

# 3D tisk a pevnost

P. Vaško, E. Stránská

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze, Trojanova 13

## Abstrakt

Práce se zabývala měřením pevnosti polymerních materiálů PLA a PETG, které jsou hojně využívány jako filamenty pro 3D tisk. Cílem bylo měření pevnosti obou materiálů v tahu, porovnání jejich mechanických vlastností a zvážení vhodnosti různých využití. Výsledné hodnoty byly porovnány s údaji v technickém listu výrobce a s výsledky z minulého ročníku TV@J. Toho jsme dosáhli vymodelováním zkušebního tělesa podle standardu EN ISO 527-2[1] (viz obrázek 1) a následným tiskem vzorků z obou výše uvedených materiálů. Takto vzniklá tělesa jsme poté podrobili tahové zkoušce.

## 1 Úvod

3D tisk je široká oblast z oboru aditivní výroby, která se specializuje na výrobu z užšího souboru materiálů. Mezi nejpoužívanější se řadí polymerní materiály a kovy. Tento výrobní proces se v posledních letech stává stále více populárním jak ve strojním průmyslu, tak mezi domácími kutily. Nejrozšířenější je práce s pevnými polymerními materiály a to zejména kvůli své nenáročnosti a relativně nízké ceně. Z těchto materiálů jsou velmi rozšířené PLA (polylactic acid) a PETG (Polyethylene terephthalate - glycol). Oba materiály nabízí za svou cenu relativně dobré mechanické vlastnosti [2], zejména vysokou odolnost v tahu. Naším cílem zde bylo oba materiály podrobit tahovým testům a jejich výsledky porovnat s tvrzením výrobce.

## 2 Materiály pro 3D tisk

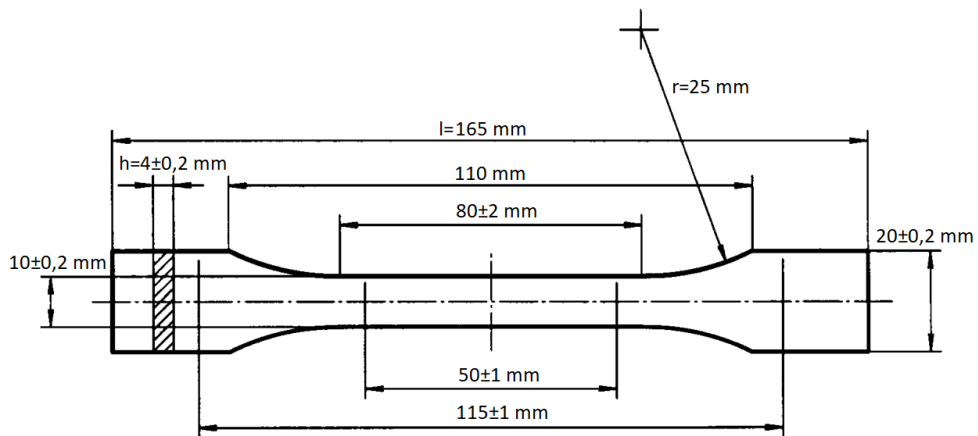
Vzorky pro experiment jsme tiskli na místní filamentové 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+. Filamentové tiskárny taví plastové struny a roztavený plast vrství na sebe, tím tvoří trojrozměrné objekty. Z běžně používaných materiálů ABS, Flex, ASA, PLA, PETG. Pro náš experiment jsme zvolili 2 úplně nejpoužívanější materiály PLA a PETG.

PLA (polymléčná kyselina) se vyrábí z rostlinných škrobů, je tedy biologicky odbouratelný. Mezi začátečníky se stal populárním pro velice jednoduchý, ale zato přesný tisk. Využívá se pro tisk detailních figurek a plastových součástek, které nevyžadují velkou chemickou, mechanickou či teplotní odolnost.

