
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 17
(kwiecień–czerwiec)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VII

Warszawa–Opole 2014

LESZEK STOCH*

Przemysł materiałów budowlanych wobec problemów współczesnej cywilizacji

Słowa kluczowe: redukcja energii, emisje gazowe, materiały proekologiczne.

Redukcja szkodliwych emisji i zmniejszenie zużycia energii, stosownie do wymagań UE, wyznaczać będzie kierunki postępu technologicznego w przemyśle materiałów budowlanych. Równocześnie wymagania te stwarzają zapotrzebowanie na nowe, dotąd niewytwarzane materiały proekologiczne dla wielu dziedzin. Przykładem jest szkło dla energetyki odnawialnej. Stanowi ono szansę rozwoju, którą producenci materiałów budowlanych powinni wykorzystać.

1. Wprowadzenie

Budownictwo od zarania dziejów kształtuje warunki bytowania człowieka, a także wpływa na niemal wszystkie formy jego aktywności, pozostając wiodącym czynnikiem rozwoju współczesnej cywilizacji. Świadczą o tym gwałtowne zmiany w budownictwie i architekturze, zaszłe na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci, których przykładem są wysokościowe, kilkusetmetrowe budowle, szklane elewacje, energooszczędne, ekologiczne budownictwo komunalne, a także wiele przeobrażeń w budownictwie przemysłowym.

Postęp w tym zakresie umożliwia przemysł materiałów budowlanych, dostarczając wyrobów o coraz doskonalszych właściwościach odpowiadających potrzebom i oczekiwaniom. Równocześnie współczesność, w imię zasady zrównoważonego rozwoju, nakłada ograniczenia, które dla wielu producentów materiałów budowlanych stają się dotkliwie. Dotyczą one głównie:

- wzrostu cen energii i polityka Unii Europejskiej zmierzająca do ograniczenia jej zużycia,
- skutków dyrektyw unijnych dążących do radykalnego ograniczenia emisji substancji szkodliwych (CO_2 , NO_x , SO_2 , pyły zawieszone) oraz tworzenia uciążliwych odpadów.

* Prof. dr hab. inż., Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, stoch_l@poczta.onet.pl

Powstaje zatem sprzeczność pomiędzy znaczeniem przemysłu materiałów budowlanych dla egzystencji człowieka i rozwoju cywilizacji, w niedostatecznym stopniu zauważane, a obowiązującymi priorytetami. Budzi to wiele obaw producentów, gdyż wielkotonażowa produkcja podstawowych materiałów budowlanych, takich jak cement, ceramika budowlana i szkło budowlane jest energochłonna i stanowi źródło szeregu szkodliwych emisji. Obawy te znajdują wyraz w dyskusjach na forach krajowych i międzynarodowych organizacji zrzeszających producentów materiałów budowlanych. Jako kontrargument podnosi się to, że osiągnięte już wydatne zmniejszenie zużycia energii w znacznym stopniu stało się możliwe dzięki dostarczeniu budownictwu nowych lekkich materiałów o wysokich walorach termoizolacyjnych i szkieł z powłokami. Jak się szacuje, ok. 40% zużycia energii w gospodarce narodowej związane jest z eksploatacją różnego rodzaju obiektów budownictwa mieszkalnego, publicznego i przemysłowego [1]. Bez nowoczesnych materiałów budowlanych o odpowiednich parametrach nie byłoby możliwe budownictwo pasywne – zeroemisyjne, do którego się dąży. Ponadto przemysł materiałów budowlanych posiada ogromne możliwości zagospodarowania odpadów przemysłowych i już odgrywa w tym zakresie wiodącą rolę, co też nie jest powszechnie znane i doceniane. Przykładem jest przemysł cementowy wykorzystujący masowo zużyte opony jako zastępcze paliwo, a żużel wielkopiecowy i popioły lotne z energetyki jako surowce podstawowe.

Dostosowanie się do głównych kierunków działań UE jest nieuniknione i będzie mieć bezpośredni wpływ na kierunki rozwoju i charakter produkcji przemysłu materiałów budowlanych, który równocześnie musi nadążać za postępem naukowym i technologicznym, wykorzystując powstające osiągnięcia zarówno dla udoskonalenia technologii wytwarzania, jak i tworzenia produktów odpowiadających nowym potrzebom i oczekiwaniom, będącym niezbędnym czynnikiem rozwoju produkcji.

