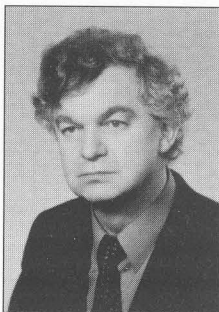


Marek KUNA-BRONIOWSKI
AKADEMIA ROLNICZA W LUBLINIE

Pomiar przestrzennego rozkładu temperatur w piecach tunelowych

Dr hab. inż. Marek KUNA-BRONIOWSKI

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej. Kierownik Zakładu Elektrotechniki i Systemów Pomiarowych Akademii Rolniczej w Lublinie. Stopnie naukowe uzyskuje w latach: doktora nauk technicznych w 1980 i doktora habilitowanego w 1999. Autor kilkudziesięciu prac naukowych i sześciu patentów. Od kilkunastu lat specjalizuje się w opracowywaniu aparatury i systemów pomiarowych.



Streszczenie

W artykule przedstawiono sposób pomiaru przestrzennego rozkładu temperatur celem uzyskiwania optymalnego ich rozkładu w całej objętości materiału wypalanego. Do tego celu zastosowano wielopunktowy pomiar temperatury w wypalonym stosie materiałów i jednokanałowy przesył multiplexowanych sygnałów pomiarowych do komputera. Analiza komputerowa sygnałów umożliwia natychmiastową korekcję regulacji i uzyskanie pożądanego rozkładu temperatur.

Abstract

The paper presents the method to measure the spatial distribution of the temperatures in the tunnel kiln to obtain their optimal allocation in the whole volume of the firing ceramic material. This task is realized using the multipoint measurements of the temperatures and one-channel radio transmission multiplexed signals to the computer. Computer's analysis of the signals give the possibility immediately correction of the kiln adjustment and obtain the optimal kiln regulation.

1. Wstęp

Obecnie do wypału ceramicznych materiałów budowlanych używane są przede wszystkim piece tunelowe. Ich zalety to: duża wydajność, wysoka sprawność energetyczna, łatwość automatyzacji procesu produkcyjnego i niskie koszty nadzoru w przeliczeniu na jednostkę produkcji. Postęp techniczny ostatnich lat nie ominął również przemysłu ceramicznych materiałów budowlanych, gdyż wymagania odbiorców wymuszają opracowanie nowych, lepszych, a jednocześnie tańszych materiałów, które mogą być stosowane w nowoczesnych energooszczędnych technologiach budownictwa.

Podstawowe trendy w doskonaleniu ceramicznych materiałów budowlanych to [1]:

- zwiększanie porowatości materiału w celu podwyższenia jego oporu cieplnego, co uzyskuje się przez dodawanie rozdrobnionych substancji palnych do surowca takich jak styropian, trociny itp. W czasie wypału elementy palne ulegają spaleni, pozostawiając po sobie mikroskopijne pory, które zwiększają oporność cieplną produktu wyjściowego,
- zmniejszanie nakładów energetycznych ponoszonych na wypał poprzez stosowanie jako domieszek do surowca ceramicznego, materiałów zawierających niski procent węgla kamiennego lub brunatnego, pozwala to jednocześnie uzyskać dobrą porowatość materiału,
- produkcja wyrobów o skomplikowanych kształtach zewnętrznych, zawierających tzw. wpusty i pióra, przy zachowaniu bardzo ostrych kryteriów wymiarowych i tolerancji geometrycznych. Dzięki temu można budować konstrukcje bez zaprawy murarskiej, a sam materiał gwarantuje zachowanie doskonałej geometrii ściany.

