

ANALYSIS OF REPRAP 3D PRINTER HOT BED AND HOT END TEMPERATURE PROFILE BY USING CAE

Tomáš Severa

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsever06@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Vyroubal

E-mail: xvyrou02@stud.feec.vutbr.cz

Abstract: This work deals with 3D printing for non-commercial RepRap 3D printer type. The paper briefly describes the printer RepRap and the two most important parts of the printer hot bed and hot end, which is one of the main factors of quality printing. With CAE system were created models hot bed and the hot end, with subsequent analysis and optimization of the temperature profile. Hot bed was physically realized and measurements were taken thermo camera for determination of the temperature profile.

Keywords: 3D printer, RepRap, CAE, hot bed, hot end

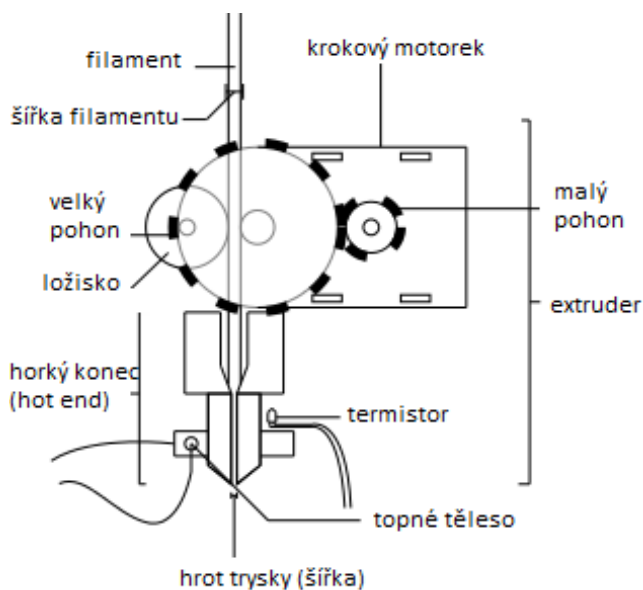
1. ÚVOD

V technologii 3D tisku FDM (Fused Deposition Modeling) vzniká výsledný produkt postupným nánášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách, které se vzájemně spojují tavením. K tisku se nejčastěji používají plastové materiály PLA (Polyactid Acid, teplota tání 180 – 220 °C) a ABS (Akrylonitril Butadien Styren, teplota tání 215 – 250 °C).

Tato práce je zaměřena na aplikaci ABS plastu, který je díky své univerzálnosti světově nejpoužívanější technický plast a je využíván pro široký okruh produktů. Jedná se o průmyslový kopolymer, který je odolný vůči mechanickému poškození, je tuhý a houževnatý. Pro jeho zpracování je však nutné nastavit optimální teplotní profil v celé tiskárně (tiskací tryska a vyhřívaná podložka).

Vhodně nastavený teplotní profil v trysce a podložce je při tisku ABS nejdůležitější pro kvalitní tisk. Absencí podložky by docházelo při tisku k mechanické deformaci tisknutého objektu, vlivem mechanického pnutí, které by v tělese vzniklo působením vnějšího zatížení, v našem případě se jedná o teplo (tepelná roztažnost materiálu ABS je 0,1 mm/°C). Vyhřívaná podložka musí mít teplotu od 70 do 110°C.

Chlazením trysky pomocí ventilátoru dosáhneme v první řadě lepší regulace teploty trysky, a co je podstatnější, zabráníme přetavení plastu v horní části trysky, což je důležité z hlediska transportu filamentu.



Obrázek 1: Princip činnosti extruderu

2. MATEMATICKÝ MODEL PŘESTUPU TEPLA

Šíření tepla vedením (kondukcí)

Šířením tepla vedením se rozumí proces přenosu energie z oblastí o vyšší teplotě do oblastí s nižší teplotou. Existující rozdíl teplot je základním předpokladem pro šíření tepla vedením [1].

