

Badanie kompozytów cementowych ze składnikiem pochodzącym z recyklingu łopat turbin wiatrowych



inż.
MIKOŁAJ JEDLECKI
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej
i Środowiska
ORCID: 0009-0007-9337-0674



inż.
KRZESIMIR KONIECKO
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej
i Środowiska
ORCID: 0009-0000-9723-4521



OLIWIA ZIÓLKOWSKA
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej
i Środowiska
ORCID: 0009-0002-6847-7967



AGATA SZULIŃSKA
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej
i Środowiska
ORCID: 0009-0000-6591-2818



Opiekun merytoryczny
dr inż.
MARZENA KURPIŃSKA
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ORCID: 0000-0001-9595-9342

Celem artykułu jest zbadanie wpływu dodatku zmieszanych odpadów z łopat turbin wiatrowych, zastępujących kruszywo naturalne, na właściwości kompozytów cementowych. Analizowano pięć mieszanek betonowych z różną zawartością dodatku rozdrobnionych łopat turbin wiatrowych oraz mieszanek porównawczą niezawierającą dodatku.

W obliczu rosnących problemów związanych ze zmianami klimatycznymi poszukiwanie zrównoważonych źródeł energii stało się jednym z największych wyzwań, które stanęło przed światem. Energia wiatru, słoneczna czy wodna odgrywają kluczową rolę w globalnej przemianie energetycznej, a turbiny wiatrowe są obecnie jednym z najbardziej widocznych symboli zmiany w kierunku zrównoważonego rozwoju. Jednak ekologiczne rozwiązanie, jakim są turbiny wiatrowe, również mogłoby szkodzić przyrodzie w przypadku, gdy nie zostanie zachowany obieg zamknięty zużycia surowców w ich całym cyklu życia. Warto zaznaczyć, że wiele z tych problemów jest przedmiotem badań i działań mających na celu minimalizację ich negatywnego wpływu [1], [2], [3], [4].

Ekologia w budownictwie

Łopaty turbin wiatrowych zbudowane są z polimerów zbrojonych włóknami (FRP). Najczęściej stosuje się włókna szklane, węglowe, aramidowe lub bazaltowe. Niestety łopaty te mają swój ograniczony czas eksploatacji – od 20 do 40 lat, co powoduje, że po okresie użytkowania powstaje odpad, który

jest materiałem trudnym do przetworzenia i ponownego wykorzystania [5]. W artykule przedstawiono możliwości recyklingu łopat turbin wiatrowych na przykładzie użycia ich w rozdrobnionej formie do modyfikacji betonu [3].



Rys. 1. Zdjęcie zmieszanych łopat turbin wiatrowych

Tab. 1. Receptury

	VHR 0	VHR 1	VHR 2	VHR 3	VHR 4	VHR 5
CEMENT CEM 1 42.5R	430	430	430	430	430	430
woda	155	154	160	164	164	164
piasek	610	610	610	610	610	610
żwir 2/8	440	440	440	440	440	440
żwir 8/16	810	729	648	567	486	405
recykling łopat 2/16	0	70	141	211	281	352
MC BAUCHEMIE EVO 507 (0,65% m.c.)	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8

Metody badań

Konsystencję mieszanki betonowej badano za pomocą metody opadu stożka. Polega ona na ułożeniu mieszanki betonowej w trzech warstwach w formie ściętego stożka i zagęszczeniu każdej z warstw przez 25-krotne zagębianie prętą. Po obciążeniu nadmiaru mieszanki zdjęto stożek i dokonano pomiaru wielkości opadu mieszanki jak na rys. 2.

Substancje mieszano w mieszalniku mechanicznym. W pierwszej kolejności zmieszano suche składniki: kruszywa, cement, rozdrobnione łopaty turbin wiatrowych, a następnie dodano wodę oraz domieszkę chemiczną. Mieszankę mieszano ok. 2 min do uzyskania jednorodnej masy, a następnie układano w wykonanych z PCV formach sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm. Formy były wypełniane w 2 warstwach i zagęszczone. Próbkę zostały wykonane zgodnie z PN-EN 12350-1:2019-07.

Po wyjęciu z form (po upływie 24 godzin) próbki przechowywane były w wodzie o temperaturze 20°. Po wyjęciu z wody próbki pozostawiono przez ok. 1 godzinę, a następnie zważono. Na podstawie wyznaczonej masy i znanej objętości wyliczono gęstość pozorną próbek.

