

Projekt współfinansowany przez program:



Koncepcje oszczędzania energii dla europejskiego przemysłu ceramicznego
CERAMIN



PODRĘCZNIK OSZCZĘDZANIA ENERGII

Odpowiedzialny za podręcznik: [Rüdiger Köhler](#), KI Keramik-Institut GmbH, D 01662 Meißen

Odpowiedzialny za tłumaczenie polskie: Zbigniew Jaegermann, ISCMOIB, Warszawa

Wyłączna odpowiedzialność za zawartość niniejszego sprawozdania spoczywa na autorach. Jego treść nie musi odzwierciedlać stanowiska Unii Europejskiej. Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie informacji zawartych w sprawozdaniu.



Spis treści

Wprowadzenie	3
1. Uwagi ogólne	6
2. Cegły i pustaki ceramiczne	7
3. Wyroby klinkierowe	13
4. Dachówki i płytki rozdzielne.....	19
5. Ceramiczne wyroby stołowe	25
6. Wyroby sanitarne	30
7. Płytki ceramiczne	35
Literatura.....	40



Wprowadzenie

Projekt CERAMIN został stworzony w celu wspierania europejskiego przemysłu ceramicznego w obniżaniu zużycia energii poprzez udział we współzawodnictwie oraz opracowanie zaleceń dotyczących oszczędzania energii dla tych, którzy osiągają słabsze rezultaty w oszczędzaniu energii.

Reprezentujące wszystkie gałęzie przemysłu ceramicznego przedsiębiorstwa z państw UE biorących udział w projekcie zostały zaproszone do wzięcia udziału we współzawodnictwie w zakresie najniższego poziomu jednostkowego zużycia energii JZE (specific energy consumption – SEC) oraz największej wartości obniżenia JZE (wskaźnik oszczędności energii WOE). W pierwszym etapie projektu plan zakładał nawiązanie kontaktu przez partnerów krajowych z 60 firmami (partnerami przemysłowymi) z 6 europejskich państw, z których pochodzą współrealizatorzy projektu CERAMIN (<http://www.ie-leipzig.com/Ceram/partners/htm>).

Tabela 1 pokazuje ilość uczestniczących partnerów przemysłowych z każdego państwa po pierwszym okresie realizacji projektu. Największa ilość uczestników pochodzi z branży ceramiki budowlanej, materiałów ogniotrwałych i porcelany stołowej. Niestety, nie otrzymano danych z Włoch, a z Hiszpanii i Francji otrzymano niewiele danych.

Tabela 1. Ilość partnerów przemysłowych z podziałem na branże i państwa, które przystąpiły do projektu CERAMIN do 31.12.2008

	UK	E	F	I	D	PL	Całkowita ilość wg. branż
Cegły i pustaki ceramiczne					1	2	3
Wyroby klinkierowe	9				13	2	24
Dachówki						1	1
Materiały ogniotrwałe	2	3	1			1	7
Płytki ścienne i podłogowe	1		2			1	4
Ceramika sanitarna			1		1	1	3
Porcelana stołowa	3		1			2	6
Ceramika techniczna							0
Całkowita ilość wg. państw	15	3	5	0	15	10	48

Tabela 2 pokazuje wyniki współzawodnictwa. Zgodnie z zasadami obliczania wskaźnika oszczędności energii WOE. Brane są pod uwagę co najmniej dwa lata produkcji każdego zakładu



i wyliczane JZE. Z tych dwóch lat dla każdego przedsiębiorstwa wyliczany jest wskaźnik oszczędności energii. Z tego powodu, dwie ostatnie kolumny w tabeli 2 są puste dla roku odniesienia. Przedsiębiorstwa są uszeregowane według branż i poziomu zmniejszenia zużycia energii. Podano wyniki jedynie pierwszych 5 zakładów (jeśli były dostępne) w obniżeniu zużycia energii (wskaźnik oszczędności energii WOE) oraz jednego o najniższej wartości JZE w branży. Zamieszczone dane nie zostały dotychczas zweryfikowane, jednak dla większości firm (w szczególności dla branży ceramiki budowlanej), dostępna będzie weryfikacja danych zgodna z EUETS.

Po zakończeniu gromadzenia danych zamieszczonych w tabeli 2 pojawiły się problemy ekonomiczne roku 2009. Na skutek tych problemów, zainteresowanie firm współpracą w ramach projektu bardzo się obniżyło. Z tego powodu niewiele firm wykazało gotowość do przekazania odpowiednim partnerom krajowym danych na temat własnych doświadczeń w oszczędzaniu energią /50,51/. Uwagi, rady i zalecenia zamieszczone w poniższym tekście są z jednej strony oparte na ogólnych doświadczeniach, z drugiej - pochodzą z powoływanych w tekście danych literaturowych, których lista znajduje się na końcu opracowania. Oba rodzaje źródeł pochodzą od następujących partnerów krajowych:

- CERAM Research (UK) – www.ceram.com
- Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych (PL) – www.isic.waw.pl
- Societe Francaise de Ceramique SFC (F) www.ceramique.fr
- KI Keramik-Institut (D) – www.ceramics-institute.com

Tabela 2: Wyniki współzawodnictwa najlepszych 5 zakładów (jeżeli były dostępne) w danej branży biorąc pod uwagę wskaźnik oszczędności energii (WOE) oraz jeden zakład w danej branży legitymujący się najniższym jednostkowym zużyciem energii (JZE)

Kraj	Numer przedsiębiorstwa	Numer zakładu	Branża	Zużycie energii [GJ]	Jednostkowe zużycie energii JZE [GJ/t]	Pozycja w rankingu JZE	Wskaźnik oszczędności energii WOE [GJ/t]	Pozycja w rankingu WOE
1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	1	1	Cegły	15.308	2,69	4	0,92	1
PL	PL-3	PL-3	Cegły	181.290	1,34	1	0,38	2
PL	PL-5	PL-5-2	Cegły	145.052	2,17	2	0,29	3
PL	PL-5	PL-5-2	Cegły	138.090	2,61	3		
PL	PL-3	PL-3	Cegły	287.464	2,76	5		
D	1		Cegły	20.885	3,60	6		
UK	5		Klinkierowe	56.609	10,63	42	3,81	1
UK	3		Klinkierowe	21.388	4,24	32	1,63	2
UK	8		Klinkierowe	9.768	3,16	25	1,10	3
UK	6		Klinkierowe	19.413	5,83	38	0,97	4
D	6		Klinkierowe	90.670	4,72	35	0,40	5



1	2	3	4	5	6	7	8	9
UK	1		Klinkierowe	4.135	1,43	2	-0,05	16
UK	1		Klinkierowe	4.024	1,37	1		
UK	8		Klinkierowe	13.168	4,26	33		
D	6		Klinkierowe	99.921	5,12	37		
UK	3		Klinkierowe	35.812	5,88	39		
UK	6		Klinkierowe	21.743	6,80	40		
UK	5		Klinkierowe	62.746	14,45	46		
PL	PL-5	PL-5-1	Dachówki	78.481	4,27		12,08	
PL	PL-5	PL-5-1	Dachówki	34.822	22,38			
UK	9		Ogniotrwałe	90.397		11	6,27	1
E	2		Ogniotrwałe	44.031	8,16	7	1,72	2
PL	PL-4	PL-4	Ogniotrwałe	304.986	4,91	3	1,13	3
F	D		Ogniotrwałe	50.026	10,88	8	0,51	4
E	2		Ogniotrwałe		3,77	1	0,24	5
E	2		Ogniotrwałe	53.184	4,66	2		
PL	PL-4	PL-4	Ogniotrwałe	347.730	6,04	4		
F	D		Ogniotrwałe	45.543	11,39	9		
E	2		Ogniotrwałe	51.487	13,32	10		
UK	9		Ogniotrwałe	145.421	25,72	12		
UK	13		Płytki	475.346	8,80	7	0,67	1
PL	PL-1	PL-1	Płytki	505.728	5,13	3	0,28	2
F	C		Płytki	212.677	8,33	5	0,13	3
F	B		Płytki	300.240	5,12	2	-0,12	
F	B		Płytki	349.200	5,00	1		
PL	PL-1	PL-1	Płytki	356.082	5,55	4		
F	C		Płytki	196.815	8,73	6		
UK	13		Płytki	491.282	9,46	8		
F	A		Sanitarne	176.090	20,79	5	3,02	1
PL	PL-7	PL-7	Sanitarne	118.560	10,68	1	1,03	2
D	13		Sanitarne	81.472	10,76	2	0,65	3
D	13		Sanitarne	82.198	12,07	3		
PL	PL-7	PL-7	Sanitarne	138.484	14,69	4		
F	A		Sanitarne	178.351	25,33	6		
UK	11		Stołowa	131.907	56,35	10	13,18	1
PL	PL-8	PL-8	Stołowa	259.203	44,57	5	4,96	2
F	E		Stołowa	125.536	52,39	6	3,90	3
PL	PL-2	PL-2	Stołowa	275.838	31,21	1	1,95	4
UK	12		Stołowa	241.809	33,13	2	1,01	
PL	PL-2	PL-2	Stołowa	299.109	36,10	4		
UK	12		Stołowa	277.784	34,65	3		
PL	PL-8	PL-8	Stołowa	287.050	54,50	8		
F	E		Stołowa	122.729	56,30	9		
UK	11		Stołowa	169.593	76,12	12		



1. Uwagi ogólne

1.1. O podręczniku

Niniejszy podręcznik został opracowany w układzie branżowym. Wiele zaleceń dotyczy więcej niż jednej branży lub jest bardzo podobnych dla różnych branż. Oznacza to, iż czasem zalecenia są powtarzane dla każdej branży w ten sam lub podobny sposób.

Czytając niniejsze opracowanie należy brać pod uwagę to, że tylko niektóre zalecenia będą odpowiadać Państwa branży oraz oczekiwaniom w zakresie możliwych do osiągnięcia korzyści w postaci obniżenia kosztów energii.

1.2. Zalecenia o znaczeniu uniwersalnym

- Zakład pracujący (w całości lub części) pełną mocą produkcyjną będzie posiadał niższy wskaźnik JZE w porównaniu z sytuacją pracy poniżej mocy projektowej
- Mimo, iż nie wzięto pod uwagę zużycia energii elektrycznej w produkcji ceramicznej, produkcja skojarzona ciepła i energii elektrycznej zawsze może stanowić dobrą decyzję strategiczną do oszczędzania energii i kosztów



2. Cegły i pustaki ceramiczne

2.1. Surowce i masa ceramiczna

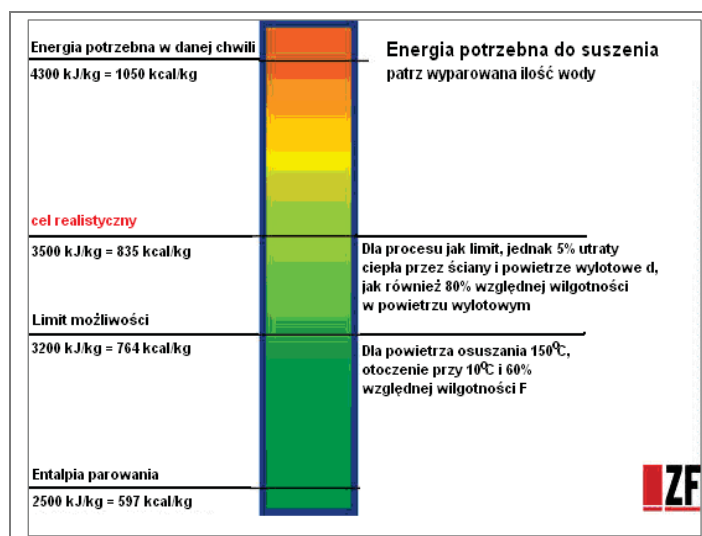
- Dodatki poprawiające izolacyjność wyrobów powinny stanowić źródła energii. Temperatura spalania tych dodatków winna objąć szeroki zakres. Odpadowy grafit /47/, koks ponaftowy /17/ i węgiel /19/ mogą pomóc w osiągnięciu energii spiekania do 800 °C
- Dodatki spiekania, jak popioły, odpady szklane, szklane i mineralne wełny lub nisko spiekane iły mogą pomóc w obniżeniu temperatury spiekania lub w produkcji (suszeniu i wypalaniu) lżejszych produktów o takich samych właściwościach mechanicznych /47, 29, 35, 65/
- Formowanie wymaga plastyczności, szczególnie w przypadku współczesnych pustaków ceramicznych. Do otrzymania właściwej plastyczności wymagana jest odpowiednia ilość wody. Oszczędzanie wody przez użycie lepszych, łatwych do kształtowania ilów lub specjalnych dodatków jest sposobem na oszczędzanie energii suszenia /47, 48, 21, 37/

