

Tomasz Gorzelańczyk^{1*}, Krzysztof Schabowicz¹, Zbigniew Jurasz², Piotr Michałek², Agnieszka Piczak², Janusz Juraszek³

¹Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska

²Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o.

³Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsko-Białej

Wpływ badań starzeniowych na płyty włóknisto-cementowe oceniany metodami nieniszczącymi

The influence of aging tests on the process of destruction and changes in the structure of fibre-cement boards evaluated by non-destructive methods

ABSTRACT

The article presents the results of research on the influence of irradiation of fiber-cement boards with UV radiation residing in the aging chamber. Two fibrous cement slabs were tested. One was a plate in the aging chamber and the other was a reference plate. In the tests, a spectrophotometer was used to assess the color change, while the non-destructive method SEM were used to assess the process of destruction and changes taking place in the structure of the panels. The results that were obtained, allowed to observe visible changes in the process of destruction of boards subjected to aging tests. In addition, it has been shown that UV radiation not only affects the color change of such plates, but also significantly affects the changes occurring in the structure of the panels in question.

Keywords: fibre-cement boards; aging tests; spectrophotometer; SEM

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu naświetlania płyt włóknisto-cementowych promieniowaniem UV przebywających w komorze starzeniowej. Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe. Jedną stanowiła płyta przebywająca w komorze starzeniowej, a drugą płyta referencyjna. W badaniach do oceny zmiany barwy użyto spektrofotometru, z kolei do oceny procesu niszczenia i zmian zachodzących w strukturze płyt użyto metody SEM. Rezultaty które uzyskano pozwoliły zaobserwować widoczne zmiany w procesie niszczenia płyt poddanych badaniom starzeniowym. Ponadto wykazano, że promieniowanie UV ma wpływ nie tylko na zmianę zabarwienia takich płyt, ale także wpływa istotnie na zmiany zachodzące w strukturze przedmiotowych płyt.

Słowa kluczowe: płyty włóknisto-cementowe; badania starzeniowe; spektrofotometr; SEM

1. Wstęp

Płyty włóknisto-cementowe są wyrobem budowlanym stosowanym w budownictwie od początku ubiegłego wieku. Pomysłodawcą był czeski inżynier Ludwik Hatschek, który opracował i opatentował technologię produkcji tego kompozytowego materiału, który nosił nazwę „Eternit”. Produkt ten cechował się wytrzymałością, trwałością, niewielkim ciężarem, odpornością na wilgoć i działanie wielokrotnego cyklu zamrażania - rozmrażania oraz niepalnością [1],[2],[3]. Włókno-cement stał się jednym z najbardziej popularnych materiałów na pokrycia dachów na świecie w XX wieku. Było tak do momentu, kiedy stwierdzono, że jeden z jego składników azbest posiada właściwości rakotwórcze. W latach 90. niebezpieczny dla zdrowia składnik zastąpiono bezpiecznymi włóknami, głównie celulozowymi. Obecnie produkowane płyty włóknisto-cementowe składają się z cementu, włókien celulozowych, włókien syntetycznych oraz różnych dodatków i domieszek i stanowią zupełnie inny już wyrób budowlany [4], [5], który nadal wymaga prowadzenia nowych badań. Dodatkowymi składnikami i wypełniaczami

płyt włóknisto-cementowych są mączka wapienna, mika, perlit, kaolin, mikrosfera oraz materiały z recyklingu [6], co pozwala uznać je za wyrób innowacyjny, który wpisuje się z powodzeniem w zasady zrównoważonego rozwoju. Obecnie płyty te stosowane są w budownictwie przede wszystkim jako okładzina elewacyjna w systemie elewacji wentylowanych [7]. Podczas eksploatacji płyty włóknisto-cementowe narażone są na zmienne czynniki środowiskowe, w tym czynniki temperaturowe i wilgotnościowe, duże wahania temperatury i tzw. przejście przez temperaturę 0°C w cyklu dobowym (cykliczne zamrażanie-rozmrażanie), zagrożenie agresją chemiczną w postaci kwaśnych deszczy oraz co jest bardzo istotne na agresywność fizyczną w postaci promieniowania ultrafioletowego. Dotychczas autorzy nie spotkali się z badaniami wpływu działania promieniowania ultrafioletowego na płyty włóknisto-cementowe. Wcześniej prowadzone były badania wpływu na płyty włóknisto-cementowe wysokiej temperatury 230°C oraz działanie ognia m. in. w pracach [8], [9], [10]. Stąd też z punktu widzenia praktyki budowlanej istotne jest, aby takie badania kontynuować. W tym celu wybraną płytę włóknisto-cementową stosowaną powszechnie w budownictwie poddano

