

BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE PRÓBEK Z TWORZYWA ABS DRUKOWANYCH W TECHNOLOGII FDM

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek z tworzywa sztucznego ABS M-30, wydrukowanych na drukarce przestrzennej firmy Makerbot Replicator 2X. Charakterystyki procesu ściskania wykonano przy uwzględnieniu różnego stopnia wypełnienia oraz różnej liczby obrysów - konturów. Wyniki badań stanowią cenną wskazówkę dla projektantów i specjalistów z branży rapid prototyping.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ściskanie, technologia FDM, 3D drukowanie, rapid prototyping, modelowanie 3D

Wprowadzenie

W procesach wytwarzania modeli funkcjonalnych elementów technicznych w budowie maszyn metodą *rapid prototyping* w technologii FDM, istotnym parametrem oprócz wytrzymałości na rozciąganie [4, 5], wydłużenia, twardości i udarności jest wytrzymałość na ściskanie.

Wytrzymałość modeli wytwarzanych metodą FDM zależy od przyjętych parametrów druku i właściwości użytego tworzywa sztucznego [2]. Dostępna jest duża liczba ustawień drukowania. Jednym z głównych parametrów jest liczba wskazująca na procent wypełnienia oraz liczba konturów drukowanego modelu 3D, które mają wpływ na wytrzymałość wydrukowanych próbek i sposób ich deformacji po obciążeniu podczas ściskania.

W przypadku korzystania z drukarki *Makerbot Replicator 2X* i jej firmowego oprogramowania jedynym rodzajem wypełnienia jest siatka heksagonalna, o różnym zagęszczeniu i wielkości pustych przestrzeni, które możemy programowo zmieniać.

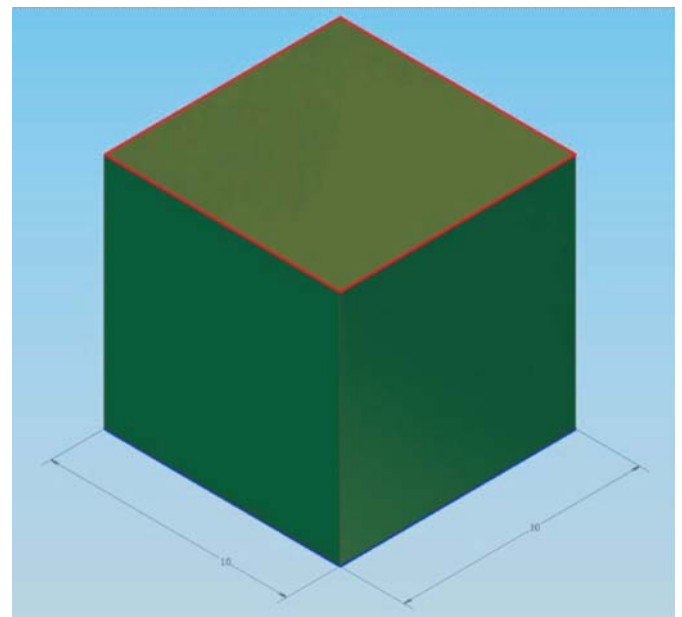
Zmiana liczby konturów (obrysów) jest również bardzo ważna, bowiem decyduje nie tylko o jakości warstwy powierzchniowej drukowanego modelu, ale także o parametrach wytrzymałościowych i możliwej propagacji mikropęknięć. Jest to szczególnie ważne w przypadku dużych objętościowo modeli funkcjonalnych, które zamierza się montować w prototypie urządzenia i maszyny.

Badania wytrzymałości na ściskanie wykonano w Laboratorium Zespołu Badań Materiałów Konstrukcyjnych Maszyn Rolniczych w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych, używając próbek z tworzywa sztucznego ABS plus M-30 [2], wydrukowanych na drukarce *Makerbot Replicator 2X*.

Przygotowanie próbek do druku i wydruk na drukarce *Makerbot Replicator 2X*

Jako reprezentatywny model do badań wybrano sześcian o boku 10 mm, który zaprojektowano w programie *Autodesk Inventor* i zapisano w formacie pliku STL, z wysoką rozdzielczością.

Na rys. 1 pokazano model bryłowy próbki do badań wytrzymałości na ściskanie o wymiarach 10x10x10 mm.



