

Rozwój rynku pianki szklanej jako materiału izolacyjnego w przemyśle i budownictwie

Development of the glass foam market as an insulating material in industry and construction

SŁOWA KLUCZOWE

spienione szkło, materiał izolacyjny

KEY WORDS

foamed glass, insulation material

Andrzej Grzebielec

Politechnika Warszawska, Wydział
Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa,

andrzej.grzebielec@pw.edu.pl

STRESZCZENIE

Materiały z pianki szklanej są równie dobrym izolatorem jak powszechnie wykorzystywane materiały ze spienionych tworzyw sztucznych czy też wełna mineralna. A w wielu zastosowaniach są materiałem zdecydowanie lepszym. Chodzi chociażby o zastosowania kriogeniczne oraz zastosowania wysokotemperaturowe. Rynek pianek szklanych systematycznie się rozwija i coraz śmielej konkuruje z materiałami, które do tej pory były bezkonkurencyjne, zwłaszcza w branży budowlanej. Artykuł ma na celu przybliżyć właściwości materiału jak i sam rynek materiałów związanych ze spienionymi materiałami szklanymi.

SUMMARY

Glass foam materials are as good an insulator as commonly used materials made of foamed plastics or mineral wool. And for many applications, they are a much better material. It is about cryogenic and high temperature applications. The market of glass foams is systematically developing and it competes more and more boldly with materials that have been unrivaled so far, especially in the construction industry. The aim of the article is to present the properties of the material as well as the market of materials related to foamed glass materials.

Wstęp

Spienione szkło to nieorganiczny materiał wytwarzany ze szkła pochodzącego głównie z recyklingu. Jest to szczególnie istotne, gdyż szacuje się, że 7% odpadów stałych wytwarzanych przez ludzkość to odpady szklane [5]. W latach 30. XX wieku firma Saint-Gobain z Francji po raz pierwszy opracowała spienione szkło wykorzystując węglan wapnia jako środek spieniający. W 1935 r. złożyła wniosek o pierwszy patent. Następnie, w 1939 roku, Związek Radziecki poinformował, że eksperymentalnie wyprodukowano szkło piankowe w zakładzie pilotażowym Instytutu Technologii Chemicznej im. Mendelejewa. Proszek szklany przesiany przez sito 0,09 mm został zmieszany z wapieniem, a później z antracytem i węglem jako materiałem spieniającym [1].

Szkło piankowe jest ognioodporne, wodoodporne, nietoksyczne, odporne na korozję, odporne na roztocza, nie starzeje się, jest nieradioaktywne i jest bardzo dobrym izolatorem cieplnym.

Szkło spienione można podzielić

Na podstawie typu:

- szkło piankowe o otwartych komórkach;
- szkło piankowe o zamkniętych komórkach.

Na podstawie procesu wytwarzania:

- w procesie fizycznym;
- w procesie chemicznym.

Na podstawie wykorzystania przez:

- budownictwo;
- przemysł;
- inne branże.
-

Na podstawie zastosowania:

- izolacje budowlane i przemysłowe;
- systemy przetwórstwa chemicznego;
- materiały ściernie.

Wytwarzanie szkła spienionego

Proces wytwarzania szkła piankowego polega na tym, że w temperaturze między 700 °C a 900 °C szklany proszek formowany jest w lepłą ciecz w tej temperaturze środek spieniający rozkłada się, tworząc gaz, który tworzy pęcherzyki. Szkło musi mieć wystarczającą lepkość, aby pęcherzyki gazu nie unosiły się przez masę bryły, ale pozostawały na swoim miejscu podczas cyklu cieplnego spieniania. Jeśli temperatura jest zbyt wysoka, pęcherzyki podniosą się, a korpus zapadnie i nie utworzy pianki. Kontrola szybkości nagrzewania jest jednym z najważniejszych czynników optymalizacji jakości produktu ze szkła piankowego. Szybkie ogrzewanie może spowodować pęknięcie materiału, podczas gdy zbyt powolne ogrzewanie doprowadzi do wczesnego uwolnienia gazu ze środka spieniającego, zanim lepkość szkła będzie odpowiednia, aby umożliwić rozszerzenie się szkła.