*Autor korespondencyjny. E-mail: tomasz.gorzelaneczyk@pwr.edu.pl

badaniom starzeniowym, a następnie korzystając z metody spektroskopii określono wpływ naświetlania promieniami UV na zmiany zabarwienia płyty. Jak wiadomo, barwa jest wrażeniem psychofizycznym i zależy od wielu czynników, jak: właściwości odbiciowe materiału, promieniowania padającego na obserwowany obiekt, kierunku obserwacji oraz subiektywnych cech i doświadczenia samego obserwatora [11], [12]. Instrumentalna ocena różnicy barwy jest metodą obiektywną. Ponadto autorzy spróbowali ocenić także wpływ naświetlaniu promieniami UV na zmiany zachodzące w strukturze płyty włóknisto-cementowej. W tym celu zastosowano elektronowy mikroskop skaningowy SEM.



Rys. 1. Widok komory do badań starzeniowych
Fig. 1. View of the chamber for aging tests

2. Opis badań

Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe. Pierwsza płyta przebywała w komorze do badań starzeniowych (oznaczona jako „płyta UV”). Natomiast dla porównania jako płytę referencyjną wykorzystano płytę tego samego typu, z tej samej serii produkcyjnej (oznaczoną jako „płyta RF”). Z każdej płyty wycięto do badań po 5 próbek o wymiarach 20 mm × 100 mm. Do badań starzeniowych wykorzystano komorę WEATHER - OMETER Ci 4000 firmy Atlas, którą pokazano przykładowo na rysunku 1. Urządzenie przeznaczone jest do wykonywania przyspieszonych starzeń materiałów i wyrobów pod wpływem światła i warunków klimatycznych takich jak temperatura, wilgotność względna oraz deszcz. Źródłem promieniowania jest lampa ksenonowa chłodzona wodą o mocy elektrycznej regulowanej w zakresie od 2500 do 7500 W, z szerokim zestawem filtrów światła do doboru widmowego rozkładu promieniowania oraz z zestawem filtrów umożliwiającą stymulację „naturalnego światła słonecznego” [13]. Naświetlanie próbek trwało 1600 h przy natężeniu napromieniowania: 0,35 W/

m², temperaturze 65±3 °C, wilgotności 60%±5 RH. Przyjęto następujące cykle: 102 min światło, 18 min światło i deszczowanie próbek. Zastosowano system filtrów: zewnętrzny i wewnętrzny BS. Zgodnie z informacjami zawartymi w [14] 1000 h naświetlania odpowiada około 1 rokowi ekspozycji na promieniowanie słoneczne w naszych warunkach klimatycznych.



Rys. 2. Widok spektrofotometru [15]
Fig. 2. View of the spectrophotometer [15]