2.2. Formowanie

- Istnieje możliwość oszczędzania energii poprzez wytłaczanie sztywnej masy. Nie każda masa ceramiczna jest do tego odpowiednia; czasem zaoszczędzona energia suszenia jest pochłaniana w postaci energii elektrycznej zasilającej wytłaczarkę lub na obróbkę wykańczającą /48, 1/
- Należy starać się utrzymywać temperaturę formowania do momentu załadowania do suszarni /36, 5, 6, 26/

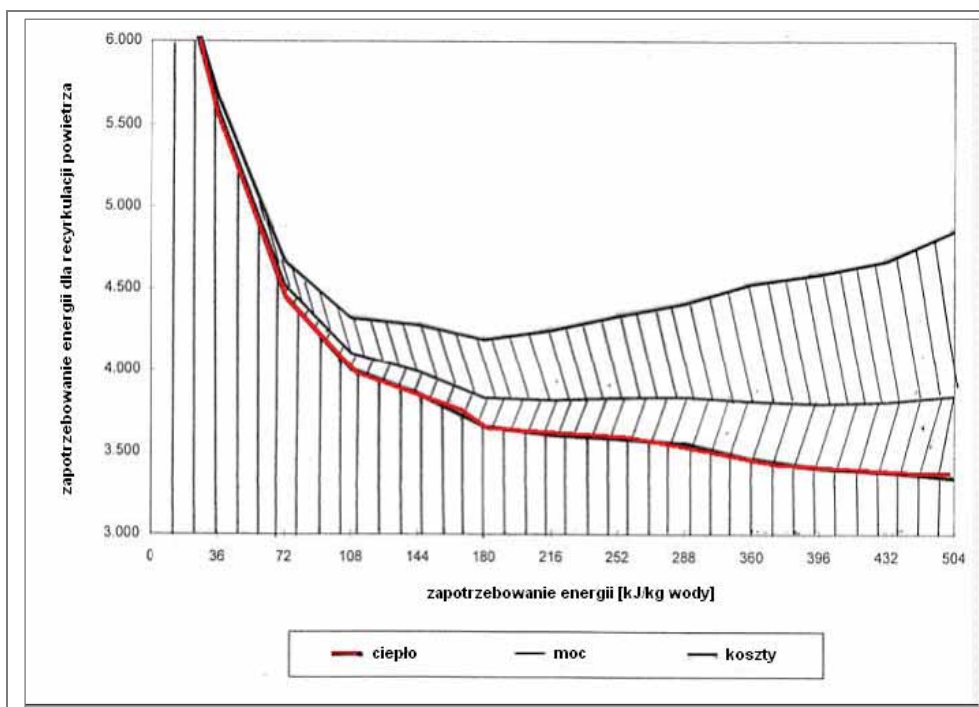
2.3. Suszenie

W przemyśle ceramicznym suszenie rozumiane jest jako parowanie lub ulatnianie się fizycznie związanej wody. Powszechnie wiadomo, że woda charakteryzuje się wysoką pojemnością cieplną (4,2 kJ/kg K) oraz bardzo wysokim ciepłem parowania (2500 kJ/kg). Te właściwości nieuchronnie powodują wysokie zużycie energii w procesie suszenia. Jedynym celem może być dążenie do zbliżenia się, jak dalece to możliwe, do teoretycznego zużycia energii. Rysunek 1 pokazuje, że w chwili obecnej w przemyśle ceramicznym do 50% całkowitej energii cieplnej jest zużywana w procesie suszenia /49/. W Wielkiej Brytanii, pomimo wielu sztywno tłoczonych mas ceramicznych, w dalszym ciągu do suszenia zużywa się 30% energii /9/.



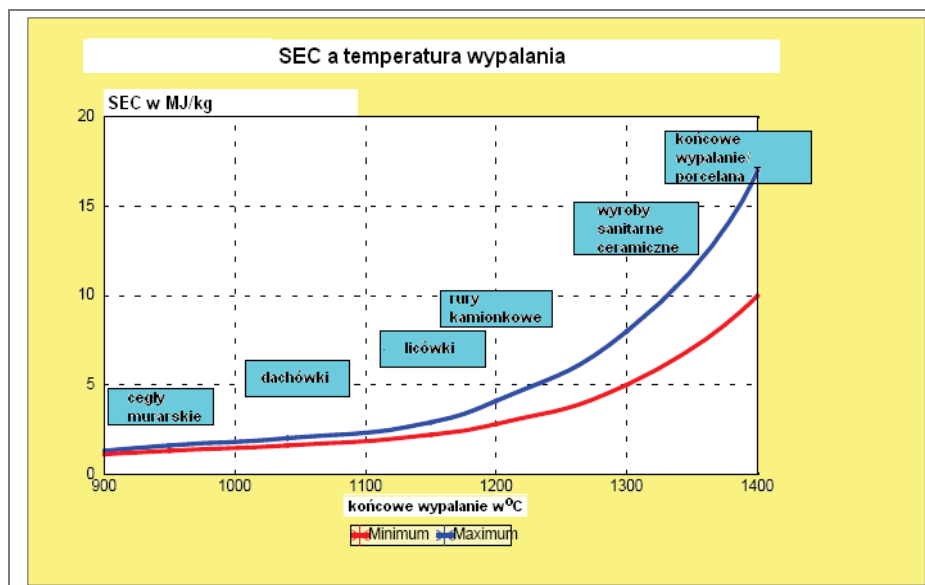
Rys. 1. Zapotrzebowanie na energię do procesu suszenia

- Popularnym sposobem na zmniejszenie poziomu energii suszenia w starszych zakładach jest sprzęganie suszarni z piecami /7/
- Obecnie, sprzęganie suszarni z piecami jest stosowane w wielu zakładach, jednak ważne jest także dostosowanie do tego organizacji produkcji poprzez precyzyjne planowanie przerw weekendowych formowania i suszenia /43/
- Innym sposobem polepszenia efektywności jest kontrolowanie systemu wentylacja/palnik oraz parametrów atmosfery suszenia /6/
- Użycie niewielkich ilości powietrza o wysokiej temperaturze zmniejsza poziom strat energii w powietrzu wylotowym /36, 45, 49/
- Powietrze suszące powinno przepływać przez pustaki ceramiczne /47/
- System ustawczy do wypalania wyrobów oraz gęstość ustawki umożliwi łatwy dostęp powietrza suszenia do większości powierzchni /5/
- Krótszy czas suszenia, powoduje oszczędzanie energii /5, 6, 41, 44/
- Należy unikać dodawania wilgoci do osiągnięcia niezbędnej wilgotności suszenia - w takim przypadku należy zwiększyć gęstość ustawki /9/
- Zmiana kierunku przepływu powietrza może polepszyć jednorodność oraz obniżyć czas suszenia. Zmiana systemu przepływów wewnątrz suszarni może skrócić czas suszenia jak również poprawić uzysk /9/



Rys. 2. Zapotrzebowanie energii ciepła w funkcji zapotrzebowania energii recykulacji powietrza w suszarkach

- Najniższe koszty energii (cieplnej i elektrycznej) zostaną osiągnięte przy optymalnej energii cieplnej i właściwym ruchu powietrza suszącego (rys. 2)
- Dobrym sposobem na optymalizację suszenia jest użycie programu do symulacji procesu suszenia i przekazywanie bieżących danych kontrolnych do specjalistycznych firm /36/
- W przypadku łączonego systemu suszarni i pieca, dostawa energii przez piec określa jaki poziom energii dostarcza się do suszarni; w przeciwnym wypadku, nieefektywne zużycie energii w suszarni spowoduje nadmierne zużycie energii wypalania /36, 42/
- System łączący gorące powietrze z pieca z suszarką powinien być dobrze izolowany /47/
- Większość współczesnych urządzeń oraz technologii suszenia pozwala na zaoszczędzenie do 90% czasu w porównaniu z konwencjonalnym suszeniem /49/
- Alternatywny system suszenia przy pomocy pary wodnej, nazywany systemem „bez powietrza” (*airless drying*), umożliwia obniżenie czasu suszenia nawet do 80% /63/
- Dostępny jest również nowy system palników podczerwieni, który może być zasilany wieloma różnymi gazami. System taki jest łatwy do kontroli i bardzo efektywny energetycznie. Może ponadto być zastosowany do istniejących szaf suszarniczych /64/

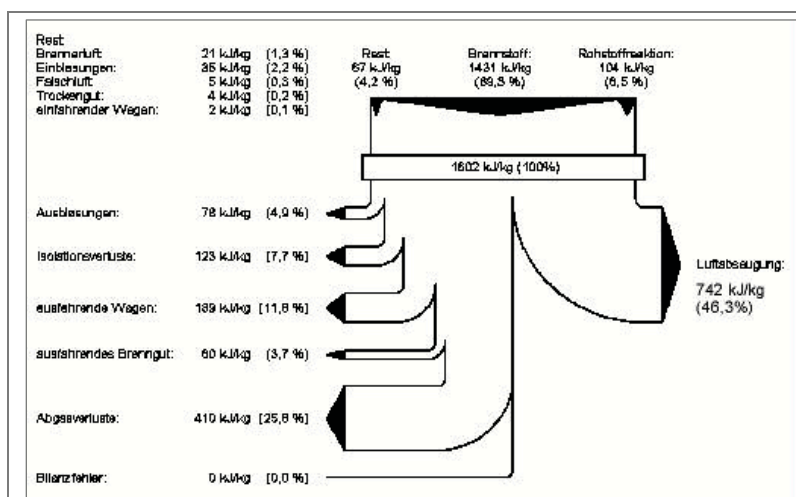


Rys. 3. Jednostkowe zużycie energii JZE (SEC) dla różnych produktów ceramicznych różniących się temperaturami wypalania /48/

2.4. Wypalanie

Zużycie energii potrzebnej do spiekania wyrobów ceramicznych zależy od wymaganej temperatury wypalania. Temperatura jest ustalana na podstawie składu masy ceramicznej, procesów formowania materiału i zamierzonych właściwości. Rysunek 3 pokazuje wykładniczy wzrost zapotrzebowania na energię wraz z temperaturą.

Rysunek 4 pokazuje bilans energetyczny pieca tunelowego do wypalania cegieł. Największe wartości strat powodują różne strumienie powietrza wylotowego, które jest częściowo wykorzystywane w procesach suszenia.



