
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 13

ISSN 1899-3230

Rok VI

Warszawa–Opole 2013

Teksty publikowane w „Pracach Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” poddawane są procedurze recenzyjnej

Na okładce zdjęcie z artykułu Michała Stachów

„Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” ukazują się w wersji papierowej i elektronicznej (<http://icimb.pl/opole/wydawnictwa>).
Wersją pierwotną jest wersja papierowa

Opracowanie redakcyjne: Maria Szwed, Janina Drozdowska



Wydawnictwo Instytut Śląski Sp. z o.o., Opole, ul. Piastowska 17, tel. 77 4540 123
e-mail: wydawnictwo@is.opole.pl
Nakład: 130 egz. Objętość: 5,50 ark. wyd., 6,75 ark. druk.

MAREK SZYMKOWIAK*

MAREK KOKOT**

Ekonomiczne aspekty racjonalnego wykorzystania ciepła odpadowego z pieca w procesie suszenia wyrobów ceramicznych na przykładzie zakładu produkcji dachówek

Słowa kluczowe: energia, produkcja, oszczędności.

Przemysł ceramiczny jest ogromnym konsumentem energii, która stanowi 30–40% kosztów wytworzenia. Ciągłe podwyżki cen nośników energii zmuszają do poszukiwania oszczędności w ich zużyciu. Jedną z dróg prowadzącą do redukcji poboru gazu i prądu jest modernizacja istniejących instalacji w taki sposób, aby można było racjonalniej gospodarować ciepłem powstającym przy wytwarzaniu wyrobów ceramicznych. W artykule przedstawiono proces modernizacji suszarni komorowej do suszenia dachówek ceramicznych i galanterii. Jej celem było podniesienie efektywności wykorzystania w procesie suszenia gorącego powietrza, odzyskiwanego z pieca tunelowego do wypalania produktów. Dzięki wykorzystaniu „darmowego” ciepła pochodzącego z innego procesu produkcyjnego, uzyskano korzyści finansowe wynikające ze zmniejszenia zużycia gazu ziemnego i energii elektrycznej w kwocie 220,5 tys. zł w ciągu roku (2011 w stosunku do 2010 r.).

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój cywilizacyjny spowodował to, że zapotrzebowanie na energię we współczesnym świecie jest ogromne. Jej udział w kosztach produkcji wynosi nawet 70%, jak ma to miejsce w przemyśle nawozów sztucznych. Również przemysł ceramiczny cechuje się dużą energochłonnością. Koszty energii elektrycznej stanowią od 7 do 10% całkowitych kosztów produkcji wyrobów, natomiast ciepła uzyskiwanego z gazu ziemnego kształtuje się na poziomie 25–30%. Przeciętne miesięczne zużycie gazu w cegielni produkującej 1 mln cegły pełnej wynosi ok. 420 tys. m³. Roczne zużycie przekracza 5 mln m³. Należy pod-

* Inż., Zakład Płytek Ceramicznych PRZYSUCHA S.A. w Przysusze.

** Dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Zarządzania Produkcją.

kreślić, że spalanie gazu powoduje emisję dwutlenku węgla. Polska, podobnie jak wszystkie kraje Unii Europejskiej, jest sygnatariuszem Protokołu z Kioto, który jest uzupełnieniem Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu. Międzynarodowe porozumienia dotyczące przeciwdziałania globalnemu ociepleniu wymusiły wprowadzenie wysokich opłaty związanych z emisją substancji do powietrza, co powoduje zwiększenie kosztów produkcji. Duża konkurencja na rynku wymusza jednak konieczność utrzymania jak najniższych cen wyrobów. Zbyt duże podwyżki cen oferowanych produktów mogą doprowadzić do radykalnego spadku sprzedaży.

Podstawowym problemem, który uniemożliwia utrzymanie cen na stałym poziomie w okresie chociażby jednego roku, są systematycznie drożejące nośniki energii, zarówno prądu, jak i gazu. Zmusza to firmy do intensywnych poszukiwań oszczędności. Jednym ze sposobów ich wprowadzenia jest modernizacja już istniejących i wykorzystywanych procesów produkcyjnych. Zaletą tego rozwiązania jest uzyskanie w krótkim czasie korzyści wynikających z mniejszego zużycia energii elektrycznej lub gazu. Systematyczne działania prowadzące do unowocześniania procesów produkcyjnych wiążące się z oszczędnościami dają korzyści firmie przez dalsze lata jej działalności.

