

# Vytiskněte si doma auto

Vytisknout si doma obrázek uložený v počítači považujeme za normální už docela dlouho, ale vytisknout si funkční model auta? Co je to za nesmysl? Přesto je to možné, a dokonce už přišla doba, kdy je to i dostupné. Samozřejmě ne kompletní model, ale mnoho z jeho plastových částí lze takto vyrobit individuálně na míru i v domácích podmínkách.

## Vznik Rapid Prototypingu

Technologie, která se již ujala v průmyslové praxi, se nazývá Rapid Prototyping (RP) a je určena pro rychlou kusovou výrobu plastových i kovových dílů bez nutnosti zhotovení formy. Zařízení, jež umožňuje takovou výrobu, se jmenuje 3D tiskárna. Zatímco tradiční způsob výroby součástí vychází z většího polotovaru materiálu, který je postupně obráběním odebírán, až se dosáhne požadovaného tvaru, RP materiál po vrstvách přidává. Díl uložený v digitální podobě v počítači je „rozřezán“ na tenké vrstvy tlusté přibližně desetiny milimetru a ty jsou pak nanášeny na sebe, takže lze vyrobit i značně složité tvary v jednom kuse, dokonce takové, které obráběním vůbec vyrobit nejde.

Metoda RP vznikla v USA u společnosti 3D Systems a poprvé byla představena veřejnosti v roce 1987. Odstranění nutnosti výroby drahých forem nesrovnatelně zkrátilo dobu potřebnou k výrobě prototypu i jeho cenu. I když 3D tiskárny jsou poměrně drahé, jejich cena postupně klesá, takže tento způsob výroby začíná být zajímavý i pro menší série a rozšiřuje se.

## Různé technologie

Postupem doby vzniklo několik různých technologií. První 3D modelovací stroje pracovaly na principu tekutého polymeru vytvářovaného dopadem UV laserového pa-

prsku. Do nádoby plné tekutého polymeru byl zaostřen laser, který po vrstvách v místě stěny dílu polymer vytvářoval. Tato laserová technologie prošla mnohaletým vývojem a dnes patří k nejpracovnější a nepřesnější. Vrcholem je výroba kovových dílů spékáním kovového prášku laserem. Jednodušší a levnější postup bere materiál ve formě struny z ABS nebo PLA, tavi jej a nanáší vrstvu po vrstvě. Výsledek sice není tak přesný jako u laserové technologie, ani kvalita povrchu není jako u výrobků z forem, ale blíží se jim mechanickými vlastnostmi. Objevily se i další principy, jako je třeba lepení prášku. Nad schránkou plnou prášku podobného sádky jezdí tisková hlava s lepidlem, jež je vytrskáváno v místě stěn budoucího výrobku. Hotový model je poměrně křehký a je nutno jej dokončit napuštěním zpevňovacích látek. Nemá stejné vlastnosti jako plasty z formy, takže se hodí spíše jen pro předvedení tvaru, například architektonické modely. Jsou k dispozici i technologie modelování z vosku (pro zhotovení forem na odlévání kovů), papíru nebo keramiky, dokonce třeba z čokolády.

## Metoda natavování plastu

Dále se soustředíme na princip, při němž se nanáší vrstvy roztaveného plastu. Postup výroby začíná 3D modelem v počítači vytvořeným v nějakém CAD programu. Další program vezme model, roz-



řeže jej virtuálně na vrstvy a spočítá pro tiskárnu rychlosti a směry pohybu hlavy, přísun materiálu do ní a také doplní podpory, pokud jsou nezbytné. Předem je velmi přesně známa doba výroby, která může být až několik hodin, i spotřeba materiálu. U složitějších tvarů nastává často situace, kdy by tryska měla roztavený plast usazovat do volného prostoru. V takovém případě jiná tryska předem vybuduje pod tímto místem z jiného, podpůrného materiálu základnu, na níž je už možné plast nanášet. Podpora bývá výrazně křehčí (dá se snadno odlámat) nebo třeba rozpustná v rozpouštědle, vůči němuž je základní plast odolný.

