
PRACE

**Instytutu Szkła, Ceramiki
Materiałów Ogniotrwałych
i Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Glass, Ceramics
Refractory and Construction Materials

Nr 5

ISSN 1899-3230

Rok III

Warszawa–Opole 2010

ZBIGNIEW JAEGERMANN*
WOJCIECH ŁUKASIK**

Koncepcje oszczędzania energii dla europejskiego przemysłu ceramicznego

Część 1 – Omówienie podręcznika oszczędzania energii***

Artykuł podsumowuje wyniki prac prowadzonych w ramach projektu Unii Europejskiej pt. „Koncepcje oszczędzania energii dla europejskiego przemysłu ceramicznego” CERAMIN.

Pierwsza część artykułu poświęcona jest opracowanemu w ramach projektu podręcznikowi oszczędzania energii. Zalecenia i uwagi zebrane w tym wydawnictwie podsumowują doświadczenia najlepszych zakładów, ogólną wiedzę realizatorów projektu, a także opierają się na pokaźnym zbiorze literatury przedmiotu. Podręcznik podzielony jest na rozdziały, obejmujące podbranże ceramiczne; podaje porady dotyczące poszczególnych etapów technologicznych: przygotowania surowców, formowania, suszenia i wypalania. Autorzy podręcznika mają nadzieję, że zawarte w nim informacje pomogą w podejmowaniu decyzji modernizacyjnych i zostaną wykorzystane przez zakłady przemysłowe do opracowania bardziej energooszczędnych technologii wytwarzania wyrobów ceramicznych.

1. Wprowadzenie

W myśl przyjętych w marcu 2007 r. przez Radę Europy założeń dotyczących przeciwdziałania zmianom klimatycznym, Unia Europejska:

- o 20% zredukuje emisję gazów cieplarnianych w stosunku do poziomu emisji z 1990 r.,
- o 20% zwiększy udział energii odnawialnej w finalnej konsumpcji energii,

* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie.

** Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie.

*** Realizacja projektu współfinansowana była przez Unię Europejską w ramach programu „Intelligent Energy Europe”, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych.

- o 20% zwiększy efektywność energetyczną w stosunku do prognoz na 2020 r.,
- zwiększy udział biopaliw w ogólnej konsumpcji paliw transportowych co najmniej do 10%.

Ponieważ przemysł ceramiczny zalicza się do grupy największych konsumentów energii w Unii Europejskiej, a udział kosztów energii w produktach ceramicznych przekracza 30%, optymalizacja zużycia energii i podnoszenie efektywności energetycznej procesów technologicznych w przemyśle ceramicznym stały się jednymi z najpilniejszych zagadnień do rozwiązania. Z tego powodu w roku 2006 Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych w Warszawie włączył się do działań europejskich mających na celu opracowanie i upowszechnienie sposobów obniżenia zużycia energii w zakładach przemysłu ceramicznego. Prace te prowadzone były w ramach projektu UE: „Koncepcje oszczędzania energii dla europejskiego przemysłu ceramicznego” (CERAMIN) przez konsorcjum złożone z jednostek badawczych z Niemiec, Wielkiej Brytanii, Polski, Francji, Hiszpanii i Włoch.

Głównym celem projektu było zachęcenie wytwórców produktów ceramicznych do wdrażania innowacji technologicznych związanych z oszczędnym gospodarowaniem energią, ze szczególnym uwzględnieniem produktów wytwarzanych w skali masowej, których produkcji towarzyszy duże zużycie energii.

Koordynatorem projektu był Leipziger Institut für Energie GmbH (Niemcy), a współwykonawcami (partnerami krajowymi): KI Keramik-Institut Meißen GmbH (Niemcy), CERAM Research Ltd. (Wielka Brytania), Société Française de Céramique (Francja), Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych (Polska), ETA – Energia, Trasporti, Agricoltura srl (Włochy) oraz Centre de Recursos d’Iniciatives y Autocupació, SL (Hiszpania).

Współwykonawcy uczestniczący w projekcie pochodzili z państw będących głównymi producentami wyrobów ceramicznych w Europie. Reprezentowali prawie wszystkie ważniejsze podmioty na tym rynku i byli bezpośrednio zaangażowani w osiąganie jak najlepszych wyników projektu poprzez zbieranie i opracowanie danych z zakładów przemysłowych, projektowanie współzawodnictwa, a także organizowanie warsztatów i spotkań roboczych. Były wśród nich przedsiębiorstwa, federacje, zakłady badawcze, a także instytucje, które zajmują się energią i wydajnością energetyczną.

Cele projektu realizowane były, z jednej strony, poprzez udział zakładów przemysłowych we współzawodnictwie na polu oszczędzania energii, z drugiej – poprzez opracowanie podręcznika oszczędności energii zawierającego zbiór uwag, rad, zaleceń i praktycznych przykładów dotyczących modernizacji technologii i organizacji procesów produkcyjnych skutkujących obniżeniem zużycia energii.