Rys. 4: Bilans pieca tunelowego do wypalania cegieł (Schemat Sankey'a) /47/



2.4.1. Konstrukcja pieca i wózków

Istnieją ogólne dwie drogi strat energii zależne od konstrukcji pieca i wózków:

1. Nieszczelności izolacji pieca

"Jednakże, jedną z najlepszych możliwości na oszczędzanie energii jest wciąż eliminowanie nieszczelności" Don Denison, Denison Inc. /21/

2. Masa materiałów piecowych i wózków, które muszą być ogrzane

- Obrzeża obręczy kół wózków powinny z zasady znajdować się na zewnątrz /2/
- Podłogi wózków piecowych powinny być wykonane z lekkich materiałów izolacyjnych o wysokiej jakości, zawierających minimalną ilość ciężkiego szamotu. Zaleca się, aby warstwy od dołu do podłogi były wykonane z odpowiednich do temperatury pracy materiałów, co obniży naprężenia cieplne podłogi /2, 3, 20/
- Schemat do obliczania optymalnej grubości podłogi wózka można znaleźć w artykule /2/
- Uszczelnienia piaskowe powinny być zaprojektowane tak, aby uniknąć nieszczelności przez dłuższy czas - sugestie przedstawiono w /2, 33/
- Należy starać się unikać samonośnych ścian bocznych pieca. Takie ściany mają tendencję do przeginięcia się w stronę kanału wypalania ze względu na ich różne temperatury w przekroju. Ważne jest precyzyjne zaprojektowanie pieca wyposażonego w ściany podtrzymujące strop /2/
- Specjalnie zaprojektowane stropy pieca zapobiegają nieszczelnościom ze względu na rozszerzanie cieplne i sprawiają, że chłodzenie stropu staje się zbędne /2/

2.4.2 Paliwa i technologia wypalania

- W głównej strefie wypalania zalecane jest utrzymywanie nadciśnienia 10-15 Pa /74/
- 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 /51/
- Używanie odnawialnych energii wyprodukowanych we własnych reaktorach na terenie cegielni, jak biogaz, może zaoszczędzić koszty i emisję CO₂ /11/, chociaż nie może pokryć całego zapotrzebowania energetycznego zakładu /47/
- Wprowadzanie nowych systemów sterowania palnikami i wielostrefowej kontroli procesu wypalania /33, 51, 34/
- Palniki impulsowe są bardziej wydajne niż tradycyjne /74/



- Palniki o wysokiej szybkości gazów grzewczych (powyżej 100m/s) są zalecane do ogrzewania stref wstępnych w piecu (do 700°C), gdyż w tych niskich temperaturach ma miejsce głównie ogrzewanie konwekcyjne. Przy użyciu takich nowoczesnych palników piece mogą być modernizowane pod kątem obniżenia zużycia energii /74/
- Techniki opisywane już dla procesów suszenia mają znaczenie również przy wypalaniu - należy umożliwić jak najlepsze przeniesienie ciepła z gorącego gazu na wypalane wyroby /33, 34/
- Powietrze do spalania powinno być podgrzane; przy wyższej temperaturze wypalania, wyższe podgrzewanie oszczędza energię. Podgrzewanie powinno odbywać się powietrzem wylotowym z pieca /40/
- W miarę możliwości należy wkładać do pieca gorące wyroby z suszarni, np. poprzez wykorzystanie jednakowych półek do suszenia i wypalania lub poprzez bezpośrednie ustawianie wyrobów do suszenia na wózkach do wypalania /1, 23/
- Stosowanym ostatnio przez niektórych producentów cegieł działaniem są powłoki emisyjne w pewnych częściach pieca mające na celu odbijanie ciepła do wymaganego obszaru, zmniejszające emisję ciepła na zewnątrz pieca. Teoretycznie może to prowadzić do ograniczenia kosztów gazu nawet o 10% /51/
- Zmniejszenie strat ciepła powietrza odpadowego poprzez wykorzystanie go do podgrzewania pieca na całej długości /33/
- Gorące gazy powinny przepływać przez otwory w cegłach aby zwiększyć powierzchnię kontaktu pomiędzy gazem a wyrobem. Ten rodzaj wypalania nazywamy wypalaniem z przepłukiwaniem (*perfusion firing*) /47/
- Odzyskiwanie ciepła z gazów odpadowych i gazów spalinowych po spalaniu /18, 47/



3. Wyroby klinkierowe

3.1. Surowce i masa ceramiczna

- Dodatki spiekania, jak popioły, odpady szklane, szklane i mineralne wełny lub nisko spiekane ility mogą pomóc w obniżeniu temperatury spiekania lub w produkcji (suszeniu i wypalaniu) lżejszych produktów o takich samych właściwościach mechanicznych /47, 29, 35,65/
- Formowanie wymaga plastyczności, szczególnie w przypadku współczesnych pustaków ceramicznych. Do otrzymania właściwej plastyczności wymagana jest odpowiednia ilość wody. Oszczędzanie wody przez użycie lepszych, łatwych do kształtowania iltów lub specjalnych dodatków jest sposobem na oszczędzanie energii suszenia /47, 48, 21, 37/
- Specjalne dodatki do osiągnięcia efektów powierzchniowych mogą spowodować, że cegły będą miały wygląd cegieł powlekanych. Oszczędza to większe ilości gazu w stosunku do wytwarzania wyrobów powlekanych tradycyjną metodą /21/

3.2. Formowanie

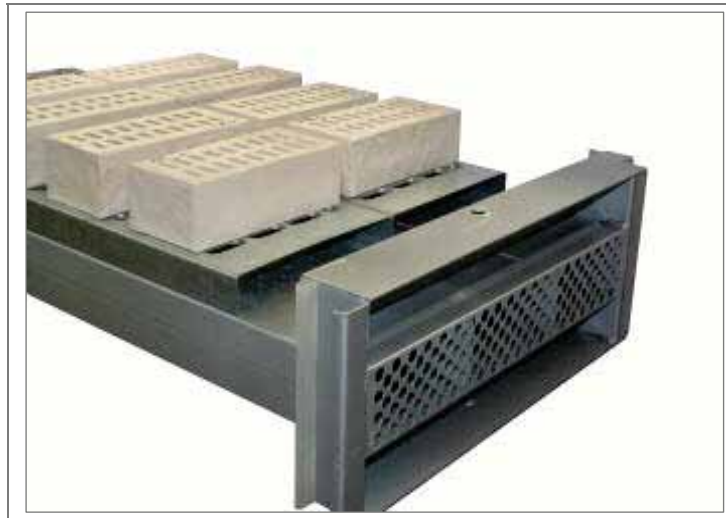
- Istnieje możliwość oszczędzania energii poprzez wytłaczanie sztywnej masy. Nie każda masa ceramiczna jest do tego odpowiednia; czasem zaoszczędzona energia suszenia jest pochłaniana w postaci energii elektrycznej zasilającej wytłaczarkę lub na obróbkę wykańczającą /48, 1/
- Należy starać się utrzymywać temperaturę formowania do momentu załadowania do suszarni /36, 5, 6, 26/
- Precyzyjny projekt może zaoszczędzić ciężar np. cegieł chodnikowych, poprzez zaoszczędzenie masy 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
- Suche lub półsuche formowanie pomaga zaoszczędzić energię suszenia, jednak zużywa się większej ilości energii do formowania i może wpłynąć na jakość produktu. Istnieje tutaj pewne optimum /21/



3.3. Suszenie

W przemyśle ceramicznym suszenie rozumiane jest jako parowanie lub ulatnianie się fizycznie związanej wody. Powszechnie wiadomo, że woda charakteryzuje się wysoką pojemnością cieplną (4,2 kJ/kg K) oraz bardzo wysokim ciepłem parowania (2500 kJ/kg). Te właściwości nieuchronnie prowadzą do wysokiego zużycia energii w procesie suszenia. Jedynym celem może być dążenie do zbliżenia się jak dalece to możliwe, do teoretycznego zużycia energii. Rysunek 1 pokazuje, że w chwili obecnej w przemyśle ceramicznym do 50% całkowitej energii cieplnej jest zużywana w procesie suszenia /49/. W Wielkiej Brytanii, pomimo wielu sztywno wyłaczanych mas ceramicznych, w dalszym ciągu do suszenia zużywa się około 30% energii /9/.

- Popularnym sposobem na zmniejszenie poziomu energii suszenia w starszych zakładach jest sprzężanie suszarni z piecami /7/
- Obecnie, sprzężanie suszarni z piecami jest stosowane w wielu zakładach, jednak ważne jest także dostosowanie do tego organizacji produkcji poprzez precyzyjne planowanie przerw weekendowych formowania i suszenia /43/
- Innym sposobem polepszenia efektywności jest kontrolowanie systemu wentylacja/palnik oraz parametrów atmosfery suszenia /6/
- Użycie niewielkich ilości powietrza o wysokiej temperaturze zmniejsza poziom strat powietrza wylotowego /36, 45, 49/
- Powietrze suszące powinno przepływać przez przekrój poprzeczny pustaków ceramicznych, jeżeli jest to możliwe /47/
- Rysunek 2 pokazuje, iż najniższe koszty energii (cieplnej i elektrycznej) zostaną osiągnięte przy optymalnej energii cieplnej i właściwym ruchu powietrza suszącego
- Odpowiedni system ustawczy do wypalania wyrobów oraz gęstość ustawki umożliwi łatwy dostęp powietrza suszenia do większości powierzchni /5/
- Zastosowanie nowoczesnych systemów podstawek, takich jak pokazane na rysunku 5, mogą prowadzić do obniżenia zużycia energii /49/
- Krótszy czas suszenia, powoduje oszczędność energii /5, 6, 41, 44/
- Należy unikać dodawania wilgoci do osiągnięcia niezbędnej wilgotności suszenia - w takim przypadku należy zwiększyć gęstość ustawki /9/
- Zmiana kierunku przepływu powietrza może polepszyć jednorodność oraz obniżyć czas suszenia. Zmiana systemu przepływów wewnątrz suszarni może skrócić czas suszenia, jak również poprawić uzysk /9/.



Rys. 5. MobilSystem firmy Rotho – podstawka kanałowa dla cegieł klinkierowych /49/

- Dobrym sposobem na optymalizację suszenia jest użycie programu do symulacji procesu suszenia i przekazywanie bieżących danych kontrolnych do specjalistycznych firm /36/.
- W przypadku łączonego systemu suszarni i pieca, dostawa energii przez piec określa jaki poziom energii dostarcza się do suszarni; w przeciwnym wypadku, nieefektywne zużycie energii w suszarni spowoduje nadmierne zużycie energii wypalania /36, 42/.
- System łączący gorące powietrze z pieca z suszarką powinien być dobrze izolowany /47/
- Większość współczesnych urządzeń oraz technologii suszenia pozwala na zaoszczędzenie do 90% czasu w porównaniu z konwencjonalnym suszeniem /49/.
- Alternatywny system suszenia przy pomocy pary wodnej, nazywany systemem „bez powietrza” (*airless system*), umożliwia obniżenie czasu suszenia nawet do 80% /63/
- Dostępny jest również nowy system palników podczerwieni, który może być zasilany wieloma różnymi gazami. System taki jest łatwy do kontroli i bardzo efektywny energetycznie. Może ponadto być zastosowany do istniejących szaf suszarniczych /64/



3.4. Wypalanie

Zużycie energii potrzebnej do spiekania wyrobów ceramicznych zależy od wymaganej temperatury wypalania. Temperatura jest ustalana na podstawie składu masy ceramicznej, procesów formowania materiału i zamierzonych właściwości. Rysunek 3 pokazuje wykładniczy wzrost zapotrzebowania na energię wraz z temperaturą.

Rysunek 4 pokazuje bilans energetyczny pieca tunelowego do wypalania cegieł. Największe wartości strat powodują różne strumienie powietrza wylotowego, które są częściowo wykorzystywane w procesach suszenia.

3.4.1. Konstrukcja pieca i wózków

Istnieją ogólne dwie drogi strat energii zależne od konstrukcji pieca i wózków:

1. Nieszczelności izolacji pieca

"Jednakże, jedną z najlepszych możliwości na oszczędzanie energii jest wciąż eliminowanie nieszczelności" Don Denison, Denison Inc. /21/

2. Masa materiałów piecowych i wózków suszarniczych, które muszą być ogrzane

- Obrzeża obręczy kół wózków piecowych powinny z zasady znajdować się na zewnątrz /2/
- Podłogi wózków piecowych powinny być wykonane z lekkich materiałów izolacyjnych o wysokiej jakości, zawierających minimalną ilość ciężkiego szamotu. Zaleca się, aby warstwy od dołu do podłogi były wykonane z odpowiednich do temperatury pracy materiałów, co obniży naprężenia cieplne podłogi /2, 3, 20/
- Schemat do obliczania optymalnej grubości podłogi wózka można znaleźć w artykule /2/
- Uszczelnienia piaskowe powinny być zaprojektowane tak, aby uniknąć nieszczelności przez dłuższy czas - sugestie przedstawiono w /2, 33/
- Należy starać się unikać samonośnych ścian bocznych pieca. Takie ściany mają tendencję do przeginalania się w stronę kanału wypalania ze względu na ich różne temperatury w przekroju. Ważne jest precyzyjne zaprojektowanie pieca wyposażonego w ściany podtrzymujące strop /2/
- Specjalnie zaprojektowane stropy pieca zapobiegają nieszczelnościom ze względu na rozszerzanie cieplne i sprawiają, że chłodzenie stropu staje się zbędne /2/

3.4.2. Paliwa i technologia wypalania

- W głównej strefie wypalania zalecane jest utrzymywanie nadciśnienia 10-15 Pa /74/



