

Streszczenie

Przedstawiona rozprawa podejmuje problematykę związaną z kształtowaniem składu współczesnych materiałów cementowych, uwzględniając wymagania ekologiczne i praktyczne. Ograniczenie zużycia cementu, redukcja emisji tlenku węgla(IV), stosowanie trwałych materiałów oraz implementacja technologii wykorzystujących odnawialne źródła energii są niezbędnymi działaniami, które należy wdrożyć, aby osiągnąć założenia neutralności klimatycznej w budownictwie. Te działania są zgodne z ustalonymi w 2019 r. celami Europejskiego Zielonego Ładu, który zakłada przekształcenie europejskiej gospodarki w bardziej zrównoważoną i ekologiczną do 2050 roku.

Celem pracy było opracowanie lekkiego, wzmocnionego kompozytu cementowego, który mógłby znaleźć zastosowanie jako element fasad wentylowanych ze zintegrowanymi panelami fotowoltaicznymi.

Przeprowadzone studium literaturowe zaprezentowano w części teoretycznej niniejszej dysertacji. Przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie wykorzystania modyfikatorów matrycy cementowej, takich jak: reaktywne dodatki mineralne, kruszywa lekkie, włókna oraz polimerowe substancje pomocnicze – superplastyfikatory, zagęstniki celulozowe, polimerowe proszki redyspergowalne oraz odpieniacze. Opisano również założenia przeprowadzenia optymalizacji materiału metodą powierzchni odpowiedzi.

Część eksperymentalna zmierzająca do zaprojektowania lekkiego kompozytu cementowego z dodatkiem reaktywnych pucolan oraz włókien została podzielona na trzy główne etapy:

1) wybór składników kompozytu cementowego, poprzez porównanie wybranych właściwości materiału oraz analizy efektów, jakie zostały osiągnięte w wyniku zastosowania różnych modyfikatorów matrycy cementowej, takich jak reaktywne pucolany, lekkie wypełniacze oraz włókna,

2) przeprowadzenie optymalizacji składu materiałowego lekkiego kompozytu cementowego metodą powierzchni odpowiedzi,

3) określenie potencjału aplikacyjnego opracowanego materiału. W ramach przeprowadzonych badań oceniono wybrane właściwości materiału w stanie świeżym i utwardzonym.

Wykonana w pierwszym etapie badań ocena substancji oraz ich wpływu na wybrane właściwości materiału cementowego umożliwiła zastosowanie kompatybilnych modyfikatorów o synergistycznym działaniu, które znacząco poprawiają właściwości mechaniczne oraz trwałość kompozytu. Opracowany materiał składał się z mieszaniny cementu, metakaolinu, kruszyw zwykłych, perlitu, włókien hybrydowych bazaltowo-wollastonitowych oraz polimerowych substancji pomocniczych. Rezultaty badań wykazały, że perlit jest efektywnym lekkim wypełniaczem, zapewniającym niską gęstość objętościową wynoszącą około 1.8 g/cm^3 przy zaledwie 2% jego dodatku. Zastosowany w badaniach metakaolin charakteryzował się wysoką aktywnością pucolanową. Ponadto analiza początkowego okresu twardnienia i wiązania materiału wykazała, że metakaolin uczestniczy w procesie dojrzewania cementu już w ciągu pierwszych 24 godzin od wymieszania suchego materiału z wodą. Natomiast dodatek mieszaniny włókien bazaltowych i wollastonitu powoduje synergiczny efekt w zakresie zwiększenia wytrzymałości na zginanie i ściskanie lekkiego materiału cementowego. Zastosowane modyfikatory polimerowe, takie jak superplastykator, zagęstnik celulozowy oraz odpieniacz, umożliwiły uzyskanie pożądanej urabialności mieszanki cementowej, co jest kluczowe dla łatwości aplikacji i formowania materiału.

W rezultacie, dzięki zastosowaniu kombinacji różnych kompatybilnych modyfikatorów uzyskano lekki, wieloskładnikowy kompozyt cementowy o klasie gęstości D1.8 ($1.6\text{-}1.8 \text{ g/cm}^3$), który wyróżnia się wysoką wytrzymałością na ściskanie (43.83 MPa) i zginanie (10.78 MPa).

Abstract

This dissertation addresses the issue of engineering the composition of modern cement materials, taking into account ecological and practical requirements. Reducing cement consumption, decreasing carbon oxide(IV) emissions, utilizing durable materials, and implementing technologies that use renewable energy sources are essential considerations that when striving to achieve climate neutrality in the construction sector. These actions are in line with the objectives outlined by the European Green Deal established in 2019, which aims to transform the European economy into a more sustainable and environmentally friendly one by 2050.

The aim of this study was to develop a lightweight, reinforced cement composite that could be used as a component of ventilated facades integrated with photovoltaic panels.

The literature review has been presented in the theoretical section of this dissertation. It outlines the current state of knowledge regarding the utilization of matrix modifiers, such as reactive mineral additives, lightweight aggregates, fibers, and polymer auxiliary substances—including superplasticizers, cellulose thickeners, re-dispersible polymer powders, and defoamers. The prerequisites for optimizing the material using the Response Surface Methodology were also described.

The experimental part aimed at designing a lightweight cement composite with the addition of reactive pozzolans and fibers has been divided into three main stages:

- 1) Selection of cement composite components by comparing the properties of the materials and analyzing the effects achieved through the application of various matrix modifiers, including reactive pozzolans, lightweight fillers, and fibers.
- 2) Optimization of the configuration of the lightweight cement composite using the response surface methodology.
- 3) Determining the application potential of the developed material. As part of the performed research, selected properties of the material were evaluated in both fresh and hardened states.

The assessment of the substances carried out in the first stage of the research, along with the effect they had on specific properties of the cement material, enabled the use of compatible

modifiers with synergistic effects that significantly enhance the mechanical features and durability of the composite. The developed material consisted of a mixture of cement, metakaolin, conventional aggregates, perlite, basalt-wollastonite hybrid fibers, and polymeric auxiliary substances. The results indicated that perlite is an effective lightweight filler, providing a low bulk density of approximately 1.8 g/cm^3 with only a 2% addition. The metakaolin utilized in the experiments exhibited high pozzolanic activity. Furthermore, the analysis of the initial setting and hardening period of the material demonstrated that metakaolin participates in the cement hydration process within the first 24 hours after mixing the dry material with water. The incorporation of hybrid basalt and wollastonite fibers resulted in a synergistic effect on enhancing the flexural and compressive strength of the lightweight cement material. The employed polymer modifiers, such as superplasticizers, cellulose thickeners, and defoamers, enabled the achievement of the desired workability of the cement mixture, which is crucial for ease of application and material forming.

As a result, by employing a combination of various compatible modifiers, a lightweight, multi-component cement composite was developed, characterized by a bulk density class of D1.8 ($1.6\text{--}1.8 \text{ g/cm}^3$) and high compressive strength of 43.83 MPa as well as flexural strength of 10.78 MPa.