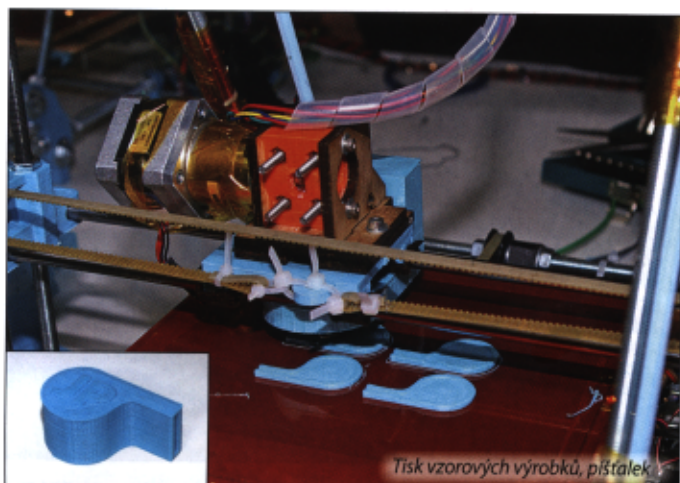


Z hotového výrobku se za tepla vymyje, a to třeba i z jeho vnitřních prostor, pokud mají nějaký otvor. Některé tiskárny vytvářejí podpory ze stejného plastu jako výrobek, ale spojují je s výrobkem tak, aby se daly snadno odlámat.

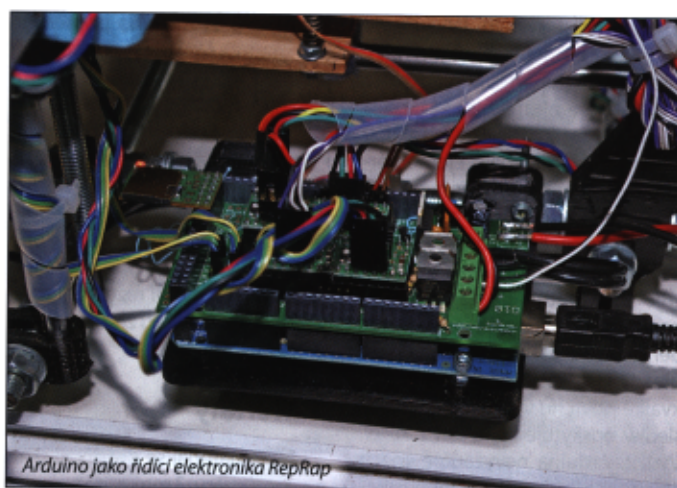
Na rozdíl od výrobků stříkaných do formy, které mají v celém objemu plný a pokud možno homogenní materiál, se při nanášení vrstev z plného materiálu často dělají jen okraje, tedy povrchová vrstva budoucího 3D předmětu, vnitřek se dá vyplnit voštinovou konstrukcí, která podstatně sníží spotřebu materiálu (vylehčí předmět) a také zrychlí výrobu při poměrně malém vlivu na mechanickou tuhost celku. Voštinové výplně si navrhuje program sám bez přičinění konstruktéra, stačí tuto možnost povolit.