Następnie przeprowadzono badania z wykorzystaniem spektrofotometru Color i5 firmy X-Rite [15], który pokazano przykładowo na rysunku 2. Badaniom poddano próbki referencyjne i próbki po naświetlaniu w komorze starzeniowej. Celem badań było określenie różnicy barwy powierzchni pomiędzy płytą referencyjną a płytą poddaną naświetlaniu promieniami UV w komorze starzeniowej. Używany spektrofotometr wyposażony jest w błyskową lampę ksenonową i sferę fotometryczną, która umożliwia oświetlenie badanej próbki światłem rozproszonym. Detektorem światła w urządzeniu jest spektrometr, który rejestruje promieniowanie w zakresie widzialnym (400 do 700 nm). Detektor umieszczony jest tak, że kąt między normalną do powierzchni próbki i kierunkiem obserwacji wynosi 8 stopni. Powyższe ustawienie źródła światła i detektora jest jedną z wielu standardowych geometrii pomiaru barwy i oznaczane jest symbolem d:8°. Wszystkie standardowe geometrie pomiaru zostały opisane w raporcie technicznym [16]. Do przedstawienia barwy w postaci numerycznej potrzebne są widmowy współczynnik odbicia (zmierzony spektrofotometrem), wartości iluminantu normalnego CIE oraz układu kolorymetrycznego (tzw. obserwator kolorymetryczny). Obliczenia wykonywane są przez specjalistyczne oprogramowanie. Z kolei wartości liczbowe iluminatów i układów kolorymetrycznych znajdują się m. in. [16], [17]. Po wykonaniu pomiaru próbki referencyjnej i próbki poddanej naświetlaniu promieniowaniem UV wykonano obliczenia zmiany barwy według poniższego wzoru:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

gdzie:

ΔL^* , Δa^* , Δb^* - różnica barwy wyrażona we współrzędnych w przestrzeni barw CIELAB

Następnie wykonano badania z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM), który pokazano przykładowo na rysunku 3. Badania te miały na celu zweryfikowanie uzyskanych rezultatów z wykorzystaniem metody EA i pozwoliły na dokładniejszą ocenę zmian zachodzących w strukturze płyt.

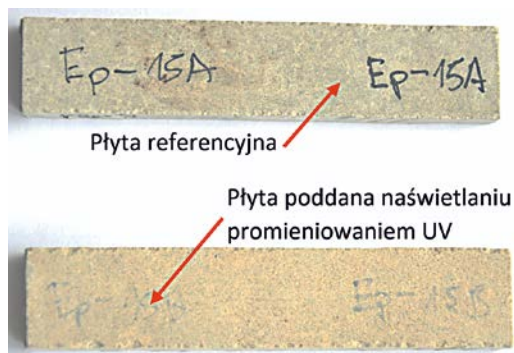


Rys. 3. Widok elektronowego mikroskopu skaningowego SEM do obserwacji kontrastu techniką BSE

Fig. 3. View of the electron scanning microscope SEM to contrast observation with BSE technique

3. Wyniki badań i ich analiza

Po przeprowadzeniu badań w komorze starzeniowej płyty włóknisto cementowe poddano badaniom spektrofotometrycznym. Na rysunku 4 pokazano widok próbek przed i po badaniu w komorze starzeniowej. Natomiast w tabeli 1 zamieszczono wyniki zmiany barwy dla dwóch wybranych próbek płyt włóknisto-cementowych po przebywaniu w komorze starzeniowej, w odniesieniu do próbki referencyjnej. Wyniki zmiany barwy przedstawiono za pomocą różnicy współrzędnych w przestrzeni barw CIELAB. Z kolei na rysunku 5 zamieszczono zmierzony współczynnik odbicia dla badanych płyt.



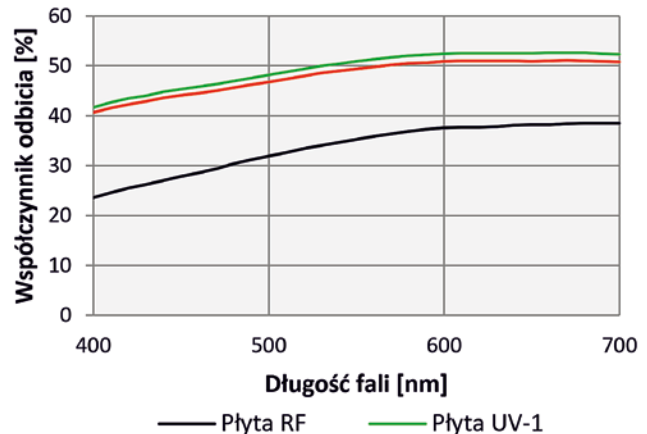
Rys. 4. Widok płyty włóknisto-cementowej przed i po badaniu w komorze starzeniowej