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 1. Model bryłowy próbki do badań wytrzymałości na ściskanie

Fig. 1. Sample solid model for compression strength test

Przyjęto następujące stałe parametry druku 3D na drukarce *Makerbot Replicator 2X*:

- wysokość warstwy 0,2 mm,
- temperatura ekstrudera 230°C,
- temperatura stołu roboczego 110°C,
- prędkość ruchu głowicy 80 mm/s,
- wypełnienie typu heksagonalnego (10-75%) oraz liniowe (100%),
- druk bez podstawy (*no raft*).

Zmienne parametry druku 3D zestawiono w tab. 1.

Do druku 3D próbek wykorzystano materiał ABS produkcji *Makerbot*, w formie żyłki o średnicy 1,75 mm, w kolorze zielonym (*true green*).

Na rys. 2. pokazano wydrukowane na drukarce *Makerbot Replicator 2X* próbki z tworzywa sztucznego ABS.

Na rys. 3. pokazano widok różnych stopni wypełnienia heksagonalnego próbek od 10 do 75% oraz liniowe wypełnienie 100%.

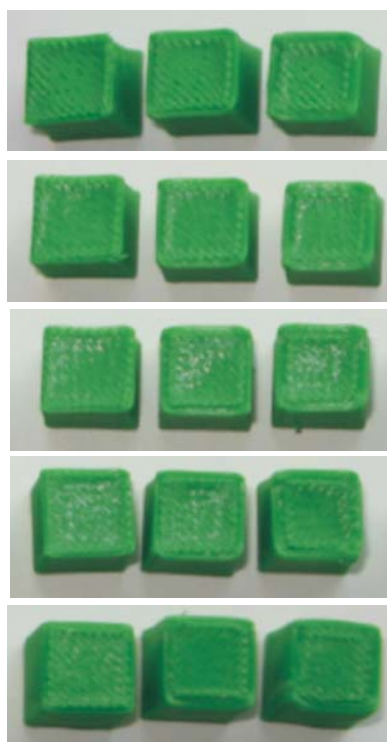
Tab. 1. Zmienne parametry druku 3D oraz masa teoretyczna i rzeczywista próbek

Table 1. 3D printing variable parameters; theoretical and real samples mass

Nr próbki	Wypełnienie	Kontur	Masa próbki wg programu Makerbot Desktop	Masa rzeczywista zważona przy użyciu wagi Radwag	Błąd pomiaru masy próbki*
	[%]		[liczba]	[g]	[g]
1.	10	1	0,54	0,415	23,1%
2.	10	2	0,68	0,515	24,3%
3.	10	3	0,81	0,636	21,5%
4.	25	1	0,65	0,500	23,1%
5.	25	2	0,76	0,581	23,6%
6.	25	3	0,87	0,651	25,2%
7.	50	1	0,82	0,609	25,7%
8.	50	2	0,89	0,675	24,2%
9.	50	3	0,97	0,761	21,5%
10.	75	1	0,92	0,684	25,7%
11.	75	2	1,01	0,757	25,0%
12.	75	3	1,05	0,793	24,5%
13.	100	1	1,32	1,010	23,5%
14.	100	2	1,32	1,000	24,2%
15.	100	3	1,32	1,014	23,2%

*błąd średni = 23,9 % (średnia arytmetyczna)

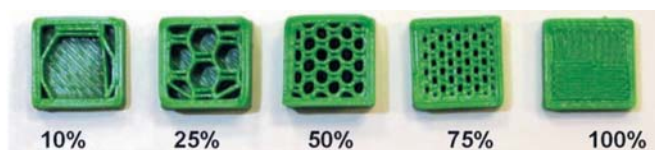
Źródło: opracowanie własne/ Source: own work



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 2. Próbki z ABS wykonane w technologii FDM do badań wytrzymałości na ściskanie

