

3D Tisk a pevnost

K. Hanušová, B. Prchlíková, K. Horská, P. Jonák
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze
bohanka.prchlikova@seznam.cz

Abstrakt

Práce se zabývá měřením pevnosti dvou polymerních materiálů PLA, PETG, které jsou hojně využívány jako filamenty pro 3D tisk. Cílem bylo měření meze pevnosti obou materiálů, porovnání jejich vlastností a zvážení vhodnosti různých využití. Výsledné hodnoty byly porovnány s údaji v technickém listu výrobce. Tohoto jsme dosáhli vymodelováním zkušební tělesa, jeho následným tiskem z obou výše uvedených materiálů a takto vzniklá tělesa jsme podrobili tahové zkoušce.

1 Úvod

3D tisk se v dnešní době stává jedním z rozšířenějších způsobů nejen na výrobu součástek v průmyslu ale i různých předmětů používaných v běžném životě. Při domácím tisknutí se však většinou nevyužívá kovového tisku, ale spíše jednoduššího a levnějšího filamentového tisku. Nejoblíbenějšími materiály pro tento tisk jsou takzvané PLA a PETG. Ty vzhledem ke své nízké ceně nabízejí velmi dobré mechanické vlastnosti, jako třeba dostatečnou pevnost i houževnatost. Naším cílem bylo ověřit údaje o pevnosti těchto dvou materiálů, které udává jejich výrobce.

2 Materiály na 3D tisk

3D tiskárna, kterou jsme měli k dispozici, Original Prusa i3 MK3S+, je tiskárna filamentová, tedy taví plastové struny a nahřátý plast vrství na sebe, čímž tvoří trojrozměrné těleso. Běžně se setkáváme s filamenty ABS, ASA, FLEX, PLA, PETG, pro naše účely byly optimální PLA a PETG.

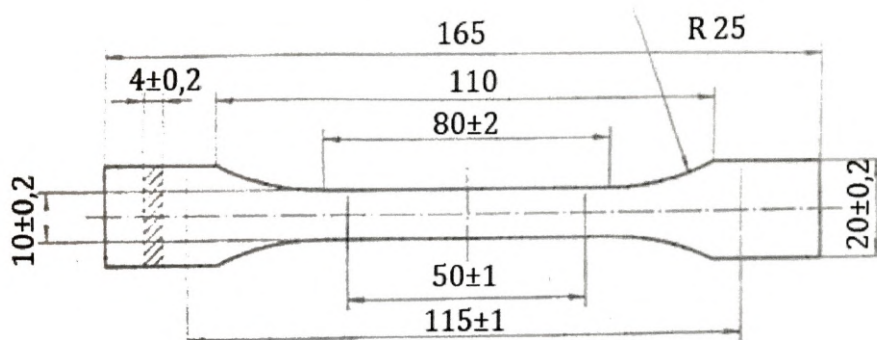
PETG (polyetyléntereftalát – glykol) je PET vlákno obohacené glykolem, který mu propůjčuje pevnost, teplotní odolnost a houževnatost. Je vhodný pro tisk větších objektů a poměrně cenově dostupný, proto je hojně používán mezi začátečníky i v technické praxi.

PLA (polymlečná kyselina) je vyrobený z rostlinných škrobů, a je tedy biologicky odbouratelný. Velmi často se využívá mezi začátečníky pro tištění detailních medelů, či jiných plastových součástek (velkých i malých vzhledem k malé četnosti poškození při tisku), které nevyžadují velkou mechanickou, chemickou či teplotní odolnost.

3 Experimentální uspořádání

Pro měření pevnosti jsme využili zkušební stroj Inspekt 100 kN od firmy Hegewald&Peschke. Do toho jsme vkládali zkušební tělesa dle normy pro tahovou zkoušku pro polymery ISO

527-2 (viz obrázek 1). Zkušební tělesa jsme upli do zkušebního stroje, který je natahoval s postupně zvětšující se silou, dokud nedošlo k významné deformaci. Poté se síla snížila, ale stroj tahal těleso dále do jeho následného přetržení. Přetrhaná zkušební tělesa můžeme vidět na obrázku 2.

