

## Aplikácie 3D tlačiarne German RepRap X400 v praxi a pre výučbový proces

### Applications of 3D Printer German RepRap X400 in practice and for teaching process

doc. Ing. Jan Krmela, Ph.D.; Bc. Matej Pajtáš

Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Fakulta priemyselných technológií v Púchove, I. Krasku 491/30, 020 01 Púchov, Slovenská republika

Článok sa zaoberá 3D tlačiarňou GERMAN REPRAP X400 a možnosťami aplikácie tlačiarne v praxi a pre výučbový proces. Tlačiareň s veľkým tlačovým priestorom disponuje duálnym extrúderom. Vzhľadom k vysokej teplote extrúderov je možné využiť široké spektrum materiálov. V súčasnosti sú na Fakulte priemyselných technológií v Púchove dostupné materiály pre tlač ABS, PLA, Timberfill a Flexfill 98A a ako podporný materiál HIPS a PVA. Pripravenú geometriu 3D modelov je treba exportovať do formátu stl. Následne je treba vykonať proces tzv. slicovania. Pre slicovanie možno použiť rôzne programy, ktoré sú v článku uvedené. Pozornosť je venovaná najmä programu Repatier-Host. Popísaná je možnosť externe ovládať tlačiareň pomocou zariadenia 3DPrintBox. V článku je overená správnosť rozloženia teploty vyhrievacej podložky termovíznou kamerou. Na základe merania termovíznou kamerou sa zistilo, že so zvyšujúcou sa teplotou dochádza k narastajúcemu rozdielu teplôt skutočných a nastavených. Preto je potreba dbať na správnu teplotu vyhrievacej podložky. Naproti tomu kontrola trysiek extrúdera potvrdila, že skutočná teplota odpovedá nastavenej teplote.

**Kľúčové slová:** 3D tlač; PLA; ABS; termovízná kamera; termogram; vyhrievacia podložka; overenie teploty

The paper deals with the possibilities of the new 3D printer GERMAN RepRap X400 printer at the Faculty. This printer is designed for large format industrial 3D printing. The paper focuses on the technology of 3D printing, characterization of specific 3D printer functionality and software for 3D printer control. It is possible to print from ABS, PLA, PS, PVA, TPU93, Carbon20, Laywood, Laybrick, PP, Bendlay, Soft-PLA, SmartABS materials. The printer has DD3 Dual extruder. The extruder can be heated to 290 °C thus offering flexibility in the choice of possible materials. The build platform is 390 × 400 × 326 mm. The printer has LC Display with SD card slot and USB for connection to a computer. The printer can be operated via an LCD display with a SD card reader. The DD3 3D extruder developed by German RepRap features two print heads, thus allowing printing in two colours or with water soluble support material, such as PVA for PLA or HIPS for ABS parts. Available nozzles have a diameter of 0.25, 0.40 and 0.45 mm. The maximum temperature of the heated pad is 120 °C. Printing Plate Carbon is used for 3D printing. An optional network connection via Ethernet and WLAN, as well as browser-based control and print monitoring via webcam, are possible by the Repetier Sever and 3DPrintBox. A G-code is needed for printing, next settings of print and evaluation of the quality of the printed product. The materials PLA, ABS and Flexifill 98A and printing Plate Carbon were tested. This paper also includes verification of correct temperature distribution of the heated pad by thermal imaging camera. On the basis of experiments with the use of thermal imaging camera, it was found that the temperature difference between the actual and set temperatures of a heating pad is increasing with the increasing temperature. In contrast, the control of the extruder nozzles confirmed that the actual temperature is nearly such as the set temperature. In the future, we plan to print with two materials simultaneously for the purpose of creating composites not only for the educational process.

**Key words:** 3D printing; PLA; ABS; thermal imaging camera; thermogram; heated pad; temperature verification

K súčasnej dobe patrí neodmysliteľne rýchly pokrok technológií a najmä ich použitie v širokom spektre odvetví. K takým patrí aj jedna z moderných metód, a tou je 3D tlač, pomocou ktorej sa virtuálny model vytlačí do svojej reálnej podoby s použitím rôznych technológií 3D tlače. 3D modely je možné vytlačiť z rôznych druhov materiálov, ako sú napr. termoplasty,