W tym świetle rozwój technologii wytwarzania i rodzaj produktów wyznaczać będą tendencje dążące do zminimalizowania negatywnego wpływu człowieka na środowisko naturalne oraz powstanie odpowiednich do oczekiwań rynku wyrobów, kreowanych postępowaniem technicznym i oczekiwaniami społecznymi. Można je skonkretyzować w następujących celach głównych:

- 1) obniżenie szkodliwych emisji,
- 2) zmniejszenie zużycia energii,
- 3) działania wspomagające wzrost wykorzystania energii odnawialnej,
- 4) zwiększenie stopnia zagospodarowania odpadów,
- 5) wykorzystanie osiągnięć naukowo-badawczych dla unowocześnienia technologii i produkcji wyrobów odpowiadających potrzebom rozwijającej się cywilizacji.

Ich realizację i zadania szczegółowe dyktuje specyfika danej gałęzi przemysłu, jak to zostanie przedstawione na przykładzie przemysłu szklarskiego.

2. Minimalizacja negatywnego wpływu na środowisko na przykładzie produkcji szkła

Przemysł szklarski jest energochłonny, proces topienia szkła wymaga temperatury rzędu 1520°C, aby uzyskać szkło o odpowiedniej jakości i utrzymać niezbędną efektywność wytwarzania. Podstawowym paliwem w hutach szkła jest gaz ziemny, w produkcji niektórych rodzajów szkieł stosowane jest topienie elektryczne, które jest również wykorzystywane jako pomocnicze źródło energii dla dogrzewu w technologiach używających gazu. Huty szkła korzystające z gazu jako paliwa podstawowego są emiterami CO₂ i SO₂, a z uwagi na wysoką temperaturę spalania również NO_x. Odejście od obecnej technologii wytwarzania wymaga zasadniczych zmian, trudnych do szybkiego wprowadzenia lub możliwych jedynie w ograniczonym zakresie. Równocześnie przemysł szklarski wyróżnia się zróżnicowaną produkcją, w aspekcie jej znacznie dla zrównoważonego rozwoju i wpływu na środowisko naturalne oraz na warunki bytowania człowieka. Ponadto, szkło z uwagi na swoje unikalne i zróżnicowane właściwości należy do perspektywicznych zaawansowanych materiałów i korzysta ze szczególnie rozbudowanego zaplecza badawczego.

Producenci szkła mają swoje oparcie w rozbudowanych i aktywnie współdziałających organizacjach międzynarodowych, którymi są International Commission on Glass (ICG) z szerokim systemem specjalistycznych komitetów technicznych oraz organizacji regionalnych.

Problemy wymienione we wstępie od kilku już lat stanowią przedmiot ożywionych dyskusji prowadzonych na forach tych organizacji. W niniejszym artykule staram się zaprezentować rezultaty tych dyskusji oraz niektóre wynikające z nich wnioski. Informacje na ten temat przedstawione zostały również we wcześniejszych publikacjach, jak: „Perspektywy przemysłu szklarskiego i szkła” opracowane przez International Commission on Glass w oparciu o sesję plenarną i panel dyskusyjny na 8. Konferencji Europejskiego Stowarzyszenia Szkła w 2006 r. w Sunderland (Anglia) i na 9. Konferencji Europejskiego Stworzenia Szkła w 2008 r. w Trencin (Słowacja) [2]. Uwzględniono również materiały projektu „Roadmapping in Material Science”, opracowanego przez Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) [3] oraz 23. Międzynarodowy Kongres Szkła w Pradze w 2013 r. [4].

Spośród zadań wynikających z wymienionych poprzednio celów głównych jako szczególnie godne uwagi zadania służące minimalizacji negatywnego wpływu produkcji szkła na środowisko można wskazać:

- niekonwencjonalne technologie topienia,
- zagospodarowanie odpadów przemysłowych,
- produkcja niekonwencjonalnych materiałów proekologiczne.

Niekonwencjonalne technologie topienia

Zmniejszanie zużycia energii i szkodliwych emisji staje się tendencją trwałą, stąd poszukiwania perspektywicznych rozwiązań opartych o radykalne zmiany obecnych technologii wytwarzania. W produkcji szkła dotyczą one wytwarzania masy szklanej i operacji z nią związanych, to jest technologii topienia szkła.