Fig. 2. ABS samples made in FDM technology for compression strength test



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

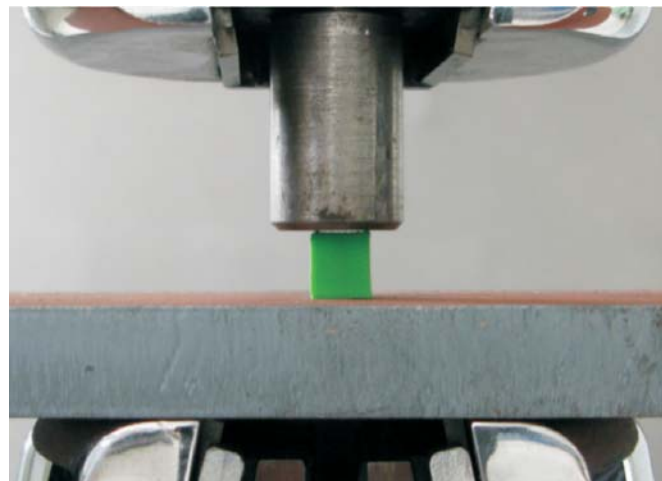
Rys. 3. Widok struktury wewnętrznej próbek o różnym stopniu wypełnienia heksagonalnego (10-75%) i liniowego 100%, (liczba konturów = 2)

Fig. 3. Sample's internal structure, different hexagonal fulfillment level (10-75%) and linear 100% fulfillment level (contour no. = 2)

Procedura badawcza

Do badania statycznej próby ściskania wykorzystano maszynę wytrzymałościową HUNG-TA model HT-2402. Podczas badania próbka w formie sześciianu była swobodnie ułożona na płycie stalowej znajdującej się na dolnym uchwycie maszyny wytrzymałościowej i ściskana stalowym trzpieniem (wałkiem o średnicy 22 mm). Do badania statycznej próby ściskania przyjęto następujące stałe parametry procesu:

- prędkość przemieszczania belki - prędkość ściskania: $5,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
- założone ugięcie (stała wartość docelowa): 5,0 mm,
- siła nacisku wstępnego: $<10 \text{ N}$.



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 4. Widok próbki ułożonej na maszynie wytrzymałościowej przed obciążeniem

Fig. 4. Test sample on testing machine before loading

Podczas prowadzanego badania próbka była ściskana wzdłuż głównej osi pionowej, z zastosowaniem stałej prędkości odkształcania do momentu osiągnięcia zdefiniowanej zmiany długości próbki. Podczas procesu ściskania rejestrowana była wartość obciążenia przeniesionego przez próbkę.

Badania zostały przeprowadzone na próbkach o tych samych wymiarach, wykonanych według tego samego modelu CAD 3D, w temperaturze otoczenia $20 \pm 2^\circ \text{C}$, w warunkach obciążenia statycznego zgodnie z Polską Normą PN-EN ISO 604:2006 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości przy ściskaniu [1].

Wyniki badań

Widok jednej z próbek w końcowej fazie procesu ściskania pokazano na rys. 5.

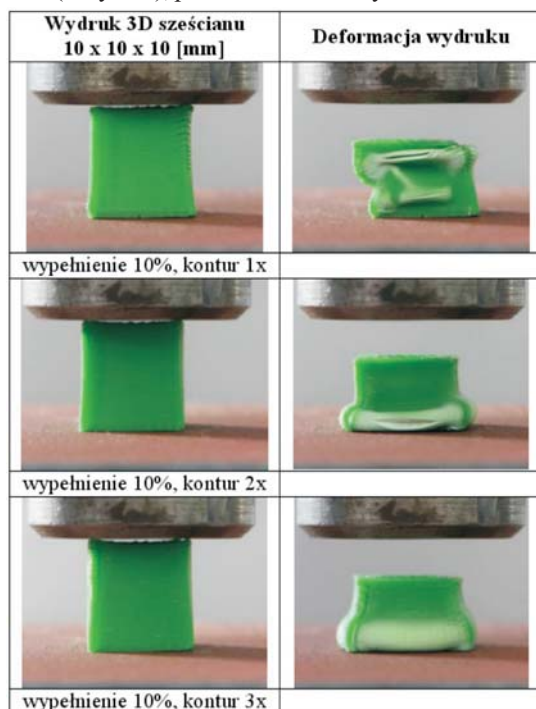


Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 5. Widok próbki ułożonej na maszynie wytrzymałościowej po wykonaniu próby ściskania

