

Szkło z recyklingu

jako zamiennik piasku w mieszankach betonowych do druku 3D

Naukowcom z Singapurskiego Uniwersytetu Technologicznego (NTU) udało się wydrukować w 3D betonową ławkę do przestrzeni miejskiej, używając szkła z recyklingu zamiast piasku.

Tłumaczenie i opracowanie: **Elżbieta Żelazowska**

Szkło należy wprowadzić do materiałów, które mogą być w 100 procentach poddawane recyklingowi bez ryzyka utraty właściwości, jednak dotychczas tylko w niewielkim stopniu wykorzystywane było w recyklingu. Szkło użytkowe to szkło krzemianowe, otrzymywane na bazie dwutlenku krzemu lub krzemionki, które są głównymi składnikami piasku kwarcowego stanowiącego podstawowy surowiec do wyrobu szkła. W ramach recyklingu może więc służyć do wyrobu innych produktów wymagających tych składników.

Rosnąca liczba ludności, szybki postęp urbanizacji i rozbudowa infrastruktury sprawiły, że praktycznie na całym świecie występuje niedostatek piasku kwarcowego. Naukowcy zajmujący się klimatem określają ten deficyt jako jeden z największych problemów XXI w. w zakresie odnawialności zasobów naturalnych.

W związku z tym wyzwaniem zespół naukowców z Singapurskiego Uniwersytetu Technologicznego (Nanyang Technological University, Singapore, w skrócie NTU Singapore) podjął się zadania znalezienia sposobu wykorzystania szkła z recyklingu jako materiału do drukowania w systemie 3D wyrobów codziennego użytku.

W jednym z innowacyjnych rozwiązań opracowanych przez zespół z NTU, opisanym ostatnio w czasopiśmie Journal of Bu-

ilding Engineering („Extrudable region parametrical study of 3D printable concrete using recycled glass concrete”), mieszanka zawierająca szkło z recyklingu (fot. 1), materiały wiążące (cementy), wodę i dodatki, która została zastosowana do drukowania w 3D betonowych siedzisk.

Dzięki opracowaniu optymalnego składu betonu naukowcy byli w stanie pomyślnie wydrukować ławkę w kształcie litery L o wysokości 40 cm (fot. 2).

W laboratoryjnych testach wytrzymałościowych konstrukcje wydrukowane w systemie 3D wykazywały doskonałą zdolność formowania i nie ulegały deformacji ani rozpadowi podczas oczekiwania na utwardzenie betonu. Odznaczały się też dobrą podatnością na wytłaczanie. Oznacza to, że opracowana masa betonowa jest w wystarczającym stopniu płynna, by móc przepływać przez przewody i dysze drukarki 3D.

Nowe podejście do recyklingu szkła

Według danych singapurskiego Narodowego Urzędu ds. Środowiska (National Environment Agency of Singapore) z 74 tys. ton odpadów szklanych wytworzonych w tym kraju w roku 2021 tylko 13% zostało poddane recyklingowi. Już wcześniej naukowcy donosili o próbach zastosowania szkła w masach betonowych, ale aż do rozwiązania opracowanego przez zespół z NTU nie było



Fot. 1. Szkło z recyklingu do drukowania 3D rozdrobione na ziarna o różnych rozmiarach; od lewej do prawej: zgrubne, średnie, drobne, super drobne, pyliste

przypadku uzyskania pomyślnych wyników drukowania elementów konstrukcyjnych w systemie 3D przy użyciu mieszanki betonowej bazującej na szkłe.

Zespół naukowców z NTU jako pierwszy opracował użyteczną recepturę i zademonstrował, że szkło może być zastosowane do wydrukowania w systemie 3D takiego wyrobu jak ławka, o doskonałej integralności strukturalnej. Profesor Tan Ming Jen z NTU (z Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Techniki Lotniczej School of Mechanical and Aerospace Engineering (MAE), kierownik i główny wykonawca badań w ramach projektu, stwierdził, że głównym wyzwaniem w opracowaniu mieszanki pozwalającej na drukowanie w 3D wyrobów betonowych był dobór i określenie ilości poszczególnych składników w celu uzyskania wyrobu o solidnej budowie i bez defektów.

Biorąc pod uwagę, że dwutlenek krzemu albo krzemionka stanowi ok. 70% składu chemicznego szkła, opracowane rozwiązanie jest przykładem praktycznego zastosowania koncepcji „gospodarki recykulacyjnej”. Profesor Tan podkreśla, że uzyskany wynik badań w istocie oznacza ponowne wykorzystanie krzemionki zawartej w szkłe zamiast piasku w mieszance betonowej do druku 3D.

