

# Badania wstępne możliwości zastosowania regranulatu polipropylenowego w mieszankach cementowych przeznaczonych do druku 3D



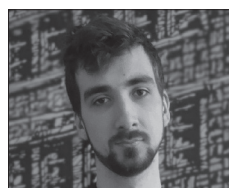
dr inż.  
**SZYMON SKIBICKI**  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
**ORCID: 0000-0002-2918-7759**



**ALICJA ŻYGADŁO**  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
**ORCID: 0009-0001-9198-3094**



inż.  
**MONIKA GŁOWACKA**  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
**ORCID: 0009-0009-9073-5724**



**DARIUSZ GÓRNOSTAJ**  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
**ORCID: 0009-0009-0673-3030**

W artykule przedstawiono sposób wykorzystania kruszywa recyklingowego w postaci regranulatu PP w mieszance przeznaczonej do druku 3D. Autorzy zbadali kluczowe właściwości mechaniczne i trwałościowe zmodyfikowanej mieszanki, a następnie wydrukowali nadproże łukowe, co potwierdziło przydatność nowego materiału do technologii druku 3D.

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój technologii druku 3D kompozytów cementowych [1–5]. Prowadzone są szerokie badania w zakresie kompozytów na spoiwie cementowym w zakresie materiałowym oraz technologicznym [6]. Stosowane do druku 3D mieszanki cementowe zawierają dużą ilość spoiwa oraz dobrej jakości kruszywa drobnego [7, 8]. Ten stan rzeczy wpływa negatywnie na środowisko (z powodu dużej ilości cementu w mieszankach) oraz przyczynia się do ograniczenia zasobów naturalnych (m.in. ze względu na kruszywo). Obecne tendencje naukowe dążą do ograniczenia emisji dwutlenku węgla oraz ograniczenia wydobycia zasobów naturalnych. Jednym z rozwiązań problemu zużycia zasobów naturalnych jest zastosowanie w kompozytach do druku 3D kruszyw z recyklingu [7], w tym z tworzyw sztucznych [9].

W pracach badawczych opisanych w artykule przeanalizowano możliwość wykorzystania kruszywa recyklingowego w postaci regranulatu polipropylenowego (PP) w mieszance przeznaczonej do druku 3D. Autorzy zbadali kluczowe właściwości mechaniczne dla mieszanek referencyjnych i zmodyfikowanej wyżej wymienionym kruszywem. Następnie wydrukowano nadproże łukowe, co potwierdziło przydatność nowego materiału

do stosowania w technologii druku 3D kompozytów cementowych.

## Metodyka badawcza

W ramach prac badawczych opisanych w artykule skupiono się na analizie właściwości mechanicznych i trwałościowych kompozytów na spoiwie cementowym przeznaczonych do druku 3D. W pracy jako mieszankę bazową wykorzystano mieszankę oznaczoną jako PPO, która jest znaną mieszanką dostosowaną do druku 3D [8]. Wskazaną mieszankę zmodyfikowano za pomocą dodatku kruszywa w postaci regranulatu polipropylenowego (PP) (gęstość 0,92 g/cm<sup>3</sup>, temperatura topnienia (ang. melting point) 230°C). W badaniach zastosowano mieszanki o trzech stopniach zastąpienia kruszywa naturalnego za pomocą regranulatu PP (10%, 30% oraz 50%). Ze względu na różnice gęstości kruszywa naturalnego (2,65 g/cm<sup>3</sup>) oraz regranulatu PP zmianę kruszywa wykonano objętościowo. Wszystkie mieszanki miały stały stosunek wody do spoiwa, który wynosił 0,30. Gęstości stwardniałego materiału mieszanek PPO, PP10, PP30 oraz PP50 wynosiły odpowiednio 2341,69 kg/m<sup>3</sup>, 2249,22 kg/m<sup>3</sup>, 2062,36 kg/m<sup>3</sup> oraz 1874,77 kg/m<sup>3</sup>.