2. Trudności związane z wypalaniem nowoczesnych materiałów ceramicznych

Uzyskanie materiałów wysokiej jakości o wymienionych wyżej właściwościach stawia nowe, znacznie zwiększone wymagania przed procesami termicznymi przebiegającymi w piecu tunelowym. Podstawowe parametry decydujące o jakości wypału materiałów ceramicznych są następujące: temperatura panująca w określonych strefach pieca, czas poddawania surowca określonej temperaturze oraz szybkość zmian temperatury. Przy tradycyjnych materiałach i technologiach, stosunkowo łatwo jest kontrolować przebieg procesu mierząc temperaturę gazów wzdłuż pieca i odpowiednio reagować na odstępstwa od zadanych parametrów poprzez regulację mocy palników. W przypadku stosowania dodatków palnych w surowcu sytuacja w piecu ulega radykalnej zmianie. Materiał wypalany przestaje być elementem „biernym”, którego temperatura zależy wyłącznie od mocy cieplnej dostarczanej przez palniki, lecz uaktywnia się w momencie zapalenia się części palnych surowca. Ponieważ zapłon surowca rozpoczyna się od określonego punktu w stosie, w tym właśnie miejscu temperatura wzrasta najbardziej. W konsekwencji prowadzi to do tego, że pomiędzy poszczególnymi częściami stosu panują różne temperatury. Różnice te mogą osiągać duże wartości przekraczające 400°C.

Zjawisko to jest wysoce szkodliwe z wielu względów. Przede wszystkim powoduje powstawanie dużych naprężeń mechanicznych w materiale, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia jakości lub zniszczenia wyrobów. Poddawanie poszczególnych partii materiałów ceramicznych różnicowanym temperaturom podczas pobytu w piecu, prowadzi ponadto do zmian wymiarów geometrycznych poszczególnych produktów, powstałych w wyniku wypału, który jest funkcją temperatury jakiej materiał był poddawany w piecu.

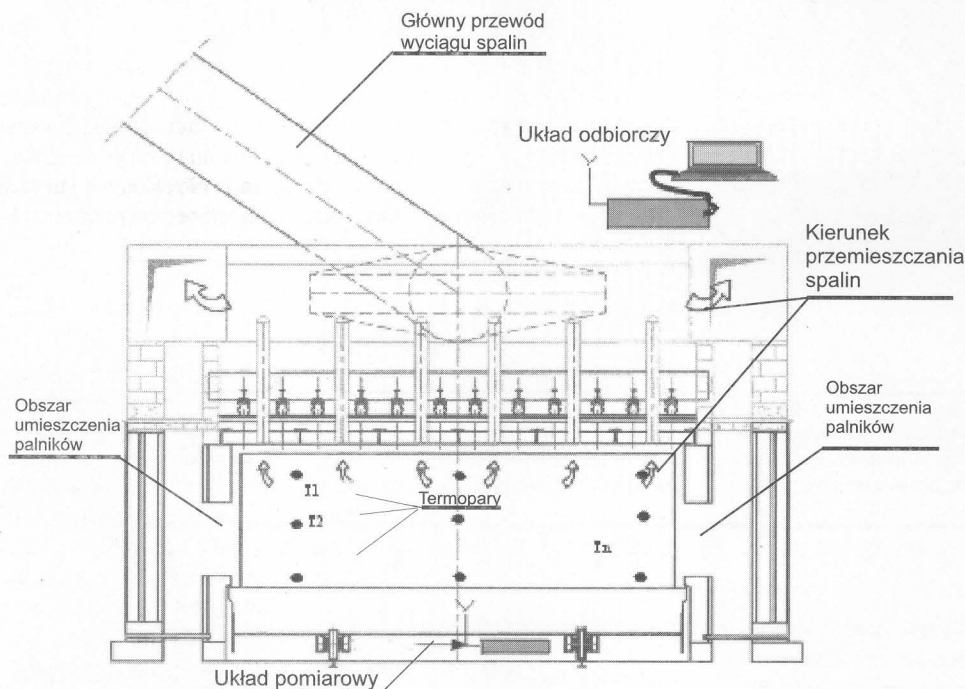
Ponadto, obecność dodatków palnych wymusza zachowanie określonej szybkości zmian temperatur, aby umożliwić ich utlenienie przed zeszkleniem niskotopliwych frakcji surowca. Niezachowanie tego warunku grozi odcięciem dopływu tlenu do związków palnych i pozostawieniem ich w stanie nie spalonym w wyrobie gotowym.