2. Proces suszenia i wypalania dachówek ceramicznych

Dachówki ceramiczne są formowane metodą ciągnioną za pomocą pras ślimakowych z komorą próżniową, oraz na prasach stemplowych. Po wyformowaniu są plastyczne i zawierają 20% wody. Aby nadawały się do dalszej obróbki termicznej, poddawane są procesowi suszenia, który ma za zadanie zmniejszenie ilości wody zawartej w półfabrykacie do ok. 2%. Proces suszenia jest prowadzony w temperaturze do 100°C i odbywa się w suszarni komorowej. W dalszej części artykułu zostały przedstawione najważniejsze aspekty związane z procesem suszenia dachówek ceramicznych, które szczegółowo opisuje literatura [1–8].

Suszenie jest procesem polegającym na odprowadzeniu wody odparowującej z plastycznej masy. Aby proces suszenia przebiegał prawidłowo, musi być spełnionych kilka warunków:

- zachowanie ruchu ciepła, wilgoci i ruchu gazu, co oznacza, że powinna być zachowana różnica między temperaturą powietrza a temperaturą suszonego materiału;
- różnica między zawilgoceniem powierzchni wyrobu a zawilgoceniem rdzenia wyrobu;
- różnica między cząstkowymi ciśnieniami pary wodnej w powietrzu a ciśnieniem wody w materiale suszonym.

Masa ceramiczna stanowi koloidalno-kapilarny materiał porowaty. W masie tej woda znajduje się w postaci:

- wody krystalizacyjnej związanej strukturalnie z surowcem ilastym oraz z innymi minerałami i jest to tak zwana woda chemicznie związana, która w procesie suszenia materiałów nie ulega przemianom;
- wody higroskopijnej, która również nie ulega przemianom w procesie suszenia;
- wody związanej mechanicznie mikro- i makrokapilarnej, która wypełnia pory i naczynia włoskowate w glinie, oraz otacza cząsteczki gliny grubszą powłoką wodną.

Proces suszenia dzieli się na kilka charakterystycznych etapów, z których można wyodrębnić trzy główne:

- podgrzewanie,
- suszenie właściwe,
- suszenie higroskopijne.

W praktyce dwa pierwsze etapy łączy się w jeden i traktuje jako suszenie dwufazowe, tj. podgrzewanie wilgotnego materiału do możliwie najwyższej temperatury. W okresie tym wyroby surowe podgrzewa się w warunkach umożliwiających minimalne powierzchniowe parowanie. Osiąga się to poprzez wprowadzenie do suszarni powietrza w stanie wysokiego nasycenia parą wodną o możliwie najwyższej temperaturze. W tych warunkach zawarta w wyrobach wilgość ma utrudnione odparowanie, a masa, jak również woda znajdująca się w porach, otrzymuje określoną ilość ciepła, co przyczynia się w następnym okresie suszenia do zwiększenia dyfuzji wewnętrznej (wraz ze wzrostem temperatury maleje lepkość wody). Pod wpływem ogrzewania pory i kapilary zwiększają się, ułatwiając tym samym wędrówkę wody. W okresie podgrzewania nie wolno doprowadzić zbyt dużych ilości suchego i gorącego powietrza. Powietrze suszące powinno być odpowiednio nawilżone, co najmniej do wilgotności względnej wynoszącej 85%. Temperatura w okresie podgrzewania nie powinna przekraczać 40°C.

Główny okres suszenia obejmuje stałą szybkość suszenia. Przebiega on przy stałej, praktycznie jednakowej temperaturze materiału. Ten okres trwa tak długo, dopóki suszony materiał jest jeszcze wilgotny na powierzchni, przy czym występuje duża skurczliwość. Szybkość suszenia ograniczona jest przez najwyższą dopuszczalną różnicę skurczliwości. Na etapie tym występuje wewnętrzna dyfuzja wody w kierunku powierzchni. W okresie stałej szybkości suszenia odparowuje woda wypełniająca makrokapilary. Wyrób kurczy się i osiąga krytyczny punkt wilgotności. Suszenie właściwe powinno zaczynać się w atmosferze wilgotnej, natychmiast po osiągnięciu najwyższej temperatury podgrzewania.

W higroskopijnym etapie występuje zmniejszenie szybkości suszenia. Charakterystyczne dla tego okresu jest znaczne podwyższenie temperatury w przeciwieństwie do okresu poprzedniego oraz brak skurczliwości materiału. Po opróżnieniu makrokapilar następuje proces odparowania z nich wody. W miarę parowania zawartość wilgoci w wyrobach surowych zmniejsza się i nie wystarcza do całkowitego wypełnienia kapilar. Ilość wilgoci w pobliżu warstwy zewnętrznej zmniejsza się, a poziom wody w naczyniach włosowatych opada, co z kolei powoduje zmniejszenie się szybkości parowania i przesunięcie powierzchni parowania w głąb wyrobu. Podczas suszenia higroskopijnego należy pamiętać, że dostarczone ciepło na odparowanie wody musi wnikać do wnętrza wyrobu, który jest złym przewodnikiem ciepła. Na skutek tego w tym okresie trzeba dostarczyć dodatkowe ilości ciepła na pokonanie oporu cieplnego materiału. Wilgotność powietrza cyrkulującego w tym czasie nie powinna przekraczać 30% wilgotności względnej, a jego temperatura nie może być mniejsza od 75°C.

