



## Mikroklimat i właściwości zdrowotne przegród budowlanych wykonanych z materiałów autoklawizowanych

ANNA STĘPIEŃ<sup>1</sup>, PAULINA KOSTRZEWA<sup>1</sup>, PIOTR JAKUBOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury,  
Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7,  
25-314 Kielce, pkostrzewa@tu.kielce.pl

<sup>2</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Cybernetyki, Instytut Systemów Informatycznych,  
ul. Gen. Witolda Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, piotr.jakubowski@wat.edu.pl

**Streszczenie.** Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na materiały, które składają się z naturalnych substratów, takich jak: SiO<sub>2</sub>, CaO, H<sub>2</sub>O, a następnie na termiczne i wilgotnościowe dysponowanie materiałem, szczególnie w aspekcie rozwoju szkodliwych mikroorganizmów w materiałach budowlanych. Autoklawizowane wyroby silikatowe odznaczają się zasadowym odczynem, który nie sprzyja rozwojowi grzybów, pleśni czy innych szkodliwych mikroorganizmów, natomiast ich mikrostruktura zbudowana jest z uwodnionych krzemianów wapniowych typu tobermoryt o stosunku CaO/SiO<sub>2</sub> = 0,83 i fazy C-S-H. Korzystnymi właściwościami tego rodzaju produktów budowlanych są: nasiąkliwość, która wynosi 16%, i dodatkowo wysoka wytrzymałość na ściskanie o wartości minimum 13 MPa. W artykule zaproponowano wykorzystanie metody ASR (ang. *Additive Ratio Assessment – ARAS*) do opracowania modelu i analizy użytych materiałów budowlanych, które mają wpływ na mikroklimat w pomieszczeniu. Studium przypadku można zdefiniować jako problem decyzyjny.

**Słowa kluczowe:** autoklawizacja, ekologia, piasek, wapno, krzemian, środowisko, ochrona, recykling, ARAS  
**DOI:** 10.5604/01.3001.0012.6654

### 1. Wstęp

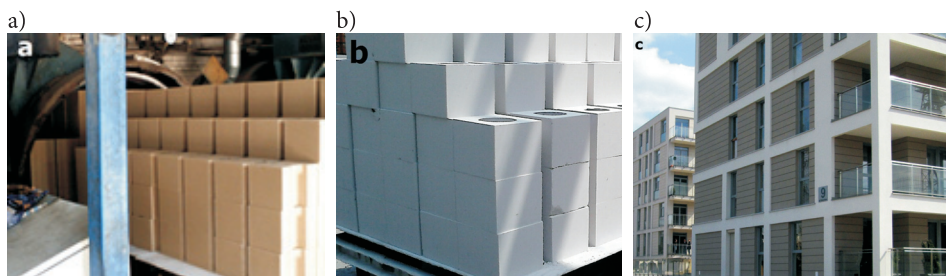
Branża budowlana w szczególny sposób wpływa na wygląd i stan środowiska oraz człowieka. Ciągły wzrost populacji i związane z tym wymagania techniczne i technologiczne są katalizatorem do poszukiwania nowych materiałów o najniższym stopniu