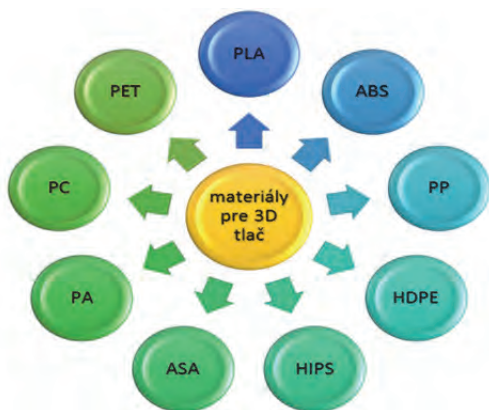
kovy, sklo, elastoméry, keramika atď. 3D tlač nachádza stále väčšie uplatnenie v oblastiach, ako je strojársky, stavebný, automobilový priemysel, medicína, elektronika, veda, výskum. Fakulta priemyselných technológií v Púchove (FPT) disponuje od roku 2016 novou 3D tlačiarňou GERMAN REPRAP X400, konkrétne verzia Pro V3, ktorá je založená na metóde FDM.

## FDM – Fused Deposition Modeling

Technológia FDM patrí v súčasnosti k najpoužívanejším technológiám pre 3D tlač. Údaje získané z 3D návrhu modelu vo formáte .stl sú importované do programov, ako sú napríklad Kisslicer alebo CatalystEX, kde sú ďalej nastavené parametre, ako je typ podpernej konštrukcie, typ zariadenia, spôsob vyplnenia objemu modelu, hrúbka vrstiev alebo orientácia modelu v pracovnom priestore tlačiarne. Využíva termoplastický materiál (ABS, polykarbonát, elastomér, vosk apod.) v tvare vlákna – struny, ktorý je odvíjaný zo zásobnej cievky. V tryske sa stavebný materiál ohreje na požadovanú teplotu a roztavený materiál ide cez otvor trysky. Tento systém je nastavený na teplotu o niečo vyššiu ako je teplota tavenia termoplastického materiálu. To spôsobí, že pri styku s povrchom vytváraného modelu sa vlákna vzájomne spájajú a vytvárajú požadovanú tenkú vrstvu, ktorá rýchlo tuhne. Tryska sa pohybuje v súradnicových osiach X, Y a nanáša jednotlivé vrstvy materiálu, ktoré spolu vytvárajú jednotlivé stavebné vrstvy modelu. Po nanesení jednej vrstvy klesne pozícia podložky o hodnotu, ktorá sa rovná hrúbke vrstvy modelu. Niekedy je potrebné použiť pre model aj podpernú konštrukciu [1].

K výhodám FDM patria nižšie prevádzkové náklady aj cena modelov, možnosť použitia veľkého počtu materiálov. Vytlačené modely sa vyznačujú dobrou pevnosťou a tvarovo stálou konštrukciou, ktorá je vhodná pre mechanické použitie modelov. Jej výhodou je aj to, že patrí medzi máloodpadové technológie. K nevýhodám možno zaradiť pomalšiu výrobu plných častí modelu, menšiu presnosť (je obmedzená tvarom a priemerom trysky) a nízku súdržnosť vo vertikálnom smere.

Materiály vhodné pre technológiu FDM sú zhotovované z polymérnych materiálov zo skupiny termoplastov. V praxi sa materiály rozlišujú na základné typy, špeciálne typy a plnené typy. Plnené plasty sú časticovými kompozitami – častice plniva sú rozptýlené v polymérnej matici. Vybrané materiály pre 3D tlač technológiou FDM sú uvedené na obr. 1. Podrobne sú materiály popísané v [2].



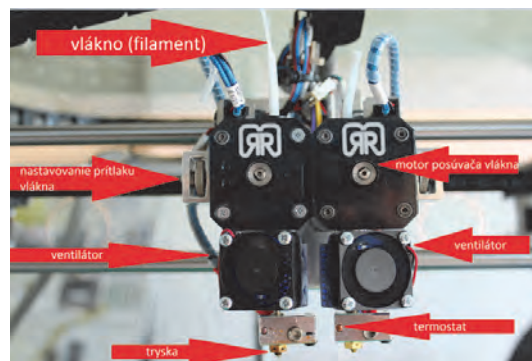
Obr. 1 Materiály vhodné pre 3D tlač technológiou FDM  
Fig. 1 Materials for 3D printing by FDM method

## Popis 3D tlačiarne German RepRap X400

Tlačiareň (obr. 2) má k dispozícii duálny extrúder – t.j. dve trysky dvoch extrúderov sú umiestnené vedľa seba (obr. 3). Zatiaľ sú dostupné vymeniteľné trysky o priemeroch 0,25; 0,40 a 0,45 mm.



