

- anhydrytowych podkładów podłogowych,
- gipsów odlewniczych,
- kompozycji materiałowych do elementów prefabrykowanych.

Wszystkie wyniki badań modelowych są następnie sprawdzane w skali półtechnicznej, a doświadczenie fachowe pracowników Zakładu daje gwarancję ich wprowadzenia do praktyki przemysłowej. Takie zakończenie badań należy zresztą do dobrej tradycji Zakładu Gipsu.

Równocześnie Zakład Gipsu świadczy usługi w następującym zakresie:

- a) badań aplikacyjnych wyrobów gipsowych,
- b) doradztwa technologicznego i aplikacyjnego,
- c) doradztwa i ekspertyzy w zakresie uszkodzeń wyrobów i tworzyw gipsowych oraz wykonanych z nich tynków,
- d) badań trwałości wyrobów i tworzyw gipsowych w różnych warunkach ich użyteczności,
- e) badań porównawczych właściwości wyrobów i tworzyw gipsowych,
- f) zagospodarowywania odpadów z udziałem gipsu i spoiw gipsowych,

Doc. dr inż. Jerzy Duda

Institut Mineralnych Materiałów Budowlanych w Opolu

g) badań aprobowanych.

h) badań kontrolnych spoiw i wyrobów gipsowych.

Zespół posiada duże doświadczenie w zakresie szkolenia pracowników kontroli jakości i wykonawców prac gipsowych i jesteśmy przygotowani do organizowania takich zajęć, które obejmują nie tylko wykłady teoretyczne, lecz także zajęcia praktyczne.

3. Oferta handlowa Zakładu

Niezależnie od prowadzonych prac naukowo-badawczych oraz realizacji zleceń z przemysłu w Zakładzie Gipsu prowadzona jest w skali półprzemysłowej działalność produkcyjna w ramach produkcji doświadczalnej IMMB Oddział Kraków. W oparciu o prace własne oraz uzyskane patenty w Zakładzie Gipsu wytwarzane są preparaty do gruntowania podłoża mineralnych: Beton-Grunt 1 i Beton-Grunt 2 (rysunek 7) oraz materiały pomocnicze niezbędne do wytwarzania sztukaterii gipsowej i odlewów gipsowych: Grunt-Gips oraz Roztwór RH. Materiały do gruntowania podłoża uzyskały pozytywną opinię PZH i produkowane są w oparciu o Aprobate Techniczną ITB nr AT-15-4277/2000 „Beton-Grunt 1 i Beton-Grunt 2 do gruntowania podłoża mineralnych”.

Ciepło odpadowe z cementowego pieca obrotowego źródłem energii odnawialnej

1. Wprowadzenie

Światowy rozwój gospodarczy i postęp cywilizacyjny spowodował znaczny wzrost zużycia nieodnawialnych zasobów surowców i paliw kopalnych. Utrzymywanie istniejącego tempa wydobycia surowców nieodnawialnych może spowodować ich wyczerpanie jeszcze w obecnym stuleciu. Wtórny skutkiem ekstensywnej eksploatacji zasobów nieodnawialnych jest wzrost ilości odpadów produkcyjnych i komunalnych, degradacja lasów i zasobów wodnych oraz zagrożenie wystąpieniem efektu cieplarnianego.

W związku z tym istnieje pilna potrzeba zmiany dotychczasowej polityki dotyczącej wykorzystania surowców i paliw nieodnawialnych. Na „Szczycie Ziemi” w Rio de Janeiro została przyjęta idea zrównoważonego rozwoju, której jedną z podstawowych tez jest efektywne użytkowanie i oszczędzanie energii oraz wykorzystanie alternatywnych paliw i odnawialnych źródeł energii.