- Zwiększenie wydajności energii przez zrezygnowanie ze stałego paliwa, jak węgiel, na rzecz LPG lub oleju napędowego jest znane, jednak dla niektórych cegielni to wciąż możliwość zaoszczędzenia dużej ilości energii /51/
- Używanie odnawialnych energii wyprodukowanych we własnych reaktorach na terenie cegielni, jak biogaz, może zaoszczędzić koszty i emisję CO₂ /11/, chociaż nie może pokryć całego zapotrzebowania energetycznego zakładu /47/
- Wprowadzanie nowych systemów sterowania palnikami i wielostrefowej kontroli procesu wypalania /33, 51, 34/
- Palniki impulsowe są bardziej wydajne niż tradycyjne /74/
- Palniki o wysokiej szybkości gazów grzewczych (powyżej 100m/s) są zalecane do ogrzewania stref wstępnych w piecu (do 700°C), gdyż w tych niskich temperaturach ma miejsce głównie ogrzewanie konwekcyjne. Przy użyciu takich nowoczesnych palników piece mogą być modernizowane pod kątem obniżenia zużycia energii /74/
- Techniki opisywane już dla procesów suszenia mają znaczenie również przy wypalaniu - należy umożliwić jak najlepsze przeniesienie ciepła z gorącego gazu na wypalane wyroby /33, 34/
- Powietrze do spalania powinno być podgrzane; przy wyższej temperaturze wypalania, wyższe podgrzewanie oszczędza energię. Podgrzewanie powinno odbywać się poprzez powietrze wylotowe z pieca /40/
- W miarę możliwości należy wkładać do pieca gorące wyroby z suszarni, np. poprzez wykorzystanie jednakowych palet do suszenia i wypalania lub poprzez bezpośrednie ustawianie wyrobów do suszenia na wózkach piecowych (do wypalania) /1, 23/
- Stosowanym ostatnio przez niektórych producentów cegieł działaniem są powłoki emisyjne w pewnych częściach pieca mające na celu odbijanie ciepła do wymaganego obszaru, zmniejszające emisję ciepła na zewnątrz pieca. Teoretycznie może to prowadzić do ograniczenia kosztów gazu nawet o 10% /51/
- Zmniejszenie strat ciepła powietrza odpadowego poprzez wykorzystanie go do podgrzewania pieca na całej długości /33/
- Jeżeli jest możliwe wypalanie umożliwiający poprzeczny przepływ powietrza przez wyrób to oszczędza ono energię
- W jednym piecu tunelowym powinno się wypalać jeden rodzaj wyrobu. Praca takiego pieca powinna być zoptymalizowana dla danego wyrobu (przy wypalaniu różnych produktów w jednym piecu niemożliwa jest pełna optymalizacja jego pracy). Należy pomyśleć o małych



piecach okresowych do wypalania wyrobów specjalnych, o współpracy z innymi zakładami lub o zmniejszeniu asortymentu wyrobów /9/

- Odzyskiwanie ciepła z gazów odpadowych i gazów spalinowych po spalaniu /18,47/
- Gorące gazy powinny przepływać przez otwory w ceglach aby zwiększyć powierzchnie kontaktu pomiędzy gazem a wyrobem. Ten rodzaj wypalania nazywamy wypalaniem z przepłukiwaniem (*perfusion firing*) /47/



4. Dachówki i płytki rozdzielne

4.1. Surowce i masa ceramiczna

- Dodatki spiekania, jak popioły, odpady szklane, szklane i mineralne wełny lub nisko spiekane ility mogą pomóc w obniżeniu temperatury spiekania lub w produkcji (suszeniu i wypalaniu) lżejszych produktów o takich samych właściwościach mechanicznych /47, 29, 35, 65/
- Formowanie wymaga plastyczności. Do otrzymania właściwej plastyczności wymagana jest odpowiednia ilość wody. Oszczędzanie wody przez użycie lepszych, łatwych do kształtowania iltów lub specjalnych dodatków jest sposobem na oszczędzanie energii suszenia /47, 48, 21, 37/

4.2. Formowanie

- Istnieje możliwość oszczędzania energii poprzez tłoczenie sztywnej masy. Nie każda masa ceramiczna jest do tego odpowiednia; czasem zaoszczędzona energia suszenia jest pochłaniana w wylączarce w postaci energii elektrycznej i ścierania /48, 1/.
- Należy starać się utrzymywać temperaturę formowania do momentu załadowania do suszarni /36, 5, 6, 1/
- Przemysłane zaprojektowanie dachówek może zaoszczędzić ich ciężar co pozwala na zaoszczędzenie energii podczas suszenia lub wypalania
- Suche lub półsuche formowanie pomaga zaoszczędzić energię suszenia, jednak zużywa się więcej energii do formowania, co może wpłynąć na jakość produktu. Istnieje tutaj pewne optimum /21/

4.3. Suszenie

W przemyśle ceramicznym suszenie rozumiane jest jako parowanie lub ulatnianie się fizycznie związanej wody. Powszechnie wiadomo, że woda charakteryzuje się wysoką pojemnością cieplną (4,2 kJ/kg K) oraz bardzo wysokim ciepłem parowania (2500 kJ/kg). Te właściwości nieuchronnie prowadzą do wysokiego zużycia energii w procesie suszenia. Jedynym celem może być dążenie do zbliżenia się jak dalece to możliwe, do teoretycznego zużycia energii. Rysunek 1 pokazuje, że w chwili obecnej w przemyśle ceramicznym do 50% całkowitej energii cieplnej jest zużywane w procesie suszenia /49/. W Wielkiej Brytanii, pomimo wielu sztywno wylączanych mas ceramicznych, w dalszym ciągu do suszenia zużywa się 30% energii /9/.



- Popularnym sposobem na zmniejszenie poziomu energii suszenia w starszych zakładach jest sprzęganie suszarni z piecami /7/
- Obecnie, sprzęganie suszarni z piecami jest stosowane w wielu zakładach, jednak ważne jest także dostosowanie do tego organizacji produkcji poprzez precyzyjne planowanie przerw weekendowych formowania i suszenia /43/
- Innym sposobem polepszenia efektywności jest kontrolowanie systemu wentylacja/palnik oraz parametrów atmosfery suszenia /6/
- Użycie niewielkich ilości powietrza o wysokiej temperaturze zmniejsza poziom strat powietrza wylotowego /36, 45, 49/
- Przepływ piętzący (Rys. 8) powietrza suszenia jest bardziej efektywny, niż przepływ warstwowy; możliwa jest modernizacja współczesnych suszarek /4/
- Rysunek 2 pokazuje, iż najniższe koszty energii (cieplnej i elektrycznej) zostaną osiągnięte przy optymalnej energii cieplnej i właściwym ruchu powietrza suszącego
- Odpowiedni system ustawczy do wypalania wyrobów ceramicznych oraz gęstość ustawki umożliwi łatwy dostęp powietrza suszenia do większości powierzchni /5/
- Zastosowanie nowoczesnych systemów podstawek, takich jak pokazane na rysunkach 6 i 7, mogą prowadzić do obniżenia zużycia energii /49/
- Krótszy czas suszenia, powoduje oszczędzanie energii /5, 6, 41, 44/
- Należy unikać dodawania wilgoci do osiągnięcia niezbędnej wilgotności - w takim przypadku należy zwiększyć gęstość ustawki /9/
- Zmiana kierunku przepływu powietrza może polepszyć jednorodność oraz obniżyć czas suszenia. Zmiana systemu przepływów wewnątrz suszarni może skrócić czas suszenia, jak również poprawić uzysk /9/
- Dobrym sposobem na optymalizację suszenia jest użycie programu do symulacji procesu suszenia i przekazywanie bieżących danych kontrolnych do specjalistycznych firm /36/
- W przypadku łączonego systemu suszarni i pieca, dostawa energii przez piec określa jaki poziom energii dostarcza się do suszarni; w przeciwnym wypadku, nieefektywne zużycie energii w suszarni spowoduje nadmierne zużycie energii wypalania /36, 42/
- System łączący gorące powietrze z pieca z suszarką powinien być dobrze izolowany /47/
- Większość współczesnych urządzeń oraz technologii suszenia pozwala na zaoszczędzenie do 70% czasu w porównaniu z konwencjonalnym suszeniem /49/
- Alternatywny system suszenia przy pomocy pary wodnej, nazywany systemem „bez powietrza” (*airless drying*), umożliwia obniżenie czasu suszenia nawet do 80% /63/



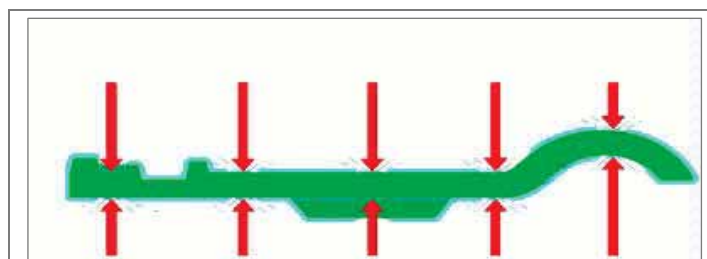
- Dostępny jest również nowy system palników podczerwieni, który może być zasilany wieloma różnymi gazami. System taki jest łatwy do kontroli i bardzo efektywny energetycznie. Może ponadto być zastosowany do istniejących szaf suszarniczych /64/



Rys. 6. MobilSystem firmy Rotho – podstawka kanałowa do dachówek /49/



Rys. 7. MobilSystem firmy Rotho - system podstawek kanałowych dla dachówek /49/



Rys. 8. Przepływ powietrza jako optymalny sposób suszenia dachówek



4.4. Wypalanie

Zużycie energii potrzebnej do spiekania wyrobów ceramicznych zależy od wymaganej temperatury wypalania. Temperatura jest uwarunkowana składem masy ceramicznej, procesem formowania materiału i zamierzonymi właściwościami. Rysunek 3 pokazuje wykładniczy wzrost zapotrzebowania na energię wraz z temperaturą.

Rysunek 4 pokazuje bilans energetyczny pieca tunelowego do wypalania cegieł. Straty takie mogą być zbliżone przy wypalaniu dachówek. W związku z wyższą temperaturą wypalania i ilością podstawek do wypalania jednostkowe zużycie energii (JZE) dla dachówek jest średnio 2,5 razy wyższe niż dla cegieł /47/.

4.4.1. Konstrukcja pieca i wózków

Istnieją ogólne dwie drogi strat energii zależne od konstrukcji pieca i wózków:

1. Nieszczelności izolacji pieca

"Jednakże, jedną z najlepszych możliwości na oszczędzanie energii jest wciąż eliminowanie nieszczelności" Don Denison, Denison Inc. /21/

2. Masa materiałów piecowych i wózków suszarniczych, które muszą być ogrzane

- Obrzeża obręczy kół wózków piecowych powinny z zasady znajdować się na zewnątrz /2/
- Podłogi wózków piecowych powinny być wykonane z lekkich materiałów izolacyjnych o wysokiej jakości, zawierających minimalną ilość ciężkiego szamotu. Zaleca się, aby warstwy od dołu do podłogi były wykonane z odpowiednich do temperatury pracy materiałów, co obniży naprężenia cieplne podłogi /2, 3, 20/
- Schemat do obliczania optymalnej grubości podłogi wózków można znaleźć w artykule /2/
- Uszczelnienia piaskowe powinny być zaprojektowane tak, aby uniknąć nieszczelności przez dłuższy czas - sugestie przedstawiono w /2, 33/
- Należy starać się unikać samonośnych ścian bocznych pieca. Takie ściany mają tendencję do przeginięcia się w stronę kanału wypalania ze względu na ich różne temperatury w przekroju. Ważne jest precyzyjne zaprojektowanie pieca wyposażonego w ściany podtrzymujące strop /2/
- Specjalnie zaprojektowane stropy pieca zapobiegają nieszczelnościom ze względu na rozszerzanie cieplne i sprawiają, że chłodzenie stropu staje się zbędne /2/.
- W artykule /14/ opisany jest piec rolkowy przeznaczony specjalnie do dachówek, wyposażony w ultra-lekkie podstawki, z obniżonym do 120 min. czasem wypalania i bardzo niską wartością JZE.