Topienie szkła jest procesem wysokotemperaturowym, stąd znaczne zużycie energii, zaś obniżenie temperatury topienia jest możliwe tylko w nielicznych przypadkach, a od dawna utrzymuje się tendencja do jej podnoszenia, co umożliwiają coraz doskonalsze materiały ogniotrwałe. Podyktowane jest to dążnością do uzyskiwania szkła o coraz lepszej jakości oraz podnoszenia efektywności topienia. Określa to równocześnie rodzaj paliwa, którym stał się gaz ziemny w połączeniu z powietrzem, rzadziej z tlenem, a ograniczono korzystanie z elektryczności jako głównego źródła energii, zwłaszcza dla dużych agregatów. Ostatnio jednak wzrosło zainteresowanie elektrycznością jako podstawowym źródłem energii i przewiduje się, że w najbliższych 30 latach większość wapien szklarskich o wydajności większej niż 200 ton na dobę będzie elektrycznych. Wysoka temperatura topienia uzyskiwana w opalaniu gazem sprawia, że tradycyjne piece szklarskie są źródłem szkodliwych emisji gazowych.

Ograniczenie wynikających stąd skutków przewiduje się uzyskać m.in. przez: radykalną zmianę konstrukcji agregatu topiącego, a nawet całej koncepcji procesu topienia; zastosowanie wstępnej obróbki zestawu przyspieszające reakcje między jego składnikami (technologia zestawu); ograniczenie strat cieplnych towarzyszących topieniu i lepsze wykorzystanie ciepła odpadowego. Postęp w zakresie wytwarzania szkła zamierza się osiągnąć stosując procedurę podziału tego procesu na pojedyncze stadia, ich analizę oraz badania. Uzyskane rezultaty powinny posłużyć optymalizacji każdego z nich. Przewiduje się stworzenie systemów szczegółowej kontroli każdego stadium przez zastosowanie nowoczesnych mierników monitorujących przebieg procesu, dostosowanych do specyfiki każdego z wyodrębnionych stadiów. Ułatwia to rozwój informatyki, modelowania matematycznego i komputeryzacja, które otworzyły nowe szersze możliwości, m.in. w poszukiwaniu nowych, lepszych rozwiązań w zakresie topienia masy szklanej i niekonwencjonalnych rozwiązań w zakresie konstrukcji pieców szklarskich.

Badania oparte o modelowanie matematyczne procesu topienia szkła i poszczególnych jego stadiów, zwłaszcza klarowania i homogenizacji masy szklanej, które stały się znane w świecie, prowadził L. Němec z zespołem w Instytucie

Technologii Chemicznej i Laboratorium Materiałów Nieorganicznych w Pradze. Ich wyniki pozwoliły na sformułowanie wielu oryginalnych koncepcji zmierzających do zmiany tradycyjnej technologii topienia szkła. Jego model oparty jest na spojrzeniu na wannę szklarską jak na kanał z płynącym strumieniem masy szklanej o przepływie laminarnym lub śrubowym, który jest modyfikowany przez szkło pochodzące z warstwy zestawu pływającej po powierzchni i topiącej się, poczynając od strefy zasypu. Wykazał L. Němec, że kinetyka topienia zestawu ma istotny wpływ na efektywność całej pracy wanny i powinna być ona jak największa, zaproponował więc odpowiednie do tego zmiany konstrukcji wanny, m.in. służące zwiększeniu powierzchni strefy zasypowej i rozkładu temperatur w wannie. Analizował stopień wykorzystania objętości czynnej wanny w procesie topienia, która ograniczona była głównie do płynącego środkiem strumienia masy szklanej i wprowadził parametr stopnia wykorzystania objętości wanny (*space utilisation*) jako ilościowej charakterystyki jej funkcjonowania. Opracował też propozycje służące pełnemu wykorzystaniu objętości wanny.

Prowadził L. Němec również studia dotyczące czasu topienia ziaren piasku w zależności od podłużnego i poprzecznego gradientu temperatur na poziomie lustra szkła, w odniesieniu do wykorzystania objętości wanny. Oznaczone zależności pozwalają na projektowanie wanien o zredukowanym zużyciu energii i lepszej efektywności topienia [5]. Modelowanie pozwoliło też na opracowanie założenia oryginalnej koncepcji usuwania pęcherzy gazowych, przez sprzężone działanie siły grawitacyjnej i odśrodkowej (odwirowywanie), dla ich szybszego usuwania (klarowanie szkła) [6]. Pracował też nad klarowaniem w podciśnieniu szkieł specjalnych. Osiągnięcia te oraz wielu tu niewymienionych wyznaczają kierunki, w których zmierza postęp w technologii topienia szkła.