Niniejszy artykuł omawia zamieszczone w podręczniku uwagi i zalecenia, które mogą być pomocne w planowaniu i projektowaniu działań, celem ich jest obniżenie zużycia energii w procesach wytwórczych. Z pełnym tekstem podręcznika w wersji oryginalnej (angielskojęzycznej), jak również z przeglądem tematyki projektu, przedstawieniem jego realizatorów, a także szczegółowymi informacjami dotyczącymi celu i programu można zapoznać się na stronie projektu: www.ceramin.eu/Ceramin. Polska wersja podręcznika dostępna jest również na stronie Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych: www.icimb.pl.

2. Omówienie podręcznika oszczędzania energii

Wśród ogólnych uwag dotyczących optymalizacji zużycia energii można podkreślić to, że po pierwsze, zakłady pracujące w całości lub w części pełną mocą produkcyjną mają większe szanse osiągnięcia niskiego jednostkowego zużycia energii niż zakłady pracujące poniżej mocy projektowej. Po drugie, mimo iż zgodnie z założeniami projektu CERAMIN pominięto w rozważaniach zużycie energii elektrycznej w przemyśle ceramicznym, produkcja skojarzona ciepła i energii elektrycznej ma dużą szansę, aby przyczynić się do redukcji zużycia energii i obniżenia kosztów.

2.1. Surowce i masa ceramiczna

W technologiach ceramiki budowlanej dodatki poprawiające izolacyjność wyrobów powinny stanowić źródła energii, a temperatura spalania tych dodatków musi objąć szeroki zakres temperatury wypalania. Odpadowy grafit [1], koks ponafkowy [2] i łu węglisty [3] mogą stanowić dodatkowe paliwo do uzyskania temperatury w piecu do 800°C. Modyfikatory spiekania, takie jak popioły, odpady szklane, szklane i mineralne wełny lub nisko spiekane łu mogą obniżyć temperaturę spiekania, a także pomóc w suszeniu i wypalaniu lżejszych produktów o takich samych właściwościach mechanicznych [1, 4–6]. W przypadku wyrobów klinkierowych specjalne dodatki do osiągnięcia efektów powierzchniowych mogą spowodować to, że cegły będą miały wygląd cegieł powlekanych. Zabieg taki oszczędza spore ilości paliwa w stosunku do wytwarzania wyrobów powlekanych metodą tradycyjną [7].

Nowe surowce zastosowane w technologii ceramiki szlachetnej, takie jak skaleni litowe [8], kolemanit [9], mieszanki skaleni sodowych i potasowych czy szkła odpadowe [10–11] mogą pomóc w obniżeniu temperatury spiekania nawet o ok. 200°C i tym samym zaoszczędzić dużą ilość energii [12]. Dobranie odpowiedniego uziarnienia szczególnie skaleni i innych aktywatorów spiekania również obniża temperaturę spiekania poprzez wzrost reaktywności proszków [13]. W tym przypadku należy jednak zbilansować oszczędność energii spiekania i zużytej energii mielenia. Opracowanie odpowiednich składów mas opar-

tych na glinach i kaolinach może obniżyć temperatury wypalania o ok. 50°C [14]. Odpowiednie przystosowanie do spiekania w piecach szybkiego wypału zestawów tworzyw (np. poprzez kalcynowanie surowców), może dać znaczne oszczędności energetyczne. Opracowanie i zastosowanie technologii pozwalających na obniżenie krotności wypalania wyrobów oszczędza energię, lecz wymaga specjalnych mas ceramicznych i szkliv.

Do otrzymania mas odpowiednich do formowania plastycznego wymagana jest ściśle określona ilość wody. Oszczędzanie wody przez użycie lepszych surowców, łatwych do kształtowania ilów lub specjalnych dodatków organicznych i nieorganicznych jest skutecznym sposobem na zaoszczędzenie energii suszenia [1, 7, 12–13, 15]. Suszenie rozpyłowe wymaga mas lejnych o optymalnej zawartości fazy stałej. Oszczędzanie wody przez użycie odpowiednich surowców lub specjalnych dodatków obniżających zawartość wody w masie lejnej jest sposobem na oszczędzanie energii suszenia. Mielenie ciągle również pozwala zaoszczędzić do 2% wody w masie lejnej oraz powoduje wzrost jej temperatury o ok. 10°C, co obniża także zużycie energii elektrycznej w suszarni rozpyłowej.

Rodzaj wyrobów stołowych ma istotny wpływ na wartość zużycia energii. Istnieje szeroki zakres od wyrobów kamionkowych do twardej porcelany, charakteryzujący się podobnymi właściwościami eksploatacyjnymi (z wyjątkiem odporności na zmywanie w zmywarkach, co ma znaczenie głównie w zastosowaniach hotelowych) [10], lecz różniących się znacznie jednostkowym zużyciem energii. Zastąpienie twardej porcelany miękką lub kamionką stwarza możliwość oszczędności energii.