Fig. 4. View of the fiber cement board before and after testing in the aging chamber

Tab. 1. Wyniki zmiany barwy badanych płyt włóknisto-cementowych (D65/10°)

Tab. 1. Results of the color change of the fibrous cement slabs tested (D65/10°)

Oznaczenie badanej próbki	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*_{ab}	Stopień szarej skali wg PN-EN ISO 105-A05:2000
UV-1	10,72	-0,37	-4,33	$11,57 \pm 0,88$	1,5
UV-2	9,82	-0,38	-4,45	$10,79 \pm 1,06$	1,5

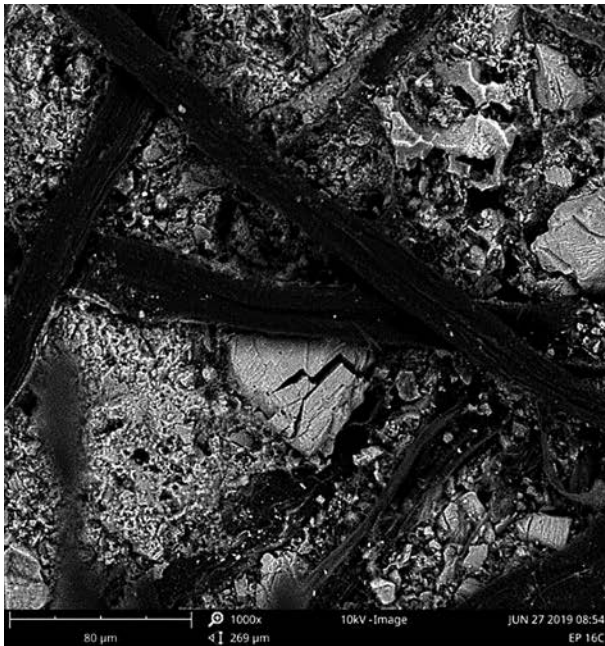


Rys. 5. Współczynnik odbicia dla badanych płyt włóknisto-cementowych

Fig. 5. Reflection coefficient for the tested fiber-cement boards

Na podstawie analizy rysunków 4 i 5 widać, że przebywanie płyt włóknisto-cementowych w komorze starzeniowej wpływa na zmianę ich barwy. Spostrzeżenia te potwierdzają badania przeprowadzone z wykorzystaniem spektrofotometru. Na podstawie rezultatów zamieszczonych w tabeli 1 oraz na rysunku 5, można stwierdzić, że dla obu próbek zaobserwowano silne wybielenie. Wystąpiła również zmiana w kierunku barwy niebieskiej (parametr $-\Delta b^*$). Ogólna zmiana barwy ΔE^*_{ab} wynosi 11,57 i 10,79. Jest to bardzo duża zmiana barwy. Stąd też próbki przebywające w komorze starzeniowej mają inną barwę i nie mogą być akceptowane w zastosowaniach, w których barwa powierzchni jest istotna.

W celu weryfikacji rezultatów i próby spojrzenia na zmiany zachodzące w strukturze badanych płyt włóknisto-cementowych po przebywaniu w komorze starzeniowej wykonano dalsze badania z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM). I tak na rysunku 6 pokazano przykładowe obrazy przełomów płyt UV, które potwierdziły wcześniejsze obserwacje. Ponadto na podstawie analizy obrazów uzyskanych ze skaningowego mikroskopu elektronowego pokazanych na rysunku 6, można stwierdzić, że makrostrukturę płyty włóknisto-cementowej UV określić można jako kruchą. Widoczne są kawerny oraz wyżłobienia w miejscu przełomu po wyrwanych lub uszkodzonych włóknach. Na tym etapie trudno jeszcze ocenić, czy występuje silne wiązanie pomiędzy włóknami, a matrycą. Ponadto należy również zweryfikować fakt, czy widoczne na przełomach włókna są zerwane czy też wyrwane z matrycy cementowej. Aspekty te będą przedmiotem dalszych analiz.



