸ Řada problémů vznikajících při tisku souvisí s nerespektováním parametrů použité tiskárny. Jde např. o tisk tenkých stěn, kdy při použití trysky s průměrem 0,4 mm bude dobře tisknutelná stěna o tloušťce 0,8 mm (a její násobky), ale tisk stěny tloušťky 1 mm bude problematický – buďto bude muset být vytlačováno více materiálu, nebo bude muset být doplněn středový „tah“ na spojení dvou tenčích okrajových stop).

Pravidlo „pamatuj na tolerance své tiskárny“ ▸ Další důležitou věcí je počítat při návrhu s dosažitelnou přesností, která je přibližně 0,2 mm (záleží samozřejmě na konkrétní tiskárně a jejím seřízení). Především u malých otvorů a částí, které do sebe mají zapadnout (např. osazení krabiček) je dobré přidávat 0,2–0,3 mm (např. otvor s požadovaným průměrem 3 mm budeme modelovat jako 3,3 mm). Samozřejmě, že je možné modelovat rozměr přesně a dodatečně ho na přesnou velikost „vystružit“ vrtáčkem.

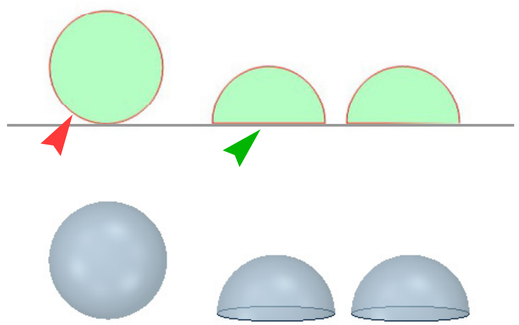


Zvětšení malých otvorů o 0,2–0,3 mm oproti požadované velikosti



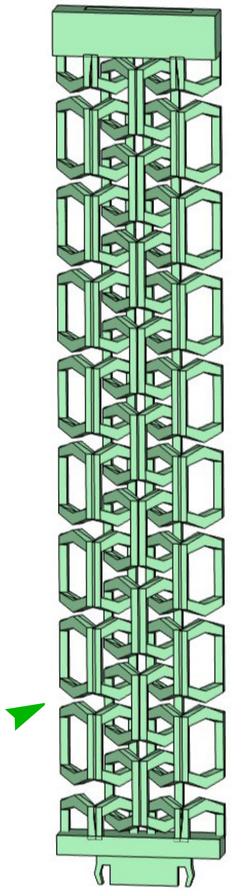
Příklad modelu, který je před tiskem vhodné rozdělit na více částí

Pravidlo „raději více částí, ale správně zorientovaných“ ▸ Složitější objekty je vhodné navrhovat jako vícedílné a vytištěné díly pak složit (slepit). Při správném použití tento přístup umožňuje optimální orientaci dílů při tisku (lepší tisk bez podpor, lepší viditelný povrch, menší vliv tepelné roztažnosti materiálu na tisk, větší pevnost v požadovaném směru, ...).



Tiskem dvou polokoulí se zbavíme zaobleného převisu

Pravidlo „nevyrobitelné je 3D vytisknutelné“ ▸ Zní to divně, ale je to tak. Představte si 3D model drátěné košile. Pomocí klasických obráběcích technik budeme z jednoho kusu materiálu něco takového těžko vyrábět. Ale vytisknout na 3D tiskárně? Není problém! Podobně můžeme jako jeden model složený z několika dílů, které se tisknou současně, řešit panty, klouby a řadu dalších věcí. To nám otevírá zcela nové možnosti v přístupu k 3D designu.



Návrh pružného náramku tištěného najednou „v jednom kuse“

Nedrží to na podložce

Existuje celá řada triků a návodů jak zajistit dobrou přilnavost tištěného předmětu k podložce. Hodně při tom záleží na materiálu, kterým tiskneme (např. PLA drží lépe, ABS se „odlepuje“). Nám se osvědčilo lepidlo na papír UHU stic. Samozřejmě, že – v závislosti na materiálu – hodně pomůže také správná teplota podložky.

Tipy a triky: Jak na 3D tisk?

