

Krzysztof Schabowicz^{1*}, Tomasz Gorzelańczyk¹, Rafał Budzisz², Maciej Roskosz³, Janusz Juraszek⁴

¹Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wrocław

²Doosan Babcock Energy Polska S.A., Rybnik

³Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

⁴Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Nieniszczące badania struktury materiałów włóknisto-cementowych z użyciem mikroskopii optycznej stosowanej w metalografii

Non-destructive tests of fibre-cement materials structure with the use of optical microscopy used in metallography

ABSTRACT

The article presents the proposal for the application of non-destructive microscope method with the use of optical microscopy used in metallography. Four types of fibrous-cement fibreboards were subjected to freeze-thawing, gas torch burning for 15 minutes, placed in a heat chamber at 230°C for 3 hours, and also untreated. Interesting results have been obtained, which have allowed us to observe the changes taking place in the microstructure of the plates under investigation due to the processes mentioned.

Keywords: non-destructive testing, fiber-cement board, metallographic microscope

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono propozycję zastosowania do badania płyt włóknisto-cementowych nieniszczącą metodę mikroskopową z wykorzystaniem mikroskopii optycznej stosowanej w metalografii. Badaniom poddano 4 rodzaje płyt włóknisto-cementowych poddanych procesowi zamrażania-rozmrażania, podpalania palnikiem gazowym przez 15 minut, umieszczonej w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny, a także takiej, która nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody. Otrzymano interesujące rezultaty badań, które pozwoliły zaobserwować zmiany zachodzące w mikrostrukturze badanych płyt pod wpływem wymienionych procesów.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, płyty włóknisto-cementowe, mikroskop metalograficzny

1. Wprowadzenie

Włókno-cement do produkcji wyrobów budowlanych zaczęto stosować w budownictwie na początku XX w. Pomysłodawcą ich był czeski inżynier Ludwig Hatschek, który w roku 1900 opracował i opatentował technologię produkcji płyty azbestowo-cementowej, którą nazwał eternitem. Płyta ta charakteryzowała się wyjątkową lekkością, wytrzymałością, trwałością oraz była niepalna. Sprawilo to, że płyta ta stała się jednym z najbardziej popularnych pokryć dachowych na świecie w XX w. Było tak do momentu, kiedy jednoznacznie stwierdzono, że azbest ma właściwości rakotwórcze. W efekcie zaprzestano ich produkcji oraz stopniowo zaczęto wycofywać z użytkowania wyroby, natomiast niebezpieczny dla zdrowia składnik zastąpiono bezpiecznymi włóknami. Odwrót zapoczątkowano na świecie w latach 70-tych ubiegłego wieku, a w Polsce z końcem lat 80-tych [1, 2]. Do dnia dzisiejszego używa się określenia, że proces produkcji płyt włóknisto-cementowych następuje w tzw. procesie Hatscheka, który polega na zastosowaniu maszyn odwadniających z sitem bębnowym. W tym procesie, pulpe

wytworzoną z zawartej w zbiorniku rozcieńczonej zawiesiny zrafinowanych włókien celulozowych i polipropylenowych oraz cementu przenosi się na taśmę z filcu z zastosowaniem bębnowej maszyny odwadniającej. Następnie nawija się ją przy użyciu bębna formującego do określonej grubości. W celu wytworzenia płyt, arkusz włóknisto-cementowy uformowany na bębnie formującym tnie się i usuwa z bębna po osiągnięciu określonej grubości, długości i szerokości. W kolejnym etapie arkusz ten formuje się i utwardza między naoliwionymi płytami metalowymi specjalnie przygotowanymi na drodze obróbki plastycznej. Ostatnim etapem jest „dojrzewanie” płyty w zależności od technologii od 14 do 28 dni, w trakcie którego zachodzą między innymi reakcje egzotermiczne i hydratacja cementu oraz odparowanie wody.