zagrożenia dla ludzi i środowiska. Ściana zewnętrzna powinna stanowić bezpieczną barierę chroniącą człowieka przed mrozem, wiatrem, ogniem i hałasem. Równocześnie spełnienie wszystkich tych wymagań na najwyższym poziomie jest możliwe przy użyciu tak zwanej ściany funkcyjnej lub odpowiedniej modyfikacji materiałów konstrukcyjnych (Dachowski, Stępień, 2010). Definicja betonu i/lub krzemianowego elementu murowego jest następująca: „Element murowy wykonany głównie z wapna i surowców krzemianowych powstający pod wpływem działania pary wodnej i przy udziale wysokiego ciśnienia” (Dachowski, 2009). Ściany budynków mieszkalnych każdorazowo narażone są na wiele zagrożeń, m.in.: niekorzystne warunki atmosferyczne, pożar, wilgoć, promieniowanie, grzyby i inne szkodliwe czynniki. Toksyny wytwarzane przez grzyby mogą powodować ostre lub przewlekłe zatrucia (w tym śmiertelne). Pleśń jest zjawiskiem niebezpiecznym, które negatywnie wpływa na zdrowie i samopoczucie mieszkańców (Jankowski, 2016) zarówno tzw. blokowisk, jak i budynków jednorodzinnych, choć tutaj takie zagrożenia pojawiają się rzadziej, z uwagi na większą powierzchnię budynku i mniejszą liczbę użytkowników. Najczęstszymi grzybami występującymi w domach są *Cladosporium*, *Aspergillus* i *Penicillium*. Często występują również grzyby takie jak: *Alternaria*, *Stachybotrys*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Wallemia*, *Trichoderma*, drożdże, *Botrytis*, *Epicoccum* i *Fusarium*. Poważne zakażenia grzybicze są powszechne i dotyczą głównie pacjentów z obniżoną odpornością. Pojawieniu się i obecności grzyba sprzyja wysoka wilgotność, brak światła słonecznego i temperatura około 20-35°C. W związku z powyższym pomieszczeniami najbardziej narażonymi na obecność grzybów są: łazienki, pralnie, piwnice, kuchnie bez okien lub kuchnie o słabej wentylacji oraz niewystarczająca lub uszkodzona hydroizolacja i izolacja przeciwwilgociowa, szczególnie w podziemnej strefie budynku (Suchora, 2015). Problem ten często występuje również w nowych budynkach (szczelnych), w których nie został wykonany dobry system wentylacji lub obecna jest jedynie wentylacja grawitacyjna. System wentylacyjny to nie tylko komfort wymiany powietrza, lecz także środowisko dla rozwoju bakterii. Dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na rodzaj wentylacji i jej właściwą konserwację. Obecnie wiele uwagi poświęca się materiałom budowlanym, z których wykonano budynki mieszkalne i usługowe, a także elementom okiennym. Drewniane okna stosowane w ubiegłym stuleciu, pomimo niższego efektu cieplnego, zapewniały właściwy komfort zdrowotny i właściwą wymianę powietrza nawet w zamkniętych pomieszczeniach. Obecnie, gdy okna plastikowe (wyjątkowo szczelne) są stosowane na szeroką skalę, należy szukać innej możliwości zapewnienia odpowiedniej wentylacji pomieszczeń. Zwolennicy ekologii nawołują do niestosowania w pokojach systemów komór plastikowych okien, ponieważ szczególnie podczas długiego snu mogą gromadzić się w pomieszczeniu gazy, co może mieć niekorzystny wpływ na zdrowie (Olenets, 2015, Piotrowski, 2015). Dla dorosłych ludzi nie stanowi to poważnego zagrożenia dla życia, ale dla noworodków i dzieci może być poważnym problemem (Polyzois, 2016). Zła regulacja powietrza w pomieszczeniach umożliwi gromadzenie się gazów i rozwój różnego rodzaju grzybów, bakterii, pleśni i innych

drobnoustrojów. Pleśń w domach często pojawia się również w wyniku zjawisk spowodowanych przez powodzie lub awarie instalacji. Zawilgocenia budynków mogą powstawać też w wyniku błędów technicznych popełnionych na etapie projektowania czy budowy, np. niewłaściwa izolacja (hydro- i termoizolacja) ścian (Janikowski, 2016).

## 2. Materiał i środowisko

Silikatowe materiały autoklawizowane powstają w warunkach hydrotermalnych pod działaniem wysokiego ciśnieniem i w temperaturze około  $200^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Przedmiotowy materiał odznacza się wysoką wytrzymałością na ściskanie rzędu 15-20 MPa, a gęstość objętościowa jest równa zazwyczaj  $1,7 \text{ kg/dm}^3$ , jednak w zależności od potrzeb i przeznaczenia — ściany zewnętrzne, konstrukcyjne, działowe (rys. 1) — może się wahać w granicach od  $0,9 \text{ kg/dm}^3$  do  $2,2 \text{ kg/dm}^3$ . Absorpcja wody dla cegieł silikatowych wynosi 16% wody w stosunku do ich masy całkowitej (inne materiały budowlane pochłaniają zwykle 24%  $\text{H}_2\text{O}$  w stosunku do swej masy). Skład i sposób wytwarzania autoklawizowanych wyrobów silikatowych nie sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów, a zawartość procentowa poszczególnych substratów masy może być zmienna ze względu na różną jakość wapna ( $\text{CaO}$ ) lub/i piasku ( $\text{SiO}_2$ ). Na właściwości tego materiału mają wpływ minerały, na które składa się stosowany podczas produkcji piasek, zanieczyszczenia oraz obecne w składzie pierwiastki i związki chemiczne. Dla przykładu udowodnione jest, że piasek bogaty w aluminium (Al) korzystnie wpływa na syntezę tobreorytu (rys. 9) i może prowadzić do zmniejszenia ilości wapna w składzie (co jest zjawiskiem korzystnym ekonomicznie z uwagi na cenę wapna (Aitken, 1960)).

