

Pevnost materiálů PLA a PETG vytištěných na 3D tiskárně

B. Dolenská, S. Herianová, S. Nesvetrová, J. Rozmuš

FJFI ČVUT, Trojanova 13, Praha 2, 120 00

sarah.04@seznam.cz

Abstrakt:

Příspěvek shrnuje výsledky měření pevnosti dvou odlišných polymerních materiálů určených pro 3D tisk. Cílem práce bylo vymodelovat v programu FreeCAD zkušební tělesa, vytisknout je na 3D tiskárně a následně je podrobit tahové zkoušce. Zkoumali jsme pevnost filamentů PLA a PETG; tyto materiály byly následně porovnány s údaji v technickém listu výrobce.

1 Úvod

3D tisk je rychle se rozvíjející se obor mající široké uplatnění v průmyslu. V dnešní době je k dispozici mnoho technologií, které umožňují tisknout vrstvu po vrstvě pro různé typy materiálů. Díky příznivé ceně je tisk na bázi polymerů dostupný i pro domácí použití.

Volba materiálu pro tisk je dána nejen cenovou dostupností, ale i požadovanými vlastnostmi materiálu. Tiskaře především zajímají mechanické vlastnosti daného polymeru, kterými jsou kupříkladu pevnost nebo odolnost vůči zatížení.

Kyselina polymléčná (PLA) a kopolymer polyetylentereftalátu glykolu (PETG) patří mezi nejčastěji využívané materiály pro domácí tisk. Oba materiály jsou levné a poměrně snadno tisknutelné. PETG je navíc pro svou vysokou houževnatost a dobrou teplotní odolnost vhodný pro tisk levných mechanických dílů.

V příspěvku jsou pro oba materiály prezentovány a interpretovány výsledky základní zkoušky mechanických vlastností – zkoušky tahové.

2 Materiály a metody

2.1 PLA a PETG

Základní mechanické vlastnosti deklarované výrobcem [1], [2] shrnuje Tab. 1 a Tab. 2.

Tabulka 1 Mechanické vlastnosti materiálu PLA

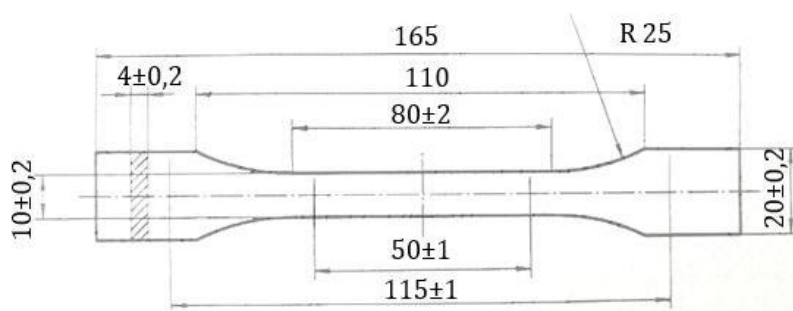
Vlastnosti/směr tisku	Horizontální	Vertikální
Pevnost v tahu [MPa]	51 ± 3	59 ± 2
Modul pružnosti v tahu [GPa]	$2,3 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,1$

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti materiálu PETG

Vlastnosti/směr tisku	Horizontální	Vertikální
Pevnost v tahu [MPa]	47 ± 2	50 ± 1
Modul pružnosti v tahu [GPa]	$1,5 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$

2.2 Geometrie zkušebního tělesa

Možné tvary zkušebního tělesa předepisuje norma ISO 527-2 [3]. V této studii byl použit nejběžnější typ A, jehož tvar a rozměry jsou na Obr. 1.