Współczesne płyty włóknisto-cementowe produkowane są z naturalnych surowców, takich jak cement, włókna celulozowe i polialkoholu winylowego (PVA) oraz woda. Znaczną część mieszanki produkcyjnej stanowi cement odpowiedzialny za wiązanie materiału i jego ostateczną trwałość. Celuloza z kolei stanowi wypełniacz szczelin i jednocześnie jest dodatkiem zapewniającym odpowiednią ilość wody w procesie wiązania cementu. Natomiast włókna

* Autor korespondencyjny. E-mail: krzysztof.schabowicz@pwr.edu.pl

z (PVA) stosuje się do zbrojenia materiału oraz nadania mu odpowiedniej wytrzymałości. W celu zoptymalizowania właściwości oraz do przyspieszenia procesu wiązania dodawane są wypełniacze neutralne, takie jak np. wapień lub mika.

Materiały produkowane z włókno-cementu są powszechnie stosowane w budownictwie jako materiał budowlany i wykończeniowy dla dachów, elewacji oraz ścian wewnętrznych [1, 2, 6-8]. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe realizacje budynków użyteczności publicznej, w których zastosowano elewacje wykonane z płyt włóknisto-cementowych.



Rys. 1. Widok przykładowych elewacji wykonanych z wykorzystaniem płyt włóknisto-cementowych na budynkach użyteczności publicznej

Fig. 1. Facade with fiber-cement boards, examples of implementation and civil building

Z uwagi na to, że materiały włóknisto-cementowe obecnie coraz częściej są stosowane w budownictwie, stąd też narażone są na działanie nie tylko różnych warunków środowiskowych (zmiany temperatury, opady deszczu itp.), ale też narażone są na warunki wyjątkowe, do których należy wysoka temperatura wywołana np. działaniem ognia. Jednocześnie istotne jest rozróżnienie wad powstałych w procesie produkcji i uszkodzeń powstałych na skutek eksploatacji. Ważne jest, w jaki sposób obie te grupy stwierdzonych nieprawidłowości wpływają na założoną funkcjonalność i trwałość badanych płyt.

Dlatego też, istnieje potrzeba prowadzenia badań takich materiałów uwzględniających czynniki, na które będą narażone podczas eksploatacji. Badania takie powinny dać możliwość kontroli mikrostruktury danego materiału, co umożliwi między innymi mikroskopia optyczna. Należy zaznaczyć, że dotychczas większość badań materiałów wykonanych z włókno-cementu ograniczała się tylko do określania normowych parametrów fizyko-mechanicznych [3, 6]. W literaturze spotkać można także rezultaty badań

wykonanych z wykorzystaniem metod nieniszczących, między innymi metody ultradźwiękowej i metody emisji akustycznej [4, 5, 9].

Nowoczesne metody mikroskopowe, zintegrowane z innymi technikami badawczymi, stosowanymi w odniesieniu do materiałów budowlanych umożliwiają udzielenie odpowiedzi na pytania dotyczące mechanizmu reakcji, diagnozy procesu niszczenia, relacji pomiędzy mikrostrukturą i właściwościami użytkowymi [10]. Rozwój metod mikroskopowych, jaki nastąpił w ostatnich latach, zmierza z jednej strony w kierunku maksymalizacji powiększeń i zarazem wizualizacji obiektów o nanometrycznej wielkości, z drugiej strony - do detekcji wszelkich efektów, jakie mogą się pojawić wskutek oddziaływania czynnika penetrującego badany materiał [11].

Popularną grupą wśród optycznych mikroskopów metalograficznych są mikroskopy odwrócone. Układ konstrukcyjny takich mikroskopów, polegający na ułożeniu stolika mikroskopowego nad obiektywem, pozwala na badanie próbek zarówno o małych rozmiarach, jak i o dużych gabarytach. Zaletą mikroskopów odwróconych jest również brak potrzeby poziomowania próbki przed analizą, gdyż próbka kładziona jest na stoliku powierzchnią zglądu.

Modułowa budowa umożliwia wzbogacenie podstawowego wyposażenia mikroskopu w okularowe siatki pomiarowe lub porównawcze, moduły - ergonomiczne stoliki ślizgowe lub skaningowe. W połączeniu z aparatem cyfrowym i oprogramowaniem materiałowym umożliwia analizę wielkości ziaren, składników fazowych, grubości warstw czy też interaktywne pomiary charakterystycznych struktur.