Hotový výrobek se sejme ze základny tiskárny a odstraní podpůrný materiál mechanicky nebo chemicky. Zbývá poslední krok. Tím, že se nanáší vrstvy postupně, není povrch předmětu zcela hladký,





Tisk vzorových výrobků, přístalek



Arduino jako řídicí elektronika RepRap

ale má viditelnou a citelnou drsnost povrchu. Potřebujeme-li hladší povrch, dá se plast brousit nebo se naleptá rozpouštědlem, které většinu nerovností zahladí a přenesení materiál z vrcholů nerovností do prohlubní, kde se uloží a vyschne. Bohužel, takto se zachová i k hranám, které jsou na výrobku žádoucí, takže musíme volit kompromis mezi hladkostí ploch a přesností rozměrů a kvalitou hran, což je nesporná nevýhoda natavování vrstev plastu. Drsnost povrchu se dá zlepšit i volbou tenčí nanášené vrstvy, ovšem za cenu velkého nárůstu doby tisku. Výsledný výrobek se dá dále lakovat, obrábět i lepit stejně jako jakékoli podobné díly ze stejného plastu odstříknuté do forem.

## Jak získat podklady?

Základem je zadání popisu předmětu příkazy složením jednoduchých objektů, což je přesnější, nebo názornější nakreslení, respektive vymodelování předmětu v 3D programu. Existuje ale také technicky podstatně pokročilejší, i když méně přesný způsob. Jsou vyvinuté takzvané 3D skenery, které zvládnou nasnímat reálný předmět a převést jej do 3D modelu. Samozřejmě, skener nevidí dovnitř předmětu a nezná jeho

strukturu, zjistí a napodobí jen jeho vnější rozměry a tvar, ale i tak může být velkým přínosem, zejména pro maketáře. Přesnější skenery samy objíždějí malý předmět vložený do pracovního prostoru (nebo předmětem otáčejí), existují ovšem i skenery přenosné v podobě rukojeti se dvěma lasery na krátkých ramenech, které skeneru dovolují „vidět“ plasticky, stejně jako dvě oči jsou podmínkou pro naše plastické vidění. Takovým skenerem se dají sejmut předměty i v terénu, ať jsou to detaily a doplňky karoserie, nebo třeba hlava řidiče, kterou pak tiskárna reprodukuje s nekompromisní přesností a třeba i s vyplazeným jazykem.

## Co za to?

Špičkové laserové 3D tiskárny pracující s přesností v řádu setin milimetru stojí miliony Kč a pro účely modelářských klubů i jednotlivců jsou víceméně nedostupné. Cena profesionálních tiskáren s nanášením vrstev plastu se pohybuje v rozmezí stovek tisíc až milionu Kč a lze se s nimi setkat častěji, i když stále především na průmyslových pracovištích, případně odborných školách. Jejich využití je ale už reálné třeba dohodnutím spolupráce a využitím volné kapacity. Z českých modelářských firem se Rapid

Prototypingem zabývá například Hacker Model Production, kde je možné výrobu potřebných dílů objednat. Čas 3D tiskárny je poměrně drahý a také spotřební materiál nestojí zrovna málo, zato členitost výrobku hraje jen nepatrnou roli, takže zajímavá je především výroba drobných dílů, na míru připravené funkční bižuterie nebo drobných maketových doplňků. Výhodou je hlavně to, že jakmile máme jednu 3D model, lze ho vyrobit podle potřeby prakticky v jakémkoliv měřítku. Zatímco tedy jeden díl velikosti „do dlaně“ komerčně vyjde včetně přípravy na několik tisíc Kč, kanystry v měřítku 1:18 dělané v menší sérii už mohou stát jednotlivě desítkami tisíc Kč, což určitě není nedostupné. Zejména pokud lze snížit náklady tím, že přípravu podkladů v počítači si udělá modelář sám.

## Projekt RepRap

Za touto na první pohled nepochopitelnou zkratkou se skrývá spojení slov Replicating Rapid Prototyper, tedy v podstatě replikující se 3D tiskárna. Na počátku tohoto projektu stála myšlenka jako vystřižená ze sci-fi. Pokud je stroj dostatečně univerzální, může vyrobit i sám sebe, respektive většinu dílů na sebe, a rozmnožit se. V tomto smyslu je tedy schopná určitě replikace třeba i CNC fréza, nicméně 3D tiskárna má k ideálu této myšlenky rozhodně blíže. Projekt se nevyvíjí pod záštitou a z peněz konkrétní firmy, ale jako open source, tedy v celosvětové komunitě nadšených amatérů, kteří sdílejí a zveřejňují výsledky svoji práce, na něž mohou ostatní navazovat. Velký počet členů, na konci roku 2010 se jejich počet odhadoval na 4000–5000, a jejich různorodé zaměření dovolují vyzkoušet mnoho možností řešení stejného problému, a i když se většina z nich ukáže být slepými uličkami, výsledek občas nečekaně překvapí.