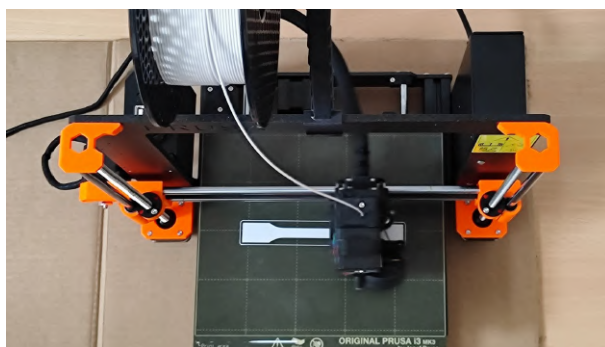


Obrázek 1: Geometrie zkušebního tělesa podle normy ISO 527-2



Obrázek 2: 13 zkušebních těles, 7 PLA, 6 PETG po tahové zkoušce

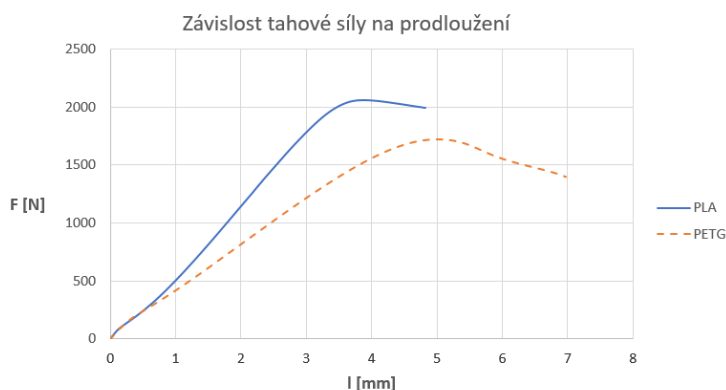
Zkušební tělesa jsme si sami vymodelovali v programu Fusion 360 a nechali jsme si je vytisknout na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+. Tiskli jsme s výplní 100 % do horizontální polohy dle defaultních parametrů. Na Obr. 3 můžete vidět fotku z průběhu tisku zkušebního tělesa.



Obrázek 3: Tisk zkušební tělesa z PETG

4 Výsledky a diskuze

Při tahové zkoušce jsme zjistili, jakou silou musíme na zkušební tělesa působit, aby došlo k překročení meze pružnosti a trvalé deformaci. Toto je patrné z grafu 4 znázorňujícím tahovou křivku.



Obrázek 4: Typické závislosti hodnot tahové síly na prodloužení pro PETG a PLA

Z počátku vidíme, že síla je přímo úměrná prodloužení, poté překračuje mez úměrnosti, následuje plastická deformace až do meze pevnosti, kde pozorujeme zlom na křivce. Poté se síla potřebná pro deformaci zmenšuje, neboť se v materiálu začíná tvořit krček a poté dojde k lomu (v tomto bodě síla klesla na nulu).

Z naměřených hodnot tahové síly a rozměrů průřezu (4×10 mm) jsme dopočítali mez pevnosti, tedy napětí, odpovídající maximální síle, ze vztahu:

$$R_m = \frac{F_{max}}{S}$$

Zprůměrované výsledky pro PETG a PLA porovnané s výchozími hodnotami z technického listu výrobce jsou uvedeny v tabulce 5.

Lom u PLA je rovný a kolmý k ose zkušební tělesa, zatímco u PETG je lom členitý. To koresponduje s větší křehkostí PLA. PETG má delší křivku, proto říkáme, že je tažnější.

	Fmax [N]	Rm [MPa]	tloušťka tělesa h [mm]	šířka tělesa d [mm]	obsah průřezu S [mm ²]
hodnota v technické tabulce PETG [2]	1840	46±1	4,00	10,0	40,0
průměr naměřených hodnot PETG	1678	43±1	3,99	9,8	39,2
hodnota v technické tabulce PLA [3]	2280	57±1	4,00	10,0	40,0
průměr naměřených hodnot PLA	2092	52±1	4,02	9,9	39,9

Obrázek 5: Naměřená maximální tahová síla, mez pevnosti (maximální napětí), rozměry a průřez zkušebního tělesa

5 Závěr

Mez pevnosti PETG je 52 ± 1 , což je o 7% menší hodnota oproti technickému listu výrobce, v případě PLA je mez pevnosti 43 ± 1 , tedy je menší o 8% oproti technickému listu výrobce. Tyto rozdíly mohou být dány skladováním filamentu, odlišnými podmínkami při tisku, případně chybou v měření.

Lze tedy potvrdit tvrzení, že filament PLA je pevnější, ale neschopný velkých deformací, zatímco PETG je méně pevný, ale má větší tažnost. Z našeho pozorování dále vyvozujeme, že PETG má větší předpoklady pro tisk objektů, od nichž je požadována vyšší mechanická odolnost, např. ozubená kolečka.

Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali doc. Ing. Aleši Maternovi, Ph.D. za odborné vedení práce, za poskytnutí materiálů, zázemí a především svých vědomostí. Dále děkujeme Ing. Ondřeji Kovářikovi, Ph.D. za asistenci při práci na odborném pracovišti a Ing. Jaroslavovi Čechovi, Ph.D. za umožnění prohlídky laboratoře měření tvrdosti a milé uvítání na fakultě. Děkujeme i organizátorům Týdne vědy na Jaderce za to, že nám dali možnost rozšířit si obzory v oblasti 3D tisku.

Reference

- [1] ČSN EN ISO 527-2. *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*. Zlín: Institut pro testování a certifikaci, 2012.
- [2] Technický list Prusament PETG. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370491/technicky-list.pdf>
- [3] Technický list Prusament PLA. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370479/technicky-list.pdf>
- [4] M. LAZOVIĆ, Tatjana a Milan S. STOJANOVIĆ. Preparation of specimens for standard tensile testing of plastic materials for FDM 3D printing. *International Scientific Journal "Machines, Technologies, Materials"*. University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia, 2021, XV(5), 4. ISSN 1313-0226.
- [5] Fahrenholz, Helmut. "The 2012 version of ISO 527 plastics: determination of tensile properties." Zwick/Roell (2018).