Mikroskopy te stosowane są przeważnie do badania struktury metali. Najczęściej analizę dokonuje się w oparciu o system mikroskopowy, złożony z mikroskopu optycznego, kamery cyfrowej i specjalistycznego oprogramowania do analizy wielkości ziarna. Autorzy niniejszego artykułu podjęli próbę wykorzystania mikroskopu metalograficznego do nieniszczącego badania struktury materiałów włóknisto-cementowych.

2. Opis badań

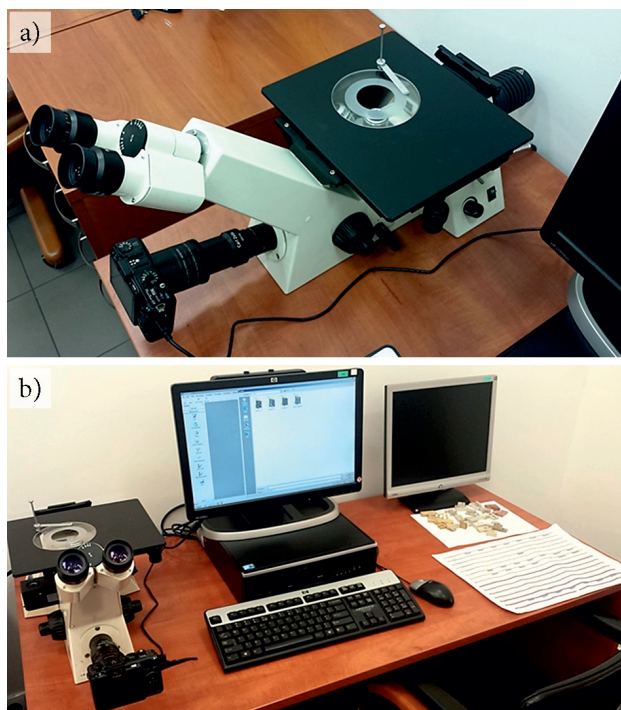
Badaniom poddano cztery płyty włóknisto-cementowe o różnym składzie i zastosowaniu, tj. płytę wodoodporną, płytę elewacyjną, dwie płyty wewnętrzne, oznaczone w dalszej części artykułu odpowiednio literami od A do D. Podczas badania oceniano zarówno wygląd przekroju płyty po procesie produkcyjnym, jak i wpływ symulowanych warunków eksploatacyjnych. Płyty przed badaniem były poddane różnym procesom, a mianowicie płyta A poddana została jednemu cyklowi mrożenia-rozmrażania. Z kolei płyta B została podpalana palnikiem gazowym przez 15 minut. Płyta C została umieszczona w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny, a płyta D nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody.

W badaniach wykorzystano mikroskop metalograficzny ZEISS Axiovert 40 MAT. Wykorzystany do badań mikroskop metalograficzny pokazano na rysunku 2.

Jest to kompaktowy mikroskop odwrócony, skonstruowany do badań próbek przy użyciu klasycznych

technik obserwacyjnych, w świetle odbitym i przechodzącym. Podstawowe dane:

- oświetlenie halogenowe 50 W lub 100 W,
- 5-pozycyjny rewolwer obiektywowy, do jasnego i ciemnego pola,
- 4-pozycyjny rewolwer modułów optycznych,
- optyka korygowana na nieskończoność,
- techniki obserwacji: jasne pole, ciemne pole, kontrast różniczkowo-interferencyjny (DIC lub C-DIC), polaryzacja, światło transmisyjne.