Obrázek 1 Geometrie zkušebního tělesa pro tahovou zkoušku [3]

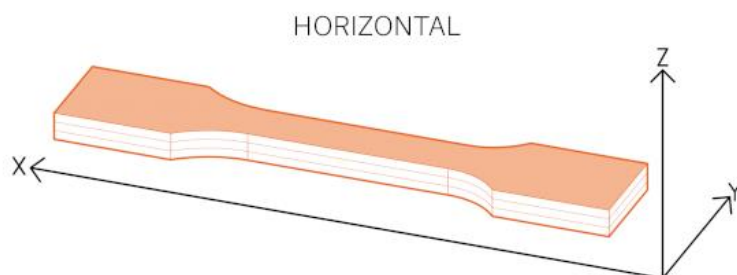
2.3 Tisk zkušebního tělesa

Pro tisk zkušebního tělesa byla použita tiskárna Prusa i3MK3S+. Počítačový model tělesa byl vytvořen v programu FreeCAD 019, z něhož byl následně exportován pomocí souboru *.stl do programu PrusaSlicer verze 2.4.2. Nastavení parametrů tisku shrnuje Tab. 3.

Tabulka 3 Nastavení parametrů tisku

Materiál/Parametr	Výška vrstvy	Teplota trysky	Teplota podložky
PLA	0,20 mm	215 °C	60 °C
PETG	0,20 mm	250 °C	90 °C

Orientace jednotlivých vrstev materiálu v tělese je zřejmá z Obr. 2.



Obrázek 2 Orientace tiskových vrstev materiálu ve zkušebním tělese [2]

Tisk jednoho zkušebního tělesa trval 43 minut. Celkem bylo vytištěno 6 těles z materiálu PLA a 6 těles z materiálu PETG.

2.4 Tahová zkouška

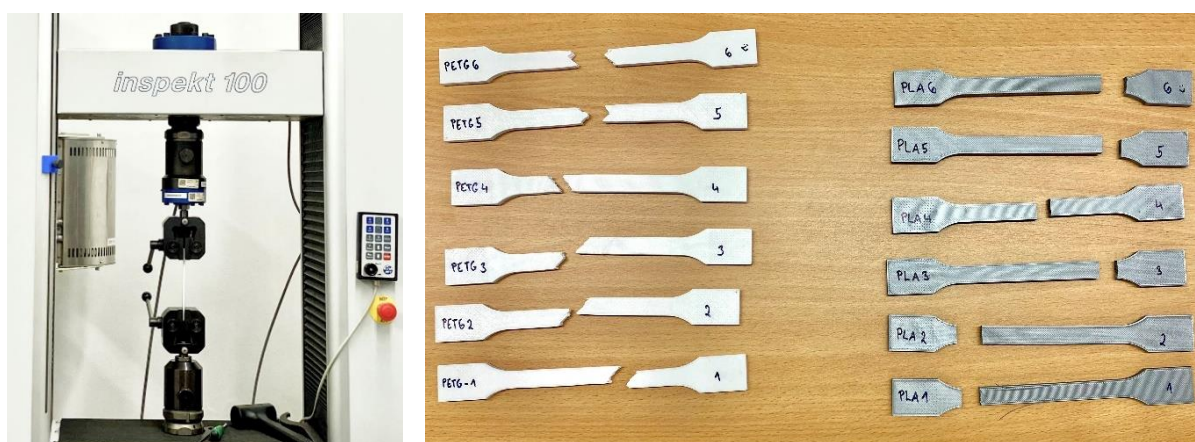
Tahové zkoušky byly provedeny za pokojové teploty na zkušebním stroji Inspekt 100. Způsob uchycení těles v čelistech stroje je zřejmý z Obr. 3 a). Rychlost posuvu příčnicku byla nastavena na 10 mm/min. Mez pevnosti materiálu R_m byla stanovena pomocí vztahu

$$R_m = \frac{P_{max}}{bh},$$

kde P_{max} je maximální síla dosažená v průběhu zkoušky, b je šířka a h je tloušťka.