4.4.2. Paliwo i technologia wypalania

- W głównej strefie wypalania zalecane jest utrzymywanie nadciśnienia 10-15 Pa /74/
- Używanie odnawialnych energii wyprodukowanych we własnych reaktorach na terenie cegielni, jak biogaz, może zaoszczędzić koszty i emisję CO₂ /11/, chociaż nie może pokryć całego zapotrzebowania energetycznego zakładu /47/
- Wprowadzanie nowych systemów sterowania palnikami i wielostrefowej kontroli procesu wypalania /33, 51, 34/
- Palniki impulsowe są bardziej wydajne niż tradycyjne /74/
- Palniki o wysokiej szybkości gazów grzewczych (powyżej 100m/s) są zalecane do ogrzewania stref wstępnych w piecu (do 700°C), gdyż w tych niskich temperaturach ma miejsce głównie ogrzewanie konwekcyjne. Przy użyciu takich nowoczesnych palników piece mogą być modernizowane pod kątem obniżenia zużycia energii /74/
- Techniki opisywane już dla procesów suszenia mają znaczenie również przy wypalaniu
- Należy umożliwić jak najlepsze przeniesienie ciepła z gorącego gazu na wypalane wyroby /33, 34/
- Powietrze do spalania powinno być podgrzane; przy wyższej temperaturze wypalania, wyższe podgrzewanie oszczędza energię. Podgrzewanie powinno odbywać się poprzez powietrze wylotowe pieca /40/.
- Stosowanym ostatnio przez niektórych producentów dachówek działaniem są powłoki emisyjne w pewnych częściach pieca mające na celu odbijanie ciepła do wymaganego obszaru, zmniejszające emisję ciepła na zewnątrz pieca. Teoretycznie może to prowadzić do ograniczenia kosztów gazu nawet o 10% /51/.
- W jednym piecu tunelowy powinno się wypalać jeden rodzaj wyrobu. Praca takiego pieca powinna być zoptymalizowana na dany wyrób (przy wypalaniu różnych produktów w jednym piecu niemożliwa jest pełna optymalizacja jego pracy). Należy pomyśleć o małych piecach wahadłowych do wypalania specjalnych wyrobów, o współpracy z innymi zakładami lub o zmniejszeniu asortymentu wyrobów /9/
- Odzyskiwanie ciepła z gazów odpadowych i gazów spalinowych po spalaniu /18, 47/
- Gorące gazy powinny przepływać przez przestrzenie w dachówkach aby zwiększyć powierzchnię kontaktu pomiędzy gazem a wyrobem. Ten rodzaj wypalania nazywamy wypalaniem z przepłukiwaniem (*perfusion firing*) /47/



- Zmniejszenie strat ciepła powietrza odpadowego poprzez wykorzystanie go do podgrzewania pieca na całej długości /33/
- Jeżeli jest możliwe wypalanie umożliwiające poprzeczny przepływ powietrza przez wyrób to oszczędza ono energię
- System ustawczy do wypalania pieca pochłania jedną z największych ilości energii podczas wypalania dachówek. Większość współczesnych typów podstawek typu H posiada średnią gęstość około $1,6 \text{ g/cm}^3$ i jest zaprojektowana oszczędnie pod względem masy /15, 24/
- Najlepiej nie używać podstawek do dachówek /np. 22, 39/
- Piece okresowe np. do akcesoriów mogą być obsługiwane o wiele oszczędniej energetycznie jeśli używane są systemy odzyskiwania ciepła razem z podgrzewaniem powietrza spalania lub gdy są połączone z suszarkami.

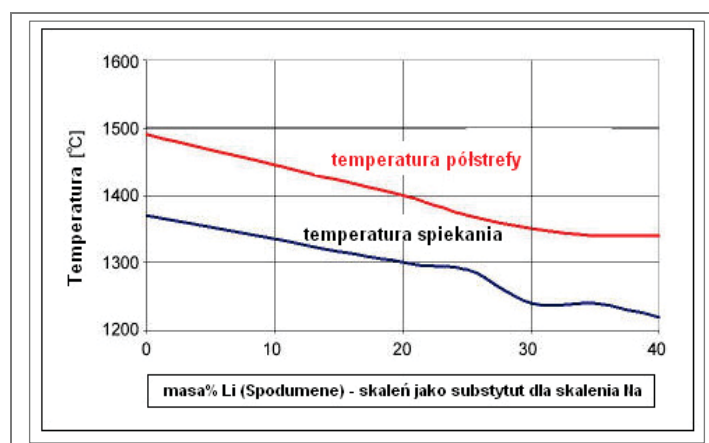


5. Ceramiczne wyroby stołowe

5.1. Surowce i masa ceramiczna

Rodzaj wyrobów stołowych ma istotny wpływ na wartość zużycia energii. Istnieje szeroki zakres od wyrobów kamionkowych do twardej porcelany, charakteryzujący się podobnym zużyciem eksploatacyjnym (największa różnica: odporność na zmywanie w zmywarkach ma znaczenie w zastosowaniach hotelowych) /32/. Twarda porcelana cechuje się najwyższym jednostkowym zużyciem energii JZE (Rys. 3). Zastąpienie twardej porcelany miękką lub kamionką stwarza możliwość oszczędności energii

- Nowe surowce, takie jak skalenie litowe (Rys. 9) /53/ lub kolemanit /28/, mieszanki skaleni sodowych i potasowych, a także tworzywa niskowypalające się (miękka porcelana) mogą pomóc w obniżeniu temperatury spiekania o ok. 200 °C i w zaoszczędzeniu dużej ilości energii /48/



Rys. 9. Efekt dodatku skalenia litowego (spodumenu) jako topnika.

[Thierry SiliCer 2003]

- Wypalanie jednokrotne (bez biskwitowania) oszczędza energię, lecz wymaga specjalnych mas ceramicznych i szkliv
- Formowanie wymaga plastyczności. Do otrzymania właściwej plastyczności wymagana jest odpowiednia ilość wody. Oszczędzanie wody przez użycie lepszych, łatwych do kształtowania ilów lub specjalnych dodatków jest sposobem na zaoszczędzenie energii suszenia /37/



5.2. Formowanie / Dekorowanie

- Im mniej wody potrzeba do formowania, tym mniej należy jej wyparować podczas suszenia
 - Należy stosować prasowanie izostatyczne do jak największej ilości wyrobów; obecnie można przy użyciu tej oszczędnej w wodę metody, formować również misy
 - Najnowsze metody prasowania izostatycznego wymagają nie więcej jak 2% wag. wilgotności
 - Przy tej metodzie formowania nie ma potrzeby suszenia form gipsowych
 - Do izostatycznego prasowania stosuje się granulaty rozpyłowy. Im mniej wody stosuje się do przygotowania mas lejnych, tym mniej energii zużywa się do suszenia rozpyłowego granulatu (patrz również paragraf dot. suszenia rozpyłowego w rozdziale 7 „Płytki ceramiczne”)
 - Należy dążyć do stosowania mas lejnych zawierających dużo fazy stałej. W takim przypadku formy gipsowe będą suszone z wykorzystaniem mniejszej ilości energii.
- Precyzyjne zaprojektowanie wyrobów stołowych pozwala uniknąć fragmentów wyrobów, które wymagają dłuższego czasu suszenia i wypalania
- Im więcej kolorów w dekoracji można zastosować do jednego wypalania, tym mniej energii potrzeba do całkowitego wypalania dekoracji
- Należy stworzyć przemyślany sposób ustawiania produktów i dekoracji pozwalający na suszenie i wypalanie większych partii produktu; pozwala to zaoszczędzić energię.
- Niewielka ilość asortymentów wyrobów pozwala na optymalizację zużycia energii w procesie produkcji
- Właściwy sposób kontroli pozwala na optymalizację procesu produkcji, co prowadzi do obniżenia zużycia energii
- Zastosowanie nowatorskich, nowoczesnych technik formowania (np. *flexi flat*), które wykorzystują mniejszą ilość form i nie wymagają ich suszenia – oszczędza energię /66/
- Zaleca się używanie do linii szkliwienia bardziej efektywnych energetycznie palników, które mogą być wyłączane gdy nie są potrzebne /64/

5.3. Suszenie

W przemyśle ceramicznym suszenie rozumiane jest jako parowanie lub ulatnianie się fizycznie związanej wody. Powszechnie wiadomo, że woda charakteryzuje się wysoką pojemnością cieplną (4,2 kJ/kg K) oraz bardzo wysokim ciepłem parowania (2500 kJ/kg). Te właściwości nieuchronnie prowadzą do wysokiego stopnia zużycia energii do procesu suszenia.



- W wielu halach produkcyjnych zakładów europejskich dostępna jest wystarczająca ilość miejsca i odpowiednie warunki klimatyczne do suszenia w otaczającym powietrzu. Jest to najbardziej energooszczędny proces suszenia.
- Do suszenia wyrobów odlewanych, stosowane są w coraz większym stopniu suszarki mikrofalowe, co prowadzi do oszczędności energii.
- Złe warunki suszenia są często widoczne dopiero po wypaleniu wyrobów, co powoduje wzrost braków i JZE; właściwe metody kontroli produkcji i wyrobów na etapie suszenia mogą obniżyć całkowitą ilość braków /58/
- Zastosowanie systemu suszenia przy pomocy pary wodnej, nazywanego systemem „bez powietrza” (*airless drying*), umożliwia obniżenie czasu suszenia nawet do 80%, a także polepszenie jakości wyrobów /68/

5.4. Wypalanie

Zużycie energii potrzebnej do spiekania wyrobów ceramicznych zależy od wymaganej temperatury wypalania. Temperatura jest uwarunkowana składem masy ceramicznej, procesem formowania materiału i zamierzonymi właściwościami. Rysunek 3 pokazuje wykładniczy wzrost zapotrzebowania na energię wraz z temperaturą.

5.4.1. Konstrukcja pieca i wózków

Rysunek 10 pokazuje jednostkowe zużycie energii JZE (SEC) dla trzech różnych rodzajów pieców używanych do wypalania wyrobów stołowych. Oczywistym jest, że piec rolkowy z małą ilością podstawek do wypalania i szybkim procesem wypalania zużywa najmniejsze ilości energii, a mianowicie około połowy energii zużywanej przez typowy piec tunelowy.

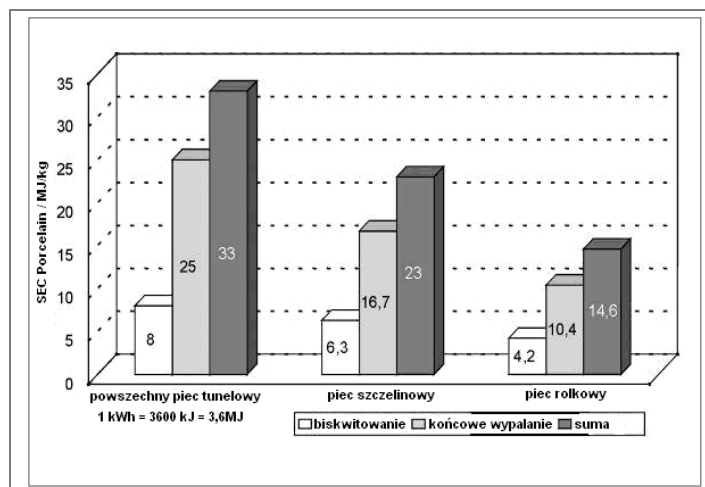
Istnieją ogólne dwie drogi strat energii zależne od konstrukcji pieca i wózków:

1. Nieszczelności izolacji pieca

"Jednakże, jedną z najlepszych możliwości na oszczędzanie energii jest wciąż eliminowanie nieszczelności" Don Denison, Denison Inc. /21/

2. Masa materiałów piecowych i wózków suszarniczych, które muszą być ogrzane

- Obrzeża obręczy kół wózków piecowych powinny z zasady znajdować się na zewnątrz /2/
- 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 /2, 20/



Rys. 10. Porównanie zużycia energii różnych pieców dla różnych etapów wypalania w produkcji wyrobów stołowych

- Uszczelnienia piaskowe powinny być zaprojektowane tak, aby uniknąć nieszczelności przez dłuższy czas - sugestie przedstawiono w /2, 33/
- Należy starać się unikać samonośnych ścian bocznych pieca. Takie ściany mają tendencję do przeginięcia się w stronę kanału wypalania ze względu na ich różne temperatury w przekroju. Ważne jest precyzyjne zaprojektowanie pieca wyposażonego w ściany podtrzymujące strop /2/
- Specjalnie zaprojektowane stropy pieca zapobiegają nieszczelnościom ze względu na rozszerzanie cieplne i sprawiają, że chłodzenie stropu staje się zbędne /2/

5.4.2. Paliwa i technologia wypalania

- W doniesieniu /50/ przytoczony został przykład zamiany tradycyjnego pieca tunelowego na piec szybkiego wypalania, co spowodowało obniżenie zużycia gazu o ok. 50%
- W głównej strefie wypalania zalecane jest utrzymywanie nadciśnienia 10-15 Pa /74/
- Przy wypalanie jednokrotnym, w którym niezbędne jest stosowanie specjalnych mas ceramicznych i szkliv, zrezygnowano z wypalania biskwitowego. Rysunek 10 pokazuje ilość możliwej do zaoszczędzenia energii
- Wprowadzanie nowych systemów sterowania palnikami i wielostrefowej kontroli procesu wypalania /33, 51, 34/
- Palniki impulsowe są bardziej wydajne niż tradycyjne /74/
- 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