Stosując tradycyjne metody pomiarowe praktycznie nie sposób opanować tych zjawisk, stąd też uzyskiwanie prawidłowego rozkładu temperatur jest dokonywane metodami prób i błędów. Jednak jakkolwiek zmiana parametrów wejściowych powoduje zaburzenie istniejącego układu i jego wielotygodniowe nieraz odtwarzanie. Należy pamiętać, że cykl wypału w piecu tunelowym trwa od 3 do 7 dni, na efekt podjętych decyzji regulacyjnych trzeba oczekiwać około tygodnia, do tego dochodzi kilkunastu dniowy czas pobytu wyrobów w suszarni, a zatem dochodzenie do oczekiwanych efektów trwa, przy takim sposobie regulacji, całe miesiące.

3. Sposób pomiaru rozkładu temperatur

Rozwiązaniem tego problemu jest metoda przestrzennego pomiaru temperatury, opracowana przez autora, umożliwiająca pomiar i analizę temperatury jednocześnie w wielu punktach wypalanego stosu. W metodzie tej, sondy pomiarowe umieszczone są w przekroju poprzecznym wypalanego stosu cegły, umieszczonym na wózku piecowym. Uzyskuje się w ten sposób poprzeczny rozkład wartości temperatur w wybranych punktach wypalanego stosu. Poprzeczny przekrój pieca wraz z przykładowym schematem rozmieszczenia 9 sond

pomiarowych przedstawiono na rys. 1. Jednocześnie pod wozem umieszczono układ pomiarowy wraz z nadajnikiem radiowym przesyłającym multipleksowany sygnał pomiarowy. W czasie wypału wóz przesuwa się wzdłuż pieca uzyskując rozkład temperatur w przekroju podłużnym pieca. Sygnał pomiarowy odbierany jest przez układ pomiarowo-odbiorczy połączony z komputerem. Złożenie tych sygnałów pomiarowych umożliwia uzyskanie przestrzennego rozkładu temperatur w piecu.



Rys. 1. Przekrój pieca tunelowego oraz rozmieszczenie sond pomiarowych

Ponieważ pomiar i analiza przestrzennego rozkładu temperatur odbywa się „on line”, w czasie rzeczywistym, można bezpośrednio na ekranie komputera obserwować efekty regulacji pracy pieca i dobierać je tak, aby uzyskać pożądany rozkład temperatur zarówno w przekroju poprzecznym jak i podłużnym pieca.

Pożądany rozkład temperatur można uzyskać oddziałując na elementy regulacyjne pieca. W piecach nowej generacji umożliwiającymi wypalanie surowców ceramicznych z dodatkami palnymi, które zapalają się w trakcie wypału, regulacja jest procesem skomplikowanym i polega na oddziaływaniu na wiele obiektów regulacyjnych. Kontrola parametrów wypału odbywa się w sposób automatyczny, za pomocą regulatorów typu PID, których nastawy muszą być precyzyjnie dobrane, w czym duże ułatwienie stanowi znajomość przestrzennego rozkładu temperatur w stosie wypalanego materiału. Najważniejszym obiektem regulacji są palniki gazowe, które mogą być umieszczone zarówno w bocznych ścianach pieca jak i w stropie i które w sposób decydujący determinują temperaturę w strefie, w której są umieszczone. Drugim ważnym obiektem regulacji są wentylatory, zarówno wyciągowe spalin jak i nadmuchowe, włączające powietrze do spalania oraz chłodzące surowiec w początkowej fazie zapłonu tak, aby móc kontrolować przebieg krzywej wypału.