Do zbadania zmiany temperatury w próbkach użyto systemu ConReg (ConReg System Maturity Meter for Concrete). Czujniki

urządzenia zostały wprowadzone do konstrukcji, następnie połączono je specjalnymi przewodami z instrumentem rejestrującym. Takie badanie temperatury w mieszance betonowej pozwala określić, kiedy mieszanka zacznie generować ciepło i zyskiwać wytrzymałość po okresie wiązania i na pierwszym etapie twardnienia. Wyższa temperatura prowadzi do szybszego przyrostu wytrzymałości, natomiast niższa do wolniejszego przyrostu. Takie badanie jest ważne ze względów bezpieczeństwa, ekonomicznych i jakościowych konstrukcji [7]. Następnie przystąpiono do badania wytrzymałości próbek sześciennych na ściskanie w prasie hydraulicznej.

Badania zostały przeprowadzone na podstawie próbek sześciennych betonowych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm. Receptura VHR 0 jest recepturą bez dodatku zmieszanych łopat turbin wiatrowych, natomiast w każdej kolejnej recepturze zwiększano ilość dodatku, zastępując kruszywo grube 8/16 mm w ilości 10%, 20%, 30%, 40% i 50%.

W badaniu wykonano 60 próbek sześciennych betonowych na podstawie 6 różnych receptur oznaczonych VHR0, VHR1, VHR2, VHR3, VHR4, VHR5.

Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono po 2, 14, 21 i 28 dniach od rozformowania próbek. Na danym etapie

badaniom poddawane były po 2 próbki z każdej z receptur.

Wyniki badań

Na podstawie uzyskanych wyników przypisano klasę konsystencji wg PN-EN 206+A1:2016-12 [6] dla każdej z receptur: VHR 0 – S4; VHR 1 – S3; VHR 2 – S2; VHR 3 – S3; VHR 4 – S2; VHR 5 – S2.

Dla próbek z zawartością 10% zmieszanych łopat VHR1 wytrzymałość wczesna po 2 i 14 dniach jest dużo niższa od próbki VHR0, natomiast po 28 dniach różnica wytrzymałości na ściskanie dla VHR0 i VHR1 zmniejszyła się. Dla próbek VHR2, VHR3, VHR4, VHR5 największe przyrosty wytrzymałości próbek następowały w okresie pomiędzy badaniami po 2 dniach i po 14 dniach. Na późniejszych etapach obserwujemy mniejsze przyrosty wytrzymałości, w próbkach VHR3, VHR4, VHR5 różnice pomiędzy wytrzymałością po 21 i 28 dniach różnią się od 1 MPa do 4 MPa. Wraz ze zwiększaniem ilości odpadów z turbin wiatrowych wytrzymałość próbek sześciennych spadała. Osiągnięta wartość najniższą dla VHR5 mającego największą ilość zmieszanych łopat.

Rysunek 9. przedstawia zmianę gęstości kompozytu w zależności od zawartości dodatku. Widoczny jest spadek gęstości wraz z zawartością dodatku. Dodatek łopat