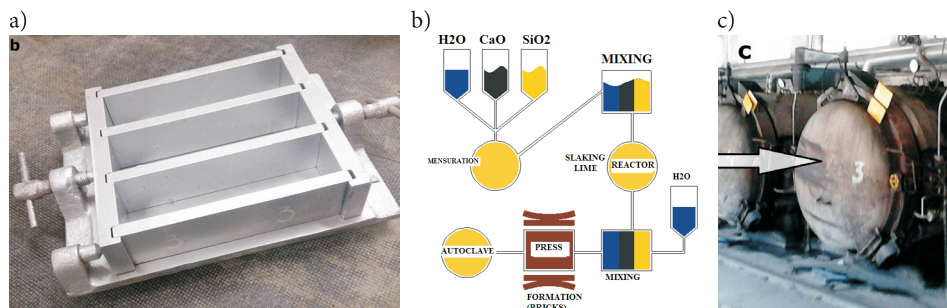


Rys. 1. a) Wyroby silikatowe przed autoklawizacją; b) Cegły po autoklawizacji — Ludynia, Polska; c) Ściany silikatowe w budynkach wielorodzinnych, Kielce, Polska

## 3. Metodologia badań

Przygotowane zostały wyroby tradycyjne i modyfikowane w warunkach laboratoryjnych, jako elementy próbne w formach stalowych o wymiarach  $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}$  oraz do badań półprzemysłowych elementy o wymiarach  $250 \times 180 \times 220 \text{ mm}$

(rys. 2). Do masy surowcowej zawierającej piasek, wapno palone oraz wodę po procesie gaszenia wapna wprowadzano poszczególne modyfikatory w odpowiednich proporcjach (tab. 1). Wstępna faza produkcji materiału polega na wymieszaniu około 88-90% piasku (0-2 mm ziarna), 7% wapna (reaktywność CaO nie mniej niż 89,90%) z 3-5% wody. Temperatura podczas mieszania składników powinna wynosić około 60-80°C (proces gaszenia wapna). Mieszanekę umieszcza się w zbiornikach stalowych (reaktorach), gdzie pozostawia się ją na około cztery godziny. Wapno stosowane przy produkcji wyrobów autoklawizowanych powinno odznaczać się odpowiednią jakością, szczególnie dotyczy to zawartości tlenku magnezu (MgO) w stosowanym podczas produkcji wapnie palonym. Zbyt duża zawartość MgO może bowiem prowadzić do zjawisk tzw. pęcznienia materiału, a szczególnie jego powierzchni licowej (dotyczy to głównie materiałów modyfikowanych komponentami szklanymi). Po homogenizacji składników masę surowcową umieszcza się w formach i prasuje pod ciśnieniem 20 MPa. Następnie próbki dojrzewają w autoklawie przez osiem godzin w temperaturze 203°C i pod ciśnieniem 1,6 MPa.



Rys. 2. a) Zastosowane formy; b) Proces produkcji cegły silikatowej; c) Autoklawy przemysłowe

Omawiane badania wykonano po 21 dniach od czasu rozformowania próbek, przechowywanych w stanie powietrzno-suchym. Podczas modyfikacji brano pod uwagę odsetek modyfikatora w stosunku do ciężaru mieszaniny wapna i piasku (wyjątkiem było tylko włókno bazaltowe, ponieważ ze względu na jego właściwości zastosowano procent objętościowy). Powyżej 20% modyfikatora w stosunku do masy produktu materiały tracą swoje właściwości, z uwagi na kruchość modyfikowanego produktu końcowego.

Właściwości fizyczne otrzymanych produktów określono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach, tj. wytrzymałość na ściskanie (PN-EN 772-1+A1:2015-10E), gęstość (PN-EN 772-13:2001P), absorpcja wody (PN-EN 772-21:2011E), wilgotność (PN-EN 772-10:2000P).

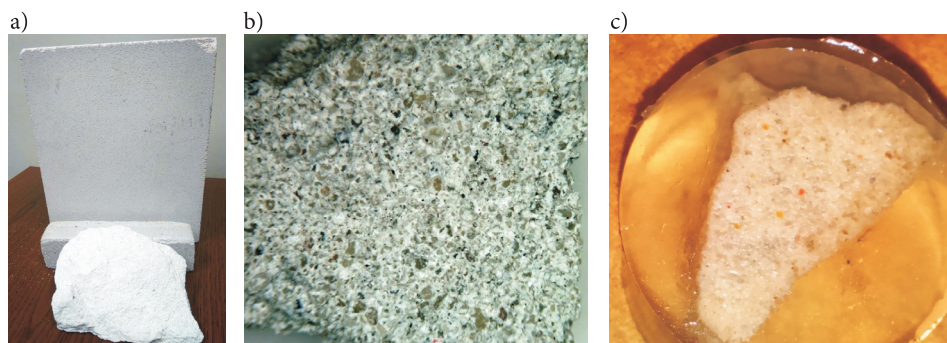
Wytrzymałość na ściskanie określono, używając prasy Tecnotest KC 300. Gęstość próbek wyznaczono przy użyciu piknomietru śrubowego ULTRAPYC 1200e. Mikrostruktura produktów została określona przy użyciu elektronowego mikroskopu

skaningowego SEM typu Quanta 250 FEG z analizatorem EDS. W celu określenia jakości i składu wapna oraz piasku została wykonana analiza XRF (ang. *X-Ray Fluorescence*, rys. 4). W modyfikacjach użyto mieszanki wapienno-piaskowej stosowanej podczas produkcji przemysłowej (Zakład Ludynia, Grupa Silikaty). Wykonano badania XRF w celu określenia jakości oraz składu wapna i piasku.