PETG (polyetyléntereftalát - glykol) je vlákno PET obohacené o glykol, který mu dodává teplotní odolnost, pevnost a houževnatost. Je cenově dostupný a vhodný pro tisk větších objektů, proto nachází hojně využití mezi začátečníky i v průmyslu.

## 3 Specifikace a průběh testování

Testy jsme prováděli pomocí zkušebního stroje Inspekt 100 kN od firmy Hagewald&Pesckhe. Jednotlivé testovací vzorky (viz obr. 1 a 2) jsme vkládali do stroje, který je následně natahoval konstantní rychlostí, dokud nedošlo k přepnutí vzorku a jeho následnému prasknutí či přetržení (viz obr. 3 a 4). Výstupem testu je tabulka hodnot jako uběhnutý čas od začátku testu, momentálně působící síla, dráha, kterou urazil stroj od začátku testu a tahové napětí. Hodnota, kterou jsme se nejvíce zabývali bylo tahové napětí, které přímo úměrně závisí na síle a nepřímo úměrně na obsahu počátečního průřezu vzorku.



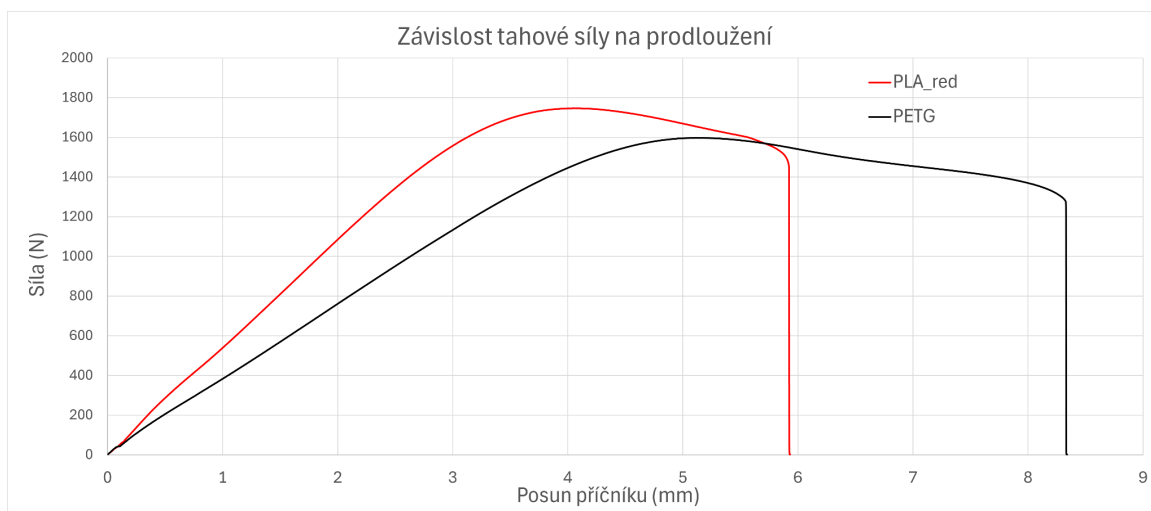
Obrázek 1: Schéma testovacího vzorku



Obrázek 2: Ukázka neporušených testovacích vzorků před testem



Obrázek 3 a 4: Testovací vzorky po dokončení testování



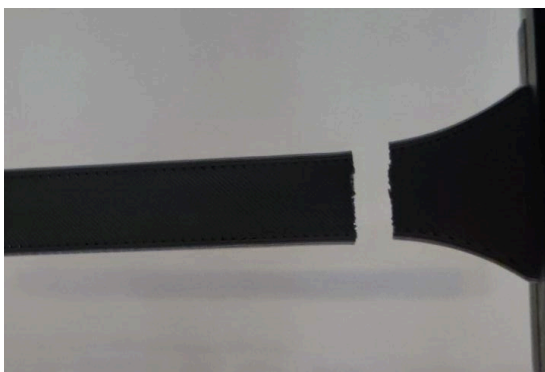
Obrázek 5: Graf zobrazuje závislost tahové síly na prodloužení vzorku u obou testovaných materiálů