Obr. 2 3D tlačiareň German RepRap X400  
Fig. 2 3D printer German RepRap X400



Obr. 3 Detail duálneho extrúdera  
Fig. 3 Detail of dual extruder

K tlači sa používa struna o priemere 1,75 mm. Tlačiareň disponuje veľkým tlačovým priestorom a vzhľadom k vysokej teplote extrúderov je možné využiť široké spektrum materiálov. Technické parametre tlačiarne sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Technické parametre tlačiarne [3]

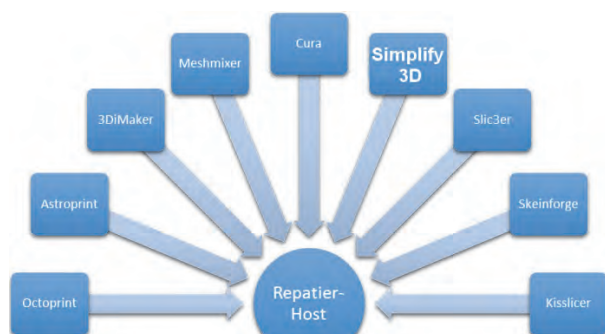
Tab. 1 Technical parameters of 3D printer [3]

|                                            |                                                                 |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Tlačový priestor pri použití dvoch trysiek | 390 × 400 × 326 mm (X/Y/Z)                                      |
| Priemer vlákna – struny                    | 1,75 mm                                                         |
| Priemery trysiek                           | 0,25 / 0,35 / 0,45 mm                                           |
| Extrúder                                   | DD3 Dual Extruder                                               |
| Max. teplota extrúderov                    | 290 °C                                                          |
| Vzdialenosť medzi tryskami                 | 29,75 mm                                                        |
| Max. teplota vyhrievania podložky          | 120 °C                                                          |
| Celkové rozmery tlačiarne                  | 700 × 700 × 770 mm (Š/H/V)                                      |
| Materiál pre tlač                          | ABS, PLA, PVA, Laywood, Laybrick, PP, Soft-PLA, Carbon 20 a iné |
| Minimálna výška vrstvy                     | 0,1 mm                                                          |
| Rýchlosť tlače                             | 10–150 mm·s <sup>-1</sup>                                       |
| Rýchlosť presunu extrúdera                 | 10–300 mm·s <sup>-1</sup>                                       |
| Hmotnosť tlačiarne                         | 55 kg                                                           |

V súčasnosti sú na FPT dostupné materiály pre tlač: ABS, PLA, Timberfill, ASA a Flexfill 98A (každý materiál v dvoch farebných odtieňoch) a ako podporný materiál HIPS a PVA. Timberfill je vyrobený z biologicky odbúrateľného materiálu na báze dreva. Zatiaľ boli pre tlač vybraných súčastí skúšané ABS, PLA, Timberfill a Flexfill 98A. Ako podložka pre ABS a Flexfill 98A bola volená karbónová podložka.

## Príprava modelov pre tlač a možnosti pripojenie k tlačiarne

Pripravenú geometriu 3D modelov je treba exportovať do formátu stl. Následne je treba vykonať proces tzv. slicovania, čo znamená, že 3D model vo formáte .stl bude rozdelený horizontálnymi rezmi, ktoré sú potrebné pre vygenerovanie kódu pre pohyby extrúdera. Pre slicovanie možno použiť rôzne programy, ktoré nielen po doplnení ďalších informácií, ako je hrúbka vlákna pre tlač, teplota extrúderov a podložky, hrúbka vrstvy modelu, umiestnenie modelu na podložke, rýchlosť tlače vygenerujú súbor G-code, ale možno s nimi po pripojení počítača k tlačiarne cez USB rozhranie ovládať tlačiareň priamo (obr. 4). Z uvedeného zoznamu programov bol skúšaný Simplify3D (komerčná verzia) a Repatier-Host (voľne dostupný open-source program).



Obr. 4 Programy pre tlač

Fig. 4 Software for 3D printing

V programu Repatier-Host (výrobca tlačiarne má modifikovanú verziu s nastavením parametrov tlačiarne) je možné vykonávať takmer všetky funkcie dostupné v ostatných programoch. Obsahuje "slicery" ako aj nástroje na ovládanie 3D tlačiarne. Je ho taktiež možné využívať pre oba extrúder. Jeho výhodou je aj dispozícia českého prekladu. Naproti tomu program Simplify3D je v anglickej mutácii. Oba programy sa vzájomne dopĺňujú možnosťami nastavenia tlače. Tlačiareň je vybavená slotom na pamäťovú SD kartu s ovládaním celého tlačového procesu cez ovládacie koliesko (obr. 5) s výstupom parametrov na LCD v anglickej a slovenskej jazykovej mutácii. Vygenerovaný G-code je možné následne nahráť na pamäťovú kartu a začať s procesom tlače bez potreby ovládania cez počítač. Pre možnosť ovládať tlačiareň externe bolo zakúpené zariadenie 3DPrintBox [4]. Zariadenie s hardwarom Raspberry Pi beží na Astroprint alebo Octoprint. Skúšaný bol aj program Repetier Server, ktorým je možno sa počítačom cez