2.2. Formowanie i dekorowanie

W przemyśle ceramiki budowlanej możliwe jest zaoszczędzenie energii poprzez wytłaczanie masy plastycznej ze zmniejszoną zawartością wody. Nie każda masa jest do tego odpowiednia. Czasem zaoszczędzona energia suszenia jest pochłaniana w postaci energii elektrycznej zasilającej wyłaczarkę i urządzenia do obróbki wykańczającej [12, 17]. W procesie wytłaczania formowane półfabrykaty podnoszą swoją temperaturę. Należy starać się utrzymać ich temperaturę do momentu załadowania do suszarni, gdyż oszczędza to energię suszenia [18–21]. Inną metodą oszczędności jest przemyślane zaprojektowanie wyrobu, np. cegieł chodnikowych, poprzez zaoszczędzenie ich masy (np. w części umieszczonej w ziemi). Oszczędności przy projektowaniu są możliwe również dla cegieł licówek. Proste konstrukcje ażurowe pozwalają na zaoszczędzenie energii podczas suszenia lub wypalania na skutek laminarnego przepływu powietrza przez wyrób. Przemyślane zaprojektowanie dachówek może zaoszczędzić ich ciężar, co również pozwala na zaoszczędzenie energii podczas suszenia lub wypalania. Suche lub półsuche formowanie pomaga zaoszczędzić energię suszenia, wymaga

jednak wyższego nakładu energii na formowanie i może wpływać na jakość produktu. W tym wypadku należy szczegółowo przeanalizować efektywność energetyczną takiego rozwiązania [7].

Jest rzeczą oczywistą, że im mniej wody użyje się do formowania, tym mniej należy jej odparować podczas suszenia. W związku z tym należy stosować prasowanie izostatyczne do jak największej ilości ceramicznych wyrobów stołowych (obecnie można przy użyciu tej oszczędnej w wodę metody formować również misy!). Najnowocześniejsze metody prasowania izostatycznego wymagają nie więcej niż 2% wilgotności, co eliminuje użycie, a więc i suszenie form gipsowych. Do izostatycznego prasowania stosuje się granulaty z suszarni rozpyłowej. Im mniej wody użyje się do przygotowania mas lejnych, tym mniej energii potrzeba do wysuszenia granulatów.

Metody odlewania ciśnieniowego pozwalają na uniknięcie suszenia form gipsowych oraz zmniejszają zawartość wody w masie o ok. 2% wag., jednakże wymagają modyfikowanych mas lejnych i dodatkowej energii elektrycznej. Przy zastosowaniu mas lejnych o dużej zawartości fazy stałej potrzebne jest mniej energii do suszenia form gipsowych.

Zastosowanie nowatorskich, nowoczesnych technik formowania (np. *Flexi Flat* do wyrobów stołowych), które wykorzystują mniejszą ilość form i nie wymagają ich suszenia, pozwala na znaczne obniżenie zużycia energii [22].

Przemysłane zaprojektowanie wyrobów eliminuje te fragmenty wyrobów, które wymagają dłuższego czasu suszenia i wypalania. Należy dbać o precyzyjny plan produkcji, gdyż pozwala on na suszenie i wypalanie większych partii produktów, co powoduje oszczędności energii. Korzystne jest także stworzenie przemysłanego sposobu ustawiania produktów i dekoracji, pozwalającego na suszenie i wypalanie większych partii produktu. Na optymalizację zużycia energii w procesie produkcji pozwala również ograniczenie ilości asortymentu wyrobów oraz właściwy sposób kontroli procesu.

Im więcej kolorów w dekoracji można jednocześnie wypalić, tym mniej energii jest potrzebne do otrzymania całej dekoracji. Znaki i symbole na wyrobach mogą być wykonywane metodami laserowego znakowania i wtapiania barwników ceramicznych, co nie wymaga energochłonnego wypalania. Metody laserowe mają jeszcze inne zalety: oszczędności materiałowe, ograniczenie braków spowodowanych pękaniem dekoracji po drugim wypalaniu itp.

2.3. Suszenie

W przemyśle ceramicznym suszenie rozumiane jest jako parowanie lub ulatnianie się fizycznie związanej wody. Powszechnie wiadomo, że woda charakteryzuje się wysokim ciepłem właściwym ($4,2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$) oraz bardzo wysokim cie-

plem parowania (2500 kJ/kg). Te właściwości powodują wysokie zużycie energii w procesie suszenia. W przemyśle ceramicznym do 50% całkowitej energii cieplnej jest w chwili obecnej używana w procesie suszenia [23]. W Wielkiej Brytanii, pomimo wielu sztywno tłoczonych mas ceramicznych, w dalszym ciągu do suszenia zużywa się ok. 30% energii [24].

Najbardziej energooszczędnym sposobem suszenia jest suszenia naturalne w otaczającym powietrzu. W wielu halach produkcyjnych zakładów ceramicznych dostępna jest wystarczająca ilość miejsca i odpowiednie warunki klimatyczne do tego typu suszenia. Jednym z typowych sposobów wpływających na zmniejszenie poziomu zużycia energii suszenia w starszych zakładach jest sprzężanie suszarni z piecami [25], np. suszarnie pionowe i poziome po procesie prasowania płytek ceramicznych powinny być zasilane powietrzem chłodzącym z pieców [26]. W przypadku współpracy pieca i suszarni to dostawa energii z pieca określa, jaką ilość energii wykorzystuje się w suszarni. W przeciwnym wypadku, nieefektywne zużycie energii w suszarni spowoduje nadmierne zużycie energii wypalania [18, 27] (oczywistym jest to, że kanały transportujące gorące powietrze z pieca do suszarni powinny być dobrze izolowane [1]). Obecnie sprzężanie suszarni z piecami jest stosowane w wielu zakładach, jednak ważne jest także dostosowanie do tego organizacji produkcji przez precyzyjne planowanie przerw weekendowych formowania i suszenia [28].