Deformace při tisku

Některé tiskové materiály mají velkou tendenci ke kroucení vlivem výrazné změny objemu v závislosti na teplotě (velká tepelná roztažnost materiálu). Čím větší je tištěný objekt, tím větší vnitřní pnutí vinou smršťování materiálu vzniká, a tomu odpovídá i kroucení. Řešení je celkem jednoduché a patentované – temperovaná komora, ve které tisk probíhá.

Pokud bojujete s kroucením, zkuste nejdříve zamezit jakémukoli průvanu kolem tiskárny a optimalizujte směr a typ vnitřní výplně (infill), případně rozdělte předmět na více menších částí. Pokud to nepomůže, umístěte tiskárnu do uzavřeného temperovaného boxu (nepoužívat hořlavé materiály jako papírové krabice a podobně!).

Vrstvy u sebe nedrží

Identifikovat, co za tímto „neduhem“ stojí, nemusí být vždy jednoduché. Nejčastěji souvisí tzv. „delaminace“ s předchozím bodem a často pomůže pouze zvýšení teploty, případně přesun tiskárny do uzavřeného temperovaného boxu. Problém může být také „ofuk“ materiálu pod tryskou a samozřejmě je tu přímá souvislost s rychlostí tisku (čím rychleji tiskneme, tím vyšší musí být i teplota). Některé materiály jsou k delaminaci náchylné hodně (ABS), jiné podstatně méně (PLA).

Jak si otestovat tiskárnu?

Ptáte se, proč byste si měli svou 3D tiskárnu otestovat? – Umožní vám to vyladit parametry tisku, poznat limity své tiskárny a zohlednit je ve svých modelech.

A jak se tiskárna testuje? – Existuje řada testovacích objektů, které vám to umožní. Osvědčily se nám následující (popis a instrukce jsou uvedeny na webu u testovacích objektů):

- **#3DBenchy** – komplexní testovací objekt v podobě lodičky (obr. 2a),
- **Torture Test** – komplexní testovací objekt (používaný pro testování tiskáren, ale také slicerů; viz obr. 2b)
- **Make: 2015 3D Printer Shoot Out Test Models** – sada testovacích objektů použitých časopisem Make: v roce 2015 (obr. 2c)
- **Maker Faire Robot** – starší testovací objekt časopisu Make: (obr. 2d)

Obr. 2a

Obr. 2c

Obr. 2b

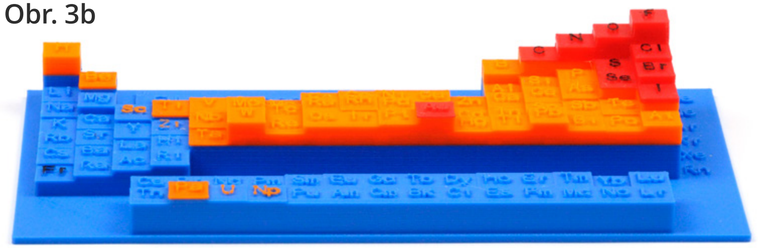
Obr. 2d

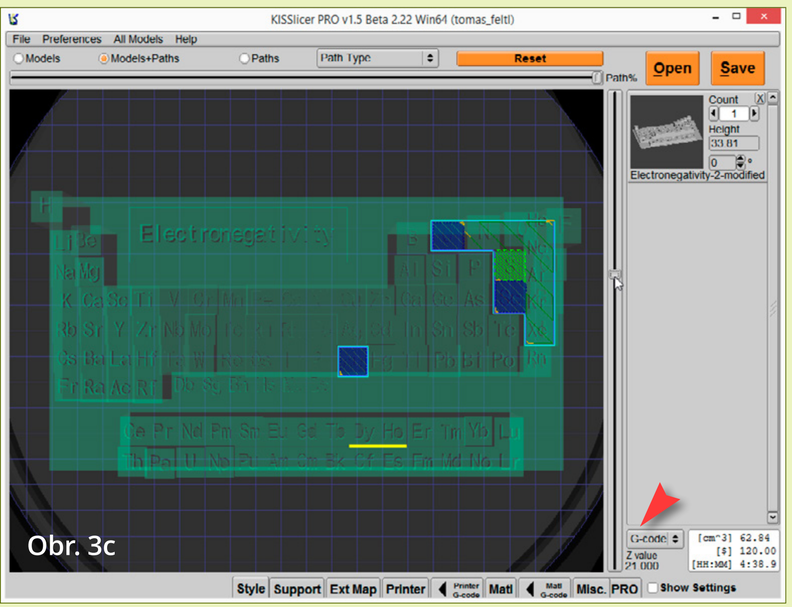
Obr. 3a

Vícebarevné tisky s jedním extrudérem?