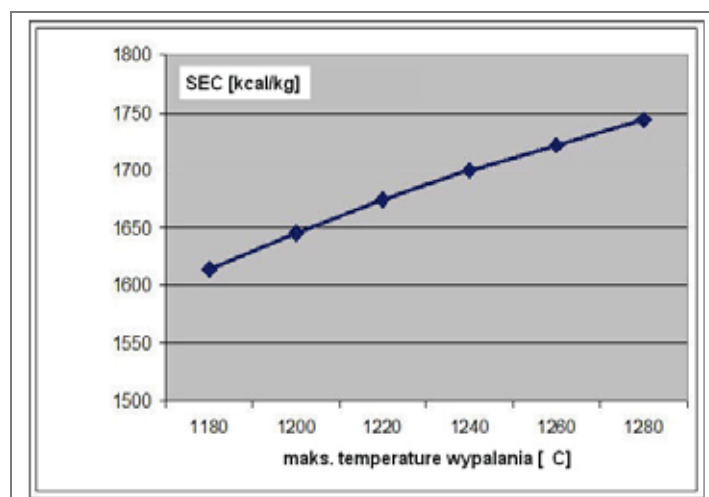
ogrzewanie konwekcyjne. Przy użyciu tych nowoczesnych palników piece mogą być modernizowane pod kątem obniżenia zużycia energii /74/

- Należy umożliwić jak najlepsze przeniesienie ciepła z gorącego gazu na wypalane wyroby /33, 34/
- Powietrze do spalania powinno być podgrzane; przy wyższej temperaturze wypalania, wyższe podgrzewanie oszczędza energię. Podgrzewanie powinno odbywać się powietrzem wylotowym pieca /40/
- Zmniejszenie strat ciepła powietrza odpadowego poprzez wykorzystanie go do podgrzewania pieca na całej długości /33/
- Zasady opisane dla procesu suszenia dotyczą także procesów wypalania
- Należy spróbować wypalać jeden produkt przez dłuższy okres czasu. Należy zoptymalizować krzywą temperatury dla tego produktu. Przy różnych produktach w piecu nie możliwa jest żadna optymalizacja. Należy pomyśleć o małych piecach okresowych. Dla małych partii, należy pomyśleć o współpracy z różnymi fabrykami lub o zmniejszeniu ilości asortymentu wyrobów /9/.
- Odzyskiwanie ciepła z gazów odpadowych i gazów spalinowych po spalaniu /18, 47/
- System ustawczy do wypalania pochłania jedną z największych ilości energii podczas wypalania. Większość współczesnych typów podstawek jest wykonana z SiC i zaprojektowana oszczędnie pod względem masy /48/
- Najlepiej nie używać podstawek do wypalania poprzez np. użycie pieców rolkowych
- Piece okresowe np. do wypalania akcesoriów mogą być obsługiwane o wiele oszczędniej energetycznie jeśli używane są systemy odzyskiwania ciepła razem z podgrzewaniem powietrza spalania lub gdy są połączone z suszarkami
- obniżenie ilości odpadów obniża jednostkowe zużycie energii
- Piece okresowe np. do akcesoriów mogą być obsługiwane o wiele oszczędniej energetycznie jeśli używane są systemy odzyskiwania ciepła razem z podgrzewaniem powietrza spalania lub gdy są połączone z suszarkami.

6. Wyroby sanitarne

6.1. Surowce i masa ceramiczna

- Nowe surowce, jak skalenie litowe (Rys. 9) /53/ lub kolemanit /28/, mieszanki skaleni sodowych i potasowych, szkła odpadowe /60, 69/ mogą pomóc w obniżeniu temperatury spiekania nawet o ok. 200 °C i tym samym zaoszczędzić dużą ilość energii (Rys. 11) /48/
- Opracowanie odpowiednich składów mas opartych na glinach i kaolinach może obniżyć temperatury wypalania o ok. 50 °C /55/
- Dobranie odpowiedniego uziarnienia szczególnie skaleni i innych aktywatorów spiekania obniża temperaturę spiekania poprzez wzrost reaktywności proszków /62/. W tym przypadku należy zbilansować oszczędność energii spiekania i zużytej energii mielenia
- Przygotowanie odpowiednich tworzyw do spiekania w piecach szybkiego wypału np. poprzez kalcynowanie surowców
- Formowanie wymaga plastyczności. Do otrzymania właściwej plastyczności wymagana jest odpowiednia ilość wody. Oszczędzanie wody przez użycie lepszych, łatwych do kształtowania ilów lub specjalnych dodatków jest sposobem na zaoszczędzenie energii suszenia /37/



Rys. 11: Jednostkowe zużycie energii JZE (SEC) w funkcji temperatury wypalania wyrobów sanitarnych [Friedherz Becker, Riedhammer GmbH 2007]

6.2. Formowanie / Dekorowanie

- Im mniej wody potrzeba do formowania, tym mniej należy jej wyparować podczas suszenia
- Metody odlewania ciśnieniowego pozwalają na uniknięcie suszenia form gipsowych



oraz zmniejszając 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 mniej energii jest potrzebne do suszenia form gipsowych
- Precyzyjne zaprojektowanie wyrobów umożliwi obniżenie czasu ich suszenia i wypalania
- Należy dbać o przemyślany plan produkcji, gdyż pozwala on na suszenie i wypalanie większych partii produktów, co powoduje oszczędność energii
- Niewielka ilość asortymentów pozwala na optymalizację zużycia energii w procesie produkcji
- Znaki i symbole 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 pęłaniem dekoracji po drugim wypalaniu

6.3. Suszenie

W przemyśle ceramicznym suszenie rozumiane jest jako parowanie lub ulatnianie się fizycznie związanej wody. Powszechnie wiadomo, że woda charakteryzuje się wysoką pojemnością cieplną (4,2 kJ/kg K) oraz bardzo wysokim ciepłem parowania (2500 kJ/kg). Te właściwości nieuchronnie prowadzą do wysokiego stopnia zużycia energii do procesu suszenia.

- Popularnym sposobem na zmniejszenie poziomu energii suszenia w starszych zakładach jest sprzęganie suszarni z piecami /7/
- Obecnie, sprzęganie suszarni z piecami jest stosowane w wielu zakładach, jednak ważne jest także dostosowanie do tego organizacji produkcji poprzez precyzyjne planowanie przerw weekendowych formowania i suszenia /43/
- Innym sposobem polepszenia efektywności jest kontrolowanie systemu wentylacja/palnik oraz parametrów atmosfery suszenia /6/
- Użycie niewielkich ilości powietrza o wysokiej temperaturze zmniejsza poziom strat powietrza wylotowego /36, 45, 49/
- Najniższe koszty energii (cieplnej i elektrycznej) zostaną osiągnięte przy optymalnej energii cieplnej i właściwym ruchu powietrza suszącego (rys. 2)
- Do suszenia wyrobów odlewanych, stosowane są w coraz większym stopniu suszarnie mikrofalowe w połączeniu z tradycyjnym suszeniem, co prowadzi do oszczędności energii /57, 61/



- Zastosowanie systemu suszenia przy pomocy pary wodnej, nazywanego systemem „bez powietrza” (*airless system*), umożliwia obniżenie czasu suszenia nawet do 80%, a także polepszenie jakości wyrobów /68/
- Krótszy czas suszenia, powoduje oszczędzanie energii /5, 6, 41, 44/.
- Należy unikać dodawania wilgoci do osiągnięcia niezbędnej wilgotności suszenia - w takim przypadku należy zwiększyć gęstość ustawki /9/
- Zmiana kierunku przepływu powietrza może polepszyć jednorodność oraz obniżyć czas suszenia. Zmiana systemu przepływów wewnątrz suszarni może skrócić czas suszenia, jak również poprawić uzysk
- Dobrym sposobem na optymalizację suszenia jest użycie programu do symulacji procesu suszenia i przekazywanie bieżących danych kontrolnych do specjalistycznych firm /3/
- W przypadku łączonego systemu suszarni i pieca, dostawa energii przez piec określa jaki poziom energii dostarcza się do suszarni; w przeciwnym wypadku, nieefektywne zużycie energii w suszarni spowoduje nadmierne zużycie energii wypalania /36, 42/
- System łączący gorące powietrze z pieca z suszarką powinien być dobrze izolowany /47/
- Złe warunki suszenia są często widoczne dopiero po wypaleniu wyrobów, co powoduje wzrost braków i JZE; właściwe metody kontroli produkcji i wyrobów na etapie suszenia mogą obniżyć całkowitą ilość braków /58/

6.4. Wypalanie

Zużycie energii potrzebnej do spiekania wyrobów ceramicznych zależy od wymaganej temperatury wypalania. Temperatura jest uwarunkowana składem masy ceramicznej, procesem formowania materiału i zamierzonymi właściwościami. Rysunek 3 pokazuje wykładniczy wzrost zapotrzebowania na energię wraz z temperaturą.

6.4.1. Konstrukcja pieca i wózków

W Tabeli 3 pokazano jednostkowe zużycie energii (JZE) dla trzech różnych rodzajów pieców używanych do wypalania wyrobów sanitarnych. Oczywistym jest, że piec rolkowy z małą ilością podstawek do wypalania i szybkim procesem wypalania zużywa najmniej energii, nawet o połowę w stosunku do energii używanej przez typowy piec tunelowy.



Tabela 3: JZE dla różnych rodzajów pieców w branży wyrobów sanitarnych /według 54/

Rodzaj pieca	Temperatura [°C]	JZE [kJ/kg]	Wydajność [t/h]
tradycyjny piec tunelowy	1200-1800	6700-9200	10-50
współczesny piec tunelowy z włóknistymi i lekkimi materiałami ogniotrwałymi	1230-1260	4200-6700	10-50
piec rolkowy	1230-1260	3100-4200	10-30

Istnieją ogólne dwie drogi strat energii zależne od konstrukcji pieca i wózków:

1. Nieszczelności izolacji pieca

"Jednakże, jedną z najlepszych możliwości na oszczędzanie energii jest wciąż eliminowanie nieszczelności" Don Denison, Denison Inc. /21/

2. Masa materiałów piecowych i wózków piecowych, które muszą być ogrzane

- Obrzeża obręczy kół wózków piecowych powinny z zasady znajdować się na zewnątrz /2/
- Podłogi wózka piecowego powinny składać się z lekkich materiałów izolujących o wysokiej jakości, zawierających minimalną ilość ciężkiego szamotu. Zaleca się również, aby warstwy od dołu do podłogi były odporne na różne naprężenia cieplne /2, 20/
- Uszczelnienia piaskowe powinny być zaprojektowane tak, aby uniknąć nieszczelności przez dłuższy czas - sugestie przedstawiono w /2, 33/
- Należy starać się unikać samonośnych ścian bocznych pieca. Takie ściany mają tendencję do przeginięcia się w stronę kanału wypalania ze względu na ich różne temperatury w przekroju. Ważne jest precyzyjne zaprojektowanie pieca wyposażonego w ściany podtrzymujące strop /2/
- Specjalnie zaprojektowane stropy pieca zapobiegają nieszczelnościom ze względu na rozszerzanie cieplne i sprawiają, że chłodzenie stropu staje się zbędne /2/

6.4.2. Paliwo i technologia wypalania

- W głównej strefie wypalania zalecane jest utrzymywanie nadciśnienia 10-15 Pa /74/
- Im mniejsza jest ilość braków tym niższe jest jednostkowe zużycie energii - powtórne wypalanie podwyższa JZE
- Wprowadzanie nowych systemów sterowania palnikami i wielostrefowej kontroli procesu wypalania /33, 51, 34/