Innym sposobem polepszenia efektywności jest kontrolowanie systemu wentylacja/palnik oraz parametrów atmosfery suszenia [19]. Użycie niewielkich ilości powietrza o wysokiej temperaturze zmniejsza poziom strat powietrza wylotowego [18, 23, 29]. Najniższe koszty energii (cieplnej i elektrycznej) zostaną osiągnięte przy optymalnej energii cieplnej i właściwym ruchu (recykulacji) powietrza suszącego. Należy unikać dodawania wilgoci do osiągnięcia niezbędnej wilgotności suszenia – w takim przypadku trzeba zwiększyć gęstość ustawienia [24]. Do suszenia wyrobów odlewanych w coraz większym stopniu stosowane są suszarnie mikrofalowe w połączeniu z tradycyjnym suszeniem, co prowadzi do oszczędności energii [30–31]. Zastosowanie systemu suszenia przy pomocy pary wodnej, nazywanego systemem „bez powietrza” (*Airlless System*), umożliwia zarówno obniżenie czasu suszenia nawet do 80%, jak i polepszenie jakości wyrobów [32]. Dostępne są również nowe systemy palników podczerwieni, które mogą być zasilane wieloma różnymi gazami. System taki jest łatwy do kontroli i bardzo efektywny energetycznie. Może ponadto być przystosowany do istniejących szaf suszarniczych [33].

Krótszy czas suszenia powoduje oszczędzanie energii [19–20, 34–35]. Zmiana kierunku przepływu powietrza może polepszyć jednorodność oraz obniżyć czas suszenia. Zmiana systemu przepływów wewnątrz suszarni może skrócić czas suszenia, jak również poprawić uzysk. Odpowiedni system ustawczy do wypalania

wyrobów ceramicznych oraz gęstość ustawienia umożliwi łatwy dostęp powietrza suszenia do większości powierzchni [20]. Powietrze suszące powinno przepływać – jeżeli jest to możliwe – przez przekrój poprzeczny pustaków ceramicznych [1]. W przypadku dachówek przepływ piętzący powietrza suszenia jest bardziej efektywny niż przepływ warstwowy; możliwa jest modernizacja w tym kierunku współczesnych suszarni [36]. Zastosowanie nowoczesnych systemów podstawek do suszenia wyrobów klinkierowych oraz dachówek może prowadzić do obniżenia zużycia energii [23]. Większość współczesnych urządzeń oraz technologii suszenia pozwala na zaoszczędzenie do 90% czasu w przypadku cegieł i pustaków oraz do 70% czasu w odniesieniu do dachówek, w porównaniu z konwencjonalnym suszeniem [23].

Dobrym sposobem na optymalizację suszenia jest użycie programu do symulacji procesu suszenia i przekazywanie bieżących danych kontrolnych do specjalistycznych firm [37]. Złe warunki suszenia są często widoczne dopiero po wypaleniu wyrobów, co powoduje wzrost braków. Właściwe metody kontroli produkcji i wyrobów na etapie suszenia mogą obniżyć całkowitą liczbę braków, a w efekcie spowodować obniżenie jednostkowego zużycia energii [38].

Jednym z najbardziej energooszczędnych sposobów suszenia rozpyłowego jest produkcja skojarzona ciepła i energii. Poziom efektywności takich rozwiązań może sięgać nawet do 90% [39]. Im większa jest zawartość fazy stałej w masie lejnej, tym mniej energii jest potrzebne do wysuszenia granulatu do stałej wilgotności. Zużycie energii suszenia rozpyłowego jest mniejsze w przypadku małych granul – należy rozważyć tego typu modyfikację, jeśli wymagania jakości na to zezwalają. Im lepsza jest izolacja termiczna suszarni rozpyłowej, tym mniejsze są straty, a tym samym zużycie energii. Dobrą metodą jest podgrzewanie powietrza do spalania w palnikach ciepłem odpadowym z pieca lub suszarni rozpyłowej [39]. Inne rozwiązanie polega na tym, że w miejsce cyklonów stosuje się odpyłacze oraz podgrzewanie masy lejnej. Pozostająca frakcja pylasta z suszarni rozpyłowej jest wmywana przez masę lejną, co powoduje jej podgrzewanie. Metoda ta jest zalecana w instalacjach mielenia okresowego [39].

2.4. Wypalanie

Zużycie energii potrzebnej do spiekania wyrobów ceramicznych zależy od wymaganej temperatury wypalania. Wraz ze wzrostem temperatury wypalania rośnie zapotrzebowanie na energię. Optymalna temperatura wypalania zależy w głównej mierze od rodzaju masy ceramicznej, sposobu formowania półfabrykatów i docelowych właściwości wyrobów.