W Polsce podobnego typu badania prowadzone były w latach 70. w Instytucie Szkła i Ceramiki przez prof. Wacława Tuszyńskiego. Miały one charakter eksperymentalny, a polegały na pomiarze, przy użyciu izotopów radioaktywnych, jako wskaźników przepływu strumienia wyrobowego masy szklanej w wannie, i wyznaczaniu na tej podstawie tzw. „objętości czynnej” wanny odpowiednika parametru „wykorzystania przestrzeni”. Korzystały z nich krajowe biura projektów i firmy budujące wówczas huty szkła, zwłaszcza za granicą. Później w Instytucie powstał zespół zajmujący się pomiarami parametrów cieplnych pieców szklarskich do kontroli ich funkcjonowania, który korzystał z komputerowej analizy danych pomiarowych. Po jego likwidacji członkowie tego zespołu utworzyli własne firmy, remontujące i modernizujące piece szklarskie, niektóre korzystają z modelowania matematycznego.

Oryginalną metodę kontroli i sterowania pracą wanien szklarskich, wykorzystującą obraz warstwy zestawu pływającą po powierzchni lustra szkła, jej zasięg i symetrię oraz sprzężony z obrazem termowizyjnym rozkładu temperatury opra-

cował A. Skowiniak. Stworzony na tej podstawie algorytm pozwala na szybkie ciągle korygowanie pracy palników, co przynosi zmniejszenie zużycia energii i emisji NO_x [7]. Jest to nawiązanie do wyników modelowania matematycznego opisanego wcześniej i praktyczne ich potwierdzenie.

Ostatnio pojawiła się próba całkowitej zmiany sposobu topienia szkła. Polega ona na wykorzystaniu do tego celu pieca zawieszinowego. Droбноziarnisty zestaw złożony z rozdrobnionych surowców, zmieszanych, następnie zagregatyzowanych, a później zmikronizowanych ziarnach wprowadzany jest w strumień plazmy. Krople stopu gromadzone są w odpowiednim pojemniku, wymaga on odgazowania i homogenizacji jako odrębnej operacji. Topienie plazmowe okazało się efektywniejsze niż w płomieniu gazowo-tlenowym wcześniej używanymi, i jest przydatne do wytwarzania wysokotopiących się szkieł specjalnych, np. bezalkalicznych szkieł glinokrzemianowo-magnezowych.

Istnieją dane wskazujące, że topienie plazmowe znajdzie zastosowanie w produkcji wielkotonażowej, m.in. związanej z produkcją szkła lub materiałów szkłopochodnych. W wielu krajach pracują produkowane w Anglii piece plazmowe, służące neutralizacji uciążliwych odpadów; używano ich do likwidacji krów padłych w czasie pomoru. Służą one do spalania odpadów komunalnych i witrifikacji powstających popiołów. Witryfikaty przetwarzane są w wartościowe materiały szkło-ceramiczne [8]. W ten sposób zagospodarowuje się też odpady niebezpieczne m.in. zawierające Cr. W Katedrze Technologii Szkła Akademii Górniczo-Hutniczej opracowano metodę wytwarzania z takich witryfikatów termoizolacyjnego szkła piankowego [9]. W Polsce zagospodarowanie lub unieszkodliwianie popiołów ze spalarni odpadów stanie się wkrótce problemem i witrifikacja będzie jednym z efektywnych sposobów jego rozwiązania.

Zagospodarowanie odpadów przemysłowych

Odpadem związanym z przemysłem szklarskim jest stłuczka szklana. Jest to stłuczka poprodukcyjna, a głównie poużytkowa, gromadzona i częściowo przetwarzana w wartościowy surowiec zastępczy poddawany procesowi uzdatniania o szerokich i różnorodnych możliwościach wykorzystana jako tzw. szkło z recyklingu. W kraju ilość odzyskiwanej stłuczki szklanej stale wzrasta i jest ona tylko w części zagospodarowywana. Ostatnio eksportowano nawet stłuczkę z recyklingu i ta tendencja się zwiększa.

Wprowadzenie stłuczki, jako składnika szklarskiego, do zestawu surowcowego, zastępującego tradycyjne surowce szklarskie jest najbardziej efektywnym sposobem zmniejszenia zużycia energii i redukcji emisji CO_2 w produkcji szkła. W krajowym przemyśle szklarskim istnieje tradycja wykorzystywania stłuczki własnej powstającej w danym zakładzie w toku produkcji, która stanowi 30% mas. składu zestawu. Natomiast tzw. stłuczka obca z recyklingu jest wykorzystywana w produkcji szkła w minimalnym stopniu, podczas gdy w krajach

zachodnich jej udział w produkcji szkła opakowaniowego i niektórych rodzajów szkła gospodarczego dochodzi do 80% składu zestawu surowców. Korzyści, jakie daje stosowanie stłuczki w przemyśle produkcji opakowań szklanych pokazuje studium W. Rząsy [10]. Z jego obliczeń wynika, że każda tona stłuczki daje oszczędności w zużyciu energii 20,9%, a w emisji CO₂ – 30,1%. Od wielu lat notuje się wzrost odzysku stłuczki szkła dzięki powstaniu przedsiębiorstw stosujących nowoczesne technologie segregacji i uzdatniania szkła z odpadów, czego przykładem jest budowa z funduszy Unii Europejskiej tzw. centrów recyklingu.

