



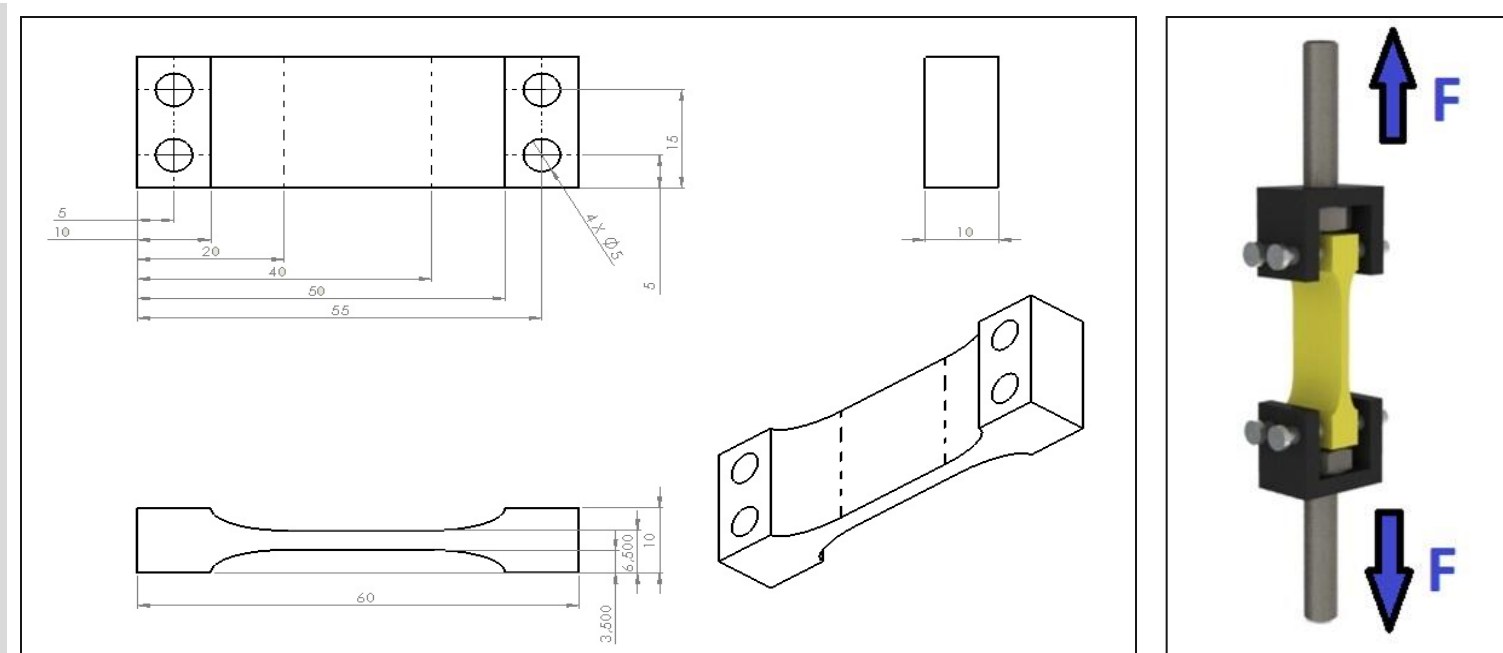
Autorzy: **Przemysław Siemiński, Marek Tomczuk**  
Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych,  
Instytut Podstaw Budowy Maszyn, <http://ipbm.simr.pw.edu.pl/>