Również strategia rozwoju źródeł energii, sformułowana w Białej Księdze Komisji UE zakłada rozwój odnawialnych źródeł energii. Przyjęto, że w roku 2010 udział odnawialnych źródeł energii (OZE)

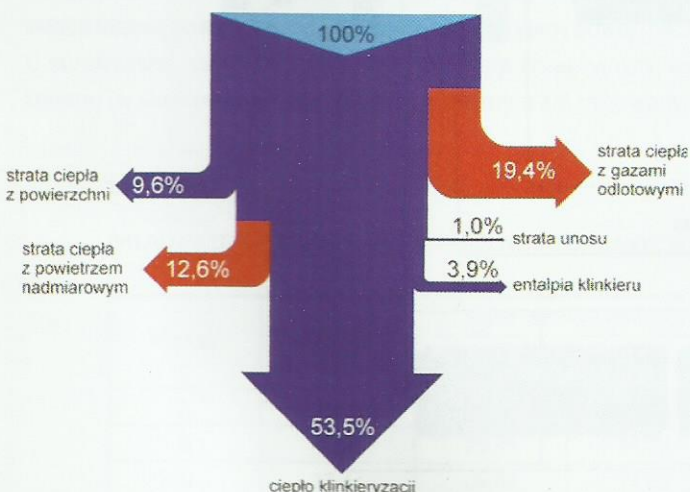
w zaspokojeniu potrzeb UE będzie wynosił 12% zapotrzebowania na energię pierwotną, natomiast Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2001/77/WE zwiększa docelowo ten udział do 22%. Polska przystępując do Unii Europejskiej zobowiązała się do systematycznego zwiększania pozyskiwania i wykorzystania odnawialnych zasobów energii. Zgodnie z rządową „Strategią rozwoju energetyki odnawialnej” z roku 2001, udział OZE w roku 2010 powinien wynosić 7,5%, a w roku 2020 przekraczać 14% krajowej produkcji energii elektrycznej (obecnie poziom ten wynosi około 4%). W Polsce możliwości pozyskiwania energii odnawialnej tradycyjnymi sposobami (elektrownie wiatrowe, geotermiczne oraz kolektory słoneczne), ze względu na dostępność źródeł geotermicznych oraz warunki klimatyczne, są ograniczone. Praktycznie jako główne źródło energii odnawialnej pozostaje tylko biomasa. W związku z tym uzyskanie w 2010 roku poziomu 7,5% udziału energii ze źródeł odnawialnych jest trudno osiągalne. Szansą na zwiększenie udziału OZE są technologie wykorzystujące ciepło odpadowe z procesów produkcyjnych. Wykorzystanie ciepła odpadowego do produkcji energii elektrycznej jest zgodne z tendencjami światowymi, polegającymi na rozwoju małych źródeł produkcji energii w skojarzeniu z innym procesem cieplnym. Jednym z kierunków rozwoju małych źródeł energii jest wykorzystanie ciepła odpadowego z procesu produkcji klinkieru cementowego. Skojarzenie procesu wypalania klinkieru z wytwarzaniem energii elektrycznej można porównać z kogeneracją w energetyce zawodowej, polegającą na wspólnej produkcji ciepła i energii.

2. Źródła ciepła odpadowego z pieca obrotowego i sposoby jego wykorzystania

Znaczący wpływ na wielkość zużycia energii w procesie wypalania klinkieru w piecu obrotowym mają straty ciepła.

Główne straty ciepła w procesie wypalania klinkieru są następujące:

- z gazami odlotowymi,
- z powietrzem nadmiarowym z chłodnika rusztowego klinkieru,
- promieniowanie i konwekcja z gorących powierzchni pieca i chłodnika.



Rys. 1. Bilans cieplny pieca z układem wstępnej dekarbonizacji

Jak wynika z przedstawionego na rysunku 1 wykresu Sanke'ya przedstawiającego bilans cieplny nowoczesnego pieca, straty te wynoszą ponad 30% całkowitej ilości ciepła dostarczanego do procesu.