Reasumując, proces suszenia dachówki jest bardzo ważną operacją technologiczną, polegającą na odparowaniu wody w niej zawartej. W początkowym czasie suszenia woda paruje z powierzchni dachówki. Jej ubytek jest kompensowany przez dopływ wilgoci z wnętrza wyrobu. W późniejszych okresach suszenia, gdy wilgotność materiału znacznie się zmniejsza, parowanie zachodzi w obrębie porów i para wydostaje się na powierzchnię. Prawidłowe prowadzenie suszenia polega na równomiernym odprowadzaniu wilgoci z całej dachówki. Suszenie odbywa się w komorach suszarnianych według specjalnie dobranych programów technologicznych.

Wypalanie wyrobów ceramicznych jest ostatnim stadium procesu technologicznego, w wyniku którego wyroby uzyskują ostateczne właściwości, odpowiedniki określone wymaganiami technicznymi. Przebieg tego procesu ustala się w zależności od rodzaju surowców wyjściowych oraz od przemian, jakie mają zachodzić w materiale podczas wypalania i realizowany jest w piecu tunelowym. W czasie wypalania wyrobów ceramicznych zachodzą następujące procesy:

- dosuszenie wyrobów,
- podgrzewanie i dehydratacja wyrobów,
- utlenianie substancji organicznych, wydzielanie reszty wody związanej chemicznie, oraz rozpoczęcie rozkładu związków chemicznych i minerałów,
- właściwe wypalanie i witrifikacja,
- studzenie wyrobów.

Dosuszenie wyrobów następuje w warunkach stopniowego wzrostu temperatury do 200°C. Proces ten charakteryzuje się usuwaniem wody niezwiązanej, której zawartość w materiale oscyluje w granicach od 1 do 4%. Wzrost temperatury w tym okresie powinien być powolny, wynoszący ok. 10°C/h. Materiał dosu-

szany nie wykazuje w tym czasie znacznych zmian objętości. Woda niezwiązana uchodzi w temperaturze 120°C, mimo tego proces dosuszania uważa się za zakończony dopiero w temperaturze ok. 200°C.

Podgrzewanie i dehydratacja wyrobów obejmuje dalszy wzrost temperatury od 200°C do 600°C z usunięciem wody chemicznie związanej. Wydzielanie to zaczyna się już w temperaturze ok. 200°C, maksimum wydzielania przypada na temperaturę 400–600°C (w zależności od właściwości surowców). Podczas ogrzewania zaczynają spalać się substancje organiczne. Rozpoczęcie tego procesu przypada na temperaturę ok. 350°C. Równocześnie w okresie dehydratacji rozpoczynają się reakcje dysocjacji termicznej węglanów, siarczków, procesy utleniania i przemian polimorficznych. W wyniku zachodzących reakcji pojawia się faza gazowa zawierająca: parę wodną, CO₂, SO₂ i SO₃. W tym okresie wzrost temperatury może być szybszy i wynosi 50–80°C/h. Równocześnie z utratą wody chemicznie związanej masa ceramiczna traci swoje właściwości plastyczne. Występuje dalsze kurczenie się materiału. Kwarc w temperaturze 573°C przechodzi przemianę polimorficzną z β w α, kaolinit przechodzi w odmianę polimorficzną – metakaolinit Al₂O₃ · 2SiO₂.

W zakresie temperatur 600–900°C następuje dalsze utlenianie substancji organicznych, wydzielanie reszty wody związanej chemicznie oraz rozpoczęcie rozkładu związków chemicznych i minerałów. Metakaolinit pod wpływem ogrzewania przechodzi przez fazę typu spinelowego do mullitu. Występuje początek powstawania fazy szklistej składającej się z niskotopliwych krzemianów, zwiększa się szybkość reakcji dysocjacji termicznej węglanów magnezu, wapnia, oraz niektórych siarczanów.