Parciální diferenciální rovnice pro vedení tepla v trojrozměrném prostoru, vycházející z 2. Fourierova zákona (řešení rovnice $f(x, y, z, t)$) je ve tvaru:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t + \frac{q_V}{c_p \cdot \rho} \quad (2.1)$$

Kde t teplota, τ je čas, ∇^2 je Laplaceův operátor, a je součinitel teplotní vodivosti, q_V je vnitřní objemový zdroj, c_p je měrná tepelná kapacita a ρ je hustota.

Šíření tepla prouděním (konvekcí)

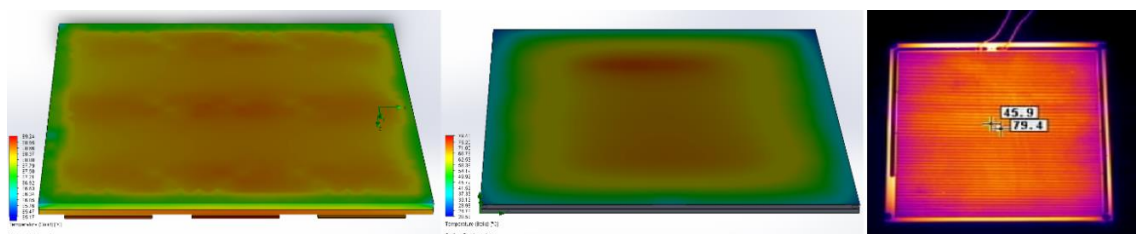
Konvekce se uskutečňuje v proudícím prostředí, kde zároveň dochází k výměně tepla. Konvekce představuje zároveň vedení tepla a proudění tekutiny, proto hovoříme o kondukčně – konvektivním přestupu tepla. Za předpokladu že $\text{div } v = 0$ a pro tekutiny platí $\rho = \text{konst}$ [2].

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial i}{\partial \tau} + v_x \cdot \frac{\partial i}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial i}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial i}{\partial z} \right) = \lambda \cdot \nabla^2 T + q_V \quad (2.2)$$

kde v je rychlost tekutiny, i je měrná entalpie a λ je součinitel tepelné vodivosti.

3. VYHŘÍVANÁ PODLOŽKA (HOT BED)

Nejčastěji se vytápění podložky realizuje výkonovými rezistory, které však má řadu nevýhod. Neoptimalnější řešení, je vytápění pomocí plošného spoje, kde je se jako topný element používá meandr. Podložka je vyrobena z materiálu FR4 s tloušťkou Cu 35 μm . Nevýhodou vytápění rezistory je pomalé zahřívání a chladnutí, vyšší cena a pracnost při výrobě podložky, nízká životnost výkonových rezistorů a celkové rozměry a váha celé sestavy, která zatěžuje krokové motorčky a může docházet k nepřesnostem při tisku a výška sestavy ubírá v rozsahu pohybu v ose Z. Podložka vyhřívána plošným spojem je elegantní, spolehlivá a komerčně dostupná. V programu SolidWorks byly vytvořeny modely těchto dvou podložek a následně podrobeny teplotní analýze v programu Flow Simulation pro získání jejich teplotních profilů. Teplotní profily jsou zobrazeny na obrázku níže, kde zleva je vytápění výkonovými rezistory, vytápění plošným spojem a snímek z termokamery u podložky vytápěné plošným spojem. Ze snímku z termokamery je patrné, že gradient teploty klesá směrem od středu desky k okrajům. Křížek na obrázku uvádí nejvyšší teplotu 79,4 °C a hodnota 45,9 °C označuje nejnižší teplotu desky.