Wydatne zwiększenie stopnia zagospodarowania stłuczki, m.in. poprzez podniesienie jej udziału w zestawie, obrane zostało jako przedmiot działalności badawczej krakowskiego Oddziału Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych. Jej celem jest m.in. osiągnięcie 60% udziału stłuczki w zestawie, stosownie do wymagań Unii Europejskiej, które wchodzi w życie od 2014 r. Jak stwierdzono, zwiększony udział stłuczki szklanej w zestawie wpływa na mechanizm reakcji pomiędzy jego składnikami i powstawanie masy szklanej. Wymaga to dostosowania do tego wykorzystywanych środków klarujących [11–12].

W warunkach krajowych efekty w zakresie zmniejszenia zużycia energii oraz emisji gazowych najłatwiej da się uzyskać przez wprowadzenie nowoczesnej technologii przygotowania zestawu surowcowego. Obecnie w krajach zaawansowanych technicznie stosowany jest coraz powszechniej zestaw w formie zagęszczonej przez granulowanie lub przez kompaktowanie ciśnieniowe, brykietowanie albo tabletkowanie (peletyzacja). Zabiegi takie pozwalają na nadanie bezpośredniego kontaktu ziarnom składników zestawu, co pozwala na zapoczątkowanie reakcji chemicznych pomiędzy podstawowymi składnikami mineralnymi zestawu (piasek, wapień, dolomit) i składnikami chemicznymi (jak soda, związki boru, tlenki ołowiu, środki klarujące, związki barwiące, itp.) w niskiej temperaturze, nawet od momentu wytworzenia zestawu w kompaktowej formie. Intensyfikacja tych reakcji postępuje ze wzrostem temperatury. Skutkuje to obniżeniem temperatury powstawania stopów eutektycznych pomiędzy kwarcem a sodą i wapieniem, co przyspiesza reakcje chemiczne z udziałem pozostałych składników zestawów, obniża temperaturę tworzenia się masy szklanej, zwiększa efektywność topienia. Zestawy w zagęszczonej postaci wymagają stosowania surowców drobnoziarnistych i w związku z tym zagęszczanie zestawu poprzedzone bywa aktywacją mechaniczną. Obecnie dostępne są urządzenia przemysłowe (młyny wibracyjne, attritory), pozwalające stosować tę technikę na skalę przemysłową. Efektywnym procesem jest wspomniane poprzednio spiekanie zestawu (*preheating*). Daje ono rozkład węglanów, połączony z uwolnieniem CO₂, oraz zapoczątkowanie ich reakcji z ziarnami kwarcu już poniżej temperatury 1000°C. Skutkuje to zwiększeniem szybkości topienia przy mniejszym zużyciu energii.

Zastosowanie przedstawionych operacji przygotowania zestawu, określane jako technologia zestawu (*batch technology*), pozwoli na użycie w produkcji szkła tanich i nietypowych surowców, które nie mogłyby być wprowadzane do tradycyjnego zestawu szklarskiego m.in. ze względu na uziarnienie. Dotyczy to na przykład czystych krzemionek odpadowych powstających w przemyśle chemicznym oraz takich odpadów jak pyły ołowiowe z produkcji szkła kryształowego. Pozwoli to również zwiększyć udział stłuczki szklanej z recyklingu, zwłaszcza nietypowej. Wprowadzenie tego typu substancji w skład szkła traktowane jest przez państwa wysoko rozwinięte (m.in. USA i Europy Zachodniej) jako efektywny i bezpieczny sposób unieszkodliwiania odpadów, przynoszący ponadto wymierne korzyści ekonomiczne. Zadanie to może być zrealizowane poprzez odpowiednią technologię przygotowania surowców i sporządzania zestawu [13].

Prace badawcze dotyczące podstaw nowoczesnej technologii przygotowania zestawu i ich rozpowszechnienie w polskich hutach szkła są prowadzone w krakowskim Oddziale ICiMB. Stłuczka praktycznie wszystkich rodzajów szkieł w połączeniu z odpowiednio dobranymi odpadami przemysłowymi, szczególnie dzięki glinokrzemianowi, pozwala otrzymać materiały budowlane o wysokich walorach użytkowych. Popioły ze spalarni odpadów komunalnych w połączeniu z odpadową stłuczką szklaną służą do wytwarzania termoizolacyjnego szkła piankowego o szerokim zakresie zastosowań [9]. Stłuczka szklana, w tym szkła kineskopowego, w połączeniu z innymi odpadami pozwala otrzymać materiały szkło-ceramiczne o interesujących właściwościach [14–17]. W krakowskim Oddziale ICiMB prowadzone są badania i próby technologiczne nad wytwarzaniem szkieł ceramicznych ze stłuczki szklanej o różnym składzie z dodatkiem innych odpadów [18].