Właściwe wypalanie i witrifikacja odbywa się w temperaturze 900–1000°C. Charakteryzuje się dalszymi zmianami w składzie mineralogicznym masy. Minerale ilaste ulegają dysocjacji na wolne tlenki oraz tworzą się nowe związki w postaci krzemianów, powstają sylimanit, spinel i mullit, Al₂O₃ krystalizuje w odmianę γ Al₂O₃, kwarc przechodzi kolejne przemiany polimorficzne tworząc α-trydymit. W tym okresie powstają również kryształki hematytu, które barwią czerep wyrobów ceramicznych na kolor czerwony. Powstaniu niskotemperaturowych eutektyków towarzyszy powstanie fazy ciekłej składającej się głównie z krzemianów alkaliów, wapnia, magnezu, żelaza i glinu. Procesom tym towarzyszy skurcz (do 3%) i zmniejszenie porowatości wypalanego materiału. Tworzenie się fazy szklistej to temperatura początku klinkieryzacji (początek spiekania). Przy dalszym podwyższaniu temperatury następuje mięknięcie wyrobu i jego deformacja. Temperaturę, w której następuje zapoczątkowanie tego zjawiska nazywa się temperaturą mięknięcia. Interwał pomiędzy temperaturą spiekania a mięknięcia zależy od rodzaju surowca ilastego i stosowanej mieszanki.

W trakcie studzenia obniża się temperatura i następuje krzepnięcie powstałej fazy szklistej. Następuje krystalizacja krzemianów, przemiany polimorficzne.

Do temperatury 573°C (przemiany kwarcu α w β) studzenie może przebiegać intensywnie z szybkością 70–90°C/h. W pobliżu tej granicy szybkość studzenia powinna zmniejszyć się do ok. 50–60°C/h, aby nie doprowadzić do powstania nadmiernych naprężeń. Szybkość przebiegu opisanego procesu zależy od wymiarów wyrobów, właściwości surowców, a ponadto od typu pieca i rodzaju wymiany ciepła. Do wypału zarówno dachówki połaciowej, jak i akcesoriów służy piec tunelowy, który umownie dzieli się na:

- służę wjazdową, podgrzewacz,
- strefę podgrzewania,
- strefę wypału,
- strefę chłodzenia,
- służę wyjazdową.

W strefie podgrzewacza pracuje jeden palnik gazowy, którego zadaniem jest dosuszyć dachówkę w celu osiągnięcia wilgotności mniejszej niż 1%. W strefie wypału pracują palniki stropowe: 8 grup po 20 palników oraz palniki boczne: 12 sztuk (po 6 na każdą stronę).

W strefie chłodzenia następuje kontrolowane chłodzenie dachówki. Szczególnie istotna jest kontrola procesu chłodzenia w tzw. punkcie kwarcowym i związana z tym zmiana objętości. W okolicach tej temperatury chłodzenie powinno przebiegać jak najłagodniej, aby nie doprowadzić do powstania rys pochłodzeniowych w wyrobie. Służa wyjazdowa służy do odizolowania strefy chłodzenia od otoczenia podczas wyjazdu wagonu z pieca.

3. Przebieg prac modernizacyjnych

W procesie suszenia wykorzystywano gorące powietrze uzyskiwane za pomocą palnika gazowego, zasilanego gazem ziemnym GZ-50, który służył wyłącznie do tego celu. W trakcie poszukiwania możliwości modernizacyjnych linii produkcyjnej zwrócono uwagę na wykorzystanie ciepła pochodzącego z pieca tunelowego do wypalania produktów. Do tej pory ciepło, emitowane choćby z nieizolowanych częściowo rurociągów pieca, podgrzewało jedynie powietrze znajdujące się nad nimi. Nie było ono w żaden sposób wykorzystane, a potencjał energetyczny możliwy do odzyskania był znaczący. Temperatura otoczenia w tym rejonie osiągała ponad 100°C. Tak dużą ilość „darmowego” ciepła można było wykorzystać, np. do procesu suszenia dachówek, gdzie temperatura, w jakiej odbywa się ten proces, to właśnie 100°C. Wykorzystanie tego ciepła mogło potencjalnie przynieść oszczędności finansowe związane z mniejszym zużyciem gazu ziemnego, który był wykorzystywany jako nośnik energii do podgrzewania powietrza w suszarni. Wstępne analizy ekonomiczne poprawy systemu odzyskiwania ciepła były tak obiecujące, że podjęto decyzję o rozpoczęciu prac modernizacyjnych. Prace

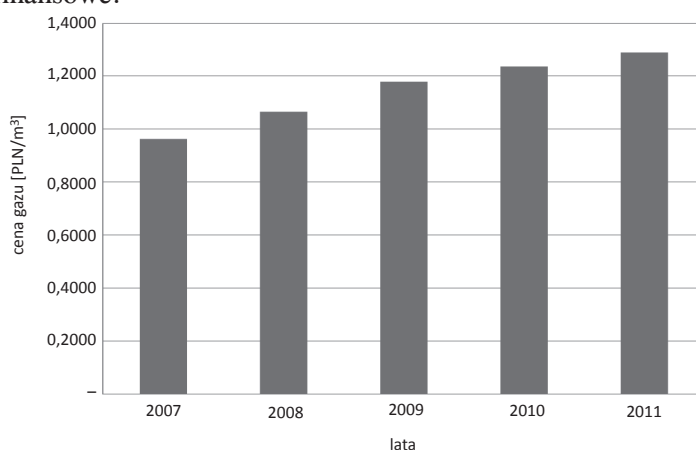
te miały polegać na lepszym wykorzystywaniu ciepła powstałego w procesie wypalania do suszenia dachówek. Wykorzystywany do tej pory palnik będzie służył tylko do utrzymywania temperatury na założonym poziomie.