Fot. 1. Kształtka wykonana ze spienionego szkła

Kolejnym utrudnieniem utrzymania odpowiednich parametrów procesu jest fakt że surowiec ze szkła piankowego jest dobrym izolotorem cieplnym ze względu na gęstość upakowania 80%, a gdy surowiec rozszerza się w górnych warstwach, izoluje warstwy poniżej. Dlatego istnieje możliwość przegrzania górnej powierzchni w celu podgrzania dolnej części surowca. To przegrzanie może spowodować zapadnięcie się górnych komórek, co skutkuje pogorszeniem jakości produktu.

Środki spieniające

Odpowiednimi środkami spieniającymi mogą być siarczan wapnia

(CaSO_4), węgiel, woda szklana, żużel aluminiowy lub węglan wapnia (CaCO_3). Przewodność cieplna będzie niższa, jeśli użyje się CaSO_4 ; jednak CaCO_3 jest łatwiejszy w obróbce. Wynika to z produkcji gazów siarkowych z CaSO_4 podczas procesu spieniania. SO_2 ma niższą przewodność cieplną niż CO_2 ; jednak tworzenie SO_2 wymaga większej kontroli, ponieważ jest to gaz szkodliwy. Węglík krzemu (SiC) jest również stosowany jako środek spieniający, który zapewnia kontrolowane i precyzyjne rozmiary komórek. Uważa się, że SiC jest najczęściej stosowanym komercyjnie środkiem spieniającym ze względu na kontrolę i powtarzalność. SiC reaguje z SO_3 w strukturze szkła, tworząc CO_2 i S.

Tabela 1. Proces spieniania szkła [6]

Wsad	Materiał spieniający	dodatki	Temperatura spieniania	Czas spieniania	Gęstość	Ciśnienie	Porowatość
			°C	min	g/cm^3	MPa	Vol. %
Szkło butelkowe	SiC	Lotny popiół	950	20	0,267	0,982	81,55
Szkło kineskopowe i szkła sodowo-wapniowo-krzemianowe	SiC, dolomit, kalcyt i żużel	Lotny popiół	850	-	0,250 - 0,39	1,4-2,6	-
Odpady szklane	Grafit	-	880	10	0,667	-	-
Szkło sodowo-wapienne	dolomit	Glina	1000-1075	-	0,76-1,4	0,42-2,3	33-62
Szkło sodowo-wapienne	AIN	-	850-950	30	<0,5	0,65-2,48	<94
Szkło sodowo-wapienne	Żużel aluminiowy	-	900-1000	30	>0,28	<12	<91

Gips jest łatwo dostępnym źródłem CaSO_4 , a wapień jest łatwo dostępnym źródłem CaCO_3 . Jeśli powietrze w piecu w strefie spieniania zostanie zastąpione SO_2 lub CO_2 , obniży to przewodność cieplną szkła piankowego. Jako środek spieniający stosuje się także popiół lotny, który sam w sobie jest odpadem głównie z elektrowni opalanych węglem. Głównymi składnikami popiołu lotnego są SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO i SO_3 . SO_3 jest aktywnym środkiem spieniającym, który w wysokiej temperaturze wydziela SO_2 . Jednak popioły lotne są odpadami ze spalania paliw kopalnych i dlatego mogą zawierać toksyczne związki i metale ciężkie.

Wielkość cząstek środka spieniającego wpływa na wielkość otrzymywanych komórek, co następnie wpływa na właściwości szkła piankowego. To z kolei określa gęstość produktu. Im wyższy rozmiar komórek, tym niższa gęstość produktu i niższe przewodnictwo cieplne, co daje lepsze właściwości termoizolacyjne. Im mniejszy rozmiar komórki, tym wyższa wytrzymałość na ściskanie korpusu ze szkła piankowego. Dlatego wytrzymałość na ściskanie jest odwrotnie proporcjonalna do parametrów izolacji termicznej.

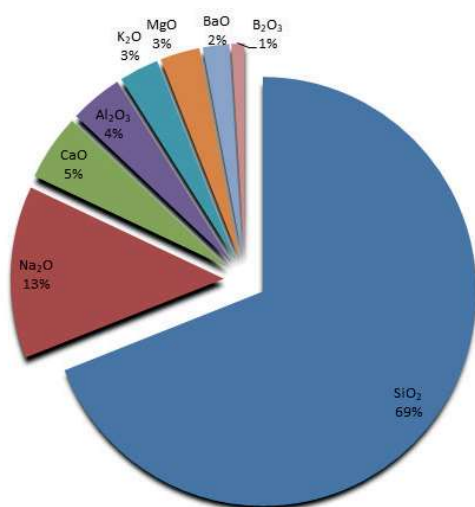
Właściwości spienionego szkła

Konkurencją dla spienionego szkła są inne spienione materiały stosowane w budownictwie i przemyśle [8]. A mianowicie chodzi o spieniony polistyren (popularnie nazywany styropianem), oraz o spieniony poliuretan.