Tato tematika je poslední dobou velice populární a je často prezentována jako něco „nového“. Opak je ovšem pravdou, stačí zapátrat na internetu – návody „jak na to“ najdeme po různých RepRap fórech již skutečně dlouho. Situace se poněkud změnila v roce 2013, kdy se v hojně rozšířeném RepRapovém firmwaru Marlin objevil kód pro výměnu tisové stru-

Obr. 3b



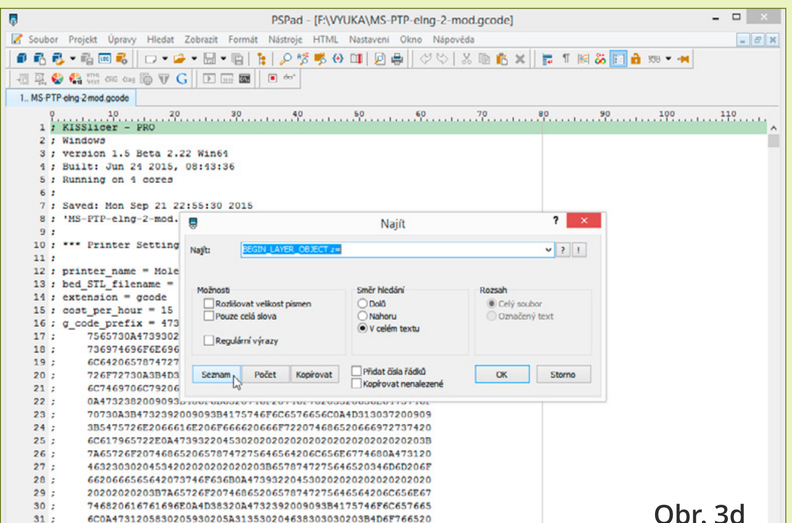


Obr. 3c

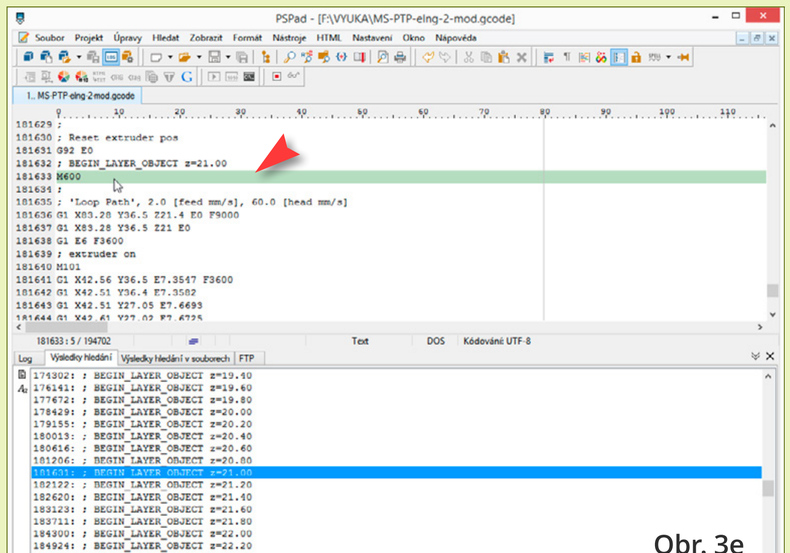
ny M600. Tím se celý proces vícebarevného tisku usnadňuje. O co tedy jde a co je třeba udělat?

Předně, vícebarevný tisk s jedním extrudérem má jistá omezení. Změna barevnosti je vázána pouze na určitou vrstvu, jak je vidět na obrázku 3D tištěné periodické tabulky (obr. 3b). Do určité výšky tiskneme jednou barvou, pak vyměníme tiskový materiál a tiskneme dál. Těchto změn barevnosti můžeme provést více a dosáhnout tak zajímavého efektu. Co třeba vytisknout si barevné 3D dílky populární hry **Carcassone** (obr. 3a)?