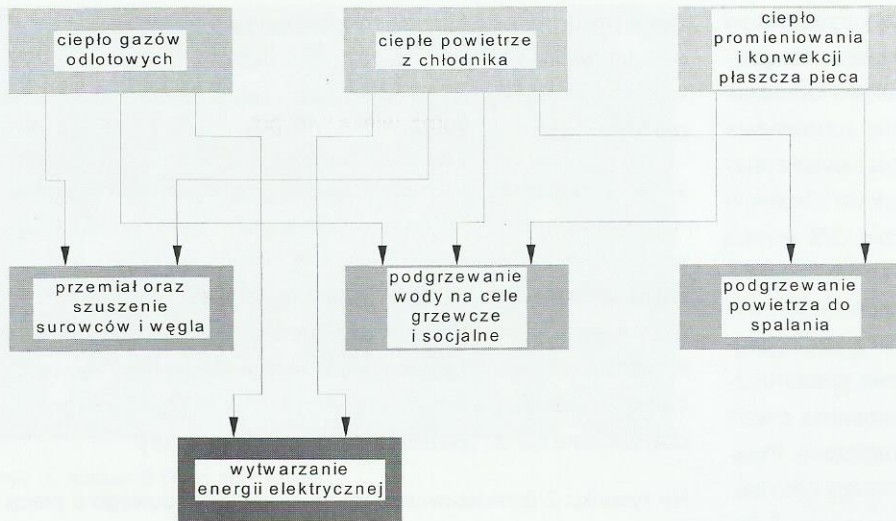
W celu zwiększenia sprawności cieplnej procesu wypalania klinkieru prowadzone są prace nad wykorzystaniem ciepła odpadowego w przemyśle cementowym. Efektywną metodą jego zagospodarowania, powszechnie stosowaną, jest wykorzystanie go do suszenia surowca, żużla i węgla. Często jednak, ze względu na małą wilgotność surowców, jest to sposób niewystarczający. W związku z tym prowadzi się badania wykorzystania tego ciepła na cele grzewcze, socjalne lub do produkcji energii elektrycznej (1).

Na rysunku 2 przedstawiono źródła ciepła odpadowego z pieca obrotowego i możliwe sposoby jego wykorzystania. Najczęściej utylizacja ciepła w cementowniach sprowadza się do wytwarzania gorącej wody lub pary na cele grzewcze, socjalne lub technologiczne. Przy wyborze sposobu wykorzystania energii odpadowej należy w pierwszej kolejności zapewnić ciepło do suszenia surowców. W związku z tym, w zależności od wilgotności surowców i rodzaju wymiennika, można zastosować różne warianty zagospodarowania ciepła odpadowego.

Wysoka temperatura płaszczka pieca w strefie spiekania (około 300°C), skłaniała zawsze do poszukiwania metod jego wykorzystania. Ze względu na ruch obrotowy pieca oraz fakt, że zasadniczą część tej straty stanowi promieniowanie powierzchni pieca, najprostszym sposobem utylizacji tego ciepła jest wykorzystanie go w kolektorze (na przykład kolektorze słonecznym) do podgrzewania wody na cele socjalne w zakładzie. Schematycznie sposób takiego wykorzystania ciepła płaszczka pieca przedstawiono na rysunku 3.

Stosunkowo mała ilość ciepła (około 1 MW), którą można odzyskać z powierzchni płaszczka pieca oraz niska sprawność takiego rozwiązania powodują, że nie znalazło ono większego zastosowania. Znacznie większe efekty można uzyskać wykorzystując ciepło gazów odlotowych z procesu. Najczęściej wykorzystuje się ciepło powietrza nadmiarowego z chłodników klinkieru. Wynika to z niskich kosztów instalacji kotła do odzysku ciepła oraz faktu, że powietrze z chłodników stanowi czynnik nieagresywny chemicznie, o stosunkowo małym zapyleniu. Na rysunku 4 przedstawiono jeden z najczęściej stosowanych sposobów wykorzystania w cementowni entalpii powietrza z chłodnika do produkcji ciepłej wody lub pary wodnej na cele grzewcze w cementowni (1). Powietrze nadmiarowe z chłodnika po wstępnym odpyleniu doprowadzane jest do dwóch wymienników ciepła połączonych szeregowo. Pierwszy z nich stanowi instalację podgrzewania mazutu, natomiast drugi jest podgrzewaczem wody (do temperatury 100°C), wykorzystywanej na cele grzewcze w zakładzie i pobliskim osiedlu mieszkaniowym.