Rys. 2. Widok wykorzystanego do badań mikroskopu metalograficznego (a) i widok stanowiska badawczego (b)

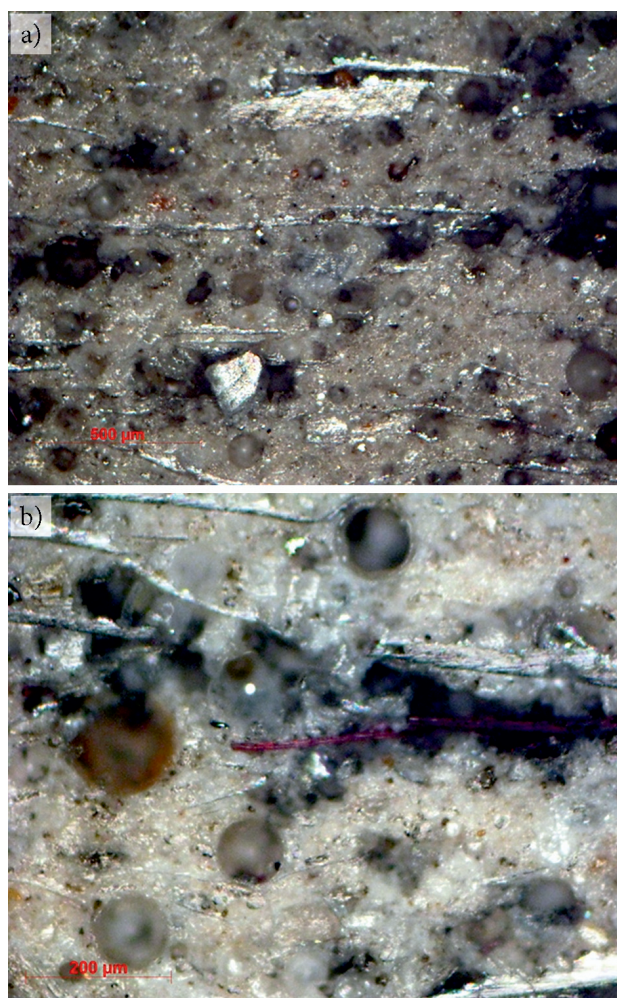
Fig. 2. The view of metallographic microscope using during the test (a) and view of research position

3. Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 3 pokazano przykładowe obrazy uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty A (cykl mrożenia-rozmrażania odpowiadający wpływom warunków atmosferycznych, w obszarach, gdzie występują zimy z niskimi temperaturami).

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 3a widoczny jest warstwowy układ mineralnego wypełniacza płytkowego zgodny z kierunkiem prasowania płyty. W lepiszczu cementowym widoczne kuliste pory powstałe w procesie produkcji (prawdopodobnie nadmiar wody nie związany w reakcjach chemicznych, która po dłuższym okresie odparowała, pozostawiając charakterystyczne kuliste przestrzenie). Na rysunku 3b można stwierdzić, że makrostrukturę każdej z próbek płyty A określono jako porowatą z licznymi porami i pustkami zlokalizowanymi wokół włókien oraz wypełniacza płytkowego. Puste przestrzenie wokół płytek miki oraz odspojenie lepiszcza cementowego od powierzchni miki spowodowane są najprawdopodobniej zamrożonymi resztkami wilgoci (objętość wody w stanie

stałym wzrasta o ok. 10%). Proces degradacji w rejonie płytek miki pogłębia się ze wzrostem ilości cykli mrożenia-rozmrażania.



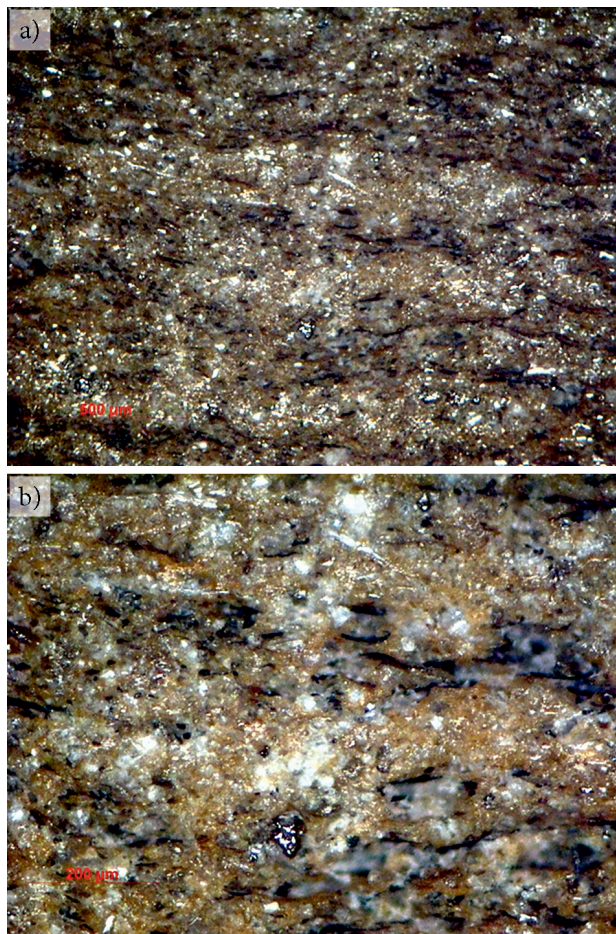
Rys. 3. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty A: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x