Jak ale připravit tisková data? Za příklad nám poslouží ona 3D periodická tabulka znázorňující elektronegativitu. (Postup si ukážeme na KISSliceru, ale podobné to bude i s ostatními slicery.) Ve sliceru si poznamenáme výšku (vrstvu), kde budeme chtít provést změnu barvy (na obr. 3c jde o výšku 21 mm). V nastaveních sliceru si zapneme vkládání kometářů do G-kódu (záložka Printer –> Firmware –> volba Include Comments). Uložíme si G-kód a otevřeme ho v běžném textovém editoru, jako je např. PSPad (použitelný bude i „Poznámkový blok“), a najdeme si místa, kde začínají jednotlivé vrstvy (obr. 3d). Přejdeme na odpovídající začátek vybrané vrstvy (obr. 3e) a vložíme řádek s kódem/příkazem pro výměnu tiskové struny M600. Upravený soubor uložíme a můžeme začít tisknout. Jakmile tisk dospěje až k našemu „M600“, tiskárna tisk přeruší a „řekne si“ o výměnu tiskové struny. Samozřejmě záleží na tom, zda firmware vaší tiskárny kód M600 podporuje (aktuální Marlin i Repetier-Host ano). Pro jistotu je ale stejně vhodné provést test na nějakém menším objektu.