Szklą proekologicznych i dla energetyki odnawialnej

Szkło jest specyficznym rodzajem materiału, wyróżnia go amorficzna struktura o charakterze trójwymiarowej więzby, nadająca mu cechy nieorganicznego polimeru. Posiada ona zdolność przyjmowania do swego składu niemal wszystkich pierwiastków układu okresowego, w proporcjach zmieniających się w szerokim zakresie. Pozwala to otrzymywać szkła o różnorodnych, a nawet nieoczekiwanych właściwościach i wciąż wykrywane są szkła nowego rodzaju. Takie szkła kilkakrotnie zapoczątkowały istotne zmiany technologiczne i cywilizacyjne o szerokich konsekwencjach społecznych. Przykładem są włókna światłowodowe, które zainicjowały nowe działy fizyki, jakimi są optyka włóknista i optoelektronika zmieniające telekomunikacje i dające nowe rozwiązania w wielu dziedzinach techniki, jak np. automatyka. Otrzymanie szkieł aktywnych optycznie o właściwościach luminescencyjnych, skierowało rozwój optyki włóknistej na włókna świecące jako źródła światła, o nowych nierozpoznanych jeszcze możliwościach aplikacyjnych. Oczekuje się, że nowe szkła o właściwościach elektrolitów sta-

łych pozwolą na powstanie akumulatorów dużej pojemności i mocy, m.in. dla samochodów hybrydowych, co urealni ich powszechne użytkowanie, przynosząc znaczącą redukcję spalin.

We współczesnej cywilizacji szczególne znaczenie mają szkła z powłokami zmieniającymi ich właściwości optyczne, nadające im cechy energooszczędne, znane z tzw. szyb zespolonych. Dobierając odpowiednio powłoki, można modyfikować właściwości fizyczne takich szyb, zmieniając w szerokim zakresie ich walory użytkowe. Obecnie wytwarzanych jest wiele rodzajów szyb z różnymi powłokami stosownie do pojawiających się potrzeb. Najszersze zastosowanie znajdują nadal energooszczędne szyby z warstwami niskoemisyjnymi, zapobiegające stratom energii na zewnątrz (*E-glass*) i szyby refleksyjne chroniące przed nadmiernym nasłonecznieniem. Są też wielowarstwowe powłoki na szkło łączące obie te właściwości (niskoemisyjne – przeciwsłoneczne). Podnoszą one komfort bytowania człowieka w pomieszczenia i zmniejszają wydatnie zużycie energii związane ze stratami cieplnymi budynków. Rozwój budownictwa wysokiego skłonił do opracowania warstw hydrofobowych samoczyszczących się. Powstały też powłoki o sterowanych lub samoregulujących się właściwościach. Szyby z powłokami antyrefleksyjnymi cechują się zwiększoną przepuszczalnością światła i używane są do budowy szklarni (szkło rolnicze). Powłoki na szkła wytwarzane są z metali lub ich tlenków nakładanych metodą magnetronową lub rozpylania katodowego *online* na ciągnioną taflę *float*. W ten sposób powstaje m.in. szkło niskoemisyjne dla budownictwa. Istnieją też chemiczne metody osadzania powłok, CVD, pirolizy i poprzez fazę żelu (metoda sol-gel).

Prace nad powłokami na szkłe o różnych właściwościach i zastosowaniach, prowadzone były od dawna przez dr Elżbietę Żelazowską w krakowskim Oddziale ICIMB i stały się jej specjalnością [19]. Opracowała ona m.in. wysoko odporne warstwy z tlenków tytanu i indu (ITO) drogą pirolizy acetyloacetonianów metali, nanoszonych na gorącą powierzchnię szkła. Opracowała też powłoki nanoszone metodą żelową dla urządzeń optoelektronicznych [20], jak również powłoki zwiększające wytrzymałość mechaniczną opakowań szklanych. Pozwalają one zmniejszyć wydatnie grubość i masę opakowań, co redukuje koszty produkcji, w tym zużycie energii, a także energii związanej z ich transportem w trakcie późniejszego użytkowania.