## Badanie wytrzymałości na rozciąganie próbek wykonywanych wybranymi metodami szybkiego prototypowania (RP).

### Wprowadzenie:

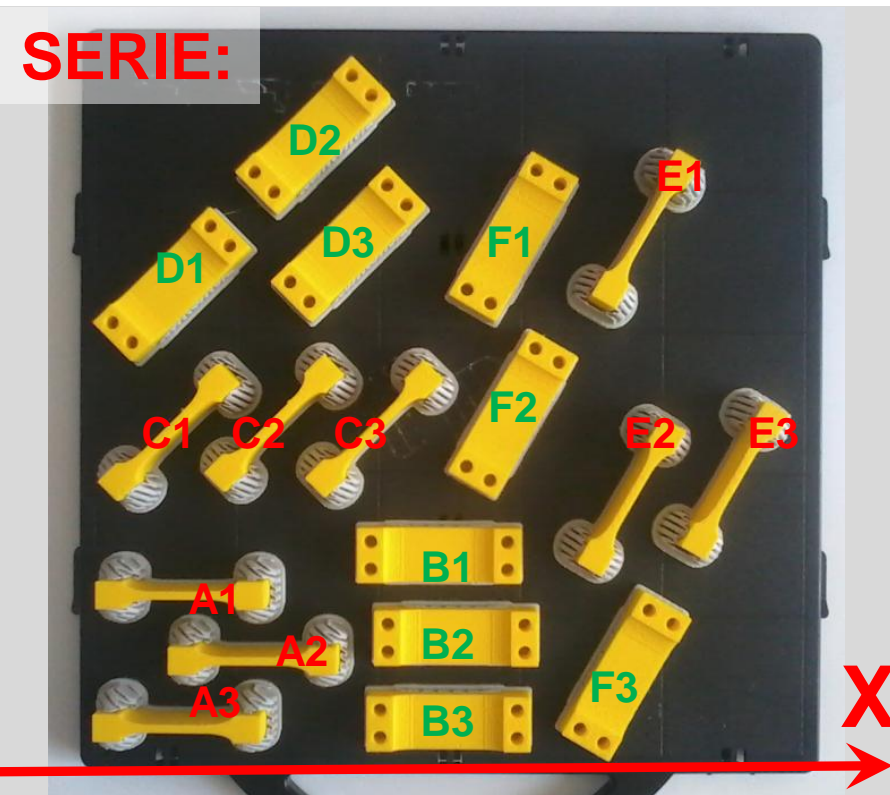
Na plakacie przedstawiono fragment prac dot. analiz wytrzymałościowych elementów wykonywanych technologiami przyrostowymi (tzw. druku 3D). Poniżej pokazano wyniki prób zrywania próbek wykonanych z różnych materiałów wybranymi metodami RP (Rapid Prototyping): metodą FDM (Fused Deposition Modeling) z czystego ABS, metodą LOM (Laminated Object Manufacturing) z folii PCV, metodą PJM (PolyJet Modeling) z żywicy akrylowej oraz metodą 3DP (3D Printing) z proszku na bazie gipsu infiltrowanego żywicą epoksydową. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej G.U.N.T. WP 300 będącej na wyposażeniu SiMR PW. Na rys. obok po prawej zamieszczono wymiary badanych próbek. W dalszych etapach pracy planuje się przebadać bardziej wytrzymałe materiały stosowane w FDM (ABS+, Ultem, PC, PC/ABS, PPSF) oraz używane w metodzie SLS czyste proszki poliamidowe i wzmacniane włóknem szklanym lub węglowym.

**Cel pracy:** Ustalenie zasad projektowania i wytwarzania elementów produkowanych metodami RP.



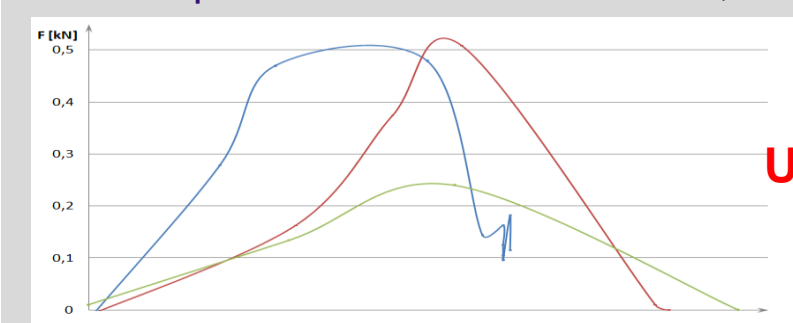
### Metoda FDM

Wykonano szereg próbek z czystego tworzywa termoplastycznego ABS na maszynie Dimension Printing 3D 1200 BST firmy Stratasys. Zastosowano wypełnienie „pełne”, a grubość warstw ustawiono na 0,254 mm. Próbkę drukowano w 6 różnych ustawieniach (po 3 lub 6 w zestawach), aby sprawdzić wpływ ustawienia warstw oraz wpływ kierunku ułożenia włókien wewnątrz próbki na jej wytrzymałość na rozciąganie. Poniżej na wykresach widoczne są przebiegi siły rozciągającej w funkcji wydłużenia oraz na rys. miejsca rozerwania jednej z próbek.