Podstawowe właściwości spienionego szkła są następujące:

- gęstość 100-300 kg/m^3 ;
- wytrzymałość na ściskanie 500 kPa;
- przewodność cieplna 0,036-0,080W/(m·K);
- dyfuzyjność cieplna $3,5\text{-}4,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$;
- ciepło właściwe 840 J/(kg · K);
- współczynnik rozszerzalności cieplnej: $8,9 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$;
- porowatość 85-90%.

Parametry cieplne są porównywalne do styropianu (współczynnik przewodności wynosi od 0,030 do 0,040), pianki poliuretanowej (współczynnik przewodności cieplnej wynosi od 0,022 - 0,036) oraz dla wełny mineralnej, dla której współczynnik wynosi od 0,029 do 0,045. Nie mniej jednak najważniejszą zaletą jaką się charakteryzują materiały ze spienionego szkła, w porównaniu z innymi materiałami izolacyjnymi jest fakt, że podczas pożaru nie wydzielają się z nich związki toksyczne.



Rys. 2. Skład chemiczny szkła spienionego

Zastosowanie

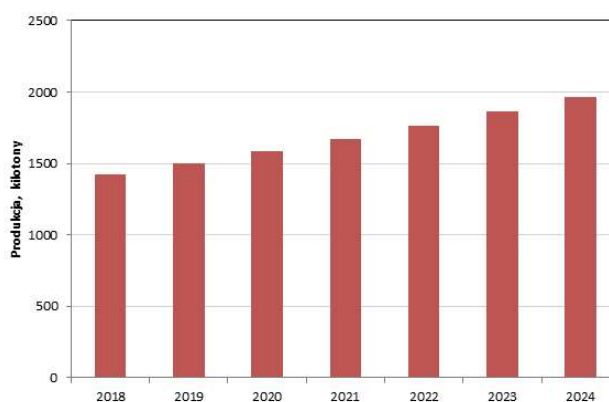
Najczęściej spotykany skład chemiczny spienionego szkła został zaprezentowany na rysunku 2.

Pianki ze spienionego szkła mają bardzo wiele zastosowań, są to:

- izolacje cieplne budynków jak i zbiorników, przy czym spienione szkło może pracować zarówno w warunkach kriogenicznych jak i w warunkach wysokich temperatur;
- izolacje akustyczne;
- izolacje ogniowytrzymałe;
- materiały nieprzepuszczające dymu;
- izolacje termiczne wytrzymujące duże obciążenia (izolacje podłóg);
- jednoczesne izolacje ciepło i parochronne.

Rozwój rynku

Przewiduje się, że wielkość rynku szkła piankowego wzrośnie z 1503 kiloton w 2019 r. do 1964 kiloton do 2024 r., przy zmianie rok do roku wynoszącej 5,5% [2].



Rys. 3. Rozwój rynku spienionego szkła w kilotonach

Przewiduje się, że segment przemysłowy będzie najszybciej rozwijającym się przemysłem końcowego wykorzystania szkła piankowego.

W segmencie przemysłowym szkło piankowe wykorzystywane jest jako materiał izolacyjny do zastosowań takich jak podstawy zbiorników kriogenicznych, utrzymanie temperatury integralnej w układach przetwarzania chemicznego, izolacja rurociągów oraz zabezpieczenie przeciwpożarowe. Jest ognioodporne, odporne na wilgoć i ma doskonałą odporność na korozję. Przewiduje się, że rynek szkła piankowego do zastosowań przemysłowych będzie rósł w najszybszym tempie w ciągu najbliższych pięciu lat.

Przewiduje się, że szkło piankowe o zamkniętych komórkach będzie największym segmentem rynku szkła piankowego w okresie prognozy.