Szczegółowe składy mieszanek przedstawiono w tab. 1. Ze względu na znaczącą

Tab. 1. Skład mieszanek wykorzystanych do badań

Mieszanka	Kruszywo w postaci regranulatu PP	Kruszywo naturalne	Cement CEM I 42,5R	Popiół lotny	Pył krzemionkowy	Superplastyfikator*
	[% objętościowo]	[% objętościowo]	[kg / m <sup>3</sup> ]	[kg / m <sup>3</sup> ]	[kg / m <sup>3</sup> ]	[kg / m <sup>3</sup> ]
PP0	0	100	490	140	70	2,15
PP10	10	90				1,5 ÷ 2,15 (1,5)
PP30	30	70				1,25 ÷ 2,15 (1,25)
PP50	50	50				2,15 ÷ 1,00 (1,00)

\* ilość superplastyfikatora została iteracyjnie dobrana w celu osiągnięcia założonych wymagań reologicznych, wartość podana w nawiasie oznacza wartość przyjętą ostatecznie do badań.

różnicę w wodozgodności kruszywa naturalnego oraz regranulatu PP przeprowadzono optymalizację ilości potrzebnego superplastyfikatora na podstawie badania na stoliku rozptyłu wg normy PN-EN 1015-3 [10] po 15 minutach od dolania wody do suchych składników. Podobną procedurę zastosowano dla oceny kompozytów cementowych w pracach [11–13]. Ponadto najnowsze prace zespołu Khayat et al. [14] wykazały, że badania na stoliku rozptyłu mogą być zbieżne z innymi badaniami reologicznymi z wykorzystaniem reometru.

Badania w artykule podzielono na trzy etapy:

1) Dobór optymalnej ilości superplastyfikatora. Na tym etapie badań przeprowadzono modyfikację mieszanki, zmieniając ilość superplastyfikatora. W pierwszym podejściu utrzymano stałą ilość superplastyfikatora dla wszystkich mieszanek, a w kolejnych podejściach dobierano superplastyfikator tak, żeby uzyskać rozptył na stoliku rozptyłu równy 160 mm ± 10 mm, co jest wartością zalecaną dla mieszanek przeznaczonych do druku 3D na podstawie badań [9, 11, 15]. Dobór odpowiedniej ilości superplastyfikatora wykonano dla mieszanek PP10, PP30, PP50 (tab. 1.).

2) Badania parametrów mechanicznych kompozytów na spoiwie cementowym na podstawie próbek normowych o wymiarach 4 × 4 × 16 cm (wytrzymałości na zginanie) oraz 4 × 4 × 4 cm (wytrzymałość na ściskanie). Badania przeprowadzono na próbkach normowych przygotowanych oraz pielęgnowanych wg normy PN-EN 1015-11 [16]. Badania wykonano po 7 dniach od momentu zaformowania próbek. Wykonano dwie serie próbek: a) próbki były przechowywane w temperaturze 20°C ± 2°C; b) próbki były przechowywane w temperaturze 20°C ± 2°C przez 6 dni, a następnie zostały umieszczone w piecu w temperaturze 300° na 2 h. Próbki serii b) wykonano w celu oceny trwałości materiału, na który może oddziaływać

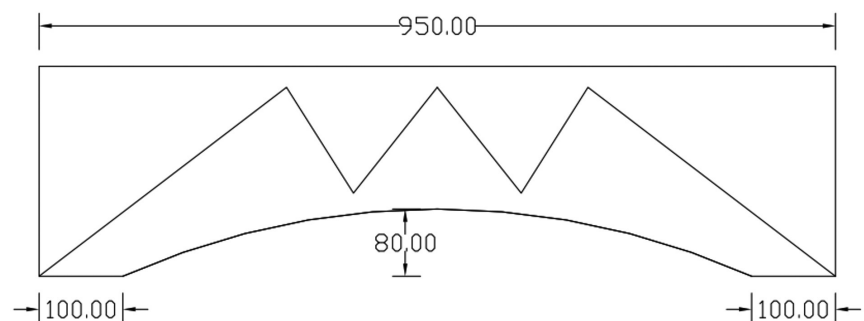
wysoka temperatura, badania wykonano ze względu na stosunkowo niską temperaturę topnienia regranulatu PP (230°C). Do badań wykonano próbki z ilością superplastyfikatora wskazanego w nawiasach w tab. 1.