### Wykonano następujące serie:

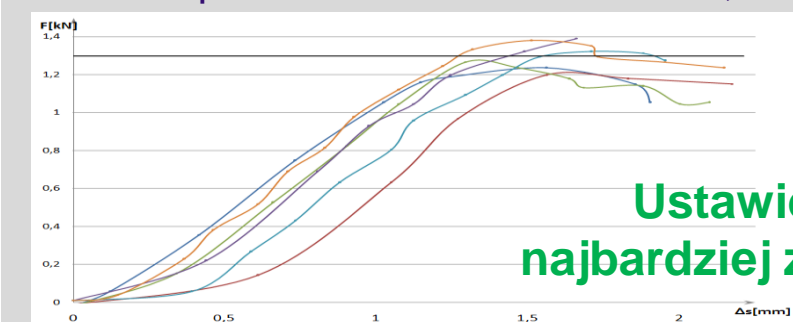
Seria A - próbki ułożone wzdłuż osi X, bokiem (średnia siła rozrywająca 0,4 kN):



**Ustawienie nie zalecane.**



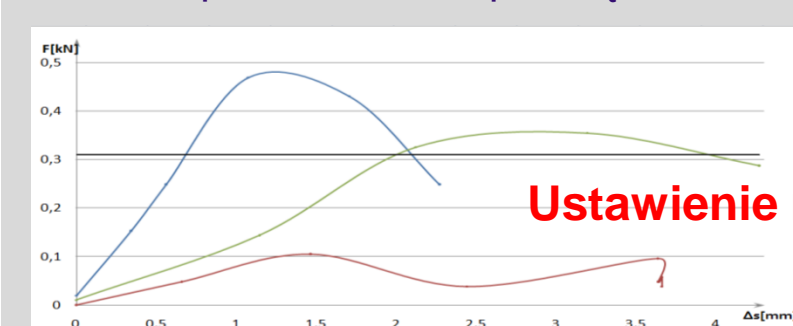
Seria B - próbki ułożone wzdłuż osi X, na płasko (średnia siła rozrywająca 1,3 kN):



**Ustawienie najbardziej zalecane.**



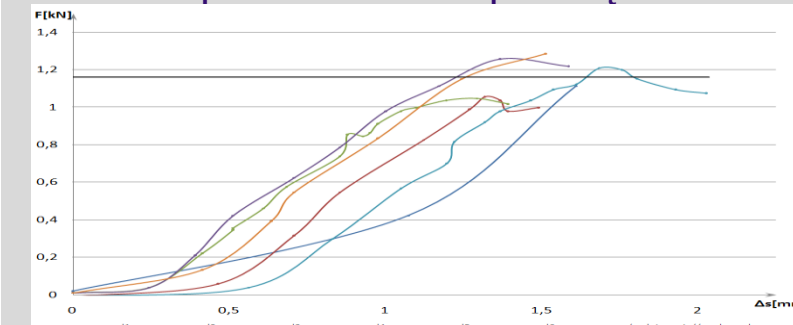
Seria C - próbki ułożone pod kątem 45° do osi X, bokiem (średnia siła rozrywająca 0,31 kN):



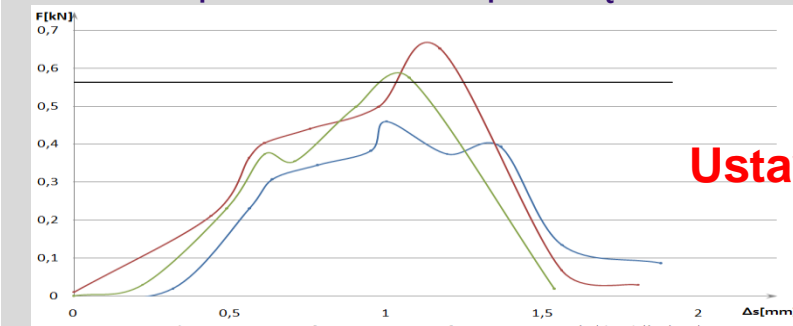
**Ustawienie nie zalecane.**



Seria D - próbki ułożone pod kątem 45° do osi X, na płasko (średnia siła rozrywająca 1,16 kN):