Jednostkowe zużycie energii wypalania wyrobów stołowych i wyrobów sanitarnych w największym stopniu zależy od rodzaju i konstrukcji pieca. Oczywiście jest, że piec rolkowy z małą liczbą podstawek i szybkim procesem wypalania

zużywa ponaddwukrotnie mniej energii niż typowy piec tunelowy. Od roku 1930 czas wypalania płytek ceramicznych obniżył się z ok. 27 godzin do poniżej jednej godziny! Tak znaczne ograniczenie czasu wypalania zawdzięczamy zastosowaniu pieca rolkowego. Dzięki jego niskiemu poziomowi zużycia energii i prostemu kształtowi płytek, ten rodzaj pieca jest obecnie powszechnie stosowany do wypalania płytek ceramicznych.

Ogólnie przyjęte jest, że największy wpływ na efektywność energetyczną procesów wypalania, zależną od konstrukcji pieca i wózków, mają dwie drogi strat energii: nieszczelności izolacji pieca oraz masa materiałów piecowych i wózków, które muszą być ogrzane wraz z wyrobami. Aby zminimalizować te niekorzystne zjawiska, przy projektowaniu i eksploatacji pieców należy pamiętać o kilku zasadach. Obrzeża obręczy kół wózków piecowych winny z zasady znajdować się na zewnątrz [40]. Podłogi wózka piecowego powinny składać się z lekkich materiałów izolacyjnych o wysokiej jakości, zawierających minimalną ilość ciężkiego szamotu. Zaleca się również, aby warstwy od dołu do podłogi były odporne na różne naprężenia cieplne [40–41]. Schemat do obliczania optymalnej grubości podłogi wózka można znaleźć w artykule [40]. Uszczelnienia piaskowe powinny być zaprojektowane tak, aby uniknąć nieszczelności przez dłuższy czas – sugestie przedstawiono w [40 i 42]. Rolki w piecu rolkowym powinny być właściwie uszczelnione. Należy także starać się unikać samonośnych ścian bocznych pieca. Takie ściany mają tendencję do przeginięcia się w stronę kanału wypalania ze względu na różne temperatury w przekroju. Ważne jest precyzyjne zaprojektowanie pieca wyposażonego w ściany podtrzymujące strop [40]. Specjalnie zaprojektowane stropy pieca zapobiegają nieszczelnościom ze względu na rozszerzanie cieplne i sprawiają, że chłodzenie stropu staje się zbędne [40]. W artykule [43] opisany jest piec rolkowy szybkiego wypału (do 120 min), przeznaczony specjalnie do dachówek i wyposażony w ultralekkie podstawki, zapewnia on bardzo niskie jednostkowe zużycie energii. W doniesieniu [44] przytoczony został przykład zamiany tradycyjnego pieca tunelowego na piec szybkiego wypalania wyrobów stołowych, co spowodowało obniżenie zużycia gazu o ok. 50%. Stosowanym ostatnio przez niektórych producentów ceramiki budowlanej działaniem jest pokrywanie pewnych części pieca powłokami emisyjnymi, mającymi na celu odbijanie ciepła do wymaganego obszaru, co zmniejsza emisję ciepła na zewnątrz pieca. Teoretycznie może to prowadzić do ograniczenia kosztów gazu nawet o 10% [45].

Zasady opisane dla procesu suszenia dotyczą także procesów wypalania, należy m.in. umożliwić jak najlepsze przeniesienie ciepła z gorącego gazu na wypalane wyroby [42, 46]. W głównej strefie wypalania zalecane jest utrzymywanie nadciśnienia 10–15 Pa [47]. Powietrze do spalania powinno być podgrzewane. Przy wyższej temperaturze wypalania, wyższe podgrzanie oszczędza energię. Podgrzewanie powinno odbywać się powietrzem wylotowym z pieca [48]. Zmniejszenie strat

ciepła powietrza odpadowego można osiągnąć poprzez wykorzystanie go do podgrzewania pieca na całej długości [42]. Ważne jest również odzyskiwanie ciepła z gazów odpadowych i gazów spalinowych po spalaniu [1, 49].

Należy dążyć do wypalania jednego wyrobu przez dłuższy czas i zoptymalizowania jego krzywej wypalania. Przy różnych produktach wypalanych w piecu nie jest praktycznie możliwa pełna optymalizacja. Trzeba pomyśleć o małych piecach wahadłowych lub okresowych dla mniejszych partii. Dla najmniejszych partii należy rozważyć współpracę z innymi zakładami lub pomyśleć o zmniejszeniu ilości asortymentu wyrobów [24]. Im mniejsza jest ilość braków, tym niższe jest jednostkowe zużycie energii, gdyż powtórne wypalanie podwyższa jednostkowe zużycie energii. Piece okresowe, np. do wypalania galanterii, mogą być eksploatowane o wiele oszczędniej energetycznie, jeśli stosowane są systemy odzyskiwania ciepła razem z podgrzewaniem powietrza do spalania, lub gdy są połączone z suszarniami [50].