Fig. 5. Test sample on testing machine after compression

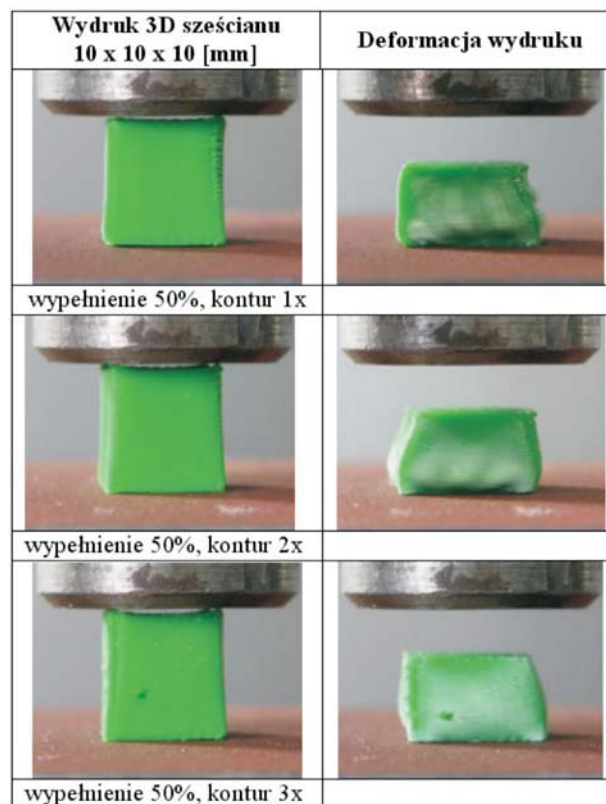
Widok stopnia deformacji próbek w zależności od przyłożonej siły [N], przy uwzględnieniu stopnia wypełnienia i liczby konturów (obrysów), przedstawiono na rys. 6-10.



Źródło: opracowanie własne/Source: own work

Rys. 6. Widok stopnia deformacji próbek po statycznym ścisnieniu, przy uwzględnieniu 10% wypełnienia i liczby konturów (1-3)

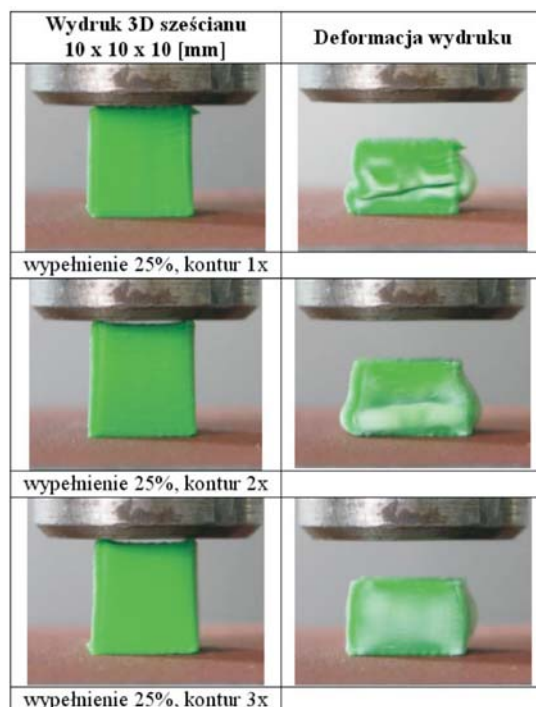
Fig. 6. Sample's degree of deformation after compression strength test, for 10% sample's fulfillment level and contour no. 1-3



Źródło: opracowanie własne/Source: own work

Rys. 8. Widok stopnia deformacji próbek po statycznym ścisnieniu, przy uwzględnieniu 50% wypełnienia i liczby konturów (1-3)

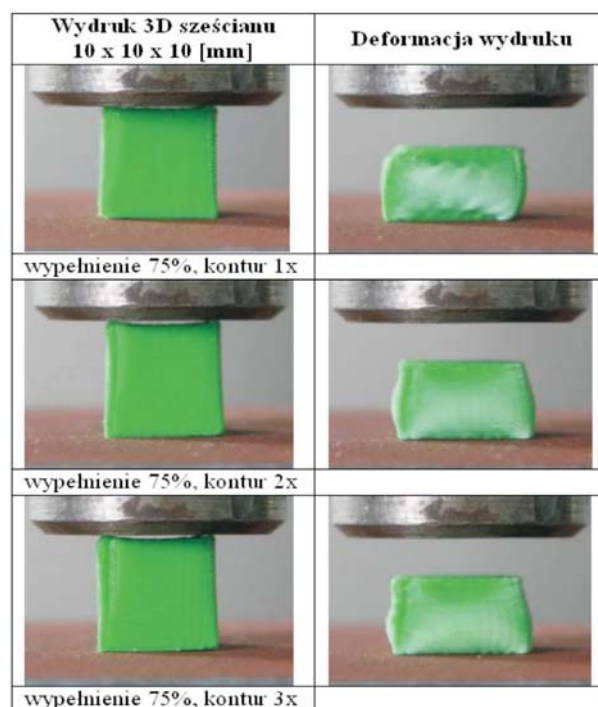
Fig. 8. Sample's degree of deformation after compression strength test, for 50% sample's fulfillment level and contour no. 1-3