Wśród rodzajów szkła piankowego przewiduje się, że szkło piankowe o zamkniętych komórkach będzie rosło w najszybszym tempie w okresie prognozy. Szkło piankowe o zamkniętych komórkach wykazuje takie właściwości, jak odporność na wysoką temperaturę, ognioodporność i wysoka wytrzymałość na obciążenia, odporność na wilgoć, odporność na korozję i odporność na szkodniki. Szkło piankowe o zamkniętych komórkach jest stosowane w takich zastosowaniach, jak izolowanie ścian wewnętrznych budynków mieszkalnych i komercyjnych, wygłuszenie sal konferencyjnych, izolacja podłóg, izolacja dachów, ściany i podstawy zbiorników, izolowanie rur, podtorza, zasypki, nasypy i systemy zabezpieczające pasów startowych. Przewiduje się, że Europa będzie największym rynkiem w okresie prognozy.

Europa miała największy udział w rynku szkła piankowego i oczekuje się, że trend ten utrzyma się w okresie prognozy. Szacuje się, że w Europie kluczowymi graczami w regionie są Niemcy, Norwegia i Szwecja. Rosnący popyt na przyjazne dla środowiska materiały izolacyjne w różnych gałęziach przemysłu końcowego napędzają rynek w regionie.

Główni producenci

Wiodącymi producentami szkła piankowego są

- Owens Corning (USA),
- Zhejiang Dehe Insulation Technology Co., Ltd. (Chiny),
- Zhejiang Zhenshen Insulation Technology Corp. (Chiny),
- UUSIOAINES OY (Finlandia),
- Glapor (Niemcy), MISAPOR (Szwajcaria), Polydros S.A. (Hiszpania),
- Refaglass (Czechy),
- Earthstone International (USA)
- Anhui Huichang New Material Co., Ltd. (Chiny).

Gracze ci przyjęli kluczowe strategie rozwoju w latach 2014-2019, co pomogło im zwiększyć ich możliwości i zaspokoić rosnącą bazę klientów.

Owens Corning (USA) jest jednym z wiodących graczy na rynku szkła piankowego. Firma zajmuje się sprzedażą szkła piankowego i jest również największym jego producentem. Firma ma szeroki zasięg geograficzny obejmujący Azję i Pacyfik, Amerykę Północną, Bliżni Wschód, Afrykę oraz Europę.

Firma UUSIOAINES OY została założona w 1995 roku. Jej siedziba znajduje się w Forssa w Finlandii. Firma sprzedaje szkło piankowe pod marką Foamit, które jest wykonane w 99% ze szkła pochodzącego z recyklingu. Foam Glass Aggregates (FGA) to lekkie kruszywo stosowane w projektach budowlanych. Ma zastosowanie w budowie murów oporowych i zasypek, budowie placów usługowych, budowie dróg i ulic oraz innych tego typu konstrukcji. Oferowane jest w 5 różnych rozmiarach. Stosowany jest do izolacji podłóg i chroni drogi przed przemarzaniem. Służy również do zapobiegania zanieczyszczeniu wód gruntowych przez izolację pól. Firma generuje 50,0% swoich przychodów z eksportu, a kluczowymi rynkami są Finlandia, kraje skandynawskie i Europa Zachodnia.

Zhejiang Zhenshen Insulation Technology Corp. Ltd. (Chiny) została założona w 1997 roku i znajduje się w prowincji Zhejiang w mieście Jiaying. Firma zajmuje się produkcją rozwiązań izolacyjnych dla przemysłu petrochemicznego, dekoracji budynków, ochrony przed korozją kominów oraz izolacji statków. Firma jest wiodącym producentem szkła piankowego. Produkuje trzy odmiany szkła komórkowego, a mianowicie ZES500, Cellular Glass (High Performance), Cellular Glass (National Standard). Produkty te mają zastosowania izolacyjne. Firma jest jednym z największych eksporterów szkła piankowego w Chinach. Jest zarejestrowana w 32 krajach w Europie, Ameryce Północnej, APAC i na Bliskim Wschodzie.

Podsumowanie

Spienione materiały szklane są bardzo dobrymi nieorganicznymi materiałami izolacyjnymi. Doskonale się sprawdzają jako izolatory ciepła, dźwięku czy wilgotności. Rozwój rynku jest nieunikniony. Zwłaszcza, że większość produkcji jest związana z recyklingiem szkła. Całość ta sprawia, że spienione szkło jest pożądanym materiałem zarówno w budownictwie jak i w przemyśle. Jest to szczególnie istotne w przemyśle, gdzie oprócz właściwości izolacyjnych, spienione szkło charakteryzuje się także dobrymi własnościami mechanicznymi. Czego nie posiadają inne tradycyjne izolatory.