Vývoj RepRap postupuje velmi rychle vpřed a předčí rychlost firmovního vývoje, i dosahované výsledky postupně dohánějí profesionální zařízení. V roce 2005 stál u počátku Dr. Adrian Bowyer z University of Bath v jihozápadní Anglii, první díly na tiskárnu se podařilo vytisknout o rok později. Původní koncepce „Darwin“ ve tvaru kostky byla již o rok později nahrazena „Mendelem“ ve tvaru sedlové střechy nebo jednoduchého stanu. Drobné změny a vylepšení najdeme doslova kus od kusu. U nás je vedoucí postavou jak v konstrukci, tak propagaci tohoto projektu student pražské Vysoké školy ekonomické Josef Průša, jemuž se podařilo výrazným způsobem tiskárnu zjednodušit a tedy i zlevnit.

## Konstrukce tiskárny RepRap

Konstrukce tiskárny je podřízena tomu, aby kromě tisknutých plastových dílů bylo potřeba jen to, co je běžně dostupné a relativně levné. Kostru tvoří nařezané závitové tyče prodávané v železářství, doplněné běžnými maticemi. Bylo by sice možné i tyto části navrhnout z tiskových dílů, ale nevyplatilo by se to. Nad vyhřívanou základnou jezdí na výškově stavitelném „mostu“ tavicí hlava a nanáší vrstvu za vrstvou. Vyhřívání základna je potřebná proto, aby se materiál udržoval rovnoměrně prohřátý po celou dobu práce, dobře se spojoval a po vychladnutí se výrobek nekroutil. Základní díl hlavy s tryskou je soustružený, ale třeba vyhřívání už je jednoduše udělané pomocí výkonového rezistoru. Pohyb zajišťují krokové motory, které se dají dostat i u nás (GM electronic), ovšem většinou se kvůli nižší ceně spíše nakupují v internetových obchodech ve Velké Británii.

Funkční plastový mechanismus vyrobený v jednom kuse



Jako řídicí systém tiskárny se používá jednoduchý jednodeskový počítač Arduino, známý především konstruktérům amatérských robotů. Ten se stará o všechny pohyby hlavy i přísun materiálu. Elementární povely k provedení pohybů dostává po USB kabelu od nadřazeného počítače nebo je čte ze souboru na mikro SD paměťové kartě a pracuje samostatně. Je zajímavé, že nepatrné nerovnoměrnosti a zpoždění, které způsobuje komunikace přes USB, se následně projeví i na kvalitě povrchu výrobku a lepší výsledky poskytuje čtení dat z karty. Využití Arduina nevyžaduje speciální počítačové znalosti ani programování, jen se do něj přenese firmware, který lze stáhnout z internetu. Jako nadřazený počítač, který slouží k 3D modelování i následnému převodu modelu do dat srozumitelných tiskárně, se dá použít třeba běžný notebook. Výsledek se dá postavit na běžný pracovní stůl, tiskárna zabere plochu zhruba 50x50 cm. Její pracovní prostor dovoluje vytvářet předměty o rozměrech asi 20x20x10 cm, nicméně program dovoluje větší celky rozdělit a po zhotovení části slepit.