Obr. 3d



Obr. 3e

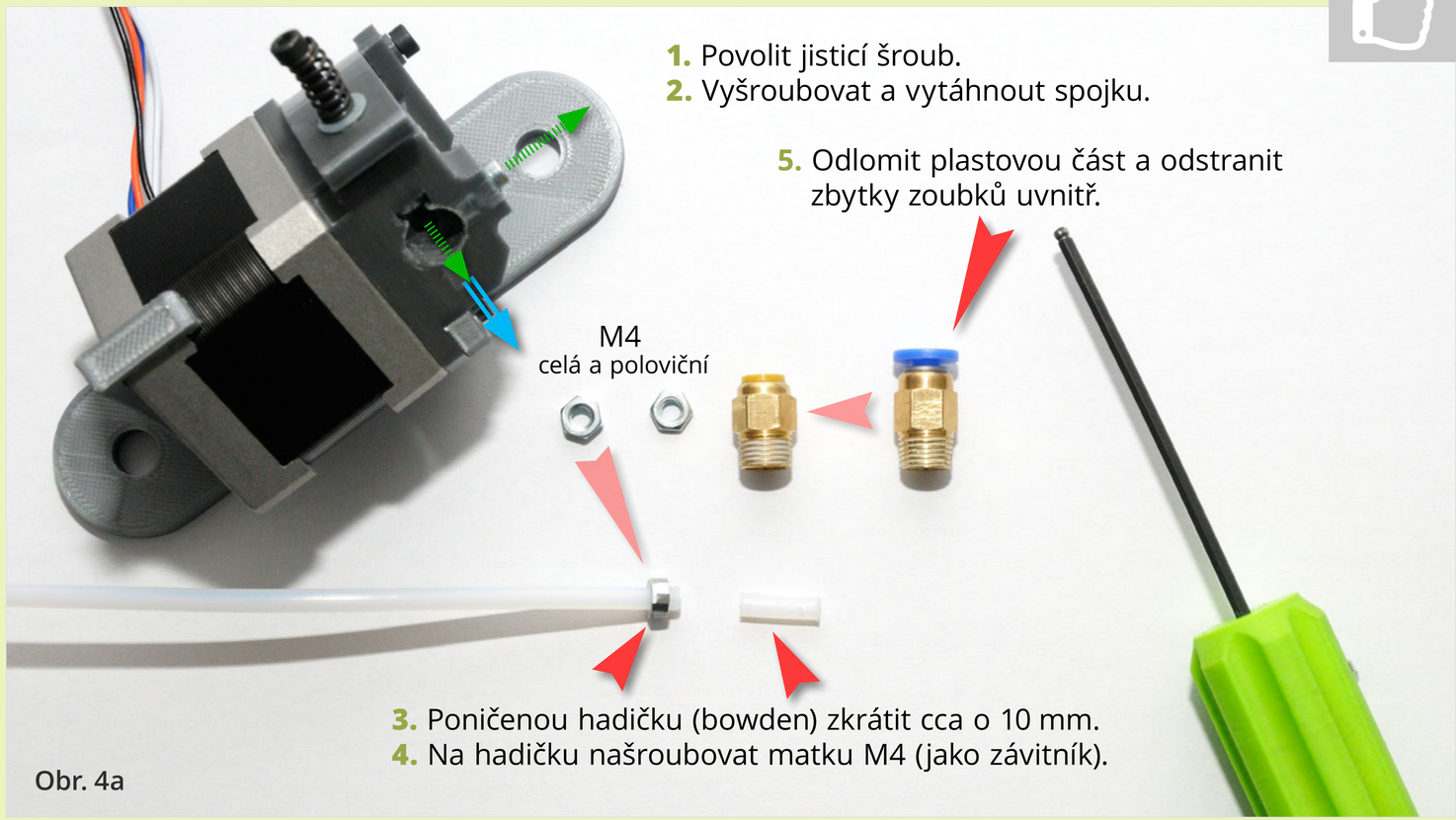
Změna vzhledu materiálu v průběhu tisku

Výslednou průhlednost transparentních 3D tiskových materiálů ovlivňuje současně několik faktorů, především jde o: tloušťku vrstvy, teplotu tisku, rychlost tisku a typ materiálu. Rychlost tisku a teplotu tisku (trysky) můžeme jednoduše měnit podobným způsobem jako v minulém tipu – přidáním určitého kódu/příkazu do souboru s výsledným tiskovým G-kódem. Tak např. rychlost tisku určitých vrstev můžeme upravit pomocí M220. Příkazem „M220 S50“ snížíme rychlost na polovinu (tj. na 50 %) a pomocí „M220 S100“ ji vrátíme na 100 %. Stejně tak nastavíme teplotu trysky s využitím M104 – „M104 S210“ na 210 °C a příkazem „M104 S195“ na 195 °C. Nemusí přitom jít pouze o ovlivnění průhlednosti. Někte-

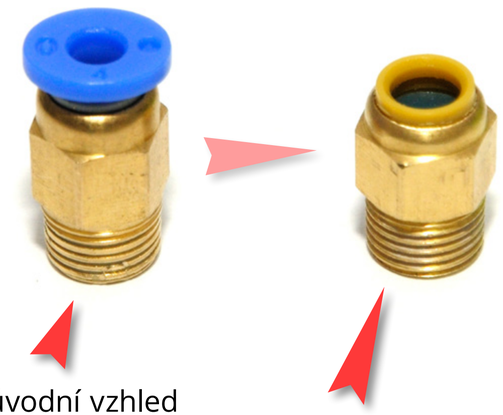
rá média, jako třeba „dřevěný“ Laywood, mění se změnou teploty i svoji barevnost (u Laywoodu míru zahnědnutí). Než ale přejdete ke vkládáním výše naznačených úprav do G-kódu, je třeba vše otestovat přímo změnou parametrů při tisku menšího testovacího předmětu z ovládacího panelu tiskárny, nebo z připojeného počítače z ovládacího SW.

Přestavba uchycení bowdenu (hadičky) u motoru extrudéru

U bowdenového extrudéru se často používají hadičkové rychlospojky s jemnými zpětnými zoubky. Ty jsou nejrůznějších kvalit a v kombinaci s velkým namáháním (především v případě zpřevodovaného extrudéru a současně rychlého tisku) může dojít k vytržení hadičky ze spojky. Tento problém je řešitelný několika způsoby. Jedním z nich je použití speciální rychlospojky, která používá jiný systém než jemné zoubky. Jde to ale i jinak, stačí k tomu jedna M4 matička a trocha zručnosti. Jak postupovat, je vidět na následujících fotografiích.