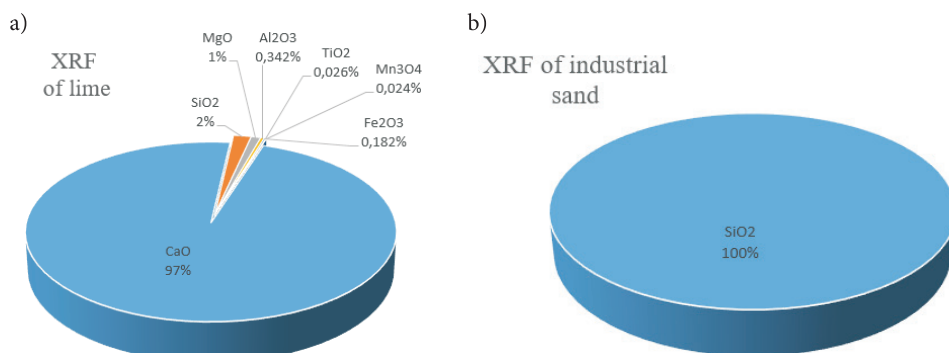
TABELA 1

Symbole i liczba poszczególnych modyfikatorów [%]

Nazwa	Liczba modyfikatorów	Skrót
Tradycyjna autoklawizowana cegła silikatowa	–	MT
Materiał silikatowy z krzemianem litu	5	MK
Materiał silikatowy z włóknem bazaltowym	5	MBF
Materiał silikatowy z odpadami organicznymi	5	MO
Materiał silikatowy z pudrem bazaltowym	10	MBP
Materiał silikatowy z pudrem szklanym	10	MGP
Materiał silikatowy z kruszywem bazaltowym	20	MB
Materiał silikatowy z kruszywem barytowym	20	MBa
Materiał silikatowy z piaskiem szklanym	20	MGS



Rys. 3. a) Materiały autoklawizowane przemysłowe i próbki laboratoryjne; b) Zdjęcie struktury wewnętrznej materiału; c) Próbka do badania SEM (SEM Microscope)



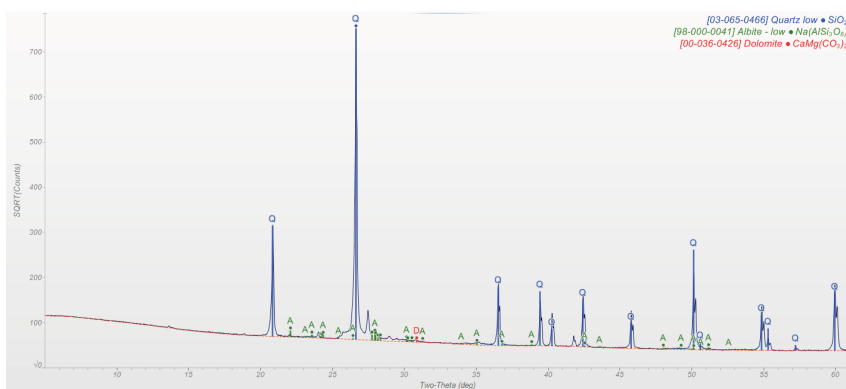
Rys. 4. Analiza XRF dla: a) wapna, b) piasku

Główne substraty do produkcji materiału konstrukcyjnego były monitorowane i poddawane kontroli na każdym etapie produkcji laboratoryjnej i przemysłowej. Wapno palone składa się zazwyczaj w 96,03% z tlenku wapnia, 1,69% dwutlenku krzemu, 0,92% tlenku magnezu oraz mniejszych ilości innych związków chemicznych. Natomiast przebadany piasek jest praktycznie w całości piaskiem kwarcowym.

#### 4. Analiza dyfrakcji (XRD)

Skład fazowy otrzymanych próbek określono za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego PANalytical dla większości próbek. Udział poszczególnych faz ustalono metodą Rietvela. Pomiary wykonano przy użyciu monochromatycznego promieniowania o długości fali odpowiadającej linii emisji miedzi K $\alpha$  w zakresie kątowym 5-90° w skali 2 $\theta$ . Analiza rentgenowska (XRD) przedmiotowych materiałów autoklawizowanych wykazała obecność takich minerałów i faz jak: kwarc, kalcyt, watoryt, aragonit, faza C-S-H, tobermoryt, ksonotlit. Wyniki analizy XRD nie różniły się radykalnie od próbki referencyjnej (rys. 5).