Zastępowanie piasku w betonie

Produkcja betonu wymaga znacznych ilości piasku jako składnika zapewniającego wytrzymałość konstrukcjom budowlanym. Rosnące zapotrzebowanie na piasek pozyskiwany z rzek i wybrzeży morskich prowadzi do skażenia wód, powodzi i innych szkodliwych skutków dla środowiska naturalnego. Informują o tym także raporty ONZ (w ramach United Nations Environment Programme). Wyniki badań naukowców z NTU-SC3DP potwierdziły, że szkło z recyklingu może w 100% zastąpić piasek w mieszance betonowej do drukowania w systemie 3D. Biorąc pod uwagę, że piasek jest eksploatowany w tempie szybszym niż mógłby być uzupełniany w sposób naturalny, perspektywa stosowania szkła z odzysku w budownictwie i przemyśle materiałów budowlanych staje się coraz bardziej atrakcyjna.

Ponadto szkło (jako materiał z natury hydrofobowy) nie absorbuje wody, dzięki czemu przygotowanie mieszanek betonowych do drukowania 3D będzie wymagało mniejszych ilości wody niż w przypadku stosowania piasku.

Wydruk ławki o kształcie litery L

Mieszanka betonowa zastosowana do wydruku ławki w 3D składała się ze szkła z recyklingu, cementu portlandzkiego, wody i dodatków. Szkło rozdrobnione do frakcji ziarnowych (średniej, drobnej i super drobnej) pochodziło z komunalnego odzysku szkła powszechnego użytku. Materiałem wiążącym był kompozytowy cement portlandzki składający się z cementu portlandzkiego, lotnego popiołu i niektórych innych składników dopuszczonych według normy SS EN 197-1:2014.

W celu stworzenia warunków odpowiednich dla drukowania zespół naukowców regulował system sterowania i drukarki 3D tak, aby szybkość przepływu przez dysze dopasować do szybkości twardnienia betonu.

Granice wytłaczania określano drogą niezależnej regulacji trzech parametrów aż do stanu, gdy mieszanka betonowa stanie się niewytłaczalna. Stwierdzono przy tym, że przy zawartości 0,4% nano-gliny (i powyżej), stosunku zawartości ziarna szkła do materiału wiążącego wynoszącego 1 oraz wartości wskaźnika mialkości równego 2, naprężenie plastyczne staje się zbyt wysokie i struga materiału wykazuje wiele wad w postaci pęknięć i nieciągłości.



Fot. 2. ławka o kształcie litery L pomyślnie wydrukowana w systemie 3D przez zespół naukowców z NTU

Proces drukowania przeprowadzono jednostopniowo, stosując czteroosiową drukarkę gantryczną (bramową) o przestrzeni roboczej drukowania wynoszącej 1,2 x 1,2 x 1 m. Mieszanka betonowa była podawana do pompy i transportowana do dyszy zamontowanej na mechanicznym ramieniu. Osadzanie materiału warstwa po warstwie odbywało się według komputerowego projektu cyfrowego.

Warto wspomnieć, że ramach wcześniejszych prac naukowcy z NTU w 2019 r. wydrukowali w 3D... łazienkę (bez mebli). Druk trwał 12 godzin, co stanowi połowę czasu potrzebnego przy budowie tego rodzaju obiektu sposobem tradycyjnym.

Dalsze prace i perspektywy na przyszłość

Dzięki udanej realizacji projektu badawczego naukowcy z NTU są zdania, że ich rozwiązanie może zmienić podejście do recyklingu odpadów szkła i przyczynić się do bardziej proekologicznego budownictwa i przemysłu materiałów budowlanych.

W ramach przyszłych działań singapurscy naukowcy we współpracy ze start-up'em „Soda Lemon” planują dalsze prace badawcze nad drukowaniem 3D z użyciem mieszanek betonowych z zastosowaniem szkła z recyklingu. Plany dotyczą drukowania w większej skali i konstrukcji bardziej różnorodnych. Prace badawczo-rozwojowe będą też mieć na celu doskonalenie algorytmów procesu drukowania pod kątem wydajności oraz jakości wydruków.

Innowacyjne rozwiązanie opracowane przez naukowców z NTU otwiera możliwości bardziej zrównoważonego pod względem potrzeb ochrony środowiska naturalnego wykorzystania odpadów szkła w budownictwie i przemyśle materiałów budowlanych, a dzięki temu ograniczenia zużycia kurczących się zasobów piasku kwarcowego oraz wody. ■

REFERENCJE

- Nanowerk News, Apr 26, 2022.
- G. Heng, A. Ting, T. K. N. Quah, J. H. Lim, Y. W. D. Tay, M. J. Tan, *Extrudable region parametrical study of 3D printable concrete using recycled glass concrete*, Journal of Building Engineering, 50, 2022, p. 104091 (<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104091>)