- Palniki impulsowe są bardziej wydajne niż tradycyjne /74/
- 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 tych nowoczesnych palników piece mogą być modernizowane pod kątem obniżenia zużycia energii /74/
- Zasady opisane dla procesu suszenia dotyczą także procesów wypalania
- Należy umożliwić jak najlepsze przeniesienie ciepła z gorącego gazu na wypalane wyroby /33, 34/
- Powietrze do spalania powinno być podgrzane; przy wyższej temperaturze wypalania, wyższe podgrzewanie oszczędza energię. Podgrzewanie powinno odbywać się poprzez powietrze wylotowe pieca /40/.
- Zmniejszenie strat ciepła powietrza odpadowego poprzez wykorzystanie go do podgrzewania pieca na całej długości /33/
- Należy spróbować wypalać jeden produkt przez dłuższy okres czasu. Należy zoptymalizować krzywą temperatury dla tego produktu. Przy różnych produktach w piecu niemożliwa jest żadna optymalizacja. Należy pomyśleć o małych piecach okresowych. Dla małych partii, należy pomyśleć o współpracy z innymi fabrykami lub o zmniejszeniu ilości asortymentu wyrobów /9/.
- Odzyskiwanie ciepła z gazów odpadowych i gazów spalinowych po spalaniu /18, 47/
- System ustawczy do wypalania pochłania jedną z największych ilości energii podczas wypalania. Większość współczesnych typów podstawek jest wykonana z SiC i zaprojektowana oszczędnie pod względem masy /48/
- Najlepiej nie używać podstawek do wypalania wyrobów sanitarnych; korzystniejsze jest zastosowanie np. pieców rolkowych
- Piece okresowe np. do akcesoriów, mogą być obsługiwane o wiele oszczędniej energetycznie jeśli używane są systemy odzyskiwania ciepła razem z podgrzewaniem powietrza do spalania lub gdy są połączone z suszarniami /8, 27/



7. Płytki ceramiczne

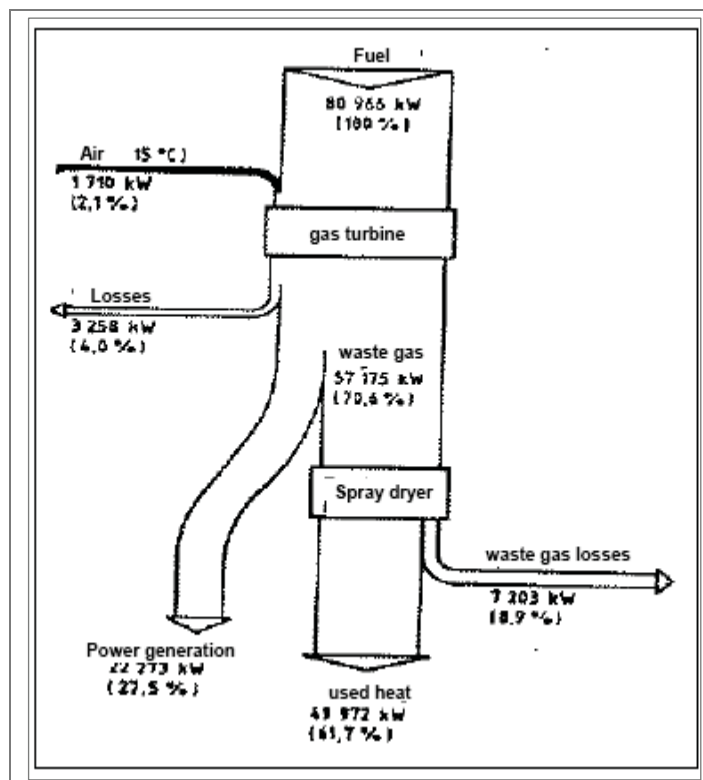
7.1. Surowce i masa ceramiczna

- Nowe surowce, jak skalenie litowe (Rys. 9) /53/ lub kolemanit /28/, mieszanki skaleni sodowych i potasowych, a także niskowypalające się masy ceramiczne mogą pomóc w obniżeniu temperatury spiekania o ok. 200 °C i w zaoszczędzeniu dużej ilości energii (Rys. 11) /48/
- Opracowanie odpowiednich składów mas opartych na glinach i kaolinach może obniżyć temperatury wypalania o ok. 50 °C /55/
- Przygotowanie odpowiednich tworzyw do spiekania w piecach szybkiego wypału np. poprzez kalcynowanie surowców
- Suszenie rozpyłowe wymaga mas lejnych o optymalnej zawartości fazy stałej. Oszczędzanie wody przez użycie lepszych surowców lub specjalnych dodatków obniżających zawartość wody w masie lejnej jest sposobem na oszczędzanie energii suszenia
- Mielenie ciągle oszczędza do 2% wody w masie lejnej oraz podnosi jej temperaturę o około 10 °C; obniża także zużycie energii elektrycznej

7.2. Suszenie / Suszenie rozpyłowe

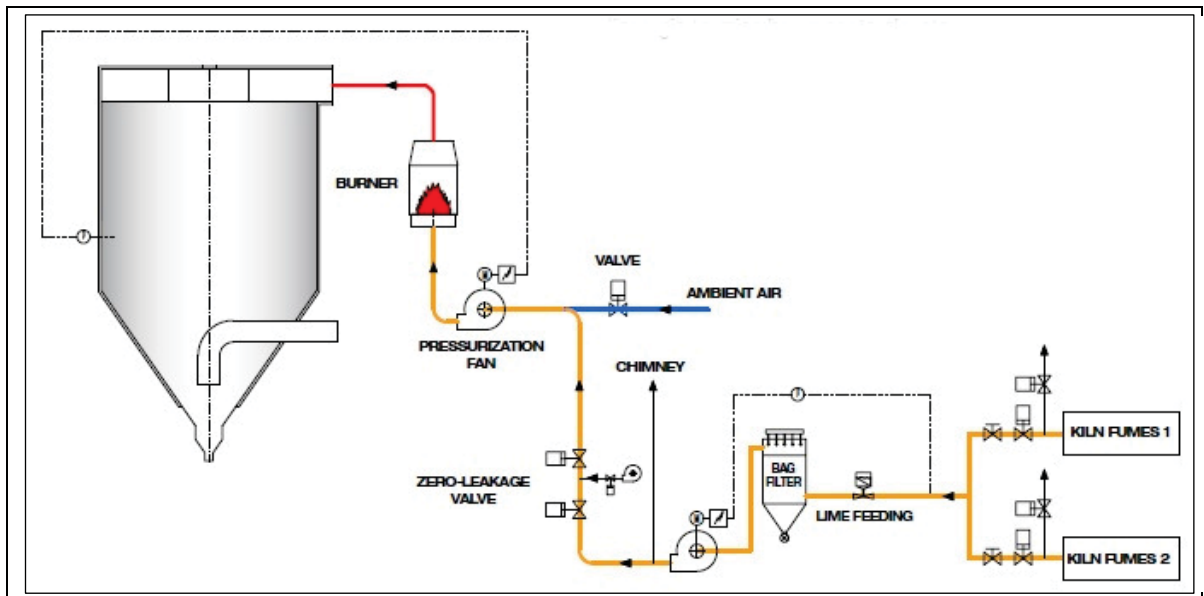
W przemyśle ceramicznym przez suszenie rozumie się ogólnie parowanie lub ulatnianie się fizycznie związanej wody. Powszechnie wiadomo, że wodę charakteryzuje wysoka pojemność cieplna (4,2 kJ/kg K) oraz bardzo wysokie ciepło parowania (2500 kJ/kg). Te właściwości nieuchronnie prowadzą do wysokiego stopnia zużycia energii, szczególnie w suszeniu rozpyłowym mas lejnych, gdzie typowa zawartość wody w masie wynosi do 50%wag.

- Jednym z najbardziej energooszczędnych sposobów suszenia rozpyłowego jest produkcja skojarzona ciepła i energii. Rysunek 12 pokazuje bardzo dobry poziom efektywności (około 90%) takiego rozwiązania /73/
- Im większa zawartość fazy stałej w masie lejnej, tym mniejsze zużycie energii suszarki rozpyłowej (przy stałej wilgotności granulatu)
- Zużycie energii suszenia rozpyłowego jest mniejsze w przypadku małych granул, jeśli wymagania jakości na to zezwalają
- Im lepsza izolacja termiczna suszarki rozpyłowej, tym mniejsze zużycie energii

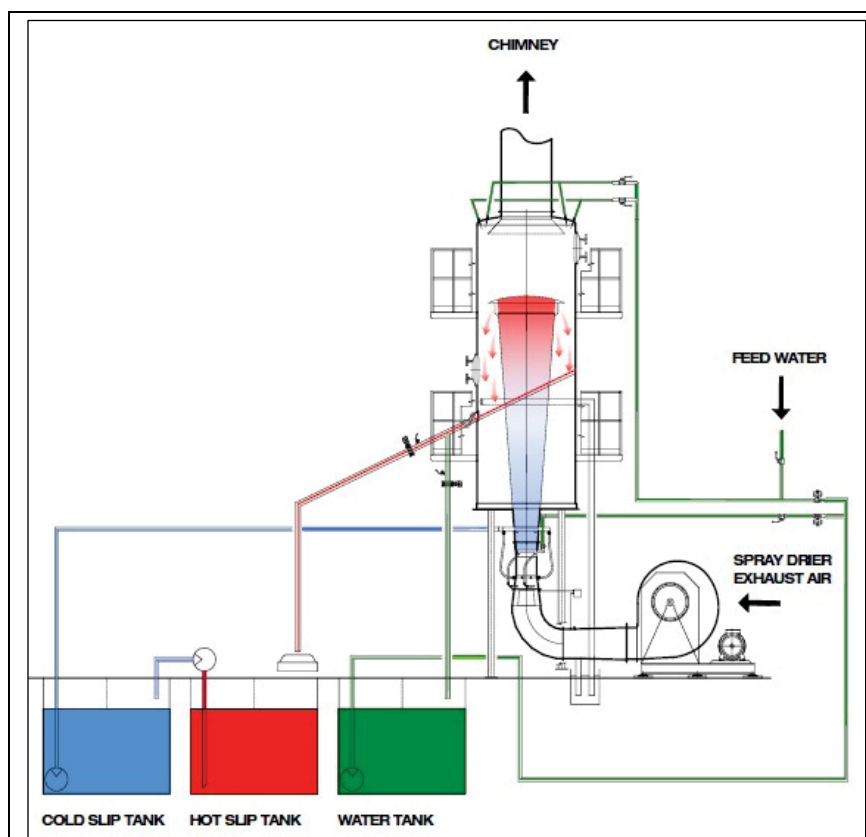


Rys. 12. Bilans produkcji skojarzonej ciepła i energii w przypadku suszarni rozpyłowej /56/

- Należy podgrzać powietrze do spalania w palnikach ciepłem odpadowym z pieca lub suszarni rozpyłowej (rys. 13) /73/
- W miejsce cyklonów można zastosować odpylacze oraz podgrzewanie masy lejącej. Pozostająca frakcja pylasta z suszarni rozpyłowej jest wmywana przez masę lejącą, co powoduje jej podgrzewanie. Metoda ta jest zalecana w instalacjach mielenia okresowego (rys. 14) /73/
- Suszarnie pionowe i poziome po procesie prasowania powinny być zasilane powietrzem chłodzącym z pieców. Przykład rozwiązania pokazano w /70/



Rys. 13. Odzyskiwanie ciepła chłodzenia lub spalin z pieca w suszarni rozpyłowej (wg. SACMI) /73/



Rys. 14. System odpylania powietrza odpadowego z suszarni rozpyłowej i podgrzewania masy olejnej /73/



7.3. Formowanie / Dekorowanie

- Należy dbać o przemyślany plan produkcji, gdyż pozwala on na suszenie i wypalanie większych partii produktów, co powoduje oszczędność energii
- Niewielka ilość asortymentów pozwala na optymalizację zużycia energii w procesie produkcji

7.4. Wypalanie

Zużycie energii potrzebnej do spiekania wyrobów ceramicznych zależy od wymaganej temperatury wypalania. Temperatura jest uwarunkowana składem masy ceramicznej, procesem formowania materiału i zamierzonymi właściwościami. Rysunek 3 pokazuje wykładniczy wzrost zapotrzebowania na energię wraz ze wzrostem temperatury.

7.4.1. Konstrukcja pieca i wózków

Na rysunku 10 i w Tabeli 3 pokazano jednostkowe zużycie energii (JZE) dla trzech różnych rodzajów pieców używanych odpowiednio do wypalania wyrobów stołowych i wyrobów sanitarnych. Oczywistym jest, że piec rolkowy z małą ilością podstawek i szybkim procesem wypalania zużywa prawie o jedną trzecią mniej energii niż typowy piec tunelowy. Rysunek 15 pokazuje skracanie czasu wypalania płytek w ostatnim stuleciu. Tak znaczne ograniczenie czasu wypalania zawdzięczamy zastosowaniu pieca rolkowego. Dzięki jego niskiemu poziomowi zużycia energii i prostemu kształtowi płytek, ten rodzaj pieca stanowi obecnie standard techniki wypalania płytek ceramicznych.