Unia Europejska kładzie duży nacisk na wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych. Obowiązująca dyrektywa unijna przewiduje 20% wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych do roku 2020 [1]. Są to szkła absorbujące promieniowanie słoneczne i przetwarzające je na ciepło w kolektorach słonecznych. W ogniwach fotowoltaicznych (PV) stosuje się szkła o zwiększonej przepuszczalności światła (91%), z systemem warstw przetwarzających energię słoneczną na elektryczną. Wytwarzanie szkła dla energetyki solarnej i samych kolektorów oraz ogniw PV

przejęły w dużym stopniu Chiny. Na nich opiera się tworzona w kraju energetyka solarna. Jest to już kierunek intensywnie rozwijający się i ok. 1% ogólnej produkcji globalnej szkła płaskiego zużytkowywane jest obecnie przez energetyką solarną. Wytwarzanie elementów szklanych dla energetyki solarnej staje się interesującym kierunkiem rozwoju dla przemysłu szklarskiego, w który powinny angażować się polskie przedsiębiorstwa. Również rozbudowa energetyki wiatrowej uzależniona jest od szkła. Intensywnie rozwija się produkcja cienkich, mikrometrycznych, ciągłych włókien szklanych, zwłaszcza odpornych chemicznie na wypełniacze tworzyw polimerowych, tkaniny techniczne i inne. Znanym producentem jednego z takich szkła (szkło-E) jest firma Krossglass.

Obecnie rozwinęła się na Zachodzie produkcja włókien z bazaltu, które stosuje się m.in. jako zbrojenie lekkich, wytrzymałych elementów betonowych z cementów polimerowych. Znalazły one natychmiast wykorzystanie jako śmigła wiatraków dla energetyki wiatrowej, a także do wytwarzania ich korpusów. W Polsce następuje szybka rozbudowa ferm wiatrowych, co tworzy rynek na tego rodzaju materiał. Włókna bazaltowe używa się do wzmacniania wyrobów ze styropianu. Włókna bazaltowe z importu stały się dostępne w kraju. Produkuje się z nich profile budowlane. Przewidując to, z inicjatywy dr. Stanisława Traczyka, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych od 8 lat podejmuje starania o środki budżetowe na opracowanie technologii wytwarzania tekstylnych włókien bazaltowych, które są konsekwentnie odrzucane. Niemniej przez ten czas udało się zdobyć wiele potrzebnych danych i powstała kadra przygotowana, aby prowadzić badania w tym kierunku [21].

3. Konkluzje

Kierunki rozwoju gospodarki, wyznaczone przez Unię Europejską jej członkom, zmierzają do zminimalizowania negatywnego wpływu człowieka na środowisko naturalne. Ich celem jest zmniejszenie o 20% emisji gazów, ograniczenie zużycia energii, wzrost udziału energii odnawialnej w ogólnej produkcji energii. Powinny być one uzyskane do 2020 r. Przemysł materiałów budowlanych w znacznej części korzysta z technologii energochłonnych, wysokotemperaturowych, emitujących gazy i pyły kominowe. W konsekwencji dyrektywy unijne stanowiąc będą wyznacznik postępu i zmian technologicznych w wielu gałęziach tego przemysłu. Równocześnie jednak przemysł materiałów budowlanych jest dostarczycielem wyrobów niezbędnych, aby realizować wymienione cele zasadnicze w innych obszarach gospodarki. Otwiera to wytwórcom materiałów budowlanych obszerne rynki zbytu, zwłaszcza na materiały o nowych właściwościach lub dla nowo zaistniałych potrzeb i nowych zastosowań, jak to pokazano na przykładzie szkła. Zadaniem, a zarazem szansą dla ICiMB jest to, aby poprzez wyprzedzające rozwiązania w zakresie technologii produkcji i propozycje

nowych materiałów umożliwić producentom materiałów budowlanych, by jak najlepiej z tej szansy skorzystali.