3) Badania niszczące kratownic wykonanych w technologii druku 3D dla wybranych mieszanek. Wymiary kratownicy przedstawiono na rys. 1., natomiast kratownicę podczas procesu wydruku przedstawiono na rys. 2. Do wydruku kratownicy użyto robota kartezjańskiego zespolonego z pompą do betonu, wyposażonego w dyszę o średnicy 25 mm. Prędkość dyszy drukującej wynosiła 1500 cm/min. Po procesie wydruku kratownicę przechowywano w temperaturze 20°C ± 2°C oraz wilgotności RH=55%. Po 7 dniach wykonano badania niszczące kratownicy przy wykorzystaniu siłownika hydraulicznego

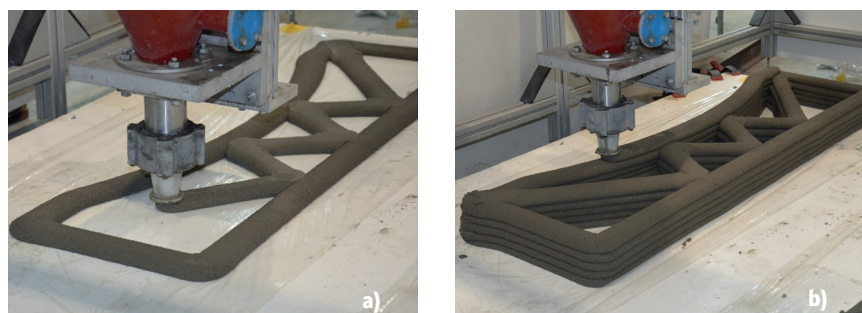
600 kN. Podczas niszczenia kratownicy posuw siłownika kontrolowano za pomocą przemieszczenia, które ustawiono na 0,014 cm/s.

### Wyniki badań i ich analiza Dobór optymalnej ilości superplastyfikatora

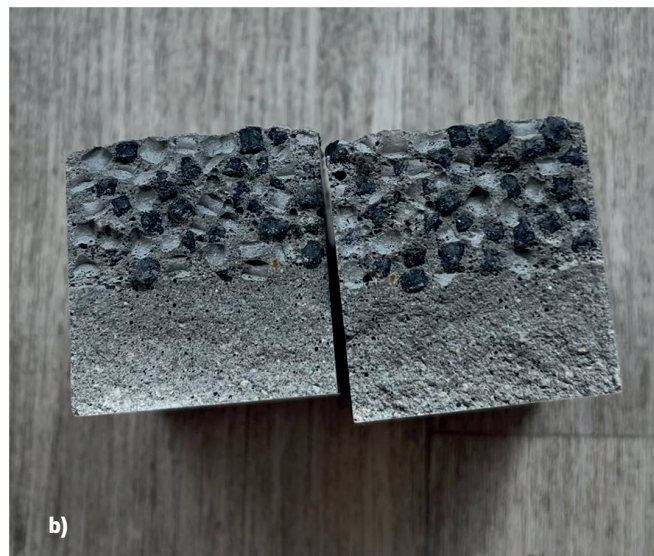
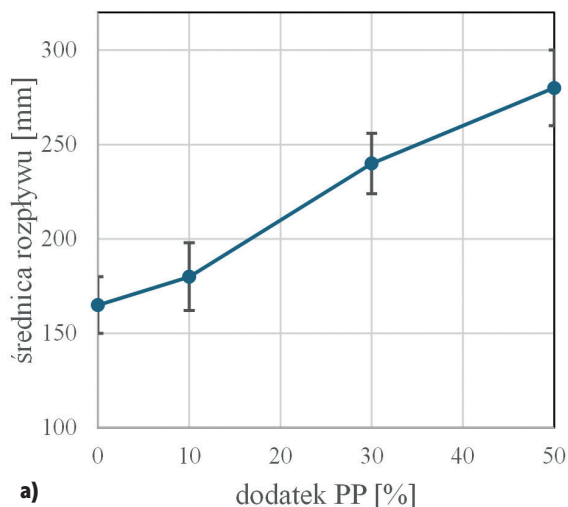
Wykonano dobór optymalnej ilości superplastyfikatora (SP) na podstawie procedury opisanej w sekcji Metodyka badawcza. Przy założeniu we wszystkich mieszankach stałej ilości SP równej 2,15 kg/m<sup>3</sup> zaobserwowano bardzo duży wzrost rozptyłu mieszanki (rys. 3a). Ponadto zaobserwowano segregację kompozytu – rys. 3b), lekkie kruszywo z regranulatu PP wytynęło w górną część mieszanki. Taki stan rzeczy jest spowodowany znacznie mniejszą wodozgodnością kruszywa alternatywnego w postaci polipropylenu w porównaniu do kruszywa naturalnego. W kolejnym podejściu metodą