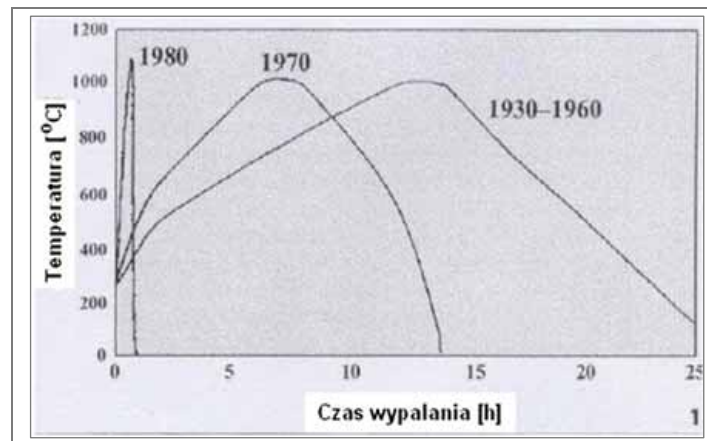
Istnieją ogólne dwie drogi strat energii zależne od konstrukcji pieca i wózków:

1. Nieszczelności izolacji pieca

"Jednakże, jedną z najlepszych możliwości na oszczędzanie energii jest wciąż eliminowanie nieszczelności" Don Denison, Denison Inc. /21/

2. Masa materiałów piecowych i wózków piecowych, które muszą być ogrzane

- Rolki pieca powinny być właściwie uszczelnione,
- Podłogi wózka piecowego powinny składać się z lekkich materiałów izolujących o wysokiej jakości, zawierających minimalną ilość ciężkiego szamotu. Zaleca się również, aby warstwy od dołu do podłogi były odporne na różne naprężenia cieplne /2, 3, 20/
- Specjalnie zaprojektowane stropy pieca zapobiegają nieszczelnościom ze względu na rozszerzanie cieplne i sprawiają, że chłodzenie stropy staje się zbędne /2/



Rys. 15. Skracanie czasu wypalania płytek ceramicznych od 1930 roku /55/

7.4.2. Paliwa i technologia wypalania

- W głównej strefie wypalania zalecane jest utrzymywanie nadciśnienia 10-15 Pa /74/
- Im mniejsza jest ilość braków tym niższe jest jednostkowe zużycie energii /74/
- Wprowadzanie nowych systemów sterowania palnikami i wielostrefowej kontroli procesu wypalania /33, 51, 34/
- Palniki impulsowe są bardziej wydajne niż tradycyjne /74/
- 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 tych nowoczesnych palników piece mogą być modernizowane pod kątem obniżenia zużycia energii /74/
- Powietrze do spalania powinno być podgrzane; przy wyższej temperaturze wypalania, wyższe podgrzewanie oszczędza energię. Podgrzewanie powinno odbywać się poprzez powietrze wylotowe pieca /40, 71/
- Należy dążyć do wypalania jednego wyrobu przez dłuższy okres czasu. Należy zoptymalizować krzywą temperatury dla tego produktu. Przy różnych produktach wypalanych w piecu nie jest możliwa żadna optymalizacja. Należy pomyśleć o małych piecach wahadłowych dla mniejszych partii. Dla najmniejszych partii należy rozważyć współpracę z innymi zakładami lub pomyśleć o zmniejszeniu ilości asortymentu wyrobów /9/
- Odzyskiwanie ciepła z gazów odpadowych i gazów spalinowych po spalaniu /47/



Literatura

1. Gres Acueducto, S.A.: The works and the products an unqualified success. ZI Ziegelindustrie International, 2000, 5, 23-30
2. Riedel, R.: The real snag lies in the detail part 1 und 2. ZI Ziegelindustrie International, 2000, 6 und 9, 29-37, 23-32
3. Hesse, V.: The problems of energy consumption of tunnel kiln cars in fast firing tunnel kilns. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 3, 13-20
4. Schlosser, M.; New concepts for tile setters and rapid drying in the clay roofing tile industry. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 1/2, 25-29
5. Ceramicas Casao: High quality, large capacity and low energy consumption. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 7, 24-28
6. Bauhütte Leitl-Werke GmbH: "Eco Brickworks 2000" operating at full capacity. ZI Ziegelindustrie International, 2001, 5, 16-24
7. Vissing, L.: Energy consumption in the Danish brick industry. ZI Ziegelindustrie International, 2003, 3, 21-27
8. Strohmenger, P.: Energy saving intermittent kiln with heat exchanger system. ZI Ziegelindustrie International, 2003, 3, 36-39
9. www.tangram.co.uk: Energy efficiency in ceramics processing.
<http://www.tangram.co.uk/>
10. Jüchter, M.: Modernization of an existing plant an economical alternative. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 3, 20-23
11. Mödinger, F.: The utilization of biogas at brickworks. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 5, 20-31
12. Bayrische Dachziegelwerke Bogen GmbH: Innovative tunnel kiln for accessories at Bogen roofing tile works. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 9, 36-39
13. Brick and Tile of Lawrenceville: A new manufacturing plant for for brick an tile Corporation of Lawrenceville. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 10, 22-26
14. Ronchetti, R.: A new type of kiln for rapid firing of clay roof tiles. ZI Ziegelindustrie International, 2004, 11, 38-42
15. [Hohlfeld, K.](#): Reduced kiln furniture weight for H-setters for firing roof tiles. ZI Ziegelindustrie International, 2005, 3, 19-28



16. Mödinger, F.: Options for the use renewable fuels in tunnel kilns. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 8, 44-53
17. Aubertot, C.: Petroleum coke - a fuel of the future. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 9, 36-40
18. Rieger, 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, 9, 32-42
19. Dörr, J.: Pore-forming with carboniferous clay blends - without strength loss but with a simultaneous energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 5, 122-129
20. Kettler, H.: Kiln car engineering and energy conservation. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 5, 130-133
21. Anonymous: "International Brick Plant Operator's Forum" in Clemson (USA) with focus on energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 2006, 12, 8-13
22. Mori, G.: Röben clay roofing tile plant in Sroda Slaska - designed for 40 million tiles and 4 million accessories per year . ZI Ziegelindustrie International, 2006, 9, 18-27
23. Rieger, 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, 6/7, 45-55
24. Kettler, H.: BurcoLight - Results from practical operations. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 5, 21-28
25. Industrie Pica S.p.A.: A new innovative clay roofing tile works at Portacomara. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 8, 46-52
26. Unieco Fornace di Fosdondo: Newly developed dryer for the brick factory Fornace di Fosdondo. ZI Ziegelindustrie International, 2008, 1/2, 51-54
27. Strohmenger, P.: Energy saving Bogie-hearth furnace with heat Exchanger-System, Keramische Zeitschrift, 2003, 5, 350-352
28. Kartal, A.: Untersuchungen zur Erstellung von Hartporzellan bei verringerten Brenntemperaturen. cfi/Ber. DKG, 2004, 5, D20-D22
29. Rambaldi, E.: Glass recycling in porcelain stoneware tiles: Firing behaviour. cfi/Ber. DKG, 2004, 3, E32 - E 36
30. Coudamy, G.: Energy Saving and optimised firing thanks to new technology: "Entropy+". cfi/Ber. DKG, 2003, 9, E53-E60
31. Hansen, H.: Intelligente HAT-Herdwagenöfen. cfi/Ber. DKG, 2006, 11/12, D15-D16
32. Müller-Zell, A.: Niedrig sinternde Fertigmassen für Geschirr. cfi/Ber. DKG , 2008, 11, D15-D16



33. Fischer, M.: Möglichkeiten und Grenzen der Energieeinsparung. cfi/Ber. DKG , 2009, 2, D14-D18
34. Slater, A.: Fire more or less. cfi/Ber. DKG , 2009, 2, E35-E39
35. Junge, K.: Sintering aids for reducing the final firing temperature and energy saving. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 10, 686-687
36. Leisenberg, W.: Ways to efficient use of energy. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 7, 434-440
37. Bohlmann, C.: Reduction of mixing water with additives - a contribution to energy cost saving. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 1/2, 35-43
38. König, R.: The "Laminaris" at the Staudacher Brickworks - a further advance in drying technology. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 9, 67-71
39. Masatishi Nakashima, J.: Clay roofing tile production in Japan. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 3, 11-17
40. Riedel, R.: Combustion air preheating. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 11, 30-39
41. Rapis-Ziegel Schmidt GmbH: New drying technology in the Rapis brickworks. ZI Ziegelindustrie International, 1999, 9, 73-78
42. Vogt, S.: Way to efficient use of energy. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 496-501
43. Junge, K.: Effects of the ban on Sunday working on the energy consumption of heavy clay works. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 6, 327-335
44. König, R.: The Laminaris rapid dryer at the Tonwerk Venus in Schwarzach. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 502-508
45. Denissen, J.A.M.: Energy efficient drying, Part 1: Energy efficiency of various techniques in convective drying. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 509-517
46. Häbler, A.: A new continuous system for drying, firing and transport. ZI Ziegelindustrie International, 1998, 8, 519-521
47. Hobohm, F.: Maßnahmen zur Energieeinsparung. www.keramikinstitut.de, 2008
48. [Bartusch, R.](#): Potential for saving energy in the Ceramic Industry. Keramische Zeitschrift, 2002, 1, 6-10
49. Vogt, S.: Fortschrittliche Trocknungstechnik. www.keramikinstitut.de, 2008
50. [Jaegermann, Z.](#): Informacje od przedstawicieli polskich zakładów branży wyrobów stołowych, niepublikowane, 2009, 3.
51. [Cartlidge D.](#): New techniques in the brick industry of the UK, niepublikowane, 2009, 3.



52. Petersminde Teglvaerk A/S, Stenstrup, Fünen, DK: A modern tunnel kiln for the manufacture of a wide assortment of facing bricks. ZI Ziegelindustrie International, 2005, 7, 14-17
53. Telle, R: Senkung der Brenntemperaturen bei Sanitärporzellan durch Lithium- Zugaben, www.keramikinstitut.de, 2007
54. Sladek, R.: Gegenwärtiger Stand der Technik im Brennverfahren für sanitär-keramische Produkte, Keramische Zeitschrift 47 (1995) 5
55. Schulle, W.: Entwicklungen und Probleme beim Schnellbrand keramischer Produkte. Keramische Zeitschrift 52 (2000) 12
56. [Köhler, R.](#): Informacje z rozmów z przedstawicielami niemieckich producentów płytek ceramicznych
57. Vouillemet, M.: Le séchage mixte air chaud / micro-ondes des moules en plâtre neufs pour l'industrie du sanitaire. L'Industrie Céramique & Verrière 899 , 12/94, 780-784
58. Vouillemet, M: Le séchage en céramique. Les Techniques de l'Industrie Minérale 8, 12/2000, 93-98.
59. Blanc J.J.: The real costs of the dispersion of spray dried bodies. Ceramic World Review 70, 01-01/2007, 148-155
60. Blanc J.J.: Valorisation des déchets de verre dans les céramiques vitrifiées. L'Industrie Céramique & Verrière 953, 01/2000, 671-676
61. Vouillemet, 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 possibles.
62. Blanc J.J.: La granularité des poudres en céramique. Finesse et réactivité des feldspaths pour vitreous sanitaire. Mines & Carrières 81, 07-08/99, 28-31.
63. J.Fifer: Commercial case for airless drying. Br Ceram Trans 97, No 2, 1998, p80 -82
64. [Cartlidge D.](#): Infrared burner system that can be controlled in red and blue mode with the heating surface being a Sintered Nit, niepublikowane, 2009
65. WRAP: Glass in Bricks and Tiles. (UK website)
66. [Cartlidge D.](#): Flexi flat roller making, niepublikowane, 2009
67. [Cartlidge D.](#): Laser decoration for sanitaryware, niepublikowane, 2009
68. Airless drying shapes up to Tableware challenge. Global Ceramic Review, No 2/99, summer 1999



69. [Cartlidge D](#): Use of waste glasses in sanitaryware production. 2009
70. SACMI Imola S.C:
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12544/633600971649531250_1.pdf
71. SACMI Imola S.C:
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12542/633600970754531250_1.pdf
72. SACMI Imola S.C:
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12552/633601079876875000_1.pdf
73. SACMI Imola S.C:
http://www.sacmi.com/System/00/01/25/12553/633601080867187500_1.pdf
74. [Petzold, J](#): Zalecenia dotyczące eksploatacji pieców ceramicznych, niepublikowane, 2009