Systemy ustawcze pochłaniają jedną z największych ilości energii podczas wypalania. Większość współczesnych typów podstawek jest wykonana z węgla krzemu i zaprojektowana oszczędnie pod względem masy [51]. Najkorzystniejsze jest jednak zrezygnowanie z podstawek do wypalania i zastosowanie np. pieców rolkowych.

Ważnym elementem optymalizacji procesu wypalania może być wprowadzanie nowych systemów sterowania palnikami oraz wielostrefowej kontroli procesu wypalania [42, 45–46]. Palniki o wysokiej szybkości gazów grzewczych (powyżej 100m/s) są zalecane do ogrzewania stref wstępnych w piecu (do 700°C). W tych niskich temperaturach ma miejsce głównie ogrzewanie konwekcyjne. Przy użyciu nowoczesnych palników (np. impulsowych, które są bardziej wydajne niż tradycyjne), piece mogą być modernizowane pod kątem obniżenia zużycia energii [47]. Do linii szkliwierskich zaleca się używanie bardziej efektywnych energetycznie palników, które mogą być wyłączane, gdy nie są potrzebne [33].

W zakładach ceramiki budowlanej zwiększenie wydajności energii przez rezygnację ze stałego paliwa, jak węgiel, na rzecz LPG lub oleju napędowego jest znane, jednak dla niektórych cegielni to wciąż możliwość zaoszczędzenia dużej ilości energii [45]. Również korzystanie z odnawialnych energii wyprodukowanych we własnych reaktorach na terenie cegielni, jak biogaz, może obniżyć koszty i zredukować emisję CO₂ [52], chociaż nie może pokryć całego zapotrzebowania energetycznego zakładu [1].

System ustawczy pieca pochłania jedną z największych ilości energii podczas wypalania dachówek. Większość współczesnych typów podstawek typu H posiada średnią gęstość ok. 1,6 g/cm³ i jest zaprojektowana oszczędnie pod względem masy [53–54]. Przy wypalaniu dachówek zaleca się używanie pieców, które nie

wymagają stosowania podstawek [55–56]. Aby zwiększyć powierzchnię kontaktu pomiędzy gazem a wyrobem, gorące gazy powinny przepływać przez otwory w ceglach lub przestrzenie w dachówkach. Ten rodzaj wypalania nazywamy wypalaniem z przepłukiwaniem (*Perfusion Firing*) [1]. Jeżeli jest możliwe wypalanie umożliwiające poprzeczny przepływ powietrza przez wyrób, to sposób taki jest oszczędny energetycznie. W miarę możliwości należy wkładać do pieca gorące wyroby z suszarni, np. przez wykorzystanie jednakowych półek do suszenia i wypalania lub poprzez bezpośrednie ustawianie wyrobów do suszenia na wózkach do wypalania [17, 57].

3. Podsumowanie

Jednym z najważniejszych osiągnięć projektu CERAMIN jest podręcznik oszczędzania energii. Kiedy rozpoczynano realizację projektu, planowano zebranie wiedzy i doświadczeń uczestniczących wytwórców ceramiki, szczególnie zakładów, które wykazały najlepsze wyniki energetyczne, a następnie rozpowszechnienie ich wśród zakładów całej branży ceramicznej. W trakcie realizacji projektu, jeszcze przed pojawieniem się kryzysu gospodarczego, realizatorzy przekonali się, że wiedzę na temat oszczędzania energii zaliczano do informacji know-how przedsiębiorstw. Z tego powodu technologie i doświadczenia zakładów w tym zakresie należały w większości wypadków do danych poufnych. Z pojawieniem się kryzysu gotowość do dzielenia się takimi informacjami zmalała prawie do zera. W związku z tym zalecenia i uwagi zebrane w podręczniku podsumowują głównie doświadczenia zwycięskich przedsiębiorstw, ogólną wiedzę realizatorów projektu, a także opierają się na pokaźnym zbiorze publikacji zebranych na końcu podręcznika. Tą drogą przekazano całą wiedzę ekspertów-partnerów, jak również informacje przez nich zebrane. Realizatorzy projektu mają nadzieję, że zawarte w podręczniku informacje pomogą w podejmowaniu decyzji modernizacyjnych i zostaną wykorzystane przez kadry technologiczne i menedżerskie zakładów przemysłowych do opracowania bardziej energooszczędnych technologii wytwarzania wyrobów ceramicznych.

Literatura

- [1] H o b o h m F., *Maßnahmen zur Energieeinsparung*, www.keramikinstitut.de (15.11.2008).
- [2] A u b e r t o t C., *Petroleum coke – a fuel of the future*, „ZI Ziegelindustrie International” 2006, Nr. 9, s. 36–40.
- [3] D ö r r J., *Pore-forming with carboniferous clay blends – without strength loss but with a simultaneous energy saving*, „ZI Ziegelindustrie International” 2006, Nr. 5, s. 122–129.
- [4] R a m b a l d i E., *Glass recycling in porcelain stoneware tiles: Firing behaviour*, „cfi/Ber. DKG” 2004, No. 3, s. E32–E36.