Rys. 2. Zdjęcie opadu stożka



Rys. 3. Mieszanie składników

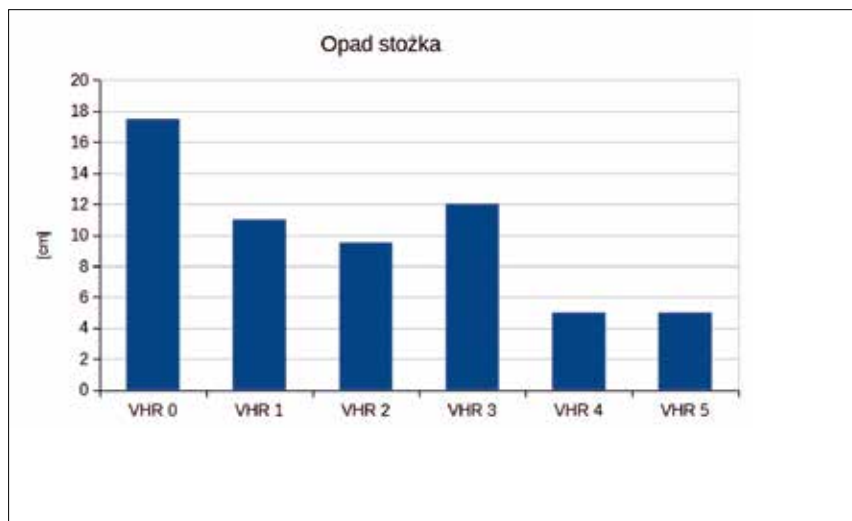


Rys. 4. Formowanie próbek

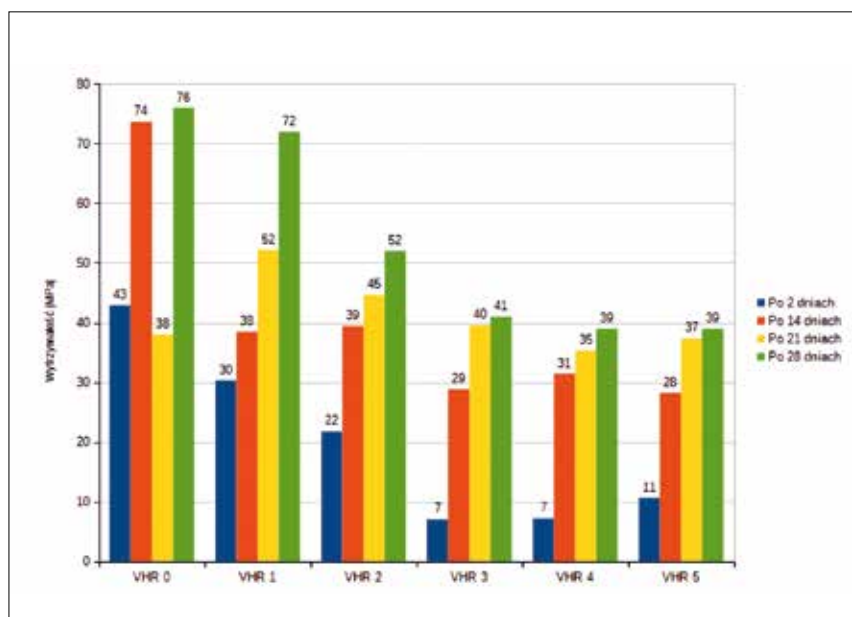




Rys. 5., Rys. 6. Zdjęcie aparatu do mierzenia temperatury



Rys. 7. Zestawienie wyników opadu stożka



Rys. 8. Wykresy wytrzymałości

ma mniejszą gęstość od frakcji żwiru zastępowanego, powodując przy tym ogólny spadek gęstości poszczególnych kolejnych próbek. Gęstość kompozytu zmienia się w czasie, co związane jest z przebudową struktury, stopniem hydratacji cementu i dojrzewaniem w warunkach wilgotnych.

Wszystkie gęstości znajdują się pomiędzy 2450-2050 kg/m³ i spełniają wymagania betonu zwykłego wg PN-EN 206+A1:2016-12 [8].

Intensywny wzrost temperatury wystąpił w pierwszych 24 h od wykonania próbek. Jest to temperatura wywołana hydratacją cementu. Najwyższą temperaturę (28°C) zarejestrowano po ok. 25 godzinach dla betonu VHR0 bez dodatku zmieszanych łopat turbin wiatrowych. W przypadku próbek z 10% (VHR1) i 20% (VHR2) zawartością zmieszanych łopat odnotowano niższą temperaturę, która wynosiła 24°C po ok. 27 h i 30 h. W przypadku gdy zawartość zmieszanych łopat wynosiła 50% (VHR5), temperatura była najniższa w początkowym okresie twardnienia i wynosiła 22°C po ok. 25 godzinach.

Dyskusja i podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników badań określono, jak zastosowanie zmieszanych łopat turbin wiatrowych oddziałuje jako zamiennik kruszywa grubego 8/16 mm. Wytrzymałość betonu zmniejsza się od 10% do 50% wraz ze zwiększaniem zawartości kompozytu.

Wyniki mają podobną tendencję co rezultaty badania *Recycling wind turbine blade composite material as aggregate in concrete*, w którym dla próbek cylindrycznych, w których zamieniono 50% kruszywa na kompozyt otrzymany z łopat turbin wiatrowych, wartości wytrzymałości spadły o mniej więcej połowę [4]. Dodatkowe różnice mogą wynikać z formy, w jakiej zastosowano kompozyt, w [4] kompozyt miał formę sześcianów o boku 2,5 cm.