Velkou výhodou proti amatérské konstrukci CNC obráběcích strojů je to, že při nanášení plastu tavicí hlavou prakticky není potřeba žádný moment, síly jsou malé a nevznikají vibrace, takže konstrukce nemusí být tuhá a těžká. Kromě toho pokud už máme jedinou funkční tiskárnu, všechny specifické plastové náhradní díly si na ní můžeme vytisknout. Pro zajímavost, tisk kompletní sady dílů pro další tiskárnu trvá asi 10–12 hodin, jedna modrá píšťalka (na snímku ve čtveřici), používaná jako malý propagační předmět a ukázka výrobku, vzniká asi patnáct minut. Takovou píšťalku lze dokonce vyrobit i s kuličkou uvnitř, jen se musí kulička před použitím odlomit z tenké stopky, na níž při výrobě drží.

Přínos Josefa Průši (<http://josefprusa.cz/>) ke konstrukci této varianty tiskárny typu Mendel je především v tom, že ji výrazně zjednodušil. Z původních dvaapadesáti kupovaných kovových ložisek zůstala ložiska tři, a ani ta se nemusí nutně použít, plast má dostatečně nízké tření a s plstěnou vložkou napuštěnou olejem slouží v provozu dobře. Místo původních soustružených rolen pro ozubené řemínky se ukázalo, že stačí plastové vytisknuté rolny. Zjednodušil se kardan svislého posuvu spojující krokový motor a náhonovou závitovou tyč, navíc teď lépe vyrovnává nepřesnosti při stavbě. Drahá kovová převodovka na krokovém motoru byla nahrazena tištěnými ozubenými koly

a změna převodového poměru je teď snadnou záležitostí, vytisknou se zkrátka jiná kola. Počet tisknutých součástek se snížil na třetinu a jejich hmotnost, která odpovídá i době tisku a ceně materiálu, na polovinu. Díly tiskárny nevyžadují při vzniku podpěry a většina spojů se dá „nacvaknout“ nebo rozebrat po povolení jedné či dvou matic, takže na kompletní rozebrání a sestavení tiskárny stačí zhruba dvě až tři hodiny.

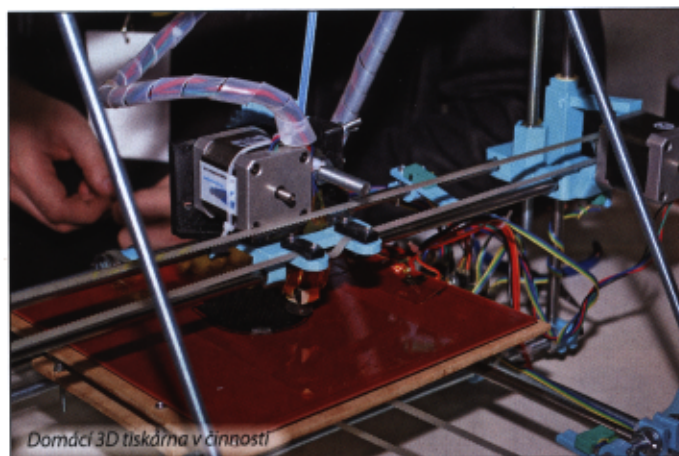
## Materiály

Jako materiál se používají struny o průměru 3 mm z barveného ABS, který má dobrou teplotní odolnost, ale větší snahu se při nerovnoměrném prohřátí kroutit. Z ABS se také většinou tisknou díly na „dceřinné“ tiskárně. Pokud nevhodí, že materiál nad 80 °C měkne, je snazší používat PLA, který má menší tendenci se kroutit a nevyžaduje při práci vyhřívanou podložku, není při tavení cítit (což je důležité zejména při práci v bytě) a je biologicky odbouratelný. Dají se sehnat i průsvitné a průhledné polykarbonátové materiály, nehodí se však k vytváření větších dílů a při práci je nutné prostředí temperovat na vyšší stálou teplotu.