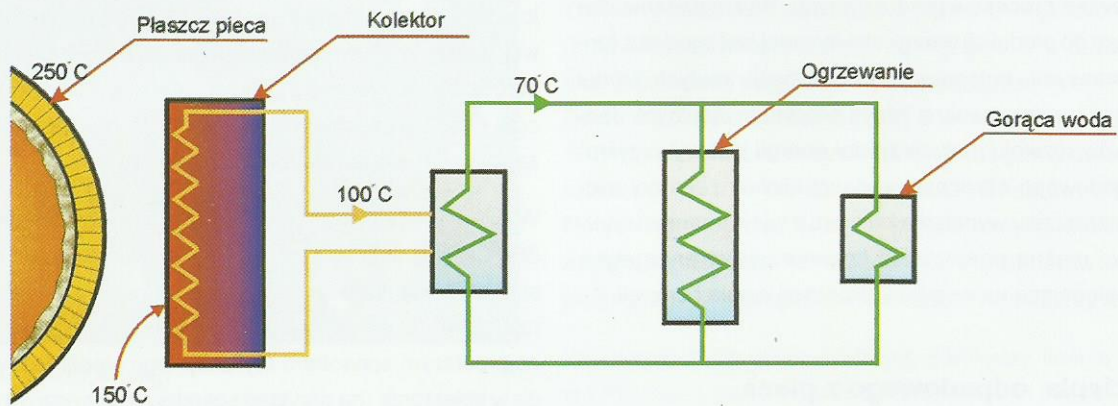
W podobny sposób można wykorzystać ciepło gazów odlotowych z pieca obrotowego na cele grzewcze i socjalne. Ze względu jednak na wysokie koszty takiej instalacji, związane ze specjalną konstrukcją kotła do odzysku ciepła, wynikającą z dużego zapylenia tych gazów oraz miejscem zabudowy kotła, ta metoda wykorzysta-



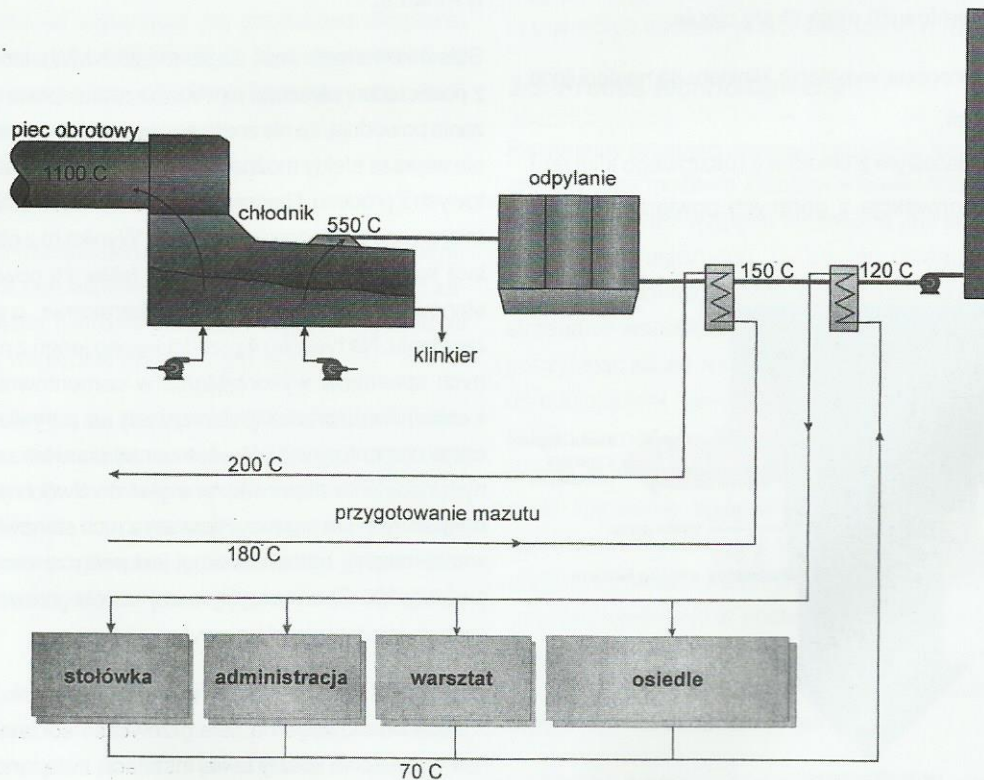
Rys. 2. Źródła ciepła odpadowego z procesu wypalania klinkieru i sposoby jego wykorzystania

nia ciepła nie znalazła większego zastosowania. Przykład zabudowy kotła do odzysku ciepła w układzie pieca obrotowego przedstawiono na rysunku 5 (2). Miejsce odbioru ciepła odpadowego z procesu oraz sposób jego wykorzystania zależą od warunków lokalnych, rodzaju wymiennika oraz wymaganej temperatury.