W badaniach *Concrete with discrete slender elements from mechanically recycled wind turbine blades* wykorzystywano kompozyt z recyklingu łopat turbin wiatrowych w formie igiet o przekroju 6 mm i długości 100 mm, zamieniano 5% i 10% kruszywa na kompozyt. Z badań wynikało, że dodatek nie miał istotnego wpływu na wytrzymałość na ściskanie dla 10% kompozytu, podobnie jak w tym artykule dla niskiej ilości kompozytu wytrzymałość po 28 dniach nie była znaczna [9].

W badaniach *A Techno Economical Study on Wind Turbine Blade Waste as Replacement of Natural Coarse Aggregates in Concrete* [10] wykonano próbki sześcienne z dodatkiem odpadów z turbin wiatrowych w formie kostek o boku od 2–2,5 cm, które wymieniano z kruszywem grubym. Wytrzymałość próbek na ściskanie wzrastała wraz ze zwiększaniem ilości kompozytu [10]. Jest to

wniosek odwrotny do otrzymanego w niniejszym artykule, może być to spowodowane formą, w jakiej użyto kompozytu z topat turbin wiatrowych.

Podobną tendencję do otrzymanej w artykule zaobserwowano w badaniach *Valorization of recycled FRP materials from wind turbine blades in concrete* [11]. W badaniu wykorzystano kompozyt w formie proszku, kostek i zmielonej masy podobnej do wykorzystanej w artykule. W obu artykułach wytrzymałość na ściskanie ma tendencję malejącą wraz ze wzrostem ilości kompozytu.

Wraz ze zwiększeniem ilości zmielonych topat następuje utrata urabialności mieszanki betonowej, co wymaga zwiększenia ilości wody lub zastosowania domieszki chemicznej. Odnotowano pozytywne aspekty dodatku zmielonych topat, dodatek ten spowodował obniżenie temperatury o ok. 4–6°C w początkowym okresie wiązania.

Zaobserwowano, że zastępowanie kruszywo naturalnych dodatkiem zmielonych turbin wiatrowych będzie miało wpływ na zmniejszenie wytrzymałości próbek na ściskanie.

Bibliografia

- [1] Urban K., Polska firma przyjmie każdą ilość zużytych śmigieł z farm wiatrowych. Cel? Recykling, 9 stycznia 2022.
- [2] Raport Accelerating Wind Turbine Blade Circularity, 2020.
- [3] Ferrell S.L., Devuyt E.A., Decommissioning Wind Energy Projects: An Economic and Political Analysis, „Energy Policy” 53 (2013): 105–13.
- [4] Fox T.R., Recycling wind turbine blade composite material as aggregate in concrete, Iowa State University Ames, Iowa 2016.
- [5] Ortegon K., Nies L.F., Sutherland J.W., Preparing for end of service life of wind turbines, „Journal of Cleaner Production” 39 (2013): 191–199.
- [6] PN-EN 1992-1-1_2008 Projektowanie konstrukcji z betonu część 1-1: Reguly ogólne i reguly dla budynków.
- [7] CMT INTERNATIONAL AB, ConReg product brochure_ENGLISH_2013, https://www.astm.se/img/conreg_eng.pdf, 2013.
- [8] PN-EN 206+A2:2021-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność.
- [9] Yazdanbakhsh A., Bank L.C., Riederc K.-A., Tiand Y., Chend Ch., Concrete with discrete slender elements from mechanically recycled wind turbine blades, styczeń 2018.
- [10] Sorathiya S., Patel N.R., Pitroda J., „A Techno Economical Study on Wind Turbine Blade Waste as Replacement of Natural Coarse Aggregates in Concrete, styczeń 2017.
- [11] Baturkin D., Hisseine O.A., Masmoudi R., Tagnit-Hamou A., Massicotte L., Valorization of recycled FRP materials from wind turbine blades in concrete, grudzień 2021.