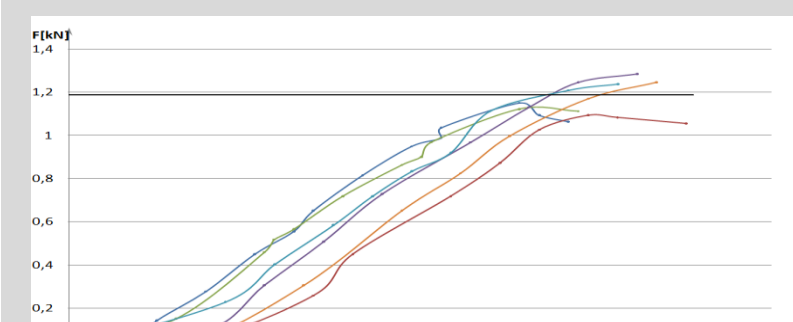
Seria E - próbki ułożone pod kątem 60° do osi X, bokiem (średnia siła rozrywająca 0,56 kN):



**Ustawienie nie zalecane.**



Seria F - próbki ułożone pod kątem 60° do osi X, na płasko (średnia siła rozrywająca 1,19 kN):

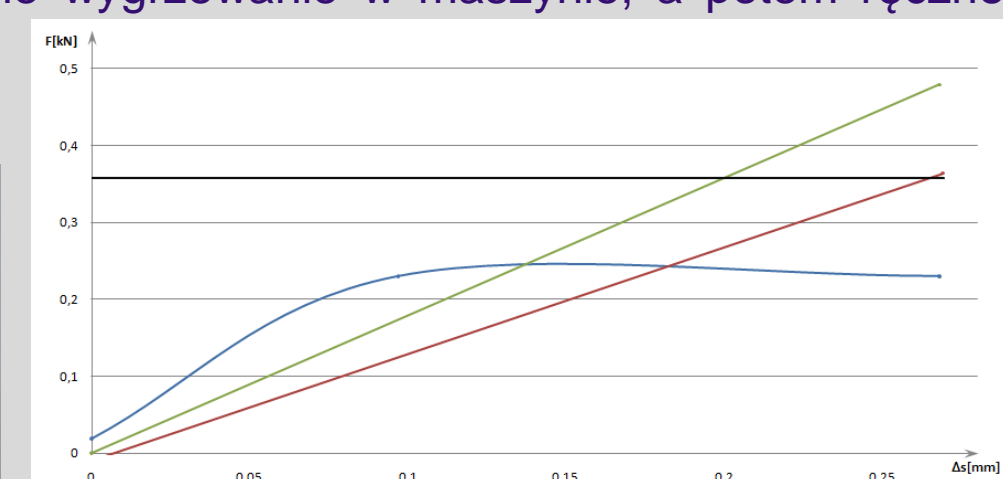


### Wyniki:

Próbki ułożone podczas druku na dłuższym boku, pionowo (serie A, C, E) pękały w obrębie otworu mocującego (był wrywany materiał), a przewężenie próbki pozostawało nienaruszone. Z tego względu wykonano tylko próby na 3 detalach, a dalsze badania będą zrobione z próbkami z przeprojektowanymi uchwytami. W seriach B, D, F rozerwanie następowało na przewężeniu (przebadano 6 zestawów). Widoczny był wpływ układu włókien wypełniających na jej wytrzymałość i wygląd przelomu. W próbkach, w których włókna ułożone były pod kątem 45° do kierunku działania siły, wszystkie one zostały rozerwane. W pozostałych dwóch przypadkach rozerwana została tylko część włókien, a połączone z nimi włókna poprzeczne zostały jedynie rozwarstwione. Z tego względu planuje się przebadać materiał ABS+, który ma dodatek powodujący znaczne polepszenie spoiwości warstw, a więc większą wytrzymałość próbki na rozciąganie niż próbki z czystego ABS.