Literatura

1. Salah M. El-Haggar, Sustainability of Municipal Solid Waste Management, Sustainable Industrial Design and Waste Management 2007, 149-196
2. Strona internetowa <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/foam-glass-market-3506071.html> [dostęp 2022-02-01]
3. Strona internetowa <https://www.foamglas.com/> [dostęp 2022-02-03]
4. Chenxi Zhai, Jing Zhang, Ying Zhong, Xin Tao, Mingchao Wang, Yumei Zhu, Jingjie Yeo, Producing light, strong foam glass under a low sintering temperature with insights from molecular simulations, Journal of Non-Crystalline Solids, Volume 582, 2022, 121447,
5. Ayesha Siddika, Ailar Hajimohammadi, Veena Sahajwalla, Stabilisation of pores in glass foam by using a modified curing-sintering process: sustainable recycling of automotive vehicles' waste glass, Resources, Conservation & Recycling 179 (2022) 106145
6. Ahmed A.M. El-Amir, Mohammed A.A. Attia, M. Newishy, Thomas Fend, Emad M.M. Eweis: Aluminium dross/soda lime glass waste-derived high-quality glass foam, Journal of Materials Research and Technology 15 (2021), Pages 4940-4948
7. Chenxi Zhai, Jing Zhang, Ying Zhong, Xin Tao, Mingchao Wang, Yumei Zhu, Jingjie Yeo.: Producing light, strong foam glass under a low sintering temperature with insights from molecular simulations, Journal of Non-Crystalline Solids 582 (2022) 121447
8. Robson Coutoda Silva, Fabio NevesPuglieri, Daiane Maria de Genaro Chiroli, Guilherme Antonio Bartmeyer, Evaldo Toniolo Kubaski, Sergio Mazurek Tebcherani, Recycling of glass waste into foam glass boards: A comparison of cradle-to-gate life cycles of boards with different foaming agents, Science of The Total Environment 771 (2021) 145276
9. Junjie Zhang and Bo Liu and Shengen Zhang: A review of glass ceramic foams prepared from solid wastes: Processing, heavy-metal solidification and volatilization, applications, Science of The Total Environment 781 (2021) 146727
10. K. El-Egili: Infrared studies of Na₂O-B₂O₃-SiO₂ and Al₂O₃-Na₂O-B₂O₃-SiO₂ glasses Physica B, 325 (2003), pp. 340-348
11. E. Kim, K. Kim, O. Song: Properties of basalt-fiber reinforced foam glass, J. Asian Ceram. Soc., 8 (2020), pp. 170-175
12. J. Bai, X. Yang, S. Xu, W. Jing, J. Yang: Preparation of foam glass from waste glass and fly ash, Mater. Lett., 136 (2014), pp. 52-54
13. J. Isard: The mixed alkali effect in glass, J. NonCryst. Solids, 1 (1969), pp. 235-261
14. B. Chen, Z. Luo, A. Lu: Preparation of sintered foam glass with high fly ash content, Mater. Lett., 65 (2011), pp. 3555-3558
15. D.I. Saparuddin, N.A.N. Hisham, S. Ab Aziz, K.A. Matori, S. Honda, Y. Iwamoto, M.H.M. Zaid: Effect of sintering temperature on the crystal growth, microstructure and mechanical strength of foam glass-ceramic from waste materials, J. Mater.Res. Technol., 9 (2020), pp. 5640-5647
16. R.C. da Silva, F.N. Puglieri, D.M. de Genaro Chiroli, G.A. Bartmeyer, E.T. Kubaski, S.M. Tebcherani: Recycling of glass waste into foam glass boards: a comparison of cradle-to-gate life cycles of boards with different foaming agents, Sci. Total Environ., 771 (2021), Article 145276
17. K. Yue, C. Zhai, S. Gu, Y. He, J. Yeo, G. Zhou: Performance-enhanced lithium metal batteries through ionic liquid based electrolytes and mechanism research derived by density functional theory calculations, Electrochim. Acta, 368 (2021), Article 137535