Rys. 6. Przykładowe obrazy BSE (kontrast) uzyskane przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego dla płyty UV
Fig. 6. Example of BSE (contrast) images obtained using the scanning electron microscope for a UV plate

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu naświetlania płyt włóknisto-cementowych promieniowaniem UV przebywających w komorze starzeniowej. Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe. Jedną stanowiła płyta przebywająca w komorze starzeniowej, a drugą płytą referencyjną. W badaniach do oceny zmiany barwy użyto spektrofotometru. Do oceny zmian zachodzących w strukturze płyt użyto metody optycznej SEM. Badania spektrofotometrem wykazały wpływ naświetlania promieniowaniem UV na zmianę zabarwienia przedmiotowych płyt. Badania otrzymanych obrazów na mikroskopie skaningowym

SEM pozwoliły dokładniej ocenić strukturę płyt. Zdaniem autorów, uzyskane rezultaty pozwalają na sformułowanie ważnego wniosku z punktu widzenia praktyki budowlanej. Mianowicie ekspozycja płyt włóknisto-cementowych ma istotny wpływ nie tylko na ich zabarwienie, ale co ważne, na ich strukturę. Warto zaznaczyć, że są to badania pilotażowe, ale zdaniem autorów, uzyskane rezultaty są na tyle obiecujące, że warto je nadal kontynuować. Interesujące mogłoby być również zbadanie procesu niszczenia takich płyt z wykorzystaniem nieniszczącej metody emisji akustycznej w połączeniu z analizą wykorzystującą sztuczne sieci neuronowe. Wyniki takich badań będą przedmiotem przyszłych publikacji.

Artykuł powstał w ramach interdyscyplinarnego projektu naukowo-badawczego nr 01/02/2017 pn. *Nieniszcząca diagnostyka obiektów budowlanych i technicznych w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności ich eksploatacji, realizowanego w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, przy współpracy pracowników Politechniki Wrocławskiej oraz Instytutu Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o.*

5. Literatura/References

- [1] Informacje ze strony internetowej: <http://www.equitone.com>
- [2] Informacje ze strony internetowej: <http://www.cembrit.com>
- [3] Informacje ze strony internetowej https://de.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Hatschek
- [4] PN-EN 12467+A1:2016-08. Płyty płaskie włóknisto-cementowe. Charakterystyka wyrobu i metody badań.
- [5] Z. Ranachowski, K. Schabowicz, "The Fabrication, Testing and Application of fibre cement boards" Cambridge Scholars Publishing, Newcastle, 2018.
- [6] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz „Badania płyt włóknisto-cementowych zawierających materiały z recyklingu” *Materiały Budowlane* nr 10, 27-29, 2015.
- [7] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków „Elewacje wentylowane” *Architektura Murator*, nr 6, dod. "Warsztat Architekta" nr 3, 36-53, 2017.
- [8] A. Adamczak-Bugno, T. Gorzelańczyk, A. Krampikowska, M. Szymków „Nieniszczące badania struktury materiałów włóknisto-cementowych z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego” *Badania Nieniszczące i Diagnostyka*, nr 3, 20-23, 2017.
- [9] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków "Identification of the degree of degradation of fibre-cement boards exposed to fire by means of the acoustic emission method and artificial neural networks" *Materials* nr 12, 1-17, 2019.
- [10] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków "Identification of the degree of fibre-cement boards degradation under the influence of high temperature" *Automation in Construction* nr 101, 190-198, 2019.
- [11] Z. Kolek „Psychofizjologia barwy” *Prace Instytutu Elektrotechniki*, zeszyt 244, 2010
- [12] M. Kazimierska „Obiektywna ocena barwy wyrobów użytkowych” *Technologia i Jakość Wyrobów* 59, 2014
- [13] Informacje ze strony internetowej: <http://atlas-mts.com/>
- [14] EOTA TR010. Exposure procedure for artificial weathering, 2004
- [15] Informacje ze strony internetowej: <http://www.xrite.com/>
- [16] Technical Report CIE 015:2018 Colorimetry, 4th Edition
- [17] PN-EN ISO 11664 Kolorymetria (Część 1 - 6)