Fig. 3. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board A: a) zoom 50x, b) zoom 100x

Z kolei na rysunku 4 pokazano przykładowe rezultaty uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty B (została podpalana palnikiem gazowym przez 15 minut - wpływ działania otwartego ognia, np. krótkotrwały pożar).

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 4 należy stwierdzić, że na każdej z próbek płyty B widoczny jest pasmowy przebieg włókien zbrojenia. Włókna są pociemniałe i otoczone wolną przestrzenią. Wyraźnie widoczne jest częściowe zwęglenie włókien. W miejscu ich umiejscowienia powstała wolna przestrzeń, prawdopodobnie na skutek wydzielania gazowych produktów spalania włókien.

Natomiast na rysunku 5 pokazano przykładowe rezultaty uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty C (płyta została umieszczona w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny - w celu określenia wpływu całkowitej degradacji włókien celulozowych na parametry eksploatacyjne płyty - porównywalne do wpływu działania otwartego ognia, np. długotrwały pożar).



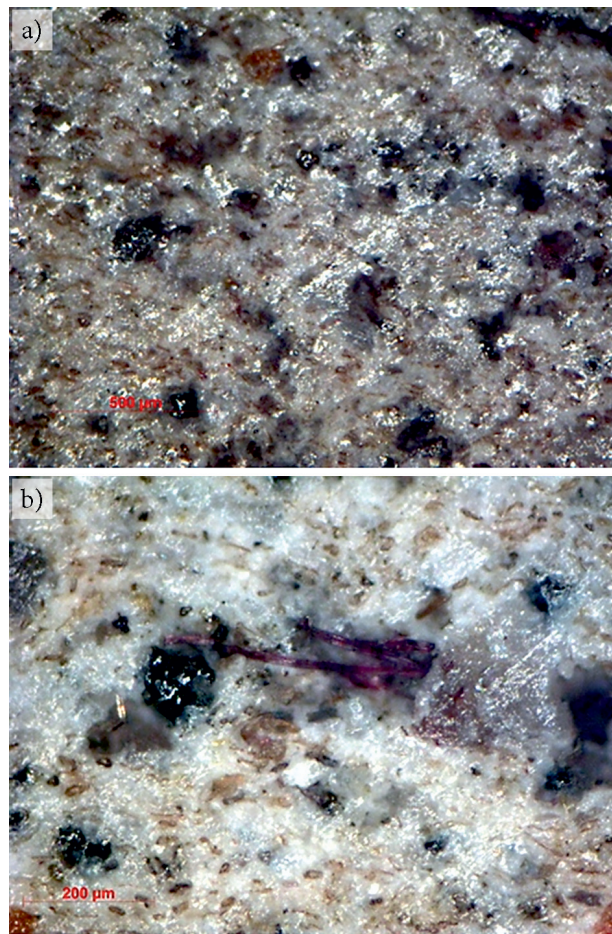
Rys. 4. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty B: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x
Fig. 4. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board B: a) zoom 50x, b) zoom 100x

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 5 należy stwierdzić, że na każdej z próbek płyty C widoczna jest struktura mineralna z widocznymi ziarnami wypełnienia o ciemniejszym odcieniu. Przy powiększeniu 100x widoczne pustki w rejonie występowania włókna oraz wzduż ścian ziaren mineralnych. Analogicznie jak w przypadku płyty B widoczne są puste przestrzenie po zwęglonych wypełniaczach organicznych.

Dwa kluczowe parametry, tj. temperatura oraz czas oddziaływania wpływają na zakres i rodzaj występujących zmian w strukturze. Działanie palnika miejscowo na powierzchni płyty powoduje silną degradację materiału w obrębie występowania wysokiej temperatury, pomimo stosunkowo krótkiego czasu 15 min. Długotrwałe (3h) wygrzewanie, ze stosunkowo niską temperaturą (230°C) płyty w całej objętości również prowadzi do zwęglenia składników organicznych, jednak stopień nasilenie zmian jest mniejszy, za to rozłożony równomiernie w całej objętości.

Na rysunku 6 pokazano przykładowe rezultaty uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty D, która nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody. Próbką ta była wykorzystana jako referencyjna w stosunku do próbek poddanych obróbce wysokiej i niskiej temperatury.

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 6 należy stwierdzić, że na każdej z próbek płyty D



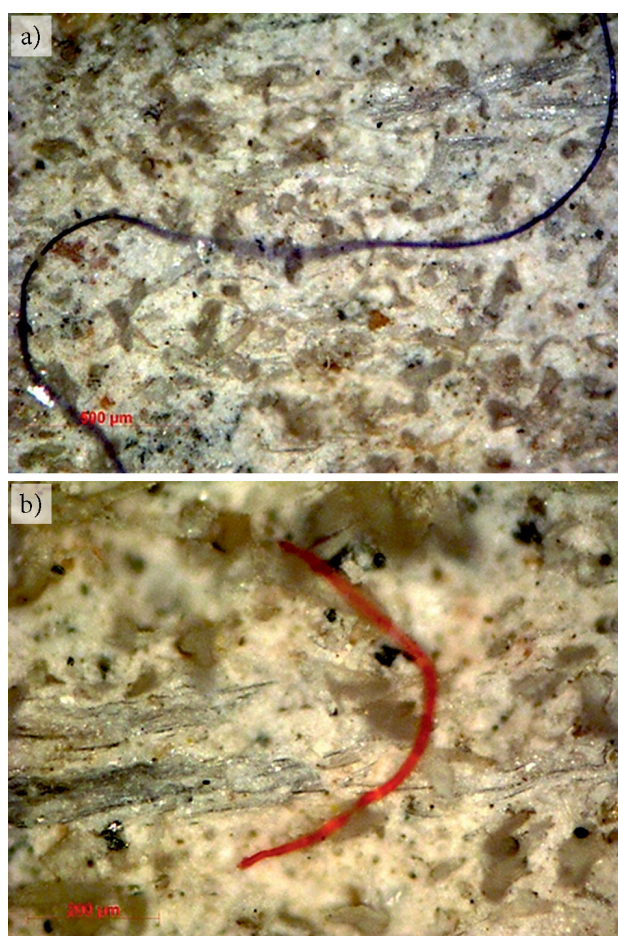
Rys. 5. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty C: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x
Fig. 5. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board C: a) zoom 50x, b) zoom 100x

widoczna jest zwarta struktura mineralna z widocznym wypełnieniem nieorganicznym o morfologii płytkowej. Pojedyncze włókna są o znacznej długości i intensywnym zabarwieniu.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono propozycję zastosowania do badania płyt włóknisto-cementowych nieniszcząca metodą mikroskopową z wykorzystaniem optycznego mikroskopu metalograficznego. Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe o różnym składzie i zastosowaniu, tj. płytę wodoodporną oraz płytę elewacyjną. Płyty przed badaniem były poddane różnym procesom, a mianowicie jednemu cyklowi mrożenia-rozmrażania, podpalania palnikiem gazowym przez 15 minut, a także obróbce w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny. Ponadto w celach porównawczych przeprowadzono badania próbki referencyjnej, która nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody. Uzyskano interesujące rezultaty badań, które pozwoliły zaobserwować zmiany zachodzące w mikrostrukturze badanych materiałów pod wpływem różnych czynników. Analiza obrazów przekrojów płyt uzyskanych zarówno bezpośrednio po produkcji, jak i eksploatacji pozwala na określenie stanu płyt nowych, jak i eksploatowanych, ich składu oraz degradacji. Ponieważ autorzy nie spotkali się

dotychczas z podobnymi badaniami w literaturze, należy sądzić, że przedstawiona metoda badania w zastosowaniu do materiałów włóknisto-cementowych powinna być dalej rozwijana, gdyż pozwala ocenić między innymi wpływ czynników eksploatacyjnych oraz wyjątkowych, np. wystąpienia pożaru na stopień zdegradowania mikrostruktury takiego materiału. Warto także zaznaczyć, że metoda badania jest szybka, tania i nie wymaga dużego nakładu pracy podczas przygotowania próbek. Wydaje się być doskonałym narzędziem uzupełniającym dla metod określonych w normach i przepisach. Pozwala w wielu przypadkach na określenie przyczyn powodujących obniżenie parametrów technicznych wymaganych wobec płyt włóknisto-cementowych, może także wspomagać oceny stopnia zużycia elementów już eksploatowanych.



Rys. 6. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty D: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x
Fig. 6. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board D: a) zoom 50x, b) zoom 100x

Zastosowanie zestawu typowego dla badań metalograficznych (o innych parametrach obserwacji oraz odmiennych kryteriach oceny zglądów metalograficznych) wpłynęło na jakość obrazów próbek płyt włóknisto-cementowych.

Obrazy zdecydowanie lepiej wyglądają podczas obserwacji ich na mikroskopie oraz ekranie komputera w trakcie prowadzenia badań. Obraz quasi-stereoskopowy w okularze pozwala oceniać przestrzenną strukturę materiału. Po zapisaniu ich w postaci typowego obrazu 2D o niewielkiej głębi ostrości zdjęcia tracą niestety na jakości. Stają się mniej wyraźne.

5. Podziękowania

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 Śląskiej i Politechniki Wrocławskiej oraz Doosan Babcock Energy Polska S.A. i Instytutu Badań i Rozwoju BOSMAL.

6. Literatura/References

- [1] "Dachówka cementowa EURONIT | CREATON Polska", Euronit.pl, 2017. [Online]. Available: <http://www.euronit.pl>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [2] "Cembrit Holding A/S, Denmark", Cembrit.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.cembrit.com>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [3] PN-EN 12467:2013-03E, Płyty płaskie włóknisto-cementowe. Charakterystyka wyrobu i metody badań.
- [4] R. Drelich, T. Gorzelańczyk, M. Pakuła, K. Schabowicz, "Automated Control of Cellulose Fibre Cement Boards with a Non-Contact Ultrasound Scanner", *Automation in Construction*, vol. 57, pp. 55-63, 2015. DOI 10.1016/j.autcon.2015.04.017
- [5] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, "Non-Destructive Testing of Moisture in Cellulose Fiber Cement Boards", in *11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT)*, Prague, 2014.
- [6] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, "Badania płyt włóknisto-cementowych zawierających materiały z recyklingu", *Materiały Budowlane*, no. 10, pp. 27-29, 2015. DOI 10.15199/33.2015.10.07
- [7] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, "Rewitalizacja elewacji budynków z zastosowaniem płyt włóknisto-cementowych", *Materiały Budowlane*, no. 11, pp. 163-165, 2015. DOI 10.15199/33.2015.11.53
- [8] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków, "Elewacje wentylowane", *Architektura Murator*, no. 6, Warsztat Architekta, no. 3, pp. 36-53, 2017.
- [9] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, M. Szymków, "Nieniszcząca badania płyt włóknisto-cementowych z wykorzystaniem emisji akustycznej", *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 88, no. 10, pp. 35-38, 2016. DOI 10.26628/ps.v88i10.682
- [10] D. K. Szponder, K. Trybalski, "Określanie właściwości popiołów lotnych przy użyciu różnych metod i urządzeń badawczych", *Górnictwo i Geoinżynieria*, vol. 33, no. 4, pp. 287-298, 2009.
- [11] A. Kędzior, K. Trybalski, A. Konieczny, "Zastosowanie nowoczesnych metod badawczych w inżynierii mineralnej", *Inżynieria Mineralna*, no. 3, pp. 155-161, 2003.