Rys. 1. Wymiary kratownicy [mm] wykonanej w technologii druku 3D (na rysunku przedstawiono osie drukowanych ścieżek)



Rys. 2. Kratownica podczas procesu wydruku



Rys. 3. Wpływ zawartości regranulatu PP na rozptył mieszanki (a), widoczna segregacja składników w przypadku mieszanki z za dużą ilością SP (b)

iteracyjnego zmniejszania SP otrzymano pożądaną rozptył w granicach  $160 \pm 10$  mm dla wszystkich mieszanek. Optymalną ilość SP przedstawiono w nawiasach w ostatniej kolumnie tab. 1.

**Parametry mechaniczne określone na próbkach normowych pielęgnowanych w temperaturze 20°C oraz 300°C**

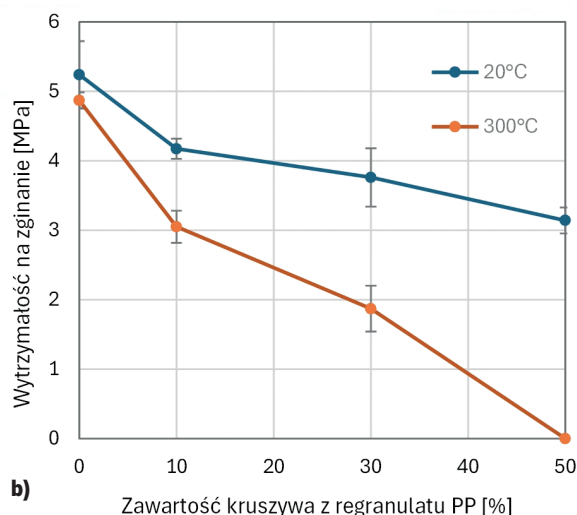
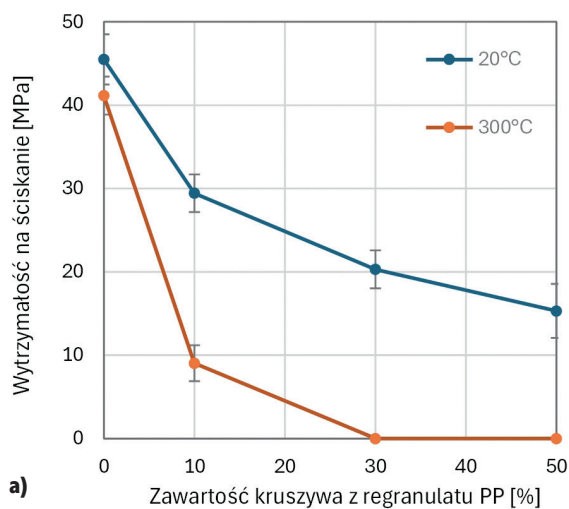
Określono parametry mechaniczne próbek kompozytów na spoiwie cementowym przechowywanych normowo w 20°C oraz poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C wg procedury opisanej w sekcji Metodyka badawcza. Na rys. 4. przedstawiono wyniki wytrzymałości na ściskanie i zginanie próbek pielęgnowanych w sposób normowy oraz próbek poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C. Przykłady próbek po ekspozycji na temperaturę 300°C pokazano na rys. 5. Próbkę PP30 i PP50 (zawierające odpowiednio

30% i 50% regranulatu PP) nie nadawały się do przeprowadzenia badania wytrzymałości na ściskanie po ekspozycji na temperaturę 300°C, ponieważ ich wytrzymałość była mniejsza niż czułość prasy. Należy zwrócić uwagę, że możliwe było wykonanie badania wytrzymałości na zginanie próbek PP30, ale po tym badaniu nie było możliwości wykonania badania wytrzymałości na ściskanie ze względu na znaczne uszkodzenia próbek. W nawiązaniu do powyższego w przypadku próbek poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C maksymalny spadek wytrzymałości na zginanie wyniósł 64,31% (próbki PP30), a na ściskanie 80,11% (próbki PP10) w stosunku do próbek referencyjnych.

W przypadku próbek przechowywanych do momentu badania w 20°C wykazano, że zastąpienie kruszywa naturalnego regranulatem PP spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie maksymalnie o 66,36%

oraz na zginanie maksymalnie o 40,08% (oba wyniki dotyczą próbki PP50).