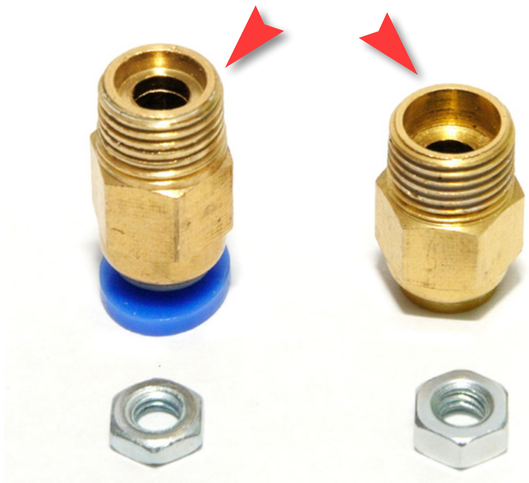
Obr. 4a



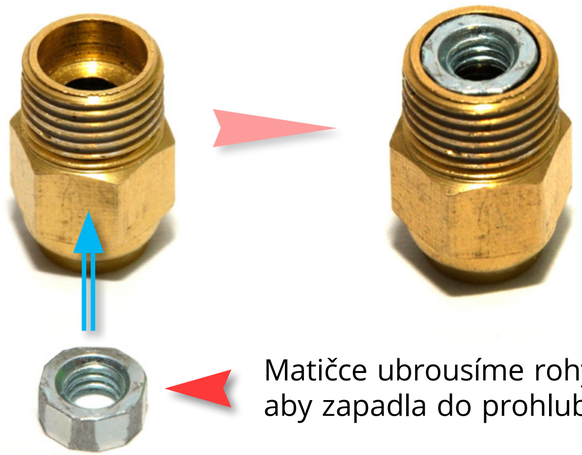
1. Původní vzhled
2. Vzhled po začištění odlomené části

Obr. 4b

Spojka může mít větší nebo menší zahloubení.
Podle toho volíme buď nízkou nebo vysokou matku.

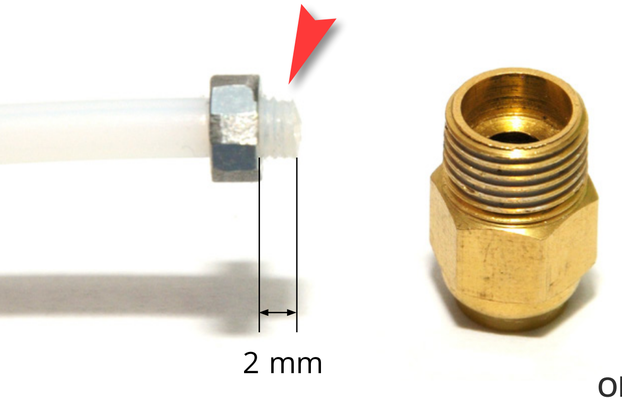


Obr. 4c

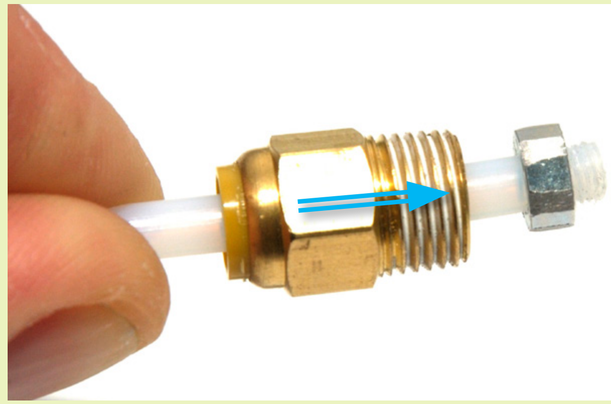


Obr. 4c

Ubroušenou matičku našroubujeme na hadičku. (Můžeme zalepit vteřinovým lepidlem.)