DOI: 10.5604/01.3001.0053.8047

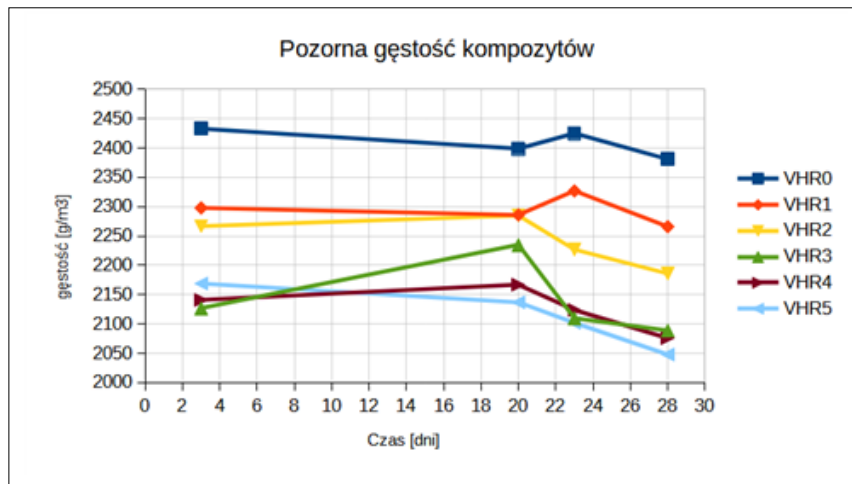
PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Jedlecki Mikołaj, Konecko Krzesimir, Ziółkowska Oliwia, Szulińska Agata, 2023, Badanie kompozytów cementowych ze składnikiem pochodzącym z recyklingu topat turbin wiatrowych, „Builder” 9 (314). DOI: 10.5604/01.3001.0053.8047

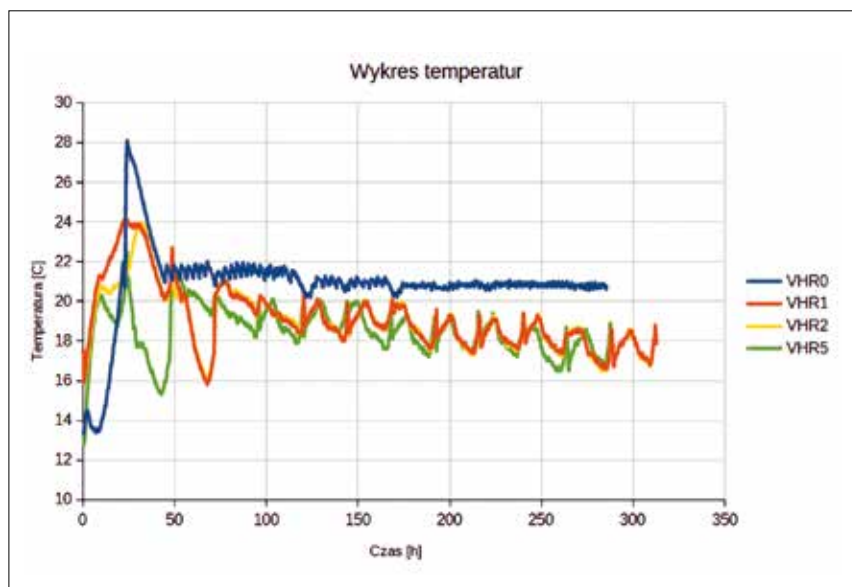
Streszczenie: Celem pracy jest zbadanie wpływu dodatku zmielonych odpadów z topat turbin wiatrowych, zastępujących kruszywo naturalne, na właściwości kompozytów cementowych. Analizowano pięć mieszanek betonowych z różną zawartością dodatku rozdrobnionych topat turbin wiatrowych oraz mieszankę porównawczą niezawierającą dodatku. Sprawdzone parametry wytrzymałościowe na podstawie badania próbek w prasie hydraulicznej. Ponadto badano

Tab. 2. Gęstość poszczególnych składników

	gęstość [kg/dm ³]
CEMENT CEM I 42.5R	3.1
woda	1
piasek	2.65
żwir 2/8	2.65
żwir 8/16	2.65
recykling topat 2/16	2.2
MC BAUCHEMIE EVO 507 (0.65% m.c.)	1.07



Rys. 9. Gęstość pozorna kompozytów



Rys. 10. Wykres temperatur dla wybranych próbek VHR0, VHR1, VHR2, VHR5

wpływ dodatku na zmianę temperatury, konsystencji i gęstości kompozytu.

Słowa kluczowe: topaty turbin wiatrowych, recykling, kompozyt cementowy

Abstract: Research on Cement Composites with Recycled Components from Wind Turbine Blades. The aim of the study is to investigate the influence of adding ground waste from wind turbine blades, replacing natural aggregates, on the properties of cement composites. Five concrete mixtures with varying

contents of crushed wind turbine blades were analyzed, along with a comparative mixture without the additive. Strength parameters were examined based on testing samples in a hydraulic press. Additionally, the impact of the additive on temperature development in the composite, changes in consistency, and density was investigated.

Keywords: wind turbine blades, recycling, cement composites