Obrázek 2: Teplotní profily podložek vytvořené ve Flow Simulation

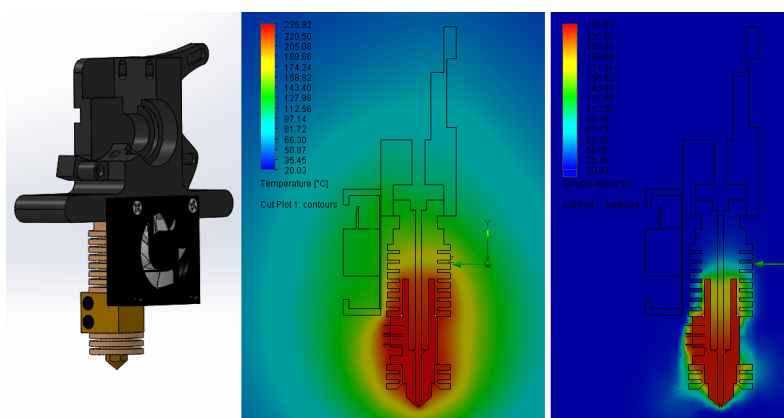
Typ vytápění podložky	Průměrná teplota [°C]	Minimální teplota [°C]	Maximální teplota [°C]
Výkonové rezistory	83,11	73,82	99,37
Meandr z plošného spoje	62,89	25,41	79,07

Tabulka 1: Porovnání teplot podle typu vytápění

Z výsledků simulace teplotního profilu je patrné, že rozložení teplot je rovnoměrné a dostačující pro obě varianty vytápění. Výsledky měření termokamerou byly potvrzeny teoretické předpoklady o teplotním profilu podložky vyhřívané plošným spojem. Teploty a teplotní rozložení přibližně korespondují s teplotními výsledky na modelu vytvořeném v SolidWorks Flow Simulation.

4. TISKACÍ TRYSKA (HOT END)

Tiskací tryska se skládá ze dvou částí. První je studená (horní) část (cold end), která podává plastovou strunu a druhá horká spodní část (hot end), která roztaví a vytlačuje plast. Hrot trysky, kterým je nanášen materiál na tiskovou plochu, má průměr 0,4 mm. K vytápění trysky na teplotu okolo 235 °C se používá topný element a termistorem je zajištěno měření teploty. Z obrázku níže je patrné, že při absenci ventilátoru, je teplota studené části poměrně vysoká a může docházet k nežádoucímu tavení filamentu.



Obrázek 3: Zleva model trysky, teplotní profil bez použití ventilátoru a profil s ventilátorem

	Teplota bez ventilátoru [°C]	Teplota s ventilátorem [°C]
Studený konec (cold end)	146,15	43,47
Horký konec (hot end)	234,85	233,41

Tabulka 2: Porovnání teplot částí trysky bez použití ventilátoru a s ventilátorem

5. ZÁVĚR

Práce se zabývá nekomerční 3D tiskárnou RepRap, a to jejími dvěma částmi, vyhřívanou podložkou a tiskací tryskou. Nastavení správného teplotního profilu těchto součástí je hlavním faktorem pro kvalitní tisk. V SolidWorks byly vytvořeny a podrobeny teplotní analýze modely nejčastěji používaných podložek a také model tiskací trysky. Podložka vytápěná plošným spojem byla fyzicky realizována a měřena termokamerou, kde byly potvrzeny teoretické předpoklady o teplotním profilu. Dále byl podroben teplotní analýze model tiskací trysky, kde bylo uvažováno i použití ventilátoru k ochlazení „studeného konce“ části trysky. Z výsledku simulace vyplývá jako nejlepší řešení použít model s ventilátorem a tím k zabránění tavení přiváděného filamentu už v ústí trysky.

REFERENCE

- [1] KOZUBKOVÁ, Milada, Tomáš BLEJCHAŘ a Marian BOJKO. Modelování přenosu tepla, hmoty a hybnosti: učební text. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2491-8.
- [2] KOCICH, Radim a Adéla MACHÁČKOVÁ. *SDÍLENÍ TEPLA A PROUDĚNÍ: učební text*. Ostrava, 2012. Dostupné z: http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/STP/STP_FINAL_LAST.pdf