### Metoda 3DP

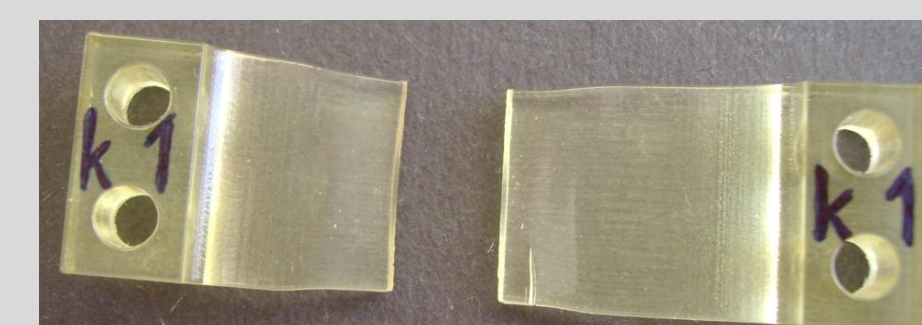
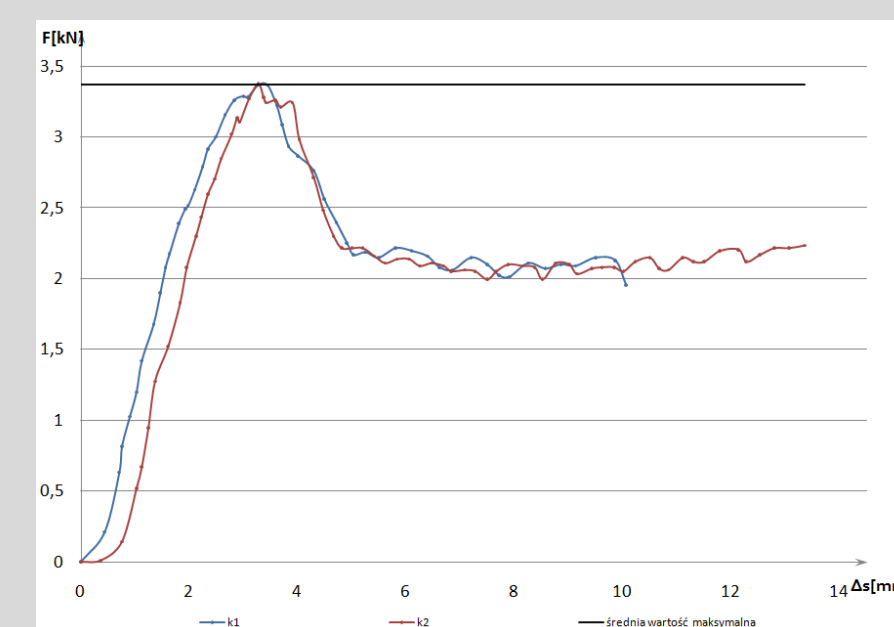
Dzięki pomocy Wydz. Wzornictwa ASP w Warszawie próbki wykonano na maszynie Spectrum Z-510 wyprodukowanej przez firmę Z-Corporation. Do budowy próbek zastosowano proszek na bazie gipsu ZP150, który łączony był standardowym, bezbarwnym lepiszczem ZB60. Grubość budowanej warstwy ustalono na 0,089 mm. Po wydruku zastosowano kilkugodzinne wygrzewanie w maszynie, a potem ręczne infiltrowanie żywicą epoksydową.



Próbki wykonano na płasko (poziomo), wzdłuż osi X. Podczas badania siły rozrywania na maszynie wytrzymałościowej, materiał zachowywał się jak ciała kruche, bez odkształcenia plastycznego. Przy relatywnie niewielkiej sile rozciągającej następowało kruche pękanie przy niezauważalnym małym odkształceniu. W wyniku pomiarów określono, że średnia siła rozrywająca równa była 0,36 kN.

### Metoda PolyJet

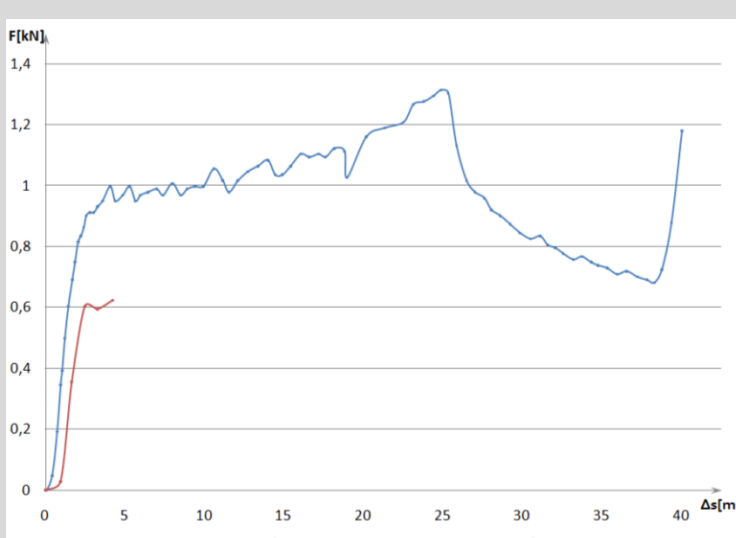
Próbki wykonano na Wydz. Wzornictwa ASP w Warszawie na maszynie Eden 250 firmy Objet. Do ich wykonania użyto fotopolimeru (żywicy akrylowej) utwardzanego światłem lampy UV. Ustawiono grubość warstwy na 0,016 mm. Próbkę ustawiono wzdłuż osi X, na płasko (poziomo). Z uwagi na wysokie koszty, wydrukowane zostały tylko dwie próbki, przy czym różnice w wynikach ich prób były nieznaczne. Średnia siła rozrywająca równa była 3,37 kN, co daje prawie trzykrotnie lepszą wartość względem próbek z czystego ABS produkowanych metodą FDM (wg danych opisanych obok).



W próbach nie analizowano wpływu temperatury na ich wytrzymałość. W przypadku żywicy akrylowych wzrost temperatury powoduje mięknięcie materiału i ich płynięcie.

### Metoda LOM

Dzięki uprzejmości firmy 3D Master z Warszawy wykonano szereg próbek z miodowej folii PCV (o grubości 0,168 mm) na maszynie Solido SD/300Pro. Próbkę ułożono wzdłuż osi X (prostopadle do rozwijanej z bębna folii) w dwóch ustawieniach – poziomo (na płasko) i pionowo na dłuższym boku.



Ustawienie pionowe (patrz rys. poniżej z oznaczeniem „m2”) spowodowało osłabienie otworów mocujących próbkę w maszynie wytrzymałościowej. Kawalek materiału został wyrwany z otworu mocującego, natomiast przewężenie próbki pozostawało nienaruszone (siła rozryw. wyniosła 0,6 kN). W przypadku ustawienia próbki na płasko (rys. z ozn. „m1”), próba była poprawna – w momencie zerwania wydłużenie było na poziomie 100% wydłużenia przed zerwaniem. Średnia siła rozrywająca wyniosła 1,313 kN.



Wyniki badań w postaci średniej sił krytycznych zostały przedstawione w tabeli poniżej (dane dla najlepszego ustawienia, co opisano wcześniej):

| Nazwa metody RP:     | 3DP (proszek gipsowy impregnowany żywicą epoksydową) | LOM (folia PCV) | FDM (czysty ABS) | PolyJet (żywica akrylowa) |
|----------------------|--|-----------------|------------------|---------------------------|
| F <sub>kr</sub> [kN] | 0,357  | 1,313           | 1,216            | 3,37                      |

### Podsumowanie:

Na obecnym etapie badań zaobserwowano, że żywica akrylowa stosowana w metodzie PolyJet jest zdecydowanie wytrzymałsza od czystego ABS w FDM. W metodach FDM i LOM ustawienie wytwarzanego elementu w przestrzeni roboczej drukarki ma bardzo duży wpływ na jego wytrzymałość na rozciąganie. W przypadku wszystkich zaprezentowanych metod RP zaobserwowano, że na wytrzymałość próbek na rozciąganie ma wpływ jednorodność ich struktury wewnętrznej. Wymagane jest przeprowadzenie prób z innymi materiałami w metodzie FDM, oraz przebadanie metody SLS z proszkiem poliamidowym.