Na podstawie powyższych wyników stwierdzono, że do dalszych badań polegających na niszczeniu kratownicy wybrano dwa rodzaje próbek. Próbkę referencyjną oraz próbkę zawierającą 10% kruszywa z regranulatu PP (mieszanka PP10), gdyż w tym przypadku redukcja wytrzymałości jest stosunkowo niewielka (w przypadku próbki przechowywanej w 20°C: o 20,37% oraz o 35,31% odpowiednio dla wytrzymałości na zginanie i ściskanie, w przypadku próbek poddanych ekspozycji na temperaturę 300°C redukcja wytrzymałości na zginanie wyniosła 41,79%, a na ściskanie wyniosła 80,11%). Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku konstrukcji niepoddanej obciążeniu ogniowemu wytrzymałość materiału na ściskanie wynosi średnio 29,44 MPa, co jest wartością wystarczającą dla dużej części konstrukcji stosowanych w budownictwie.



Rys. 4. Wyniki wytrzymałości na ściskanie (a) oraz na zginanie (b) badanych kompozytów na spoiwie cementowym

## Badania niszczące kratownicy wykonanych w technologii druku 3D

Wykonano badania niszczące kratownicy wykonanej z mieszanki referencyjnej (PPO) oraz z mieszanki z 10% dodatkiem PP (PP10). Na rys. 6. przedstawiono wyniki badań niszczących kratownicy w dwóch kategoriach: a) maksymalnej siły, stanowiącej maksymalną siłę osiągniętą w całym badaniu; b) siłę w momencie zniszczenia krzyżulca, która stanowi realne kryterium zniszczenia kratownicy. W momencie zniszczenia krzyżulca ustrój znajduje się w stanie awaryjnym, a realna siła podczas badania znacząco spada, następnie siła znowu rośnie aż do momentu osiągnięcia całkowitego zniszczenia konstrukcji. Należy zwrócić uwagę, że po zniszczeniu krzyżulca konstrukcja już nie może pracować poprawnie. Na rys. 7a) przedstawiono kratownicę podczas badań. Na podstawie wyników przedstawionych na rys. 6. stwierdza się, że kratownica wykonana z mieszanki referencyjnej PPO przeniosła siłę o 24,3% większą niż kratownica z mieszanki PP10, jednak w momencie zniszczenia krzyżulca różnica między wynikami jest mniejsza niż współczynnik zmienności dla wyników.

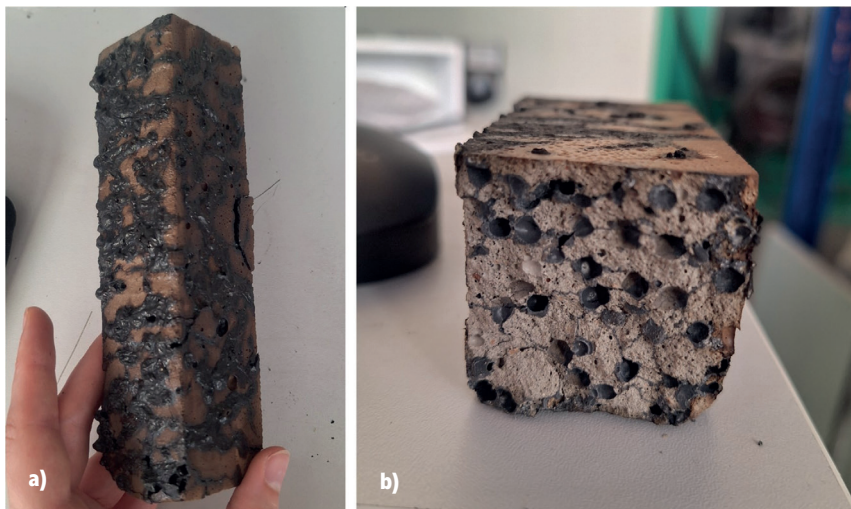
Podczas badań niszczących obu typów kratownic pierwsze uszkodzenie wystąpiło w krzyżulcu (rys. 7b), w którym występowały największe naprężenia rozciągające. Po uszkodzeniu krzyżulca, który przestał prawidłowo współpracować z resztą konstrukcji, naprężenia w pasie górnym kratownicy doprowadziły do jej zniszczenia (rys. 7c).