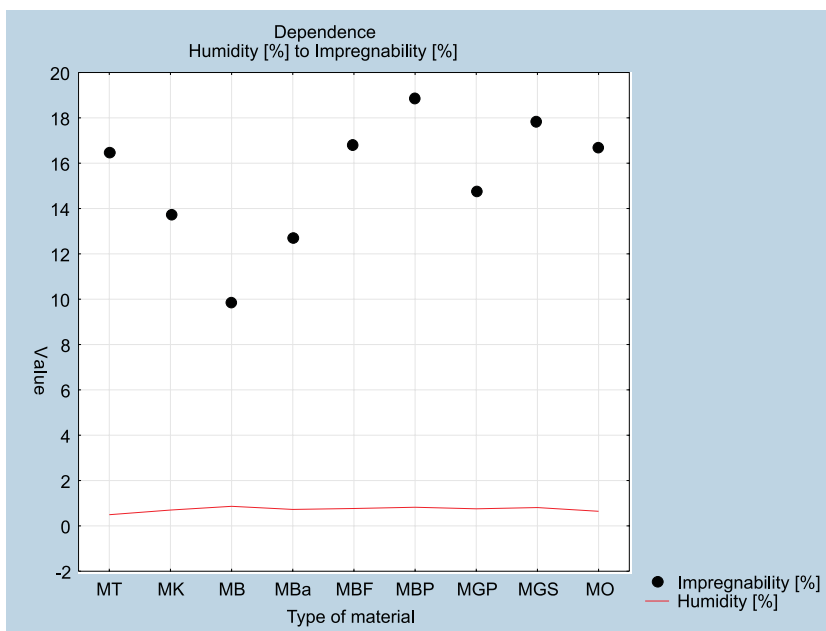
Dodatkowa faza określaną jako gyrolit pojawia się w próbkach z udziałem piasku z recyklingu szkła (tj. piasek szklany) o strukturze amorficznej. Zmiany, które można było w tym przypadku zaobserwować w badaniu XRD, mają związek z obecnością sodu, który katalizuje powstawanie gyrolitu. Na rysunku 5 przedstawiono próbkę referencyjną (tradycyjny materiał silikatowy), która była punktem odniesienia dla elementów modyfikowanych.



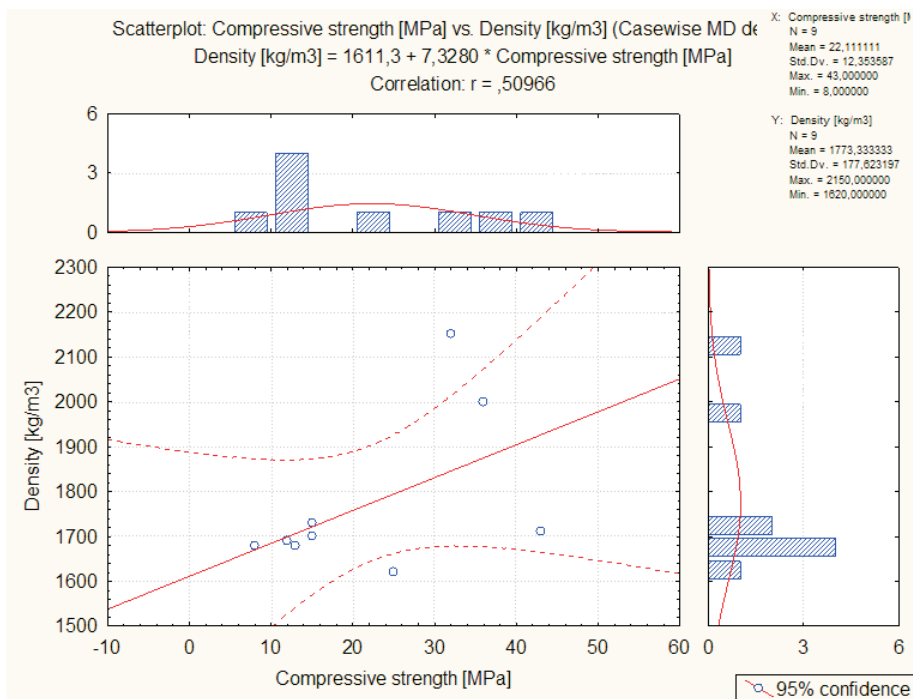
Rys. 5. Dyfrakcja rentgenowska tradycyjnych cegieł silikatowych

#### 5. Wyniki badań i dyskusja

Celem analiz było określenie kierunku badań, przydatności i użyteczności technologicznej wykonanych modyfikacji do ewentualnej produkcji przemysłowej.

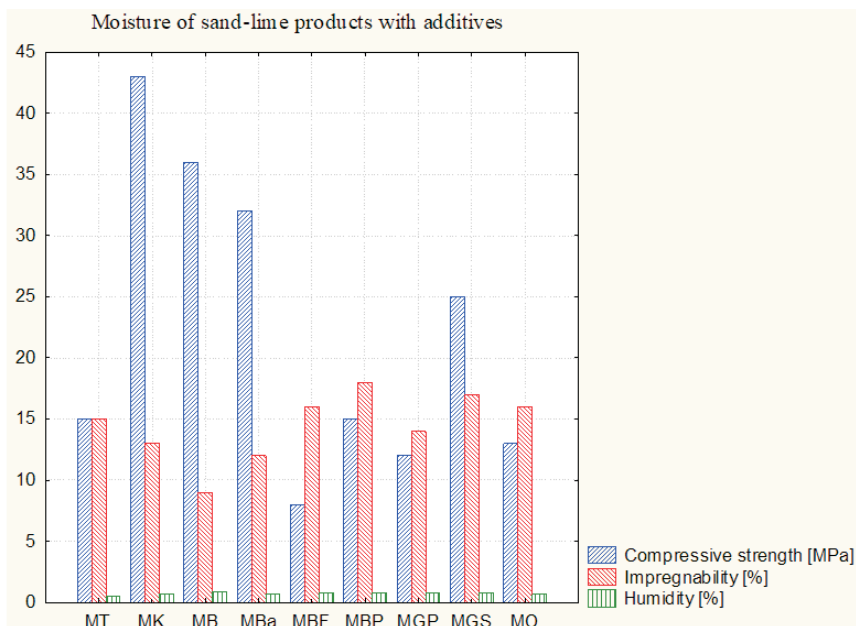


Rys. 6. Zależność między wilgotnością [%] i nasiąkliwością [%]



Rys. 7. Zależność między wytrzymałością i gęstością [MPa, kg/dm<sup>3</sup>]

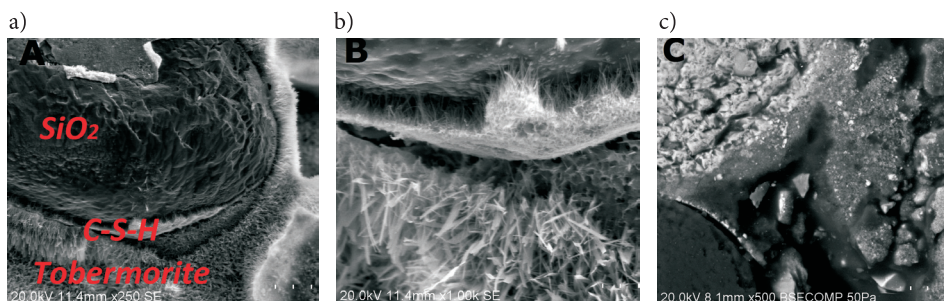
Ważnymi właściwościami była nie tylko wytrzymałość na ściskanie (z uwagi na podstawowe wymagania dla projektowanego materiału), lecz także wilgotność, absorpcja wody oraz akumulacja ciepłno-wilgotnościowa modyfikowanych bloczków (rys. 6-8). Ważnym aspektem była również możliwość wykorzystania materiałów z recyklingu (pod warunkiem, że nie generują negatywnego wpływu na środowisko i człowieka, jak np. piasek szklany).



Rys. 8. Wilgotność, nasiąkliwość i wytrzymałość próbek modyfikowanych

## 6. Mikrostruktura materiału (analiza SEM)

W mikrostrukturze autoklawizowanych wyrobów silikatowych wyróżnić można uwodnione krzemiany wapnia, a szczególnie tobermoryt i fazę C-S-H.



Rys. 9. Mikrostruktura referencyjnej cegły silikatowej: a), b) analiza SEM w wysokiej próżni; c) analiza SEM w niskiej próżni



## 7. Badania wzrostu grzybów strzępkowych na wyrobach wapienno-piaskowych

Pojawiające się na ścianie czarne wykwyty albo zielonkawy nalot nie tylko burzą estetykę pomieszczenia, ale przede wszystkim mogą wywołać choroby u ludzi, zwłaszcza alergiczne (Gutarowska, 2010). Aby sprawdzić podatność wyrobów wapienno-piaskowych z poszczególnymi dodatkami na rozwój grzybów strzępkowych, przeprowadzono badania modelowe w laboratorium. Wykorzystano do nich pleśń typu *Aspergillus versicolor* 3 — szczep wyizolowany z powłoki malarskiej w budynku zagrzybionym. Hodowlę pleśni obserwowano przez 30 dni, w temperaturze około 27°C, przy korzystnych dla wzrostu grzybów parametrach wilgotności materiałów budowlanych oraz z dodatkiem substancji organicznej inicjującej wzrost. Zgodnie z przewidywaniami na powierzchni cegły wapienno-piaskowej grzyb się nie rozwijał. Ściany wykonane z silikatu wykazują świetną odporność na działanie czynników mikrobiologicznych, jak pleśń i grzyby, z uwagi na ich zasadowy odczyn i zastosowanie naturalnych substratów (zastosowanie wapna ma właściwości bakteriobójcze). Ponadto prowadzone były obserwacje w obiekcie mieszkalnym, który uległ zalaniu w wyniku niesprawnej instalacji wodnej. Przez rok nie odnotowano żadnych zmian grzybiczych na ścianach wewnętrznych. Silikat w znacznym stopniu ogranicza ryzyko wystąpienia tego typu zjawisk.

## 8. Model matematyczny

Opracowanie modelu matematycznego może stanowić podstawę do przeprowadzania symulacji możliwych zagrożeń biologicznych mogących zaistnieć w budynkach (pleśnie, grzyby) lub odpowiedniego monitorowania miejsc szczególnie zagrożonych w oparciu o podstawowe dane. W tym celu można zastosować wielokryterialne metody optymalizacji (ang. *Multicriteria Decision-making (MCDM)*) (Ameljańczyk, 2011), w celu podjęcia optymalnej decyzji przy zastosowaniu różnych kryteriów. Pierwszym etapem zbudowania modelu jest utworzenie macierzy decyzyjnej preferencji dla „ $m$ ” materiałów, z których wykonane są obiekty budowlane (wierszy) oraz „ $k$ ” kryteriów (kolumn) zagrożeń.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{0j} & x_{0k} \\ x_{i1} & x_{ij} & x_{ik} \\ x_{m1} & x_{mj} & x_{mk} \end{bmatrix}; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, k}, \quad (1)$$

gdzie:  $m$  — numer rodzaju materiału,  
 $k$  — numer kryterium rodzaju materiału,  
 $x_{ij}$  — wartość wydajności  $i$ -tego materiału  $j$ -tego kryterium,  
 $x_{0j}$  — optymalna wartość  $j$ -tego kryterium.

Kolejnym etapem jest wyznaczenie wartości kryteriów porównawczych. W tym celu należy wyznaczyć stosunek wartości optymalnej, dla ułatwienia przyjmujemy wartości z przedziału  $[0;1]$  lub  $[0;\infty]$  przez zastosowanie normalizacji. Dlatego w tym etapie wszystkie wartości kryteriów są znormalizowane  $\overline{X}$ .

$$\overline{X} = \begin{bmatrix} \overline{x_{01}} & \overline{x_{0j}} & \overline{x_{0k}} \\ \overline{x_{i1}} & \overline{x_{ij}} & \overline{x_{ik}} \\ \overline{x_{m1}} & \overline{x_{mj}} & \overline{x_{mk}} \end{bmatrix}; i = \overline{0, m}; j = \overline{1, k} \quad (2)$$

W macierzy występują ekstrema, tzw. maksimum wartości kryterium, które możemy zapisać jako:

$$\overline{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}, \quad (3)$$

a także minimum:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}. \quad (4)$$

Ostatnim etapem jest wyznaczenie kryteriów oceny, które można opracować na podstawie zdefiniowania wag o wartościach z przedziału  $0 < w_j < 1$ . Wyznaczenie wag jest bardzo subiektywne, ponieważ jest poddane ocenie niezależnych ekspertów. Suma wag zawsze ograniczona jest do wartości 1 (Ameljańczyk, 1986; Belton, Stewart, 2000). Można zapisać, że:

$$\hat{x}_{ij} = \overline{x_{ij}} w_j; i = \overline{0, m}, \quad (5)$$

gdzie:  $\hat{x}_{ij}$  — wartość normalizowanej wagi wszystkich kryteriów,  
 $w_j$  — waga  $j$ -tego kryterium,  
 $\overline{x_{ij}}$  — normalizowany ranking  $j$ -tego kryterium.

Dla tak zamodelowanego zadania można wyznaczyć wartość funkcji opisującej bezpośredni wpływ badanych rodzajów materiałów oraz kryteriów na wynik końcowy. Dlatego można stwierdzić, że im wartość otrzymanej funkcji jest większa, tym bardziej skuteczny jest rodzaj zastosowanego materiału:

$$f_i = \sum_{j=1}^k \hat{x}_{ij}; i = \overline{0, m}, \quad (6)$$

gdzie:  $f_i$  — wartość funkcji  $i$ -tego rodzaju materiału.

W artykule zaproponowano wykorzystanie metody ASR (ang. *Additive Ratio Assessment* — ARAS) (Ameljańczyk, 1986) do opracowania modelu oraz analizy wykorzystanych materiałów budowlanych wpływających na mikroklimat w pomieszczeniu. Studium przypadku można zdefiniować jako problem decyzyjny, zwykle skomplikowany oraz nieustrukturyzowany. Dla rozważenia kryterium zagrożeń wymagana jest znajomość obszarów generujących sytuacje krytyczne, które należy wyznaczyć w celu podjęcia optymalnej decyzji.

Podsumowując, zbudowanie symulatora pozwoliłoby ocenić wpływ różnych metod rozważania problemów decyzyjnych powstałych przy zastosowaniach odmiennych materiałów budowlanych. Wartość użyteczności funkcji ARAS określa złożoność wprost proporcjonalną do wartości ustalonych kryteriów ważonych. Na podstawie wartości funkcji użyteczności można określić wagi zagrożeń przy przeszukiwaniu alternatywnych mikrostruktur materiałów.

### Podziękowania

Specjalne podziękowania dla University of Sherbrooke (UdeS, Civil Engineering Department, Sherbrooke, Canada) za możliwość wykonania części badań i współpracę podczas stażu.

Źródło finansowania pracy — 02.0.05.00/2.01.01.02.0006 MNSC. BKTO.16.005

Artykuł wpłynął do redakcji 20.06.2018 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 7.09.2018 r.

### LITERATURA

- [1] AITKEN A., TAYLOR H.F.W., *Hydrothermal reactions in lime-quartz pastes*, J.Appl Chem 10, 1960.
- [2] AMELJAŃCZYK A., *Optymalizacja wielokryterialna*, WAT, Warszawa 1986.
- [3] AMELJAŃCZYK A., *Properties of the Algorithm for Determining an Initial Diagnosis Based on Two-Criteria Similarity Model*, Biuletyn Instytutu Systemów Informatycznych, nr 8, 2011, 9-16.
- [4] BELTON V., STEWART T., *Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [5] DACHOWSKI R., STĘPIEŃ A., *Masa na wyroby silikatowe*, zgłoszenie patentu P.396499, 2011.
- [6] DACHOWSKI R., STĘPIEŃ A., *Sposób oraz stanowisko badawcze do określania izolacyjności akustycznej elementów bud., zwłaszcza silikatowych i betonowych*, PL387603, 2009.
- [7] DACHOWSKI R., STĘPIEŃ A., *Structural modification of sand-lime blocks regarding their physical and mechanical features*, 8th fib Internat. PhD Symp. in Civil Eng. Denmark, 2010, June.
- [8] GUTAROWSKA B., *Grzyby strzępkowe zasiedlające materiały budowlane, Wzrost oraz produkcja mikotoksyn i alergenów*, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, z. 398, 2010, 3-161.
- [9] JANKOWSKI T., *Pleśń w domu — przyczyną wielu chorób*, <http://naszeczialo.blogspot.com/2014/01/pleesn-w-domu-przyczyna-wielu-chorob.html>, 2016.
- [10] OLENETS M.O., PIOTROWSKI J.Z., STROY A.F., *Heat transfer and air movement in the ventilated air gap of passive solar heating systems with regulation of the heat supply*, Energy and Buildings, vol. 103, 2015, p. 198-205.

- [11] PIOTROWSKI J. Z., STROY A.F., OLENETS M.O., *Mathematical model of the thermal-air regime of a ventilated attic*, Journal of Civil Engineering and Management, 21, 6, 2015.
- [12] PN-EN 772-1+A1:2015-10E *Methods of test for masonry units-Part 1: Determ.of compr.str.*
- [13] PN-EN 772-10:2000P *Methods of test for masonry units — Part 10: Determination of moisture content of calcium silicate and autoclaved aerated concrete units.*
- [14] PN-EN 772-13:2001P *Methods of masonry units — Part 13: Determination of net and gross dry density of masonry units (except for natural stone).*
- [15] PN-EN 772-21:2011E *Methods of test for masonry units — Part 21: Determination of water absorption of clay and calcium silicate masonry units by cold water absorption.*
- [16] POLYZOIS D., POLYZOI E., WELLS J.A., KOULIS T., *Poor Indoor Air Quality, Mold Exposure and Upper Respiratory Tract Infections-Are We Placing Our Children at Risk?*, J Environ Health, Mar 78, 7, 2016, 20-7.
- [17] SUCHORA G., *Grzyb i pleśń na ścianie — jakie choroby wywołują, jak się ich pozbyć*, [https://kobieta.onet.pl/zdrowie/zycie-i-zdrowie/grzyb-i-plesn-na-scianie-jakie-choroby-wywoluja\(...\)](https://kobieta.onet.pl/zdrowie/zycie-i-zdrowie/grzyb-i-plesn-na-scianie-jakie-choroby-wywoluja(...)), 2015.

A. STĘPIEŃ, P. KOSTRZEWA, P. JAKUBOWSKI

### **Microclimate and health properties of autoclaved building materials in the context of their modification**

**Abstract.** The construction industry in a special way affects the condition of the state of the environment and human. It is necessary to search for materials with the lowest degree of risk to humans. The aim of the article is to focus attention on the materials which are composed of natural components such as: SiO<sub>2</sub>, CaO, H<sub>2</sub>O, and next on the thermal and moisture management of the material in the aspect of development of harmful microorganisms in construction materials (including the modified ones). The microstructure of the materials usually includes tobermorite with a ratio CaO/SiO<sub>2</sub> = 0.83 and C-S-H phase, impregnability 16%, and compressive strength minimum 13 MPa. The article proposes the use of the ASR (Additive Ratio Assessment-ARAS) method to develop a model and analysis of the used building materials that affect the microclimate in the room. A case study can be defined as a decision problem.

**Keywords:** architecture, sand, lime, silicate, environment, protection, recycling, ARAS

**DOI:** 10.5604/01.3001.0012.6654