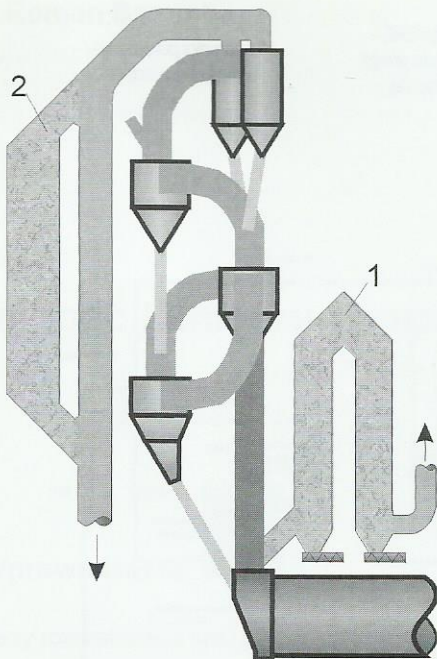
Zagospodarowanie energii odpadowej w znacznym stopniu zależy od wilgotności surowców i konstrukcji wymiennika. Przy małej wilgotności surowców, poniżej 5%, można zabudować kocioł bezpośrednio za wymiennikiem (2), natomiast w młynie wykorzystywać gazy po kotle, które będą miały



Rys. 3. Sposób utylizacji ciepła płaszczu pieca na cele socjalne



Rys. 4. Odzysk ciepła z chłodnika rusztowego w cementowni Wurelingen-Siggenthal



Rys. 5. Miejsce zabudowy kotła do odzysku ciepła w układzie pieca

jeszcze wystarczającą ilość ciepła do wysuszenia surowców.

Innym rozwiązaniem może być częściowe wykorzystanie gazów odlotowych do suszenia w młynie i skierowanie pozostałej części gazów do kotła do odzysku ciepła. W celu uzyskania lepszej sprawności i wydajności kotła można wykorzystać część gazów na wylocie z pieca (1).

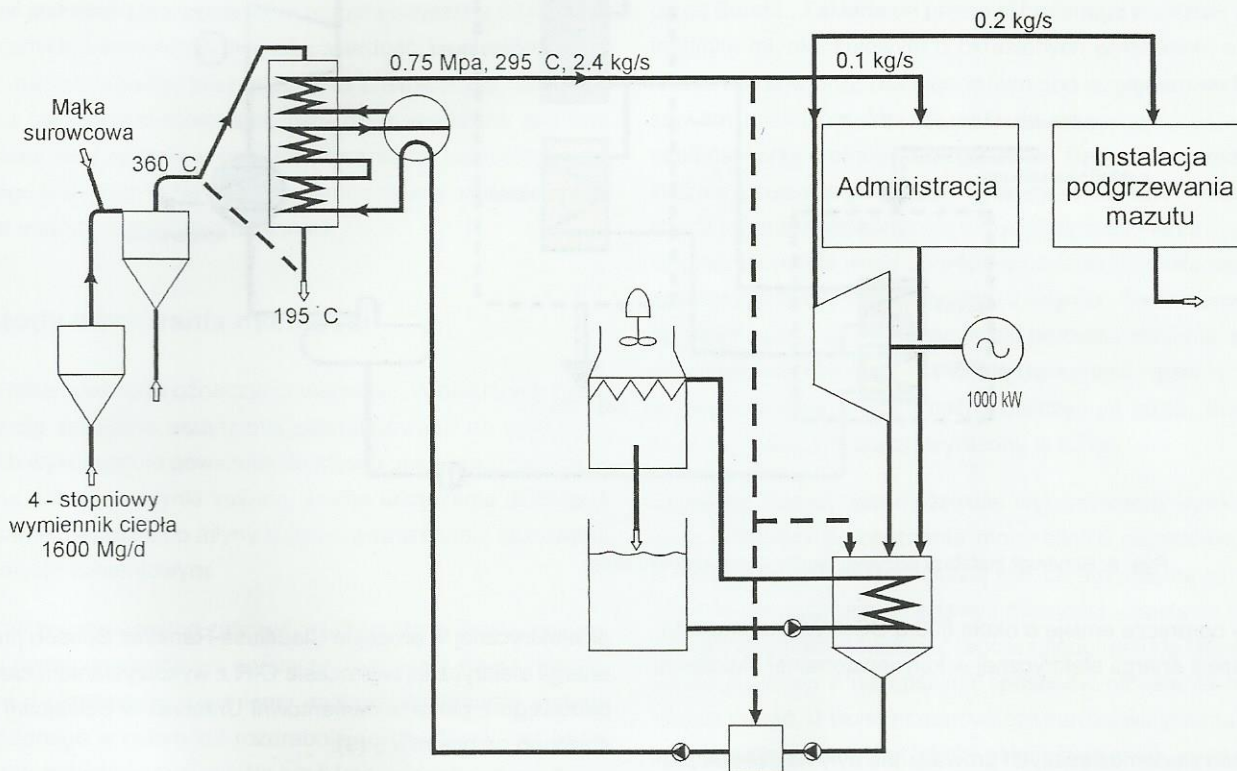
Ze względu na ograniczone możliwości wykorzystania w zakładzie wyprodukowanej ciepłej wody lub pary tylko na cele grzew-