Na obrázku 5 lze vidět, že působící síla se nejprve u obou materiálů zvyšuje téměř konstantní rychlostí. Dále se začne křivka vyrovnávat a následně se začne síla potřebná pro deformaci opět snižovat až do chvíle kdy vzorek podlehne napětí a dojde v něm k lomu. Z grafu je patrné, že PLA vydrží vyšší maximální zátěž než PETG, ale je méně houževnaté, podlehne tedy deformaci dříve.

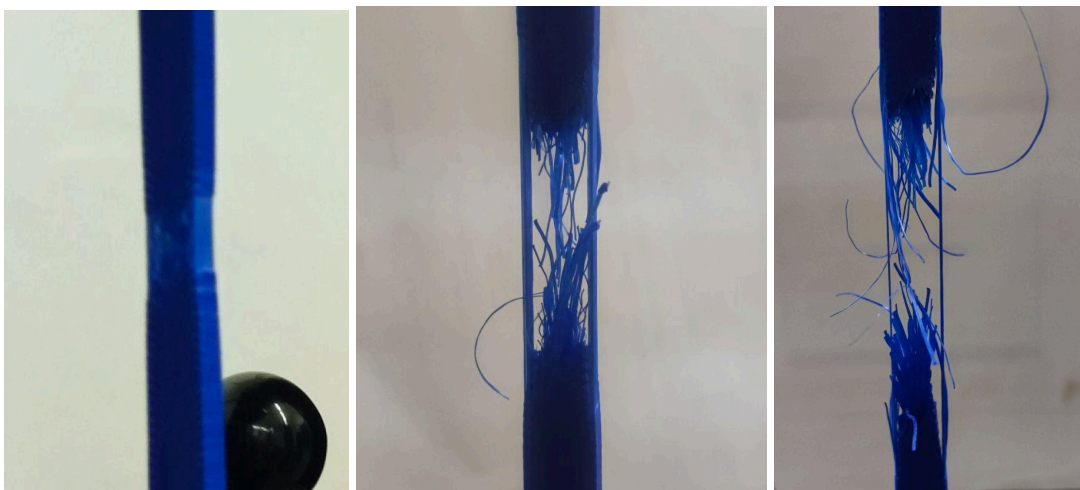
Při našem testování jsem se také setkali s nečekanými výsledky. Část našich vzorků pro PLA byla vytisknutá z filamentu Prusament PLA Blend Royal Blue. Tento materiál se při testech vykazoval chování značně odlišné od jiných vzorků PLA. Vzorky běžného PLA se vždy porušily rychle, s rovnou lomovou plochou (viz obr. 6), vzorky PLA Blend se proti tomu dělily na jednotlivá vlákna, která se trhala postupně jako například u provazů či lan. Lomová plocha je v důsledku toho dosti roztržená (viz obr. 4 a 9).

Naměřené hodnoty pevnosti materiálů PLA, PETG a i PLA Blend jsme srovnali s hodnotami poskytnutými výrobcem:

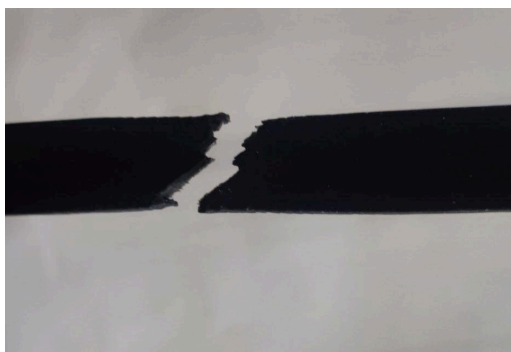
	Mez pevnosti [MPa]
PLA - prusa [3]	50,8 ± 2,4
PLA - naměřené hodnoty	46,6 ± 3,1
PETG - prusa [4]	47 ± 2
PETG - naměřené hodnoty	41 ± 1
PLA BLEND - prusa [5]	32 ± 2
PLA BLEND - naměřené hodnoty	33,8 ± 1,1



Obrázek 6: Detail lomové plochy vzorku z PLA



Obrázky 7, 8 a 9: Zachycení postupu deformace vzorků z materiálu PLA Blend



Obrázek 10: Detail lomové plochy vzorku z materiálu PETG

## 4 Závěr

Z našeho měření vychází, že reálná hodnota mezní pevnosti PLA ( $46,6 \pm 3,1$  MPa) je o 8,3% nižší než hodnota uvedená v technickém listu ( $50,8 \pm 2,4$  MPa). V případě PETG je námi naměřená hodnota ( $41 \pm 1$  MPa) o 12,8% nižší, než hodnota uvedená v technickém listu ( $47 \pm 2$  MPa). U materiálu PLA Blend jsme se u námi naměřených hodnot ( $33,8 \pm 1,1$  MPa) setkali s 5,6% zvýšením mezní pevnosti oproti hodnotám uvedeným v technickém listu ( $32 \pm 2$  MPa). Tyto rozdíly mezi hodnotami mohou být zapříčiněny jak rozdílným stářím materiálů, jiným měřicím přístrojem, či chybou v měření.

Z testů vyplývá, že PLA je materiál s vysokou pevností ale také s vysokou křehkostí. PETG má o něco nižší pevnost, ale je to materiál méně křehký a je lehce plastičtější než PLA. Pro mechanicky namáhané součásti (například ozubená kola) se tedy více hodí PETG, na lineárně namáhané součásti může být o něco lepší použití PLA.

Překvapením se pro nás stal materiál PLA Blend, který vykazoval značně odlišné chování než jsme od PLA očekávali. Lomová plocha u něj byla třepivá, nikoliv lámavá. Vykazoval nižší mezní pevnost než oba jiné testované materiály, přesto by mohl najít využití v místech, kde by byly problémem náhlé zlomy součástí a kde je více žádoucí postupné roztržení. Mohl by se tedy například používat jako náhrada lan či provazů.

## Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat Ing. Aleši Maternovi, Ph.D. za odborné vedení naší práce, zajištění zázemí a poskytnutí svých vědomostí. Dále děkujeme Ing. Ondřeji Kovářkovi, Ph.D. za asistenci při práci na odborném pracovišti a Ing. Jaroslavu Čechovi, Ph.D. za prohlídku elektronových mikroskopů a laboratoře měření tvrdosti. Poděkovat bychom chtěli také organizátorům Týdne vědy na Jaderce za možnost rozšíření svých znalostí v oblasti 3D tisku a analýzy mechanických vlastností materiálů.

## Reference

[1] EN ISO 527-2. Determination of tensile properties of plastics – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics. Brüssel: European Committee for Standardization, 1996.

[2] Prusa Tabulka Materiálů. Dostupné z: <https://help.prusa3d.com/cs/materials>

[3] Technický list Prusament PLA. Dostupné z: [https://prusament.com/wp-content/uploads/2022/10/PLA\\_Prusament\\_TDS\\_2021\\_10\\_CS.pdf](https://prusament.com/wp-content/uploads/2022/10/PLA_Prusament_TDS_2021_10_CS.pdf)

[4] Technický list Prusament PETG. Dostupné z: [https://storage.googleapis.com/prusa3d-content-prod-14e8-wordpress-prusament-prod/2023/10/095f088c-tds\\_prusament-petg\\_n\\_cs.pdf](https://storage.googleapis.com/prusa3d-content-prod-14e8-wordpress-prusament-prod/2023/10/095f088c-tds_prusament-petg_n_cs.pdf)

[5] Technický list Prusament PLA Blend. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/file/938568/prusament-pla-blend-technical-data-sheet.pdf>