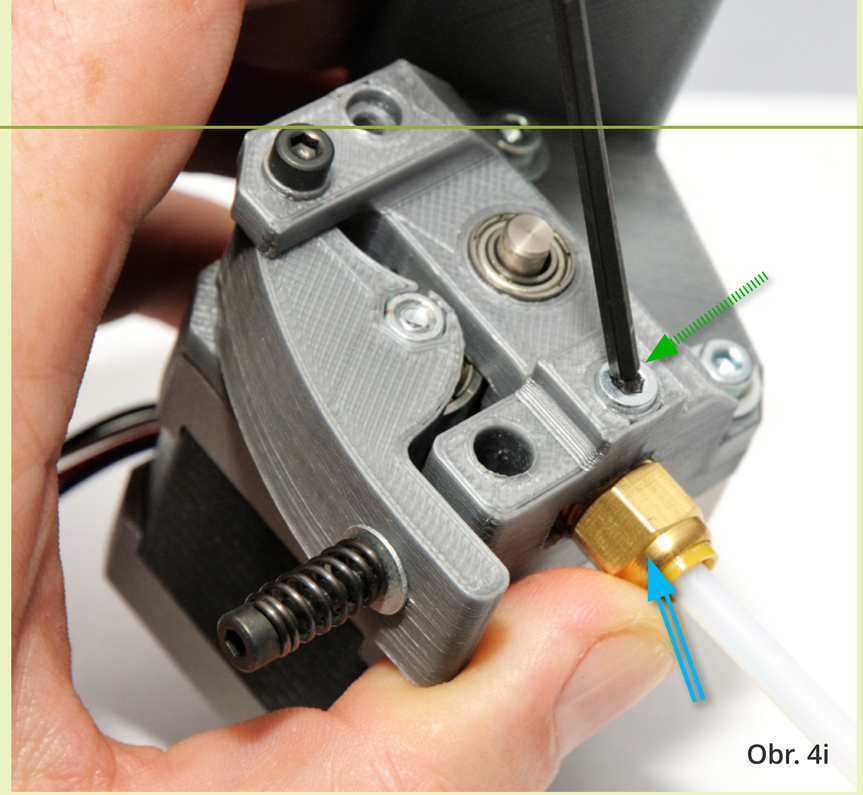


Obr. 4d



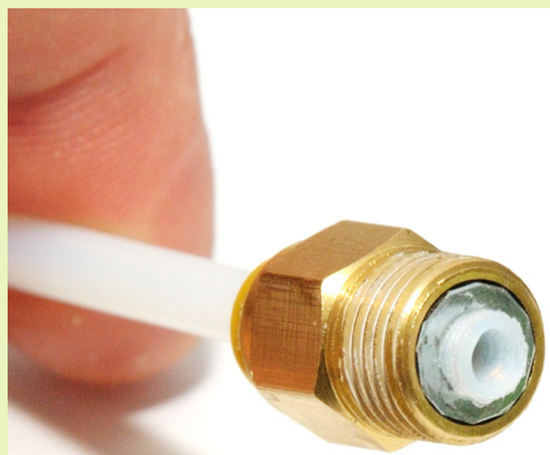
Obr. 4f

Obr. 4g



Obr. 4i

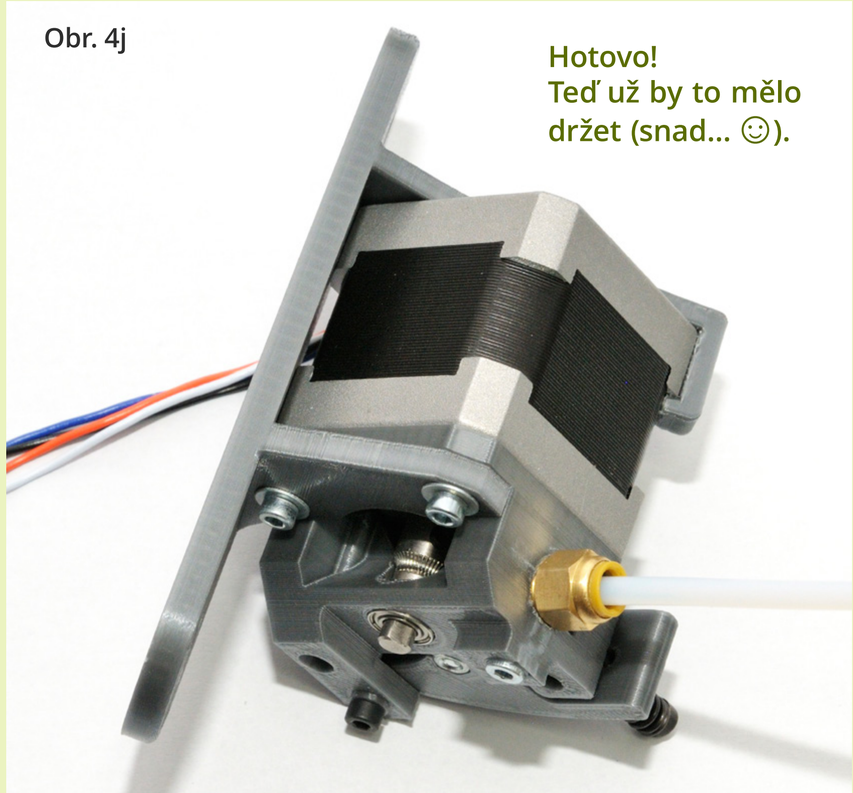
Obr. 4e



Obr. 4h

Obr. 4j

Hotovo!
Teď už by to mělo držet (snad... ☺).