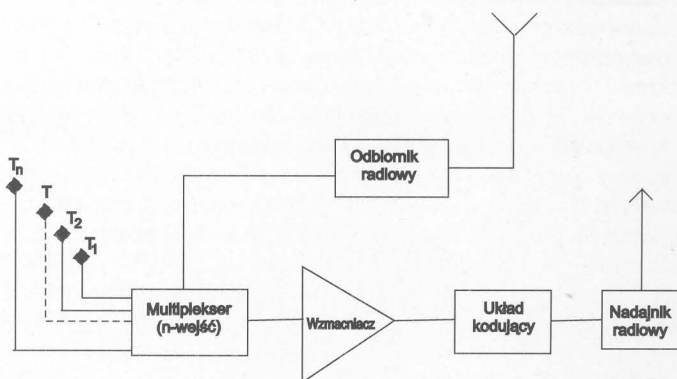
Kolejnym czynnikiem wpływającym na przebieg procesów termicznych, jest szybkość przemieszczania się surowca w piecu, ponieważ warunkuje ona zarówno dodatkową moc grzejącą pieca uzyskiwaną ze spalania palnych części surowca jak i prawidłowy przebieg ich odgazowania i wytworzenia w trakcie tego procesu porów polepszających własności termoizolacyjne produktu. Ponadto mamy do czynienia z całą grupą obiektów regulacyjnych, jak wentylatory recyrkulacji spalin, układy regulacji ciśnienia w piecu, system szybkiego chłodzenia wyrobu i odzysku ciepła, system chłodzenia dolnej części wozów piecowych itp. Na rys. 1. przedstawiono tylko niektóre

z obiektów regulacji (główny przewód wyciągu spalin, obszar umieszczenia palników). Pomiedzy wszystkimi wymienionymi czynnikami zachodzą wzajemne oddziaływania, które wpływają na końcowy efekt procesu, należy jednocześnie dodać, że tolerancje temperatur wypału dla nowoczesnych materiałów ceramicznych są bardzo wąskie i zawierają się często w przedziale 5 do 10°C, przy temperaturach wypału przekraczających 1000°C. Bardzo łatwo w takich warunkach, o lokalne przegrzanie lub niedopalenie produktu, skutkujące utratą jakości całych partii wyrobów.

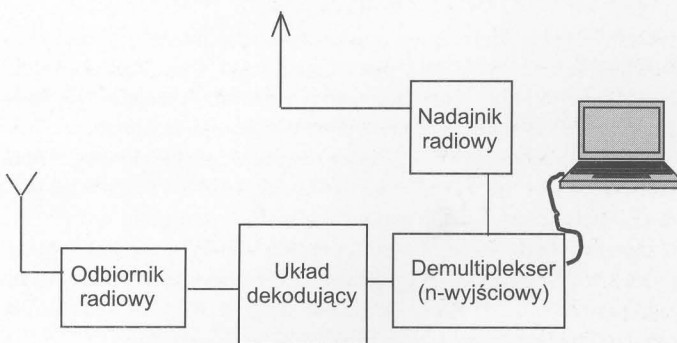
Aby umożliwić wielopunktowy i przestrzenny pomiar temperatur drogą radiową, konieczne jest multipleksowanie sygnałów pomiarowych i ich demultipleksowanie przy wejściu do karty pomiarowej komputera. Wzmocnione sygnały temperaturowe są kodowane po wzmocnieniu we wzmacniaczu pomiarowym a następnie drogą radiową przesyłane do układu pomiarowo-odbiorczego znajdującego się w sterowni. Schemat układu pomiarowo-nadawczego przedstawiony jest na rys. 2.

Odebrany sygnał radiowy zostaje zdekodowany, następnie demultipleksowany i przesłany do komputera jak to pokazano na rys. 3.

Rozpoczęcie każdego cyklu pomiarowego jest związane ze sprawdzeniem prawidłowej synchronizacji pomiarów, a całość procesu pomiarowego i synchronizacji jest sterowana komputerem. System pomiarowy jest wyposażony również w drugi kanał radiowy, służący do prawidłowej synchronizacji przełączania punktów pomiarowych.