Źródło: opracowanie własne/Source: own work

Rys. 7. Widok stopnia deformacji próbek po statycznym ścisnieniu, przy uwzględnieniu 25% wypełnienia i liczby konturów (1-3)

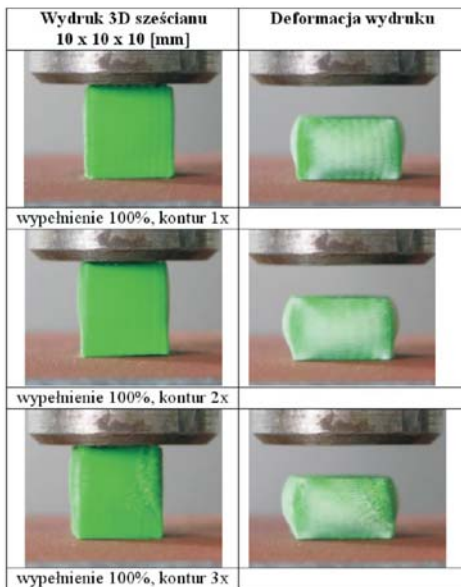
Fig. 7. Sample's degree of deformation after compression strength test, for 20% sample's fulfillment level and contour no. 1-3



Źródło: opracowanie własne/Source: own work

Rys. 9. Widok stopnia deformacji próbek po statycznym ścisnieniu, przy uwzględnieniu 75% wypełnienia i liczby konturów (1-3)

Fig. 9. Sample's degree of deformation after compression strength test, for 75% sample's fulfillment level and contour no. 1-3

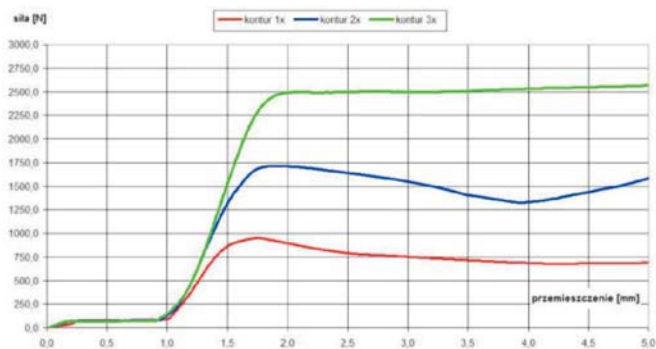


Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 10. Widok stopnia deformacji próbek po statycznym ściskaniu, przy uwzględnieniu 100% wypełnienia i liczby konturów (1-3)

Fig. 10. Sample's degree of deformation after compression strength test, for 100% sample's fulfillment level and contour no. 1-3

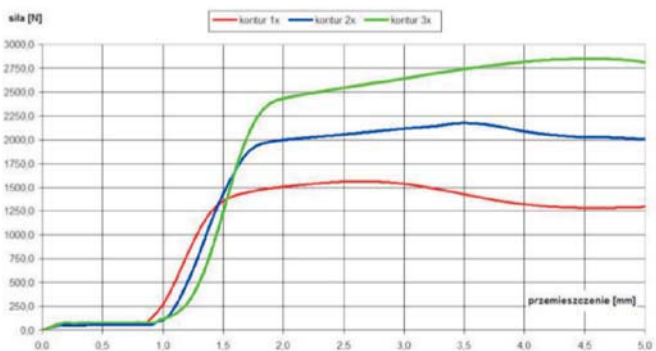
Na rys. 11-15 pokazano wykresy obrazujące przebieg siły ściskającej próbki w funkcji przemieszczenia w zależności od stopnia wypełnienia.