Ethernet alebo WLAN pripojiť na 3DPrintBox. Na 3DPrintBox je možné pripojiť kameru, ktorou možno monitorovať priestory 3D tlačiarne (umiestené v laboratóriu) v on-line režime na počítači umiesteného napr. v kancelárii.



Obr. 5 Ovládanie tlačiarne cez koliesko s LCD displejom

Fig. 5 Printer control by button with LCD display

## Termovízne merania pre overenie správnosti teploty vyhrievacej podložky

3D tlačiareň obsahuje podložku, ktorú je možné vyhrievať počas tlače 3D modelov. Vyhrievanie podložky na požadovanú teplotu je veľmi dôležité pri použití termoplastov, ktoré majú tendenciu sa pri tlačení vrstiev odlepiť od tejto podložky alebo sa skrúcať. Pre tlač vybraných materiálov sú v tab. 2 uvedené teploty podložky ako aj teploty trysky extrúdera odporúčané výrobcom materiálov.

Tab. 2 Teploty pre vybrané materiály pre 3D tlač

Tab. 2 Temperatures for selected materials for 3D printing

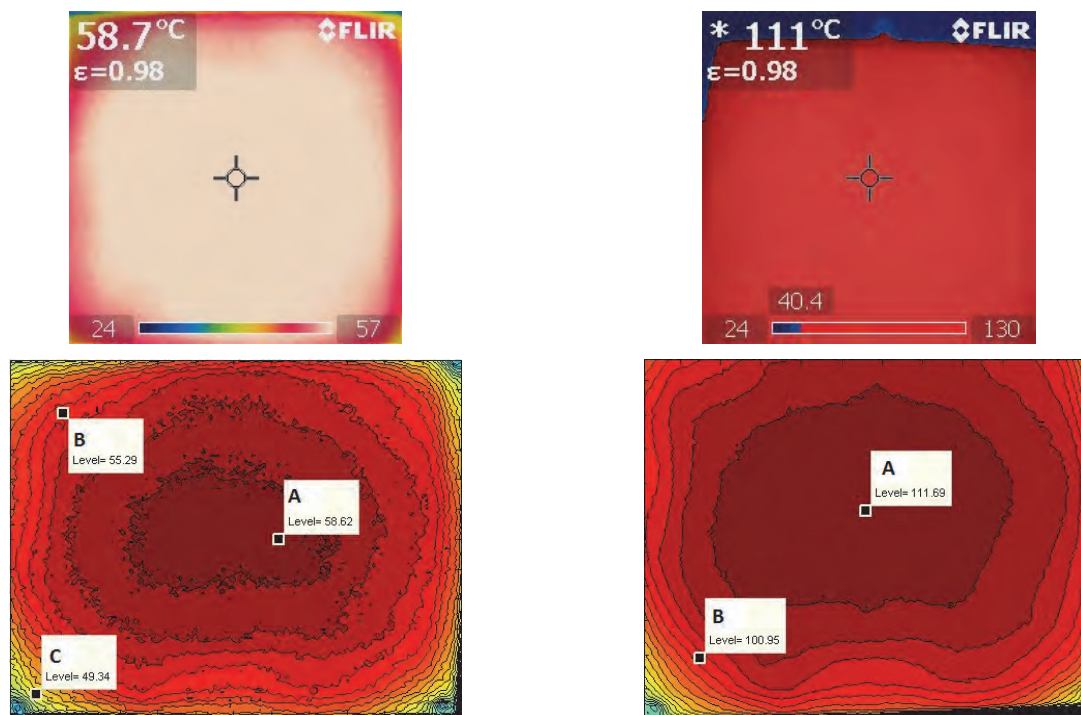
| Materiál     | Teplota trysky | Teplota podložky |
|--------------|----------------|------------------|
|              | (°C)           |                  |
| ABS          | 220–240        | 80–100 (115°)    |
| PLA          | 190–210        | netreba (60°)    |
| Flexfill 98A | 200–220        | 30–50 (70°)      |

\*upravené teploty podložky na základe skúšobnej tlače

Pri tlači s materiálom ABS môže mať významný vplyv na správne tlačené modelu už aj rozdiel teplôt 1 °C. Na overenie správnosti teploty vyhrievanej podložky bola použitá termovízná kamera BCAM Flir systém AB. Merania teploty vyhrievacej podložky boli vykonané pri 60, 80, 100 a 120 °C. Tieto teploty boli nastavené priamo na 3D tlačiarne.