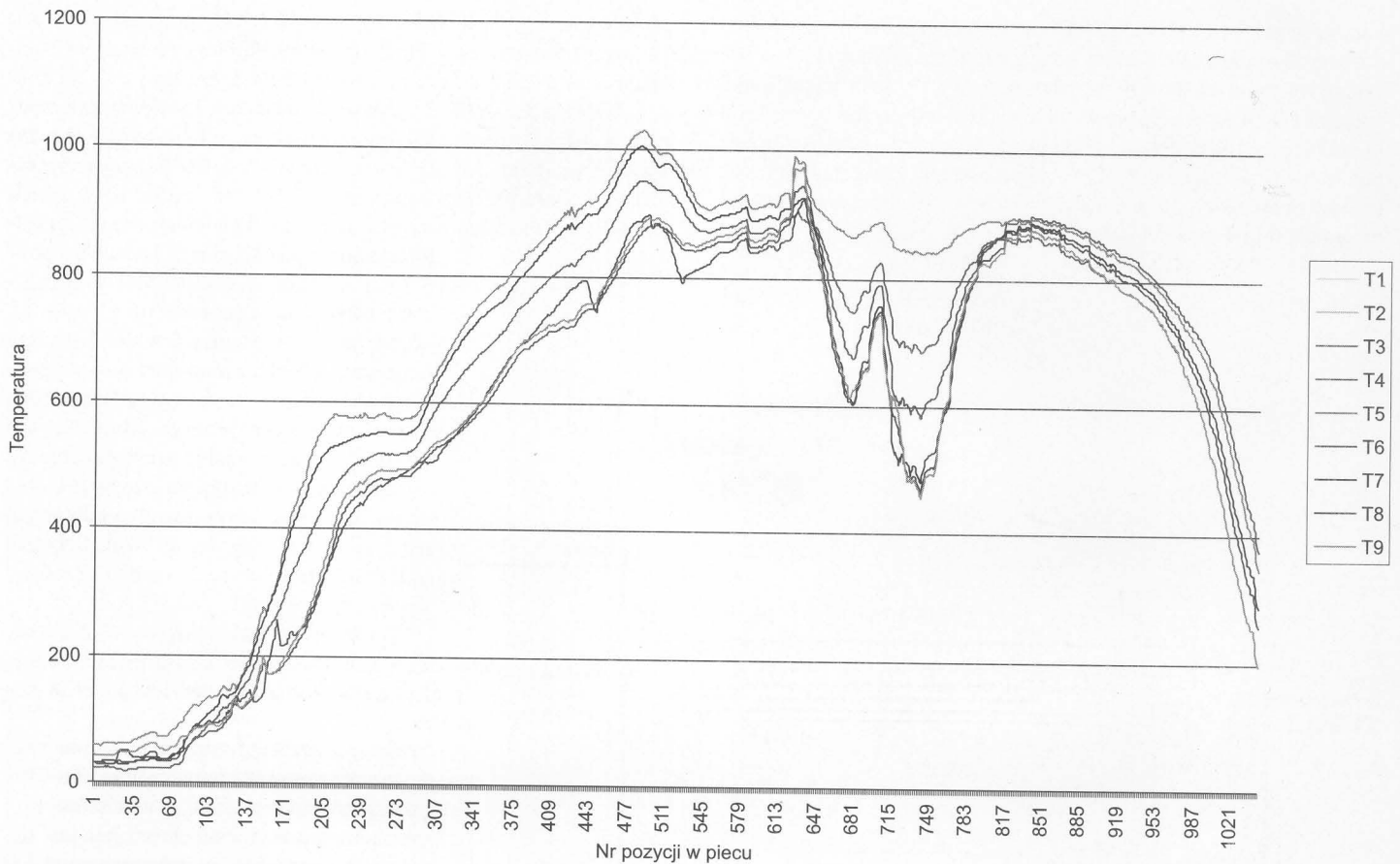


Rys. 2. Schemat układu pomiarowego-nadawczego umieszczonego na wózku



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego-odbiorczego umieszczonego w sterowni

Zasadniczą korzyścią, jaka daje stosowanie komputera w przedstawionym układzie, jest możliwość obserwacji i analizy temperatur w wielu punktach stosu, obserwacja wnikania ciepła do wewnątrz