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 11. Wykres siły w funkcji przemieszczenia w statycznej próbie ściskania modeli z wypełnieniem 10%

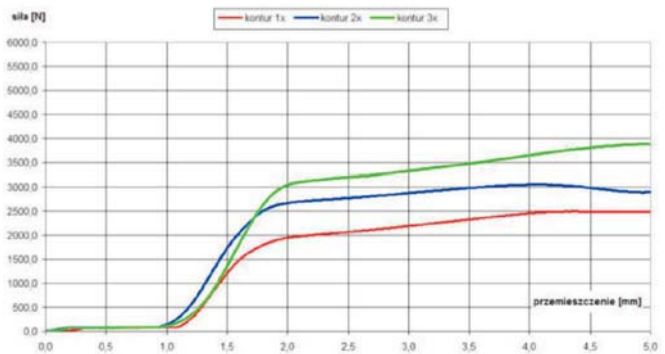
Fig. 11. Graph of force versus displacement in the static compression test of model with 10% fulfillment level



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 12. Wykres siły w funkcji przemieszczenia w statycznej próbie ściskania modeli z wypełnieniem 25%

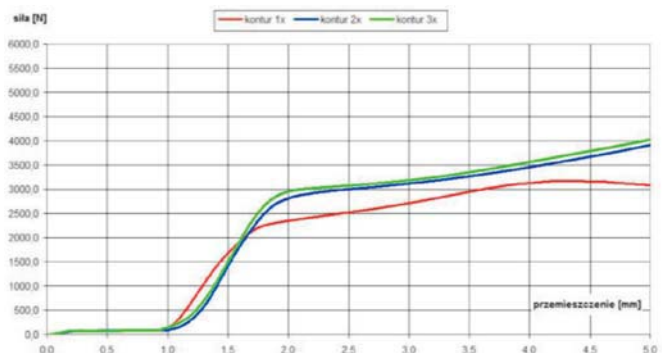
Fig. 12. Graph of force versus displacement in the static compression test of model with 25% fulfillment level



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 13. Wykres siły w funkcji przemieszczenia w statycznej próbie ściskania modeli z wypełnieniem 50%

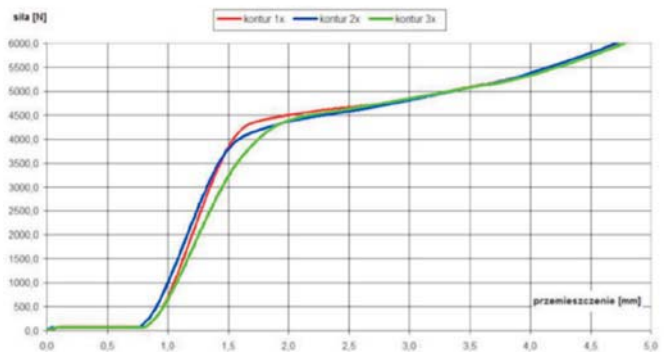
Fig. 13. Graph of force versus displacement in the static compression test of model with 50% fulfillment level



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 14. Wykres siły w funkcji przemieszczenia w statycznej próbie ściskania modeli z wypełnieniem 75%

Fig. 14. Graph of force versus displacement in the static compression test of model with 75% fulfillment level



Źródło: opracowanie własne/ Source: own work

Rys. 15. Wykres siły w funkcji przemieszczenia w statycznej próbie ściskania modeli z wypełnieniem 100%

Fig. 15. Graph of force versus displacement in the static compression test of model with 100% fulfillment level

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań statycznego ściskania próbek z tworzywa sztucznego ABS, wykonanych metodą *Rapid Prototyping* w technologii FDM, stwierdzono że:

- wydruk próbek przy założonych parametrach druku nie pozwolił na osiągnięcie jednakowej powtarzalności odwzorowania kształtu próbek. Wystąpił niejednakowy skurcz materiału podczas druku,
- zdefiniowana przez program *Makerbot Desktop* masa próbki różniła się od rzeczywistej wartości o średnio 23,9%,