- [5] J u n g e K., *Sintering aids for reducing the final firing temperature and energy saving*, „ZI Ziegelindustrie International” 1998, Nr. 10, s. 686–687.
- [6] WRAP: Glass in Bricks and Tiles, http://www.wrap.org.uk/recycling_industry/information_by_material/glass/uses_for_glass/uses_for_glass_.html (15.11.2009).
- [7] „*International Brick Plant Operator’s Forum*” in *Clemson (USA) with focus on energy saving*, „ZI Ziegelindustrie International” 2006, Nr. 12, s. 8–13.
- [8] T e l l e R., Senkung der Brenntemperaturen bei Sanitärporzellan durch Lithium-Zugaben, www.keramikinstitut.de (12.09.2007).
- [9] K a r t a l A., *Untersuchungen zur Erstellung von Hartporzellan bei verringerten Brenntemperaturen*, „cfi/Ber. DKG” 2004, No. 5, s. D20–D22.
- [10] B l a n c J.J., *Valorisation des déchets de verre dans les céramiques vitrifiées*, „L’Industrie Céramique & Verrière” 2000, No. 1, s. 671–676.
- [11] C a r t l i d g e D., Use of waste glasses in sanitaryware production, 2009, dave.cartlidge@ceram.com (15.11.2009).
- [12] B a r t u s c h R., *Potential for saving energy in the Ceramic Industry*, „Keramische Zeitschrift” 2002, Nr. 1, s. 6–10.
- [13] B l a n c J.J., *La granularité des poudres en céramique. Finesse et réactivité des feldspaths pour vitreous sanitaire*, „Mines & Carrières” 1999, Vol. 81, No. 7/8, s. 28–31.
- [14] S c h u l l e W., *Entwicklungen und Probleme beim Schnellbrand keramischer Produkte*, „Keramische Zeitschrift” 2000, Nr. 12, s. 823–825.
- [15] B o h l m a n n C., *Reduction of mixing water with additives – a contribution to energy cost saving*, „ZI Ziegelindustrie International” 1998, Nr. 1/2, s. 35–43.
- [16] M ü l l e r - Z e l l A., *Niedrig sinternde Fertigmassen für Geschirr*, „cfi/Ber. DKG” 2008, No. 11, s. D15–D16.
- [17] *Gres Acueducto, S.A.: The works and the products an unqualified success*, „ZI Ziegelindustrie International” 2000, Nr. 5, s. 23–30.
- [18] L e i s e n b e r g W., *Ways to efficient use of energy*, „ZI Ziegelindustrie International” 1998, Nr. 7, s. 434–440.
- [19] *Bauhütte Leitl-Werke GmbH: „Eco Brickworks 2000” operating at full capacity*, „ZI Ziegelindustrie International” 2001, Nr. 5, s. 16–24.
- [20] *Ceramicas Casao: High quality, large capacity and low energy consumption*, „ZI Ziegelindustrie International” 2001, Nr. 7, s. 24–28.
- [21] *Unieco Fornace di Fosdondo: Newly developed dryer for the brick factory Fornace di Fosdondo*, „ZI Ziegelindustrie International” 2008, Nr. 1/2, s. 51–54.
- [22] C a r t l i d g e D., Flexi flat roller making, 2009, dave.cartlidge@ceram.com (15.11.2009).
- [23] V o g t S., Fortschrittliche Trocknungstechnik, www.keramikinstitut.de (15.11.2008).
- [24] Energy efficiency in ceramics processing, <http://www.tangram.co.uk> (10.02.2009).
- [25] V i s s i n g L., *Energy consumption in the Danish brick industry*, „ZI Ziegelindustrie International” 2003, Nr. 3, s. 21–27.