Należy zwrócić uwagę, że mimo dużo gorszej wytrzymałości mieszanki z PP10 określonej w badaniach na próbkach normowych w przypadku aplikacji tego materiału do konstrukcji kratownicy różnica w nośności kratownicy w stanie przedawaryjnym konstrukcji jest niewielka. Wynika to z decydującej w tym przypadku wytrzymałości na rozciąganie obu kompozytów (w krzyżulcu występuje siła rozciągająca) oraz możliwych imperfekcji występujących przy wydruku (badania wykazują, że imperfekcje związane z drukiem 3D mogą wpływać na nośność [17]).

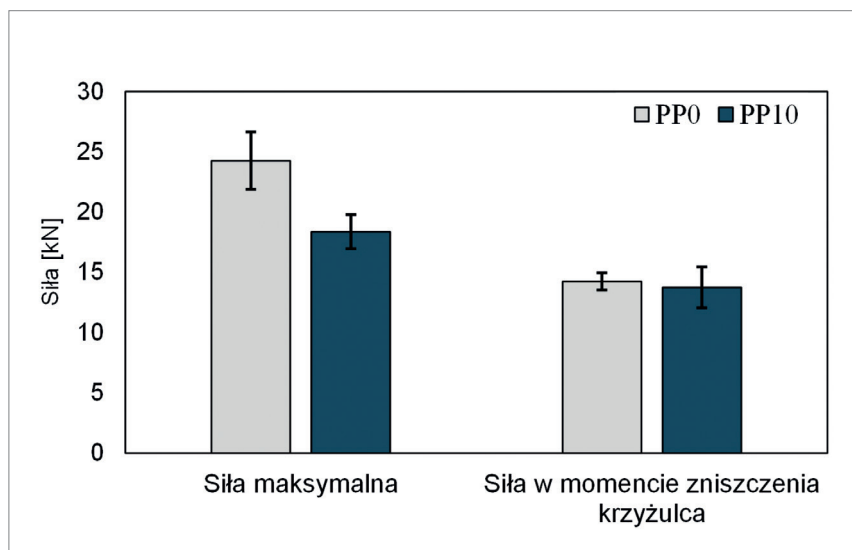
## Wnioski

W artykule wykazano możliwość zastosowania kruszywa z regranulatu PP w mieszankach do druku 3D kompozytów cementowych. Z przeprowadzonych doświadczeń wynikają następujące wnioski:

- Zastąpienie kruszywa naturalnego kruszywem w postaci regranulatu PP



Rys. 5. Próbkę po oddziaływaniu temperatury 300°C



Rys. 6. Wyniki wytrzymałości kratownicy wykonanej z mieszanki PPO oraz PP10

spowodowało spadek parametrów mechanicznych stwardniałego kompozytu maksymalnie o 66,36% w przypadku wytrzymałości na zginanie oraz o 40,08% w przypadku wytrzymałości na ściskanie próbek przechowywanych w 20°C. W przypadku próbek poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C dla próbek z dodatkiem regranulatu PP w ilości 50% nie było możliwości przeprowadzenia badania na zginanie, a w przypadku próbek z regranulatem w ilości 30% oraz 50% nie było możliwości wykonania badania na ściskanie (wytrzymałość poniżej

czułości prasy). Spadek wytrzymałości na zginanie i ściskanie próbek poddanych oddziaływaniu wysokiej temperatury był odpowiednio do 64,31% (PP30) oraz do 80,11% (PP10).

- Zastąpienie kruszywa materiałem z recyklingu wpłynęło na właściwości reologiczne mieszanki, powodując jej znaczne upłynnienie. W celu uzyskania odpowiednich parametrów reologicznych pozwalających na wydruk mieszanki zredukowano ilość superplastyfikatora. W tym zakresie konieczne są dalsze badania, które mogą prowadzić do redukcji stosunku w/c przy tej samej



Rys. 7. Widok zniszczenia kratownicy: a) kratownica podczas badania; b) zniszczenia krzyżulca; c) zniszczenia pasa górnego

ilości SP, co może przyczynić się do zwiększenia nośności konstrukcji.