Po sade meraní boli termovíznou kamerou zaregistrované termogramy analyzované softwarom FLIR QuickReport. Termogramy sú uvedené na obr. 6 pre vybrané teploty 60 a 120 °C. Napr. pri teplote 120 °C činil rozdiel medzi reálnou a nastavenou teplotou až 9 °C.

Tieto termogramy boli vo formáte textových súborov importované do prostredia pracovného nástroja Image Processing Tools softwarového balíka Matlab. Na obr. 6 sú po spracovaní v Image Processing Tools uvedené vygenerované izotermické plochy, na ktorých možno vidieť, že rozdiel teplôt od stredu podložky smerom ku krajom bol približne 8 °C. Podobne ako kontrola teploty podložky bola prevedená kontrola teploty trysiek extrúdera.



Obr. 6 Termogramy pre teploty 60 °C (vľavo hore) a 120 °C (vpravo hore) a pod nimi uvedené izotermické plochy  
Fig. 6 Thermograms for temperatures 60 °C (left above) and 120 °C (right above) and isothermal areas (below)

## Záver

Na základe merania termovíznou kamerou sa zistilo, že so zvyšujúcou sa teplotou dochádza k narastajúcemu rozdielu teplôt skutočných a nastavených. Preto je vhodné používať vyhrievanie podložky pre materiál PLA na teplotu 62 °C a pre materiál ABS je treba nastaviť teplotu minimálne na cca 109 °C, ktorá odpovedá v skutočnosti len 100 °C. Pokiaľ by bola na 3D tlačiarňi pre tlač z ABS nastavená teplota 100 °C, bola by táto teplota nepostačujúca pre ABS na danej tlačiarňi, pretože skutočná by podľa meraní bola len 92 °C. Naproti tomu kontrola trysiek extrúdera potvrdila, že skutočná teplota odpovedá nastavenej teplote s rozdielom do 5 °C.



Obr. 7 Vrtuľa modelu veterného mlyna z ABS  
Fig. 7 Propeller of the watermill model from ABS

Príklad finálneho výrobku z ABS – vrtule modelu veterného mlyna je uvedený na obr. 7. V nasledujúcich riešeniach úlohy je treba sa ďalej zaoberať optimálnym nastavením parametrov pre tlač (najmä rýchlosťou tlače,

hrúbkou vrstvy, teplotami), aby nedochádzalo k defektom a chybám pri tlači.

Z materiálu PLA boli tlačené aj zmenšené modely plášt'a pneumatiky, ktoré poslúžia ako učebná pomôcka vo vybraných technicky zameraných predmetoch zaoberajúcich sa kompozitami a budú použité aj pre plánovanie experimentov na statickom skúšobnom zariadení pre pneumatiky v rámci riešeného projektu KEGA 005TnUAD-4/2016. Ďalej sa plánuje tlač dvoch materiálov súčasne, aby vo výsledku vytlačená súčasť bola kompozitom (zapracovanie napr. materiálu Carbon20).

## Pod'akovanie

Výskum bol realizovaný za podpory udelených grantov KEGA 005TnUAD-4/2016 a VEGA 1/0385/14 a projektu „Centrum pre testovanie kvality a diagnostiku materiálov“, ITMS kód 26210120046 Operačného programu Výskum a vývoj financovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- [1] Fused Deposition Modeling. [online]. [cit. 2016-10-10]. Dostupné na: <<https://fused-deposition.wikispaces.com/Fused+Deposition>>.
- [2] PAJTÁŠ, M. 3D tlač pre technické aplikácie a návrhy softwarového rozšírenia pre tlačiareň German RepRap X400. (Bakalárska práca) Púchov: Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, Fakulta Priemyselných technológií, 2016. 62 s.
- [3] X400 PRO 3D printer [online]. [cit. 2016-10-10]. Dostupné na: <<https://www.germanreprap.com/en/products/3d-printer/x400-pro-3d-printer/>>.
- [4] 3D PrintBox [online]. [cit. 2016-10-10]. Dostupné na: <[http://wiki.germanreprap.com/handbuch/3dprintbox\\_v2](http://wiki.germanreprap.com/handbuch/3dprintbox_v2)>