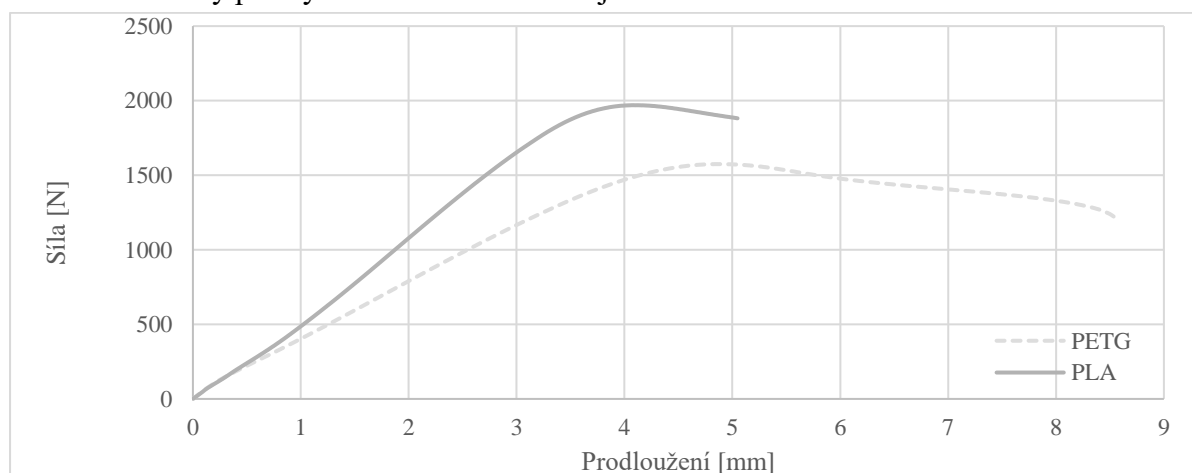
3 Výsledky a diskuze

Celkem bylo provedeno 6 měření pro každý materiál. Tvar a umístění lomu po tahových zkouškách je zřejmý z Obr. 3 b).



Obrázek 3 a) Zkušební těleso PETG 1 v přístroji Inspekt 100, b) Porušená zkušební tělesa

Záznam zkoušky pro vybraná zkušební tělesa je na Obr. 4.



Obrázek 4 Závislost zatěžující síly na prodloužení tělesa PLA (plná) a PETG (čárkovaná)

Všechny výsledky jsou souhrnně uvedeny v Tab. 4 a Tab. 5.

Tabulka 4 Naměřené hodnoty pro materiál PLA

PLA	1	2	3	4	5	6
b [mm]	10,00	10,03	9,98	10,06	10,02	10,06
h [mm]	4,11	4,10	4,06	4,02	4,11	4,08
P _{max} [N]	1969,8	2062,6	2155	2144,8	2124,8	2116,6
S [mm ²]	41,10	41,12	40,52	40,44	41,18	41,04
R _m [MPa]	47,93	50,16	53,19	53,04	51,60	51,57

Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro materiál PETG

PETG	1	2	3	4	5	6
b [mm]	9,96	9,97	9,92	9,96	9,93	9,94
h [mm]	4,09	4,15	4,02	4,13	3,98	4,09
P _{max} [N]	1574,8	1529,4	1583,4	1546,2	1726,2	1617,8
S [mm ²]	40,74	41,38	39,88	41,13	39,52	40,65
R _m [MPa]	38,66	36,96	39,71	37,59	43,68	39,79

Měřením jsme určili, že materiál PLA je pevnější než materiál PETG. Výsledky pro materiál PLA odpovídají údajům uváděným výrobcem. Výsledky naměřené pro materiál PETG se s údaji uvedenými výrobcem rozporují; naměřené hodnoty jsou o 16 % nižší. K odchylkám měření mohlo dojít v důsledku citlivosti materiálu na podmínky tisku.

Z Obr. 3 b) je patrné, že lom u materiálu PLA je rovný a kolmý k ose zatěžování, zatímco u PETG je lomová plocha členitá.

4 Shrnutí

Experimentálně bylo zjištěno, že mez pevnosti materiálu PLA je 51,24 MPa a PETG je 39,40 MPa. PLA je tak pevnější než PETG, což je v rozporu s hodnotami deklarovanými výrobcem vlákna.

Poděkování

Děkujeme doc. Ing. Aleši Maternovi, Ph.D. za odborné vedení práce, poskytnutí materiálů a zapůjčení přístrojů. Děkujeme též Ing. Karlu Tesařovi a Ing. Anežce Jančové za cenné rady a trpělivost.

Reference

- [1] Technický list Prusament PLA. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370479/technicky-list.pdf>
- [2] Technický list Prusament PETG. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/file/370491/technicky-list.pdf>
- [3] ČSN ISO 527-2