- Przeprowadzono badania niszczące kratownic łukowych wykonanych w technologii druku 3D kompozytów cementowych z mieszanki PPO oraz PP10. W badaniach wykazano, że mimo niższej wytrzymałości mieszanki PP10 uzyskanej na próbkach normowych obie kratownice, biorąc pod uwagę kryterium zniszczenia, jakim jest zniszczenie krzyżulca rozciąganego konstrukcji, uzyskały podobne nośności. Wynika to z kluczowej w tej sytuacji wytrzymałości obu kompozytów na rozciąganie (w krzyżulcu występuje siła rozciągająca) oraz ewentualnych niedoskonałości związanych z procesem wydruku. Prace wykonane w innych ośrodkach naukowych [17] wykazały, że defekty powstające podczas drukowania 3D mogą wpływać na nośność konstrukcji.
- W badaniach wykazano, że możliwe jest zastąpienie pewnej ilości kruszywa naturalnego kruszywem w postaci regranulatu PP, co przyczyni się do ograniczenia zużycia surowców naturalnych. Przeprowadzone badania udowodniły, że ekspozycja na wysoką temperaturę w istotny sposób wpływa na nośność kompozytu, w przypadku dalszych badań przy użyciu regranulatu PP należy skupić się na zwiększeniu wytrzymałości kompozytu po oddziaływaniu wysokich temperatur.

Przedstawione w artykule prace stanowią wstępne badania dotyczące zastosowania kruszywa w postaci regranulatu PP do druku 3D kompozytów cementowych. Dalsze testy będą stanowiły optymalizację topologii konstrukcji, składu mieszanki oraz dobór innych regranulatów, dla których potencjalne oddziaływanie wysokiej temperatury będzie w mniejszym stopniu wpływać na wytrzymałość.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Ibrahim I., Eltarabishi F., Abdalla H., Abdallah M. 3D Printing in Sustainable Buildings: Systematic Review and Applications in the United Arab Emirates. „Buildings” 2022;12(10):1703. <https://doi.org/10.3390/buildings12101703>.
- [2] Puzatova A., Shakor P., Laghi V., Dmitrieva M. Large-Scale 3D Printing for Construction Application by Means of Robotic Arm and Gantry 3D Printer: A Review. „Buildings” 2022;12(11):2023. <https://doi.org/10.3390/buildings12112023>.
- [3] Wu P., Wang J., Wang X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. „Automation in Construction” 2016;68:21–31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>.
- [4] Skibicki S., Kaszyńska M., Federowicz K., Techman M., Zielinski A., Olczyk N. et al. Druk 3D kompozytów betonowych metodą przystawą – doświadczenia zespołu szczecińskiego. „Inżynieria i Budownictwo” 2021;77(7):328–33.
- [5] Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction? „Procedia Engineering” 2016;151:292–9. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>.
- [6] Buswell R.A., Leal de Silva W.R., Jones S.Z., Dirrenberger J. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. „Cement and Concrete Research” 2018;112:37–49. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006>.
- [7] Skibicki S., Federowicz K., Hoffmann M., Chougan M., Sibera D., Cendrowski K. et al. Potential of Reusing 3D Printed Concrete (3DPC) Fine Recycled Aggregates as a Strategy towards Decreasing Cement Content in 3DPC. „Materials” 2024;17(11):2580. <https://doi.org/10.3390/ma17112580>.

[8] Kaszyńska M., Skibicki S., Hoffmann M. 3D Concrete Printing for Sustainable Construction. „Energies” 2020;13(23):6351. <https://doi.org/10.3390/en13236351>.

[9] Skibicki S., Pultorak M., Kaszyńska M., Hoffmann M., Ekiert E., Sibera D. The effect of using recycled PET aggregates on mechanical and durability properties of 3D printed mortar. „Construction and Building Materials” 2022;335(2):127443. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127443>.

[10] EN 1015-3:2000. Methods of test for mortar for masonry – part 3: determination of consistence of fresh mortar (by flow table).

[11] Cho S., Kruger J., Bester F., van den Heever M., van Rooyen A., van Zijl G. A Compendious Rheo-Mechanical Test for Printability Assessment of 3D Printable Concrete. In: Bos F.P., Lucas S.S., Wolfs R.J.M., Salet T.A.M., editors. Second RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication. Cham: Springer International Publishing; 2020, s. 196–205.

[12] Casagrande L., Esposito L., Menna C., Asprone D., Aurichio F. Effect of testing procedures on buildability properties of 3D-printable concrete. „Construction and Building Materials” 2020;245:118286. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118286>.

[13] Skibicki S., Żygadło A., Górnostaj D., Łabecka M., Orzelski K. Projektowanie i analiza mieszanki betonowej zawierającej kruszywo po obróbce strumieniowo-ściernej (garnet) w technologii druku 3D. „Builder” 2023;314(9):16–9. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7760>.