- uzyskano bardzo szerokie spektrum wartości siły ściskającej w zależności od liczby konturów (obrysów) i stopnia wypełnienia od 10% do 100%:
 - dla stopnia wypełnienia modeli wynoszącego 10% otrzymano duże zróżnicowanie maksymalnej siły ściskającej w zależności od liczby konturów 1 do 3. Wartość siły ściskającej dla sześcianu z jednym konturem i wypełnieniem 10% wynosiła 970 N i była 2,5-razy mniejsza niż dla sześcianu z potrójnym konturem (siła 2500 N). Charakterystykę procesu ściskania przedstawiono na rys. 11,
 - dla stopnia wypełnienia modeli wynoszącego 25% otrzymano zróżnicowanie maksymalnej siły ściskającej w zależności od liczby konturów 1 do 3. Wartość siły ściskającej dla sześcianu z jednym konturem i wypełnieniem 25% wynosiła 1600 N i była 1,75-razy mniejsza niż dla sześcianu z potrójnym konturem (siła 2800 N). Charakterystykę procesu ściskania przedstawiono na rys. 12,
 - dla stopnia wypełnienia modeli wynoszącego 50% otrzymano zróżnicowanie maksymalnej siły ściskającej w zależności od liczby konturów 1 do 3. Wartość siły ściskającej dla sześcianu z jednym konturem i wypełnieniem 50% wynosiła 2500 N i była 1,5-razy mniejsza niż dla sześcianu z potrójnym konturem (siła 3800 N). Charakterystykę procesu ściskania przedstawiono na rys. 13,
 - dla stopnia wypełnienia modeli wynoszącego 75% otrzymano zróżnicowanie maksymalnej siły ściskającej w zależności od liczby konturów 1 do 3. Wartość siły ściskającej dla sześcianu z jednym konturem i wypełnieniem 75% wynosiła 3150 N i była 1,25-razy mniejsza niż dla sześcianu z potrójnym konturem (siła 4000 N). Charakterystykę procesu ściskania przedstawiono na rys.14. Zaobserwowano zmniejszenie się wpływu liczby konturów (obrysów) na wartość maksymalnej siły ściskającej.

- dla stopnia wypełnienia (liniowego) modeli wynoszącego 100% otrzymano bardzo małe zróżnicowanie maksymalnej siły ściskającej w zależności od liczby konturów 1 do 3. Wartość maksymalnej siły ściskającej dla sześcianu nie-zależnie od liczby konturów wynosiła 6000 N. Charakterystykę procesu ściskania przedstawiono na rys. 15. Zaobserwowano zanik wpływu liczby konturów (obrysów) na wartość maksymalnej siły ściskającej. Pod względem jakości odwzorowania kształtu najgorszy był wydruk z użyciem trzech konturów z uwagi na wystąpienie baryłkowatości drukowanego modelu - na skutek przegrzania podczas druku;
 - optymalny dobór parametrów druku jest konieczny i istotny z punktu widzenia wytrzymałości i funkcjonalności danego modelu. Dobór tych parametrów musi być dokonany przez projektanta modelu, gdyż tylko on zna jego funkcję i przeznaczenie. Zagadnienie to jest również szczególnie istotne w przypadku klejenia modeli, co zostało opisane w pracy [3].

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 604:2006 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości przy ściskaniu.
- [2] Żuchowska D.: Polimery konstrukcyjne. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2000.
- [3] Gościński M., Ciechacki R., Dudziak B.: Technologiczne uwarunkowania procesu klejenia elementów z terpolimeru ABS w aspekcie wykonywania modeli metodą FDM. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2012, Vol. 57 (1), 47-50.
- [4] <http://swiatdruku3d.pl/wplyw-wypelnienia-i-wysokosci-warstwy-na-jakosc-drukowanego-modelu/>.
- [5] <http://my3dmatter.com/influence-infill-layer-height-pattern/#more-95>.

COMPRESSION STRENGTH TESTS OF ABS SAMPLES PRINTED IN FDM TECHNOLOGY

Summary

Results of compression strength test of plastic ABS M-30 samples, printed on the 3D printer Makerbot Replicator 2X have been presented in the paper. The characteristics of compression process were performed taking into account various degrees of filling and different number of contours. The results of the study are valuable clue for designers and industry professionals dealing with rapid prototyping.

Key words: compression strength test, FDM technology, 3D printing, rapid prototyping, 3D modeling



KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH

ISBN 978-83-927505-2-9

Książka adresowana jest przede wszystkim do prywatnych przedsiębiorców Leśnych, Służb Leśnych i pracowników technicznych w Nadleśnictwach, Dyrekcjach Regionalnych oraz Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych i ma na celu przedstawienie sposobu wyliczenia kosztów usług maszynowych wykonywanych w lasach.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Staroleśka 31
tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>