18. C. Zhai, Y. Zhong, J. Liu, J. Zhang, Y. Zhu, M. Wang, J. Yeo: Customizing the properties of borosilicate foam glasses via additions under low sintering temperatures with insights from molecular dynamics simulations, *J. NonCryst. Solids*, 576 (2022), Article 121273
19. A. Francis, M. Abdel Rahman: Structure characterization and optimization of process parameters on compressive properties of glass-based foam composites, *Environ. Prog. Sustain. Energy*, 33 (2014), pp. 800-807
20. C. Zhai, Z. Li, Y. Zhu, J. Zhang, X. Wang, L. Zhao, L. Pan, P. Wang: Effects of Sb₂O₃ on the mechanical properties of the borosilicate foam glasses sintered at low temperature, *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 2014 (2014)
21. K.W. Jung, T.U. Jeong, B.H. Choi, J. Kang, K.H. Ahn: Phosphate adsorption from aqueous solution by *Laminaria japonica*-derived biochar-calcium alginate beads in a fixed-bed column: experiments and prediction of breakthrough curves, *Environ. Prog. Sustain. Energy*, 36 (2017), pp. 1365-1373
22. M. Jain, V.K. Garg, K. Kadirvelu: Cadmium(II) sorption and desorption in a fixed bed column using sunflower waste carbon calcium-alginate beads, *Bioresour. Technol.*, 129 (2013), pp. 242-248
23. R.D. Letterman, A.W.W. Association: Filtration Strategies to Meet the Surface Water Treatment Rule, *Filtration Strategies to Meet the Surface Water Treatment Rule*, AWWA (1991)
24. J.M. Ebeling, C.F. Welsh, K.L. Rishel: Performance evaluation of an inclined belt filter using coagulation/flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from microscreen backwash effluent, *Aquacult. Eng.*, 35 (2006), pp. 61-77
25. M.L. Berndt: Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate, *Constr. Build. Mater.*, 23 (2009), pp. 2606-2613
26. C.A. Prochaska, A.I. Zouboulis: Removal of phosphates by pilot vertical-flow constructed wetlands using a mixture of sand and dolomite as substrate, *Ecol. Eng.*, 26 (2006), pp. 293-303
27. J. Puig Bargaés, G. Arbat Pujolràs, J. Barragán Fernández, F. Ramírez de Cartagena Bisbe: Effluent particle removal by microirrigation system filters. *Span. J. Agric. Res.*, 3 (2005), pp. 182-191
28. G.-L. Yoon, B.-T. Kim, B.-O. Kim, S.-H. Han: Chemical-mechanical characteristics of crushed oyster-shell, *Waste Manag.*, 23 (2003), pp. 825-834
29. C.A. Arias, M. Del Bubba, H. Brix: Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds, *Water Res.*, 35 (2001), pp. 1159-1168
30. G.M. Ayoub, B. Koopman, N. Pandya: Iron and aluminum hydroxy (oxide) coated filter media for low-concentration phosphorus removal, *Water Environ. Res.*, 73 (2001), pp. 478-485
31. R.C. Silva, F.N. Puglieri, D.M.G. Chirolí, et al.: Recycling of glass waste into foam glass boards: a comparison of cradle-to-gate life cycles of boards with different foaming agents, *Sci. Total Environ.*, 771 (2021), p. 145276
32. J. Li, X.G. Zhuang, Eliseo Monfor, et al.: Utilization of coal fly ash from a Chinese power plant for manufacturing highly insulating foam glass: implications of physical, mechanical properties and environmental features, *Construct. Build. Mater.*, 175 (2018), pp. 64-76
33. J. König, R.R. Petersen, Y.Z. Yue: Fabrication of highly insulating foam glass made from CRT panel glass, *Ceram. Int.*, 41 (2015), pp. 9793-9800
34. Z.Q. Jiang, J. Yang, H.W. Ma, et al.: Reaction behaviour of Al₂O₃ and SiO₂ in high alumina coal fly ash during alkali hydrothermal process, *T. Nonferr. Metal. Soc.*, 25 (2015), pp. 2065-207
35. C. Arriagada, I. Navarrete, M. Lopez: Understanding the effect of porosity on the mechanical and thermal performance of glass foam lightweight aggregates and the influence of production factors, *Construct. Build. Mater.*, 228 (2019), p. 116746



Dr inż. Andrzej Grzebielec jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W swoich pracach naukowych skupia się na instalacjach związanych z chłodnictwem, klimatyzacją i pompami ciepła spotykanymi w dużych zakładach przemysłowych.