[14] Khayat K., Zhu J., Grunewald S. Empirical Test Methods to Evaluate Rheological Properties of Concrete and Mortar. In: Sonebi M., Feys D., editors. Measuring Rheological Properties of Cement-based Materials. Cham: Springer Nature Switzerland; 2024.

[15] Cuevas K., Chougan M., Martin F., Ghaffar S.H., Stephan D., Sikora P. 3D printable lightweight cementitious composites with incorporated waste glass aggregates and expanded microspheres – Rheological, thermal and mechanical properties. „Journal of Building Engineering” 2021;44:102718. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102718>.

[16] EN 1015-11:2020. Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.

[17] Skibicki S., Szewczyk P., Majewska J., Sibera D., Ekiert E., Chung S.-Y. et al. The effect of interlayer adhesion on stress distribution in 3D printed beam elements. „Journal of Building Engineering” 2024;87(2):109093. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109093>.

DOI: 10.5604/01.3001.0054.8405

#### PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Skibicki Szymon, Żygadło Alicja, Głowacka Monika, Górnostaj Dariusz, 2024, Badania wstępne możliwości zastosowania regranulatu polipropylenowego w mieszankach cementowych przeznaczonych do druku 3D, „Builder” 12 (329). DOI: 10.5604/01.3001.0054.8405

#### STRESZCZENIE:

W artykule omówiono badania nad zastosowaniem kruszywa recyklingowego w postaci regranulatu polipropylenowego (PP) w druku 3D kompozytów cementowych. Skupiono się na ocenie wpływu zastąpienia kruszywa naturalnego regranulatem PP na właściwości mechaniczne i reologiczne kompozytu na spoiwie cementowych. Przeprowadzono badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie dla próbek pielęgnowanych w warunkach normowych oraz poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C. W badaniach przetestowano różne poziomy zastąpienia kruszywa naturalnego regranulatem polipropylenowym PP (10%, 30%, 50%) w mieszance betonowej. Stwierdzono, że zastąpienie kruszywa naturalnego regranulatem PP powoduje obniżenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie próbek przechowywanych w warunkach normowych do 66,36%, a próbek poddanych oddziaływaniu temperatury 300°C aż do 80,11%. Ponadto przeprowadzono badania

niszczące kratownic wykonanych w technologii druku 3D przy wykorzystaniu mieszanki z 10% zastąpieniem kruszywa naturalnego przez regranulat PP oraz mieszanki referencyjnej. Wykazano, że w wydrukowanej konstrukcji kratownicy, gdzie o kryterium zniszczenia zdecydowała wytrzymałość na rozciąganie, redukcja wytrzymałości związana z zastosowaniem regranulatu PP nie była statystycznie istotna w porównaniu do mieszanki referencyjnej.

#### SŁOWA KLUCZOWE:

druk 3D, beton, zaprawa, kruszywa recyklingowe, beton drukowany, kruszywa sztuczne, regranulat, polipropylen

#### ABSTRACT:

**PRELIMINARY RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF USING POLYPROPYLENE REGRANULATE IN 3D PRINTED CEMENT COMPOSITES.** The paper discusses research on the use of recycled aggregate in the form of polypropylene (PP) regranulate in 3D printing of cement composites. The focus was on analyzing the impact of replacing natural aggregate with PP regranulate on the mechanical and rheological properties of the cement-based composite. Tests were conducted to assess the flexural and compressive strength of samples cured under standard conditions and exposed to a temperature of 300°C. The study tested various levels of natural aggregate replacement with PP regranulate (10%, 30%, 50%) in the cement mixture. It was found that replacing natural aggregate with PP regranulate resulted in a reduction in compressive and flexural strength by up to 66.36% for samples stored under standard conditions, and by up to 80.11% for samples exposed to 300°C. Additionally, destructive testing was performed on trusses made using 3D printing technology for a mix with 10% replacement of natural aggregate by PP regranulate and a reference mix. The tests showed that in the printed truss structure, where tensile strength was the failure criterion, the reduction in strength due to the use of PP regranulate was not statistically significant compared to the reference mix.

#### KEYWORDS:

3DCP, 3D concrete, 3D mortar, recycled aggregate, artificial aggregate, regranulate, Polipropylene