Spotřební materiál se dá koupit i u nás ve specializovaných firmách, v malém množství ovšem vychází poměrně drazo, zhruba 400–500 Kč za kilogram. Když se odeberá přímo od výrobce a vezme se větší množství kolem 25 kg, lze cenu materiálu snížit asi na polovinu, což už je velmi přijatelná cena, zejména když si uvědomíme, že téměř všechny materiály přechází do finálního výrobku. Odpad je minimální, přestože tento typ tiskárny používá stejný materiál i k výrobě podpěr, jsou-li potřeba.

## Co s tím?

I když komunitu, která RepRap vyvíjí, vedly a vedou úplně jiné pohnutky, tiskárna ve stavu tak,



Domácí 3D tiskárna v činnosti

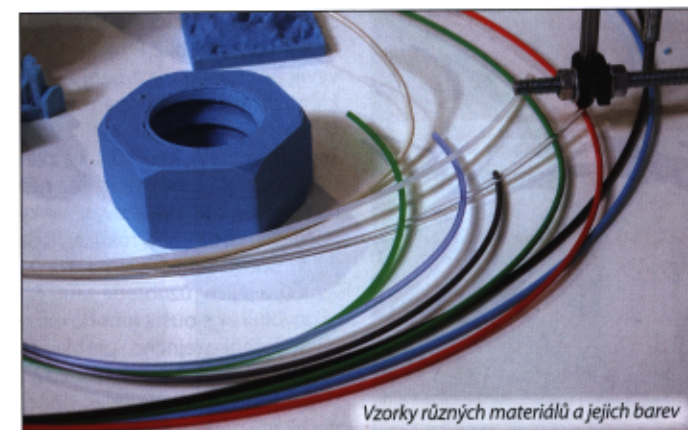
jak byla předváděna například na letošním veletrhu For Industry na letňanském výstavišti, je schopna vyrábět menší a současně i hodně členité plastové díly z odolného ABS nebo doplňky z PLA. Tuto tiskárnu nikdo nenabízí v hotovém stavu k prodeji, ostatně kus od kusu se nepatrně liší, jak vývoj postupuje. Podklady pro stavbu jsou volně dostupné na internetu a všechny díly lze zakoupit, i když ne v jedné sadě a na jednom místě. V zahraničí se dají sehnat i sady dílů, ale jednak jsou dražší a za druhé vycházejí ze zastaralých verzí tiskárny. Náklady na pořízení uvedené tiskárny včetně řídicí elektroniky při nákupu všech dílů

se pohybují kolem 10 000–12 000 Kč, z toho tvoří tištěné díly, které musí vyrobit někdo ze současných majitelů tiskárny, položku v obvyklé ceně do 2 500 Kč. Většinu potřebných částí lze ale často získat levněji. Počítač PC patří dnes k běžnému vybavení a programové vybavení stačí zdarma volně dostupné.

Sestavení a údržba RepRap vyžaduje určitou dávku zručnosti, což je vlastnost, která by měla být modelářům vlastní. Uvedená cena je srovnatelná s cenou malého obráběcího stroje a ten se v modelářských dílnách vyskytuje poměrně často. Podobná tiskárna dovoluje jednoduše vyrábět plastové



Stylizovaný traktor, práce žáků ISS-COP Brno (povrch je leptaný a pak stříkaný sprejem na auta, komín je z kovu)



Vzorky různých materiálů a jejich barev

drobnosti v libovolném měřítku a navíc, pokud se podaří získat podklady ve formě souboru, s minimem vlastní práce a času. Při nutnosti úprav a změn stačí zasáhnout do modelu a vytisknout díl znovu. Samozřejmě, výsledek není zcela stejný jako u kvalitních výlisků, ale použitelný rozhodně je a práci usnadní. Je tedy na místě zauvažovat o tom, zda nenastal čas technologii domácího Rapid Prototypingu vpustit do modelářských dílen a využít jejich výhod.

Ing. Michal Černý  
Ing. Jindřich Felkel