Popularizačně-vzdělávací semináře a dílny s tematikou 3D tisku pro žáky a učitele na ZŠ a SŠ!

Přijedeme k Vám na školu, dovezeme 3D tiskárny – a co bude dál? Nejdříve si budeme asi hodinu povídat o technologiích a možnostech 3D tisku. Ukážeme si, co je to prototyp, a zažijeme na vlastní kůži, jak to může dopadnout, pokud ho nebudeme považovat za důležitý. První část zakončíme malou soutěží o ceny. Ve druhé části budeme v počítačové učebně, kde se naučíte modelovat různé 3D objekty. Několik ukázkových 3D modelů si vytiskneme. Následovat bude samostatná práce – modelování vlastního 3D dílka. Na závěr si pak svůj 3D model vytisknete.

Zaujala Vás naše nabídka? Kontaktujte nás na redakčním emailu: **casopis.e.mole@gmail.com**

Odpovědi na vaše dotazy

Nebylo by možné získat e-Mole v tištěné podobě nebo mít alespoň možnost si časopis vytisknout na stolní tiskárně?

Obdobných dotazů jsme již dostali více. Neuvažujeme, že bychom vydávali časopis v tištěné podobě. Od začátku vydávání e-Molu jsme počítali pouze s elektronickou verzí. Mimo jiné to pro nás znamená, že se nemusíme zabývat distribuční sítí, řešit poštovné, reklamace atd. Je třeba si uvědomit, že časopis děláme všichni ve svém volném čase s prakticky nulovým finančním ziskem. Naší odměnou jste především vy, spokojení čtenáři ☺.

Tisk e-Molu na stolní tiskárně by teoreticky možný byl, ale návrh vzhledu časopisu počítá pouze se zobrazováním na displeji. Tomu je podřízena řada věcí, včetně rozlišení fotografií. Pokud byste si soubor vytiskli, nevypadal by výsledek zrovna moc dobře, a proto tisk není povolen.

Zajímalo by nás, jak vnímají problematiku tisku e-Molu ostatní čtenáři? Budeme rádi, když svůj názor vyjádříte **v anketě**.

Pro firemní inzerenty

Nabízíte zajímavý produkt z oblasti školních výukových pomůcek? Dodáváte školám digitální technologie? Pořádáte kurzy a školení? Na tomto místě by mohla být vaše inzerce!
Pokud máte zájem inzerovat své produkty a služby v e-Molu, napište nám na **casopis.e.mole@gmail.com**. Rádi vám zašleme podrobnější informace o možnostech a o cenách.

Pro školy – Nabídka a poptávka

Máte na škole něco, co již nepotřebujete, a nečinně to leží třeba někde v dolním rohu skříně nebo na školní půdě? Nabízí vaše škola nějakou zajímavou službu druhým školám? Nebo naopak nějakou službu poptáváte? Pošlete svoji nabídku nebo poptávku do připravované rubriky e-Molu „**Nabídka a poptávka**“.

Kalendárium

Pořádáte nějakou vzdělávací akci? Dozvěděli jste se o termínu prezentace zajímavého školního projektu? Plánujete navštívit učitelskou konferenci? Pošlete nám do e-Molu termín konání akce s jejím názvem a krátkým popisem – rádi akci zařadíme do rubriky „**Kalendárium**“. Počítejte ale s tím, že e-Mole vychází čtvrtletně – akce je třeba hlásit minimálně s čtvrtletním předstihem ☺.

Pokyny
pro přípravu článků naleznete na **www.e-mole.cz/pokyny-pro-autory**.

Uzávěrka příštího čísla e-Mole je 29. 1. 2016.