Pierwszy etap prac polegał na wykonaniu bilansu cieplnego pieca tunelowego i suszarni. Te dwa urządzenia według założeń modernizacji będą zależne od siebie. Ciepło odpadowe z pieca będzie podstawowym źródłem energii w suszarni. Wykonanie bilansu pozwoliło na rozpoznanie potencjalnych problemów, jakie trzeba będzie pokonać w trakcie prac projektowych nad poprawą efektywności odzyskiwania ciepła.

Analiza bilansu wykazała, że do odparowania 1 kg wody suszarnia zużywa 10911 kJ energii. W nowoczesnych suszarniach zużycie energii kształtuje się na poziomie 4000–4500 kJ/kg wody. Jak widać z tego porównania, zużycie energii było ponad 2,5 razy większe niż w przypadku nowoczesnych suszarni. To pociągało za sobą duże, bezpowrotne, straty ciepła, co przekładało się bezpośrednio na zużycie gazu ziemnego i zwiększało koszty użytkowania suszarni.

Jeszcze gorzej sprawa miała się z ilością powietrza wykorzystywanego do suszenia, które kształtowało się na poziomie 24 000 m³/h, co było prawie czterokrotnie większą wartością od standardowych. Najgorszym w tym było to, że duże ilości ciepłego powietrza były wykorzystywane tylko w części do suszenia, reszta niestety była bezpowrotnie tracona.

Dostarczenie tak dużej ilości ciepłego powietrza skutkowało koniecznością pracy palnika gazowego suszarni na pełnej mocy, który w zależności od ilości zapełnionych komór zużywał do 2500 m³ paliwa gazowego na dobę. Zmniejszenie już tylko o połowę ilości ciepłego powietrza do suszenia mogło przynieść wymierne korzyści finansowe.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Ceny gazu w latach 2007–2011

Jak wynika z wykresu (ryc. 1), który przedstawia ceny gazu z ostatnich pięciu lat, a który opracowany został na podstawie danych pochodzących z faktur, co roku następuje podwyżka cen energii. W okresie 5 lat gaz zdrożał o 33%, co przy 30% udziale tego paliwa w całkowitych kosztach produkcji stanowi duże obciążenie finansowe firmy (wzrost kosztów produkcji o ok. 10%). Trendy światowe mówią o dalszym wzroście tych cen sięgających według pesymistycznych prognoz nawet 100% w ciągu następnych 5–6 lat. Widać z tego wyraźnie jak bardzo trzeba dążyć do obniżenia zużycia gazu.

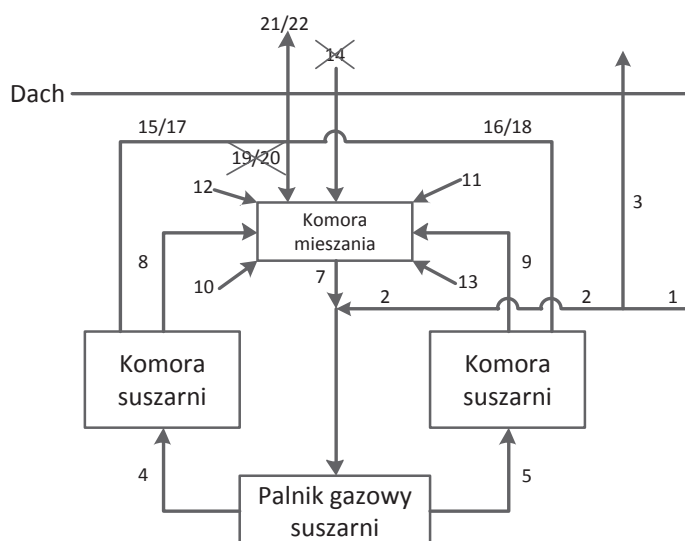
Dalsza analiza wykazała, że prędkość przepływu powietrza w komorach była bardzo duża. Skutkiem zbyt szybkiego przepływu powietrza, przy wrażliwych na suszenie masach, było pęknięcie i deformowanie się wyrobów, co w rezultacie przyczyniało się do strat w postaci dużych ilości złomu, rzędu 4%. To były dodatkowe straty, które wpływały na zwiększenie kosztów produkcji. Dlatego też w pracach modernizacyjnych, oprócz sposobu odzyskiwania ciepła, należało zająć się również uzyskaniem odpowiednich prędkości powietrza suszącego.

Kolejny przedmiot analizy to izolacja suszarni. Maksymalna temperatura suszenia wynosiła 85°C, natomiast medium suszące opuszczające komory w kanale wilgotnego powietrza posiadało od 92 do 101°C, co pokazują pozycje 15/17 i 16/18 na schemacie suszarni (ryc. 2). Stwierdzono, że tak wysoka temperatura pochodzi pośrednio z kanału gorącego powietrza, która przenika w dwójaki sposób do sąsiedniego kanału. Pierwszym powodem były nieszczelności w ścianie między kanałami, które powodowały ucieczkę gorącego powietrza; drugim była sama ściana, wykonana z cegły o szerokości 12 cm, bez izolacji, która działała jak wymiennik ciepła.

O jakości suszenia decyduje również ciśnienie panujące w kanałach dostarczających ciepło zaznaczone na schemacie (ryc. 2) pozycjami 4 i 5. Różnice ciśnień przyczyniają się do tego, że wyroby w całej objętości komory wysychają nierównomiernie. Ponieważ suszarnia jest rewersyjna, zmiany obrotów wentylatora następują w ustalonym dla każdego rodzaju wyrobów czasie, to różnice ciśnień powodują, że dachówki posiadają różną wilgotność szczątkową. Przy wypalaniu woda zamknięta w czerepie wyrobu może spowodować jego rozpad. Gradient ciśnień w kanałach wynosił nawet 130 Pa, przy zadanych 200 Pa na każdym z kanałów.

Szczegółowa analiza bilansu cieplnego pieca tunelowego i suszarni w pełni potwierdziła konieczność przeprowadzenia prac modernizacyjnych polegających na odzyskaniu ciepłego powietrza z pieca i wykorzystaniu go w procesie suszenia. Wyniki prac modernizacyjnych przyniosły zakładane korzyści, uzyskane dzięki wykorzystaniu energii do tej pory traconej, a pochodzącej z pieca tunelowego. Schemat instalacji suszarni (ryc. 2) pokazuje, że udało się wyeliminować dwa źródła chłodnego powietrza, które obniżało wymaganą temperaturę w komorze

mieszania, zapisane jako pozycje 14 i 19/20. Jednak najbardziej spektakularnym efektem było zmniejszenie zużycia gazu na palniku z 38,4 m³/h na 5,2 m³/h. W tej chwili zapotrzebowanie gazu jest 7-krotnie mniejsze niż przed modernizacją. Oznacza to, że ciepło, jakie zostaje odzyskane z pieca tunelowego w znacznym stopniu pokrywa zapotrzebowanie suszarni, a palnik gazowy jest wykorzystywany tylko do dogrzewania powietrza do temperatury, która jest wymagana w procesie suszenia poszczególnych wyrobów ceramicznych.

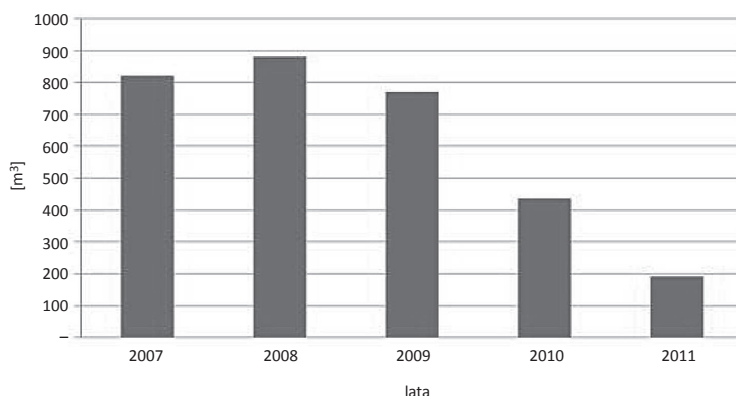


Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Schemat instalacji suszarni komorowej po modernizacji

Drugim ważnym, dodatnim, efektem, jaki uzyskano po modernizacji, a w sposób znacząco wpływający na spadek zużycia gazu, jest obniżenie temperatury otoczenia w suszarni z 80°C do 40°C poprzez izolację kanałów gorącego powietrza oraz wykonanie pokrywy wentylatorów. Polepszyło to warunki pracy obsługi urządzenia oraz silników do wentylatorów, przez co uzyskano znaczne obniżenie awaryjności i ograniczenie przestojów suszarni. Prace modernizacyjne doprowadziły również do zmniejszenia ilości przepływającego powietrza przez suszarnię do potrzebnego minimum.

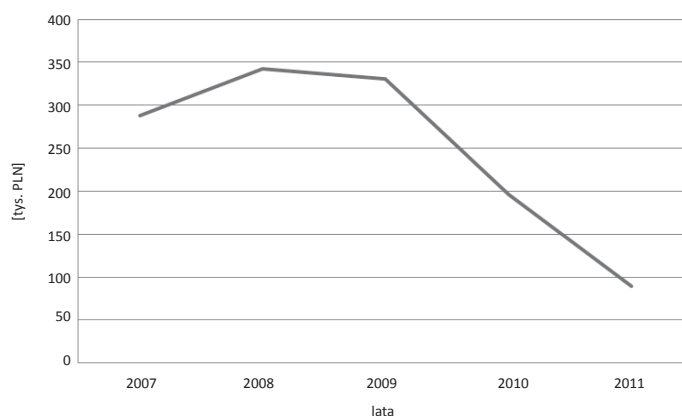
Wszystkie te pozytywne efekty uzyskano po modernizacji suszarni, w której obecnie głównym źródłem ciepłego powietrza potrzebnego do suszenia jest piec tunelowy. W dużym stopniu wpłynęło to na ograniczenie średniego dziennego zużycia gazu na suszarni. Skalę redukcji przedstawiono na wykresie (ryc. 3).



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Średnie dzienne zużycie gazu w suszarni w latach 2007–2011

Jak widać, w latach 2007–2010 zużycie gazu było znacznie większe niż w 2011 r., w którym została przeprowadzona modernizacja. Aby mieć pełny obraz uzyskanych oszczędności, należy nadmienić, iż zużycie gazu było warunkowane ilością suszonych wyrobów. Dlatego też najbardziej miarodajnym miernikiem oszczędności jest porównanie zużycia gazu z roku 2011 z latami 2007–2009. Jak widać na wykresie (ryc. 3) maksymalna różnica w dziennym zużyciu gazu sięga 600 m³. Jest to znacząca ilość gazu, która rocznie daje wymierne korzyści finansowe. O ich wielkości można przekonać się analizując wykres (ryc. 4), gdzie są podane kwoty, jakie w danym roku zapłacono za gaz. Porównując dane z wykresu (ryc. 4) widać, że w 2011 r. zapłacono prawie o 250 tys. zł mniej niż w 2008 r. O wielkości uzyskanych oszczędności świadczy jeszcze dodatkowo fakt, że zgodnie z danymi umieszczonymi na wykresie (ryc. 1) 1 m³ gazu w 2011 r. był droższy o prawie 20% niż w 2008 r. i o 30% niż w 2007 r.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Koszt zużytego gazu w suszarni w latach 2007–2011

Aby określić opłacalność danej inwestycji, korzyści uzyskane z jej wprowadzenia trzeba porównać z nakładami finansowymi, jakie firma poniosła na wykonanie wszystkich prac modernizacyjnych. Okazuje się, że po zliczeniu wszystkich wydatków, całkowity koszt inwestycji wyniósł 140 tys. zł. Jeżeli tę kwotę porówna się do rachunków za gaz tylko z 2010 r., to widać, że inwestycja spłaciła się w ciągu pierwszego roku działalności zmodernizowanej suszarni. Jeszcze szybciej nastąpiłoby to, gdybyśmy porównali nakłady poniesione na modernizację z kosztami zakupu gazu w latach 2007 lub 2009. Okres spłaty inwestycji wynosi wtedy niespełna 0,5 roku. Jak widać z tych wyliczeń, decyzja o modernizacji suszarni była bardzo trafna i, oceniając ją tylko z punktu widzenia zużycia gazu, przyniosła bardzo wymierne, łatwo policzalne oszczędności finansowe. Jednocześnie uzyskano dodatkowe efekty, takie jak:

- obniżenie udziału złomu po suszeniu,
- automatyzacja procesu suszenia.

Są to efekty, których korzyści finansowe ustalić jest znacznie trudniej, ale które również bezpośrednio wpływają na nie i powodują szybszą spłatę inwestycji, jednocześnie przekładają się na poprawę jakości finalnego produktu, co skutkuje większym zadowoleniem klienta. Zastosowanie przemienników częstotliwości do wentylatorów gorącego powietrza przyniosło efekt w postaci zmniejszenia zużycia energii elektrycznej. Skalę tych oszczędności można ocenić z danych pozyskanych z odczytów liczników poboru energii i porównaniu ich z rokiem poprzednim. Dane te przedstawiono w tabeli 1. Jak widać, przy założeniu pracy suszarni przez 365 dni, realne oszczędności z tytułu mniejszych rachunków za energię elektryczną wyniosłyby prawie 40,5 tys. zł. Dodając do tego oszczędności związane ze zużyciem gazu pomiędzy rokiem 2010 i 2011, oszczędności, jakie uzyskano poprzez modernizację suszarni, to kwota 180 tys. zł.

T a b e l a 1

Oszczędności w zużyciu energii elektrycznej

Rok	Zużycie energii elektrycznej na suszarni	Dni pracy	kWh/dobę	kWh/rok	Stawka	Wartość
	kWh	dni	kWh	kWh	PLN	PLN
2010	859 681	276	3 115	1 136 896	0,30	343 855
2011	930 079	348	2 673	975 514	0,31	303 388
					Oszczędności:	40 467

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Na zakończenie należy wspomnieć jeszcze o oszczędnościach związanych z emisją CO₂ do atmosfery. Każdy zakład posiada limit dozwolonej emisji dwutlenku węgla, za którą oczywiście płaci pieniądze. Jednakże przekroczenie limitu wiąże się z dodatkowymi, karnymi opłatami. Limity te mogą w niedalekiej przyszłości zostać radykalnie obniżone zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej w sprawie

zmniejszenia emisji CO₂ do atmosfery. Oszczędności, jakie można uzyskać na zużyciu gazu, mogą przyczynić się do przekroczenia nałożonych limitów lub nawet mieć ich nadwyżkę, co pozwoli na ich odsprzedanie i uzyskanie w ten sposób dodatkowych korzyści finansowych.

4. Wnioski

Analizując cały proces inwestycyjny modernizacji suszarni, do pracy której wykorzystano ciepło odzyskiwane z procesu wypalania, można stwierdzić, że była to inwestycja bardzo trafna; jej koszty szybko się zwróciły. Jest to przykład w jaki sposób można zarządzać własnymi zasobami energetycznymi, tak aby maksymalnie je wykorzystywać zamiast bezpowrotnie tracić. Dodatkową zachętą do wprowadzania nowych, oszczędnych energetycznie rozwiązań są stałe tendencje wzrostu cen nośników energii oraz coraz surowsze przepisy dotyczące emisji CO₂ do atmosfery.

Aspekty ekonomiczne i ekologiczne są bardzo istotne już przy projektowaniu nowych zakładów produkujących ceramikę. Zakłada się wykorzystanie ciepła odpadowego z pieca do suszenia wyrobów bez dodatkowego źródła energii. W zależności od typu produkowanych wyrobów, do mieszanek można stosować dodatki energetyczne, takie jak biomasa (trociny, łupiny nasion, fusy pochodzące z produkcji kawy rozpuszczalnej, herbaty), pulpa papierowa, łupki przywęglowe itp. Zamiast palników gazowych można również rozważyć zastosowanie jako źródła energii turbin lub silników cieplnych, które wyposażone w generatory mogą wytwarzać prąd, a ciepło przy tym powstałe wykorzystywać do suszenia wyrobów. Dynamiczny rozwój nauki i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań prowadzących do zmniejszenia zużycia energii pozwalają materiałom ceramicznym spełniać wiodącą rolę na rynku budowlanym.

Literatura

- [1] H a n d k e M., *Krystalochemia krzemianów*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2008.
- [2] Instrukcja technologiczna produkcji dachówek ceramicznych (IN_75_72_01).
- [3] K r a u s e E., *Technologie der Grobkeramik, Trocknungstechnische Anlagen*, Bd. 3, Veb Verlag Fuer Bauwesen, Berlin 1969.
- [4] L e c h R., *Modelowanie matematyczne w technologii ceramiki*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2007.
- [5] P a m p u c h R., *Współczesne materiały ceramiczne*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005.
- [6] Wienerberger Corporate Information, <https://technics.wienerberger.net/> (6.02.2012).
- [7] Wienerberger Technicum, Mass and Energy Balance, maszynopis w posiadaniu autora.
- [8] W i ś n i e w s k i S., W i ś n i e w s k i T.S., *Wymiana ciepła*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.

MAREK SZYMKOWIAK
MAREK KOKOT

ECONOMIC ASPECTS OF RATIONAL USE OF WASTE HEAT
FROM A TUNNEL KILN IN THE DRYING PROCESS OF CERAMIC
PRODUCTS ON EXAMPLE TILE MANUFACTURING PLANT

Keywords: energy, production, economize.

The ceramic industry is a huge consumer of energy, which constitutes 30–40% of the cost of production. Continued increases in energy prices force us to seek savings in their use. One of the roads leading to the reduction in gas and electricity consumption is to modernize the existing system in such a way as to be able to rationally manage the heat produced in the manufacture of emerging ceramic products. The article presents the process of modernization of drying chamber for drying clay roof tiles and accessories. Its purpose was to improve the efficiency of the drying process using hot air recovered from the tunnel kiln for firing products. Through the use of „free” heat from another process, obtained financial benefits from reduced consumption of natural gas and electricity in the amount of 180 thousand PLN.