cze i socjalne, poszukuje się innych metod zagospodarowania ciepła odpadowego.

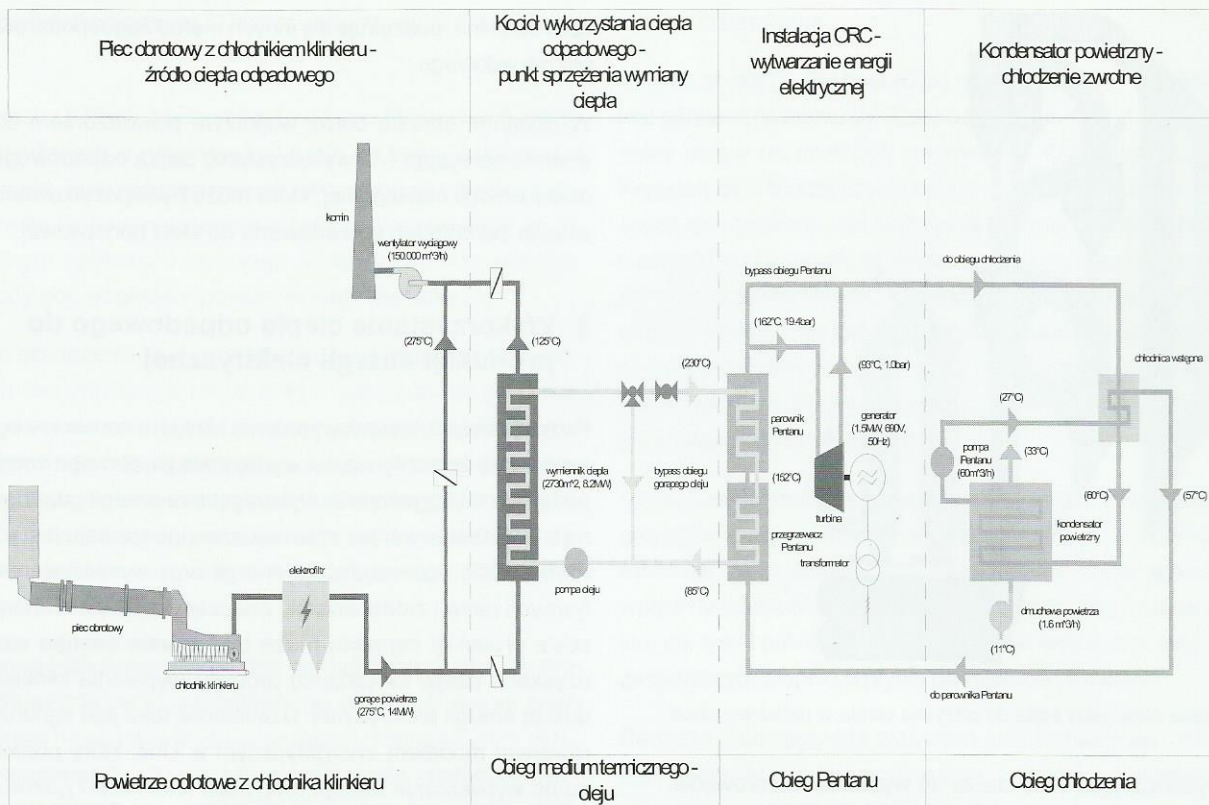
W ostatnim okