

**Ryszard DACHOWSKI, Paulina KOSTRZEWA**

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury

## SILIKATY W ŚWIELE EKOLOGII I EKONOMII

Artykuł przedstawia porównanie popularnych materiałów ściennych za pomocą wielokryterialnej analizy techniczno-ekonomicznej. Przedmiotem analizy były autoklawizowane wyroby wapienno-piaskowe, beton komórkowy oraz ceramika budowlana. Porównania dokonano na podstawie ocen wybranych cech materiałów, takich jak: koszt, wytrzymałość na ściskanie, ekologia, izolacyjność akustyczna oraz akumulacja ciepła.

**Słowa kluczowe:** silikaty, analiza wielokryterialna, ekologia, ekonomia

### WPROWADZENIE

Silikaty są coraz popularniejszym materiałem budowlanym. Swój sukces zawdzięczają przede wszystkim wysokiej wytrzymałości na ściskanie, mrozoodporności i trwałości. W dzisiejszych czasach przy ocenie materiału budowlanego za równie istotne parametry stawia się ekologię i ekonomię. Dzieje się tak w związku z coraz większą świadomością o budownictwie zrównoważonym inwestorów oraz użytkowników budynków. Budownictwo zrównoważone jest nazywane budownictwem ekologicznym. Określa materiały oraz sposoby ich wytwarzania, które nie ingerują w środowisko naturalne i nie mają negatywnego wpływu na samopoczucie i zdrowie człowieka [1].

### 1. SILIKATY A EKOLOGIA

Cegła silikatowa powstaje z naturalnych surowców: piasku, wapna i wody. Zazwyczaj wymienione składniki są wydobywane lokalnie, przez co można zredukować dodatkowe koszty transportu, a jednocześnie związaną z tym emisję spalin do atmosfery. Ponadto na etapie produkcji nie są dodawane żadne toksyczne składniki, dzięki czemu uzyskujemy przyjazny dla środowiska wyrób [2].

Produkcja wyrobów jest niskoenergetyczna. Najwięcej energii zużywa się podczas procesu autoklawizacji. Hartowanie silikatów przebiega od 6 do 12 godzin w specjalnych autoklawach w temperaturze ponad 200°C i przy ciśnieniu pary wodnej 1,6 bar. Hartowanie wyrobu silikatowego w autoklawach powoduje, że wapno aktywizuje krzemianowe składniki piasku kwarcowego, tworząc stałe związki -

uwodnione krzemiany wapnia, przez co uzyskuje się m.in. wysoką wytrzymałość na ściskanie, odporność, mały skurcz i niewielkie odkształcenia wyrobów [3, 4].

Autoklawizowane wyroby wapienno-piaskowe są niepalne. W temperaturze 600°C nie dochodzi do ich rozpadu czy też zwęglenia, ponadto podczas pożaru materiał nie wydziela toksycznych substancji.

Każdy materiał emituje promieniowanie, jest to zjawisko naturalne i nie stanowi zagrożenia, o ile nie przekracza dopuszczalnych wartości [5]. Naturalna radioaktywność materiałów budowlanych jest wywołana zawartością pierwiastków mineralnych: toru, potasu, radu i radonu [6]. Chcąc zapewnić odpowiednie warunki higieniczno-zdrowotne w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi lub zwierząt, trzeba eliminować stosowanie wyrobów budowlanych zawierających w nadmiernej ilości wymienione pierwiastki promieniotwórcze [7]. Prawo budowlane [8], Prawo atomowe [9] oraz rozporządzenia wykonawcze i rekomendacje Unii Europejskiej określają wymagania dotyczące średniego rocznego stężenia radonu w budynkach. Podstawą oceny wyrobów budowlanych są dwa wskaźniki aktywności promieniowania  $f_1$  i  $f_2$ , które są oznaczane laboratoryjnie [10]. Wskaźnik  $f_1$  informuje o narażeniu całego ciała promieniowaniem gamma przez radionuklidy naturalne: potasu K - 40, radu Ra - 226 i toru Th - 228, występujące w materiale. Wskaźnik  $f_2$  informuje o zawartości radu Ra - 226, który jest izotopem macierzystym radonu, a więc pośrednio o stopniu narażenia na promieniowanie alfa radonu Rn - 222 i jego krótkożyciowych pochodnych. Współczynnik  $f_1$  nie powinien być większy od 1,2 Bq/kg, a współczynnik  $f_2$  nie większy niż 240 Bq/kg. Do produkcji materiałów budowlanych często wykorzystuje się odpady produkcyjne o wysokiej zawartości pierwiastków promieniotwórczych, takie jak popioły lotne z węgla kamiennego czy też żużle paleniskowe. Surowce te obniżają cenę wyrobu i poprawiają niektóre właściwości, jednak równocześnie podwyższają promieniotwórczość. Wysokość stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych powoduje podział materiałów budowlanych na trzy grupy: o najmniejszej, średniej i podwyższonej promieniotwórczości. Elementy silikatowe zaliczają się do pierwszej, najkorzystniejszej dla zdrowia ludzkiego grupy (tab. 1).

Tabela 1. Porównanie promieniowania wybranych materiałów budowlanych [11]

Materiał	Współczynnik $f_1$	Współczynnik $f_2$
	$\leq 1,2$ Bq/kg	$\leq 240$ Bq/kg
Silikaty	0,16	20
Beton komórkowy piaskowy	0,16	20
Ceramika	0,54	70
Beton komórkowy popiołowy	0,60	90

Silikaty zapewniają przyjazny mikroklimat, można je porównać do naturalnego klimatyzatora. Temperatura i wilgotność powietrza w mieszkaniu są stałe, silikat przyjmuje ciepło i je utrzymuje do momentu, kiedy temperatura wnętrza nie spadnie.

Autoklawizowane wyroby wapienno-piaskowe są odporne na warunki atmosferyczne. Nie ulegają degradacji pod wpływem promieni UV czy też procesów erozyjnych. Posiadają silny odczyn zasadowy, przez co zapobiegają rozwojowi flory bakteryjnej i grzybów, charakteryzują się wysoką odpornością biologiczną [12].

Gruz silikatowy, będący odpadem, nie powoduje zanieczyszczenia i degradacji środowiska. Można go ponownie wykorzystać do wyrobu bloczków i cegieł silikatowych. Wyroby wapienno-piaskowe łatwo można poddać recyklingowi, a ich utylizacja nie wymaga dużych nakładów finansowych.

## 2. SILIKATY A EKONOMIA

Niejednokrotnie inwestorzy i użytkownicy stawiają przede wszystkim na ekonomię przedsięwzięcia budowlanego: koszty budowli oraz jej eksploatacji. Za silikatami przemawia wiele argumentów ekonomicznych, wspomniane niskie koszty surowca i produkcji powodują, że silikaty są jednym z najtańszych materiałów budowlanych.

Na etapie budowy ich dużą zaletą jest dokładność wymiarowa i uniwersalność, wpływa to na przyspieszenie wznoszenia ścian oraz oszczędność kosztów. Gotowy wyrób charakteryzuje się stabilnością wymiarów. Podczas sezonowania, transportu czy budowy nie zmienia swoich gabarytów. Murowanie przy wykorzystaniu silikatów nie wymaga drogich narzędzi, ciężkiego sprzętu czy też skomplikowanych technologii. Naturalna mineralna struktura wyrobu stanowi podłoże o dobrej przyczepności dla zapraw. Korzystna struktura oraz właściwości adhezyjne znacznie ułatwiają prace wykończeniowe, zwłaszcza tynkowanie [13].

Zgodnie z prawem masy, im większy ciężar przegród, tym wyższa izolacyjność akustyczna. Silikaty dzięki swojej wysokiej gęstości charakteryzują się bardzo dobrą izolacyjnością akustyczną, co ma szczególne znaczenie w budownictwie wielorodzinnym [14]. Uzyskanie odpowiedniej izolacyjności akustycznej jest istotnym zadaniem projektantów obiektów wielorodzinnych oraz użyteczności publicznej. Ściany oddzielające lokal mieszkalny od innych części budynku powinny charakteryzować się izolacyjnością akustyczną na poziomie  $R_{A1} \geq 50$  dB [15].

## 3. WIELOKRYTERIALNA ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

W celu porównania autoklawizowanych wyrobów wapienno-piaskowych z innymi popularnymi materiałami budowlanymi, wykorzystywanymi do wykonywania ścian, zastosowano analizę wielokryterialną. W tabeli 2 określone zostały kryteria oceny oraz ich wartości dla poszczególnych materiałów. Koszt wykonania  $1 \text{ m}^2$  ściany dwuwarstwowej o współczynniku przenikania ciepła  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$  z poszczególnych materiałów obliczono, uwzględniając koszty budulca, ocieplenia oraz robocizny. Do porównania wybrano bloczek silikatowy o grubości 18 cm, pustak ceramiczny o grubości 25 cm oraz bloczek z betonu komórkowego odmiany 600 o grubości 24 cm.

Tabela 2. Porównanie wybranych ściennych materiałów budowlanych [16]

Kryterium (parametr)	Bloczek silikatowy	Pustak ceramiczny	Bloczek z betonu komórkowego, piaskowy
Koszt [zł/1m <sup>2</sup> ]	163	164	174
Wytrzymałość na ściskanie elementu [MPa]	25	20	4
Ekologia	bardzo dobra	dobra	bardzo dobra
Izolacyjność akustyczna R <sub>A1</sub> [dB]	55	52	47
Akumulacja ciepła	bardzo dobra	dobra	dostateczna

Tabela 3 przedstawia oceny w zakresie od 2-5, przyporządkowane poszczególnym kryteriom. Przy czym 5 punktów oznacza parametr bardzo dobry, natomiast 2 - zły. Ponadto w tabeli 3 zawarte są odpowiednie wagi kryteriów w zależności od istotności parametru. Oceny oraz wagi zostały określone na podstawie ankietyzacji wśród inwestorów oraz użytkowników budynków. Suma wag równa jest 100%.

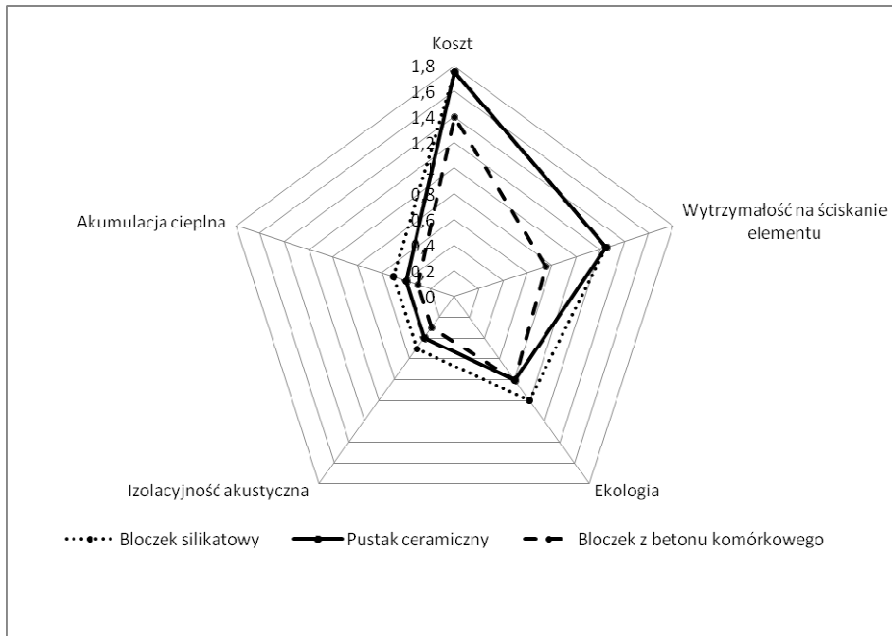
Tabela 3. Punktacja oraz ważność poszczególnych kryteriów

Kryterium (parametr)	Bloczek silikatowy	Pustak ceramiczny	Bloczek z betonu komórkowego, piaskowy	Waga
Koszt [zł/1m <sup>2</sup> ]	5	5	4	0,35
Wytrzymałość na ściskanie elementu [MPa]	5	5	3	0,25
Ekologia	5	4	4	0,20
Izolacyjność akustyczna R <sub>A1</sub> [dB]	5	4	3	0,10
Akumulacja ciepła	5	4	3	0,10

Tabela 4 zawiera iloraz poszczególnych ocen oraz ich wagi. Na podstawie tabeli 4 sporządzono rysunek 1, który w formie wykresu radarowego obrazuje oceny poszczególnych materiałów ściennych, uwzględniając ich wagę. Ponadto wyznaczona sumaryczna ocena jest najwyższa dla elementów silikatowych, co świadczy o ich uniwersalności oraz bardzo dobrych parametrach.

Tabela 4. Iloraz poszczególnych ocen i ich wag

Kryterium (parametr)	Bloczek silikatowy	Pustak ceramiczny	Bloczek z betonu komórkowego, piaskowy
Koszt	1,75	1,75	1,4
Wytrzymałość na ściskanie elementu	1,25	1,25	0,75
Ekologia	1	0,8	0,8
Izolacyjność akustyczna	0,5	0,4	0,3
Akumulacja ciepła	0,5	0,4	0,3
Suma	5	4,6	3,55



Rys. 1. Porównanie poszczególnych ocen z uwzględnieniem ich istotności

Na wykresie radarowym zostały przedstawione trzy wielokąty, każdy dla określonego materiału. Im większe pole powierzchni figury, tym lepsze rozwiązanie materiałowe. Dla silikatów wynosi ono  $2,41 \text{ j}^2$ , dla ceramiki  $2,08 \text{ j}^2$  i dla betonu komórkowego  $1,14 \text{ j}^2$ .

## PODSUMOWANIE

Silikaty posiadają wiele zalet i w porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi ściennymi materiałami budowlanymi wypadają bardzo dobrze. Sumaryczna ocena silikatów na tle pozostałych materiałów jest najwyższa, najgorzej natomiast prezentuje się beton komórkowy. Biorąc pod uwagę ceramikę oraz beton komórkowy, wyroby wapienno-piaskowe wyróżnia wysoka wytrzymałość na ściskanie i ekologia, a mury z nich wykonane odznaczają się bardzo dobrą trwałością oraz izolacyjnością akustyczną. Zastosowanie autoklawizowanych wyrobów wapienno-piaskowych pozwala osiągnąć przyjazny mikroklimat, korzystny dla zdrowia człowieka. Zarówno względy ekologiczne, jak i ekonomiczne przemawiają za tym rozwiązaniem.

## LITERATURA

- [1] Major M., Major I., Konstrukcje zespolone w budownictwie zrównoważonym, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2015, 2(16), 51-56.
- [2] Sawicki J., Silikaty w budownictwie, Izolacje 2009, 1, 39-45.

- [3] Zapotoczna-Sytek G., Balkovic S., Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia, właściwości, zastosowanie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [4] Nowek M. The use of selected regranulates in silicate masonry elements, 9-th International Conference: Environmental engineering, 2014.
- [5] Czarnecki L., Broniewski T., Henning O., Chemia w budownictwie, Arkady, Warszawa 1994.
- [6] Lewowicki S., Zarys technologii materiałów budowlanych, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000.
- [7] Zapotoczna-Sytek G., Mamont-Cieśla K., Rybarczyk T., Naturalna promieniotwórczość wyrobów budowlanych, w tym autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK), Przegląd Budowlany 2012, 7-8, 39-42.
- [8] Ustawa z 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane, tj. DzU z 2006 r., Nr 156, poz. 1118 z późn. zm.
- [9] Ustawa z 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe, tj. DzU z 2007 r., Nr 42, poz. 276 z późn. zm.
- [10] Poradnik ITB 455/2010 Badania promieniotwórczości naturalnej wyrobów budowlanych (zastępujący Instrukcję ITB 234/2003).
- [11] Materiały informacyjne Grupa Silikaty.
- [12] Sieniawska-Kuras A., Tradycyjne i nowoczesne materiały budowlane, Wydawnictwo KaBe, Krosno 2011.
- [13] Dachowski R., Kostrzewa P., Impact of polyethylene glycol on porosity and microstructure of sand-lime product, E3S Web of Conferences, 2016.
- [14] Dachowski R., Stępień A., Efektywność techniczno-ekonomiczna stosowania wyrobów silikatowych z polepszoną ich izolacyjnością akustyczną, [w:] Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, pod red. T. Bobki, J. Rajczyka, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008, 56-61.
- [15] PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach - Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
- [16] Materiały informacyjne sklepu internetowego hurtowniabudowlana24.pl, dostęp: 15.10.2016 r.

## SAND-LIME PRODUCTS IN THE LIGHT OF ECOLOGY AND ECONOMICS

**The article presents a comparison of popular materials for walls using technical and economic multi-criteria analysis. Autoclaved sand-lime products, aerated concrete and ceramics were analyzed. The comparison was made based on assessments of selected characteristics of the materials, such as: cost, compressive strength, ecology, acoustic insulation and thermal accumulation.**

**Keywords:** sand-lime products, multi-criteria analysis, ecology, economy