Literatura

- [1] S k a r b i ń s k i K., *Nowe dyrektywy Wspólnoty Europejskiej dotyczące budownictwa i ich wpływ na kierunki rozwoju produkcji szkła budowlanych*, [w:] *Przemysł Szklarski 2010. Konferencja Naukowo-Techniczna, Ustroń, 12–14 października 2010*, SITPMB, Katowice 2010, s. 2011–2020.
- [2] S t o c h L., *Współczesne kierunki rozwoju produkcji szkła w świetle 9-th ESG Trendie 2008*, „Szkło i Ceramika” 2009, R. 60, s. 12–17.
- [3] *Technology Roadmap on Innovative Glasses Melting and Advanced Materials*, „Glass Technology” 2008, Vol. 49, s. 197–198.
- [4] S t o c h L., *Przyszłość szkła w świetle 23. Międzynarodowego Kongresu Szkła*, „Szkło i Ceramika” 2013, R. 64, s. 25–26.
- [5] P o l a k M., N ě m e c L., *Mathematical modeling of sand dissolution in glass melting channel with controlled glass flow*, „Journal of Non-Crystalline Solids” 2012, Vol. 358, s. 2010–2016.
- [6] T o n a r o v a L., N ě m e c L., K l o u z e k J., *The optimal parameter of bubble centrifuging in glass melts*, „Journal of Non-Crystalline Solids” 2011, Vol. 357, s. 3785–3790.
- [7] R o t t e r P., S k o w i n i a k A., *Image-based analysis of the symmetry of the glass melting process*, „Glass Technology” 2013, Vol. 54, s. 119–131.
- [8] S t o c h L., *Homogeneity and crystallisation of vitrified municipal waste incineration*, „Glass Technology” 2004, Vol. 45, s. 71–73.
- [9] P r o c y k B., K u c h a r s k i J., S t o c h L., *Possibilities of utilization of municipal waste combustion ash in the production of heat-insulated foam glass*, Komisja Nauk Ceramicznych PAN, Oddział w Krakowie, Kraków 2001, s. 124–133.
- [10] R z a s a W., *Czas odwrócić ten trend*, „Szkło i Ceramika” 2010, R. 61, s. 13–16.
- [11] K u ś n i e r z A., *Wpływ zwiększonej zawartości surowców zastępczych na fazę gazową w procesie topienia masy szklanej*, „Szkło i Ceramika” 2012, R. 63, s. 15–19.
- [12] K u ś n i e r z A., *Dobór środków klarujących do zestawów o zwiększonej zawartości szkła z recyklingu*, „Szkło i Ceramika” 2012, R. 63, s. 229–233.
- [13] S t o c h L., *Redukcja zużycia energii i emisji w przemyśle szklarskim w świetle dyskusji w szklarskich organizacjach międzynarodowych*, [w:] *Przemysł Szklarski 2011. Konferencja Naukowo-Techniczna, Ustroń, 11–13 października 2011*, SITPMB, Katowice 2011, s. 9–16.
- [14] W a s y l a k J., R e b e n M., K o s m a l M., *Szkło-ceramika z wykorzystaniem odpadowej stłuczki kineskopowej*, [w:] *Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych, szklarskich i ogniotrwałych*, red. J. Duda, K. Szamałek, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa–Opole 2010, s. 301–311.
- [15] K o s m a l M., *Właściwości stłuczki kineskopowej w aspekcie przemysłowego wykorzystania*, [w:] *Przemysł Szklarski 2012. Konferencja Naukowo-Techniczna, Ustroń, 10–12 października 2012*, SITPMB, Katowice 2012, s. 227–242.
- [16] Z a w a d a A., Ł ě g o w i k M., S t r z e l e c k a M., *Immobilizacja nieorganicznych odpadów stałych w materiałach spiekanych*, „Szkło i Ceramika” 2013, R. 64, s. 14–19.

- [17] Łęgowik I., Zawada A., *Synteza i właściwości ekologicznych kompozytów spiekanych*, „Szkło i Ceramika” 2013, R. 64, s. 10–12.
- [18] Kosmal M., Reben M., A preparation and performance study of glass-ceramic glazes derived from wastes (w druku).
- [19] Żelazowska E., Pichniarczyk P., *Szkła z powłokami energooszczędnymi, niskoemisyjnymi i niskoemisyjnymi – przeciwstłonecznymi*, „Szkło i Ceramika” 2013, R. 64, s. 36–42.
- [20] Żelazowska E., Marczevska A., Rybicka-Łada J., Sacha S., Brzezicki J., *Powłoki optyczne na bazie SiO₂ otrzymywane z zastosowaniem metody zol-żel*, „Szkło i Ceramika” 2014, R. 65, s. 8–12.
- [21] Kosmal M., *Charakterystyka krajowych bazaltów regionu dolnośląskiego z przeznaczeniem na włókna amorficzne*, „Prace Instytutu Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych” 2009, nr 4 s. 55–65.

LESZEK STOCH

BUILDING MATERIALS INDUSTRY AND THE CHALLENGES OF MODERN CIVILIZATION

Keywords: energy consumption, air pollutions, environment protecting materials.

The target emissions and energy consumption reduction according to EC requirements will determine the technological progress in the building materials industry at the nearest future. On the other hand they create opportunity for new and sophisticated products which will allow energy saving, and CO₂ reduction in many fields of human activity. Glasses for solar energy production are the example.