- [26] SACMI Imola S.C., http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12544/633600971649531250_1pdf (15.11.2009).
- [27] V o g t S., *Way to efficient use of energy*, „ZI Ziegelindustrie International” 1998, Nr. 8, s. 496–501.
- [28] J u n g e K., *Effects of the ban on Sunday working on the energy consumption of heavy clay works*, „ZI Ziegelindustrie International” 1998, Nr. 6, s. 327–335.
- [29] D e n i s s e n J.A.M., *Energy efficient drying*, P. 1: *Energy efficiency of various techniques in convective drying*, „ZI Ziegelindustrie International” 1998, Nr. 8, s. 509–517.
- [30] V o u i l l e m e t M., *Le séchage mixte air chaud / micro-ondes des moules en plâtre neufs pour l'industrie du sanitaire*, „L'Industrie Céramique & Verrière” 1994, No. 12, s. 780–784.
- [31] V o u i l l e m e t M., *L'apport des micro-ondes comme source d'énergie en céramique. Réduction des cycles de traitement thermique et optimisation de la qualité des produits. Séchage mixte micro-ondes / air chaud des sanitaires: résultats pilotes et applications possible*, filhol.sfc@ceramique.fr (15.11.2009).
- [32] *Airless drying shapes up to Tableware challenge*, „Global Ceramic Review” 1999, No. 2.
- [33] C a r t l i d g e D., *Infrared burner system that can be controlled in red and blue mode with the heating surface being a Sintered Nit*, 2009, dave.cartlidge@ceram.com (15.11.2009).
- [34] *Rapis-Ziegel Schmidt GmbH: New drying technology in the Rapis brickworks*, „ZI Ziegelindustrie International” 1999, No. 9, s. 73–78.
- [35] K ö n i g R., *The Laminaris rapid dryer at the Tonwerk Venus in Schwarzach*, „ZI Ziegelindustrie International” 1998, Nr. 8, s. 502–508.
- [36] S c h l o s s e r M., *New concepts for tile setters and rapid drying in the clay roofing tile industry*, „ZI Ziegelindustrie International” 2001, Nr. 1/2, s. 25–29.
- [37] H e s s e V., *The problems of energy consumption of tunnel kiln cars in fast firing tunnel kilns*, „ZI Ziegelindustrie International” 2001, Nr. 3, s. 13–20.
- [38] V o u i l l e m e t M., *Le séchage en céramique*, „Les Techniques de l'Industrie Minérale” 2000, Vol. 8, No. 12, s. 93–98.
- [39] SACMI Imola S.C., http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12553/633601080867187500_1pdf (15.11.2009).
- [40] R i e d e l R., *The real snag lies in the detail*, P. 1–2, „ZI Ziegelindustrie International” 2000, Nr. 6, s. 29–37, Nr. 9, s. 23–32.
- [41] K e t t l e r H., *Kiln car engineering and energy conservation*, „ZI Ziegelindustrie International” 2006, Nr. 5, s. 130–133.
- [42] F i s c h e r M., *Möglichkeiten und Grenzen der Energieeinsparung*, „cfi/Ber. DKG” 2009, No. 2, s. D14–D18.
- [43] R o n c h e t t i R., *A new type of kiln for rapid firing of clay roof tiles*, „ZI Ziegelindustrie International” 2004, Nr. 11, s. 38–42.
- [44] J a e g e r m a n n Z., *Informacje od przedstawicieli polskich zakładów branży wyrobów stołowych*, 2009, z.jaegermann@icimb.com (15.11.2009).
- [45] C a r t l i d g e D., *New techniques in the brick industry of the UK*, 2009, dave.cartlidge@ceram.com (15.11.2009).
- [46] S l a t e r A., *Fire more or less*, „cfi/Ber. DKG” 2009, No. 2, s. E35–E39.

- [47] P e t z o l d J., Personal recommendations about operating ceramic kilns, 2009, j.petzold@keramikinstitut.de (15.11.2009).
- [48] R i e d e l R., *Combustion air preheating*, „ZI Ziegelindustrie International” 1999, Nr. 11, s. 30–39.
- [49] R i e g e r W., *Flue gas post-combustion in tunnel kilns with utilization of the released heat of combustion for brick drying and firing*, „ZI Ziegelindustrie International” 2007, Nr. 9, s. 32–42.
- [50] S t r o h m e n g e r P., *Energy saving Bogie-hearth furnace with heat Exchanger-System*, „Keramische Zeitschrift” 2003, Nr. 5, s. 350–352.
- [51] S t r o h m e n g e r P., *Energy saving intermittent kiln with heat exchanger system*, „ZI Ziegelindustrie International” 2003, Nr. 3, s. 36–39.
- [52] M ö d i n g e r F., *The utilization of biogas at brickworks*, „ZI Ziegelindustrie International” 2004, Nr. 5, s. 20–31.
- [53] H o h l f e l d K., *Reduced kiln furniture weight for H-setters for firing roof tiles*, „ZI Ziegelindustrie International” 2005, Nr. 3, s. 19–28.
- [54] K e t t l e r H., *BurcoLight – Results from practical operations*, „ZI Ziegelindustrie International” 2008, Nr. 5, s. 21–28.
- [55] M o r i G., *Röben clay roofing tile plant in Sroda Slaska – designed for 40 million tiles and 4 million accessories per year*, „ZI Ziegelindustrie International” 2006, Nr. 9, s. 18–27.
- [56] M a s a t i s h i N a k a s h i m a J., *Clay roofing tile production in Japan*, „ZI Ziegelindustrie International” 1999, Nr. 3, s. 11–17.
- [57] R i e g e r W., *New design of a tunnel kiln structure made of prefabricated lightweight chamotte elements and replacement of the kiln cars by firing pallet circuit*, „ZI Ziegelindustrie International” 2007, Nr. 6/7, s. 45–51.

ZBIGNIEW JAEGERMANN
WOJCIECH ŁUKASIK

ENERGY SAVING CONCEPTS FOR THE EUROPEAN CERAMIC
INDUSTRY
PART 1 – DISCUSSION ON TUTORIAL ABOUT ENERGY SAVING

This article summarizes results of works carried out under the EU project „Energy saving concepts for the European ceramic industry” CERAMIN. The first part of the article is devoted to the project drawn up tutorial about energy saving. Recommendations and observations collected in the tutorial summarize experiences of the best production plants, general knowledge of project partners, and are also based on technical publications. The document is divided into chapters covering specific ceramic sub branches and gives advice on the various technological steps: preparation of raw materials, forming, drying and firing. The authors hope that the information provided will be helpful in decision-making modernization and will be used by industrial plants to develop more energy-efficient technologies in the production of ceramic products.