Rys. 4. Przykład zarejestrowanego przestrzennego rozkładu temperatur

stosu oraz przenikanie ciepła i jego rozkładu w poszczególnych produktach. Rejestracja i opracowanie wyników pomiarów realizowane jest w komputerze za pomocą oprogramowania firmy National Instruments, pozwalającego tworzyć tzw. „Instrumenty wirtualne”. To środowisko programowe pozwala na poddanie danych pomiarowych wszechstronnej analizie statystycznej przed wyświetleniem ich na ekranie w postaci cyfrowej lub graficznej [2]. Praktyka pomiarowa wykazała, że dokonywanie regulacji „on line” nie wykorzystuje w pełni zalet, jakie daje opisany system przestrzennego pomiaru temperatury. Zapis danych z całego pieca i dokonanie ich analizy, pozwala na zaprojektowanie przestrzennego rozkładu temperatur w całej przestrzeni pieca i następnie osiąganie go metodą regulacji w czasie rzeczywistym. Umożliwia to w konsekwencji, nie tylko podniesienie jakości wyrobów, ale równoczesne zwiększenie wydajności pieca dzięki temu, że można zoptymalizować czas i przebieg przemian ceramicznych w poszczególnych fazach procesu wypalania.

4. Rezultaty i wnioski końcowe

Opisany system pomiarowy został zastosowany do optymalizacji rozkładu temperatur i pracy pieca tunelowego w zakładzie ceramiki budowlanej. Zakład ten, zbudowany w oparciu o technologię francuską, wykorzystuje do produkcji łupki węglowe zawierające około 8% węgla, pochodzące z pobliskiej kopalni węgla kamiennego. Podstawowym wyrobem jest elewacyjna cegła klinkierowa, a więc produkt o najwyższych wymaganiach jakościowych, jakie spotyka się w ceramice budowlanej. Celem optymalizacji było uzyskanie pracy pieca zwiększającej udział wyrobów najwyższej jakości, oraz analiza jego pracy, mająca na celu określenie wpływu różnych parametrów regulacji na jakość wyrobów.

Pierwsze próby systemu pomiarowego miały miejsce wiosną 2000 i miały za zadanie kalibrację systemu pomiarowego oraz uzyskanie prawidłowej pracy w warunkach wysokiej temperatury otoczenia dochodzącej do 160°C. Po dokonaniu niezbędnych modyfikacji, jesienią roku 2000, rozpoczęto pomiary i regulację pieca. Już pierwsze pomiary uwiaryściły nierównomierność zapłonu stosu, będącą źród-

łem rozrzutu jakości wyrobów. W wyniku pierwszej serii pomiarów z końca roku 2000 i zastosowaniu wyników do regulacji pieca uzyskano wydatne zwiększenie udziału produktów najwyższej jakości, zmniejszając równocześnie ilość wyrobów pozaklasowych i uszkodzonych.

Na rys. 4. przedstawiono przykład wykresu rejestracji przestrzennego rozkładu temperatur pieca tunelowego. Wykres ten przedstawia rozkład temperatur, uzyskany po pierwszym etapie regulacji, gdzie dokonano wyrównania temperatur w osi poziomej pieca. Ta regulacja została dokonana poprzez ręczną, wstępną nastawę mocy palników bocznych tak, aby prawa i lewa strona pieca miały taką samą temperaturę. Stąd też nastąpiło nałożenie się wykresów temperatur pochodzących od sond pomiarowych lewej i prawej strony stosu. Dalsze utrzymanie takiego rozkładu temperatur, odbywało się już automatycznie za pomocą regulatorów PID, sterujących mocą palników gazowych. Uzyskanie takiego wyrównania temperatur w oparciu o tradycyjny pomiar, za pomocą termopar umieszczonych w środkowej części stropu pieca, byłoby bardzo trudne i oparte o wielokrotną metodę prób i błędów, pozwalającą na stopniowe dochodzenie do pożądanego ujednoczenia temperatury.

Obecnie prowadzone są dalsze pomiary mające na celu pogłębioną analizę pracy pieca, umożliwiającą zwiększenie wydajności, przy zachowaniu wysokiego udziału wyrobów pierwszej klasy w całości produkcji.

Literatura

1. B. Pieńkowski „Poroton - przyszłość materiałów budowlanych”, Ceramika budowlana, Nr 2/1996 s. 9-14.
2. „The Measurement and Automatisation”, National Instruments, Austin TX, 2000

Title: Measurement of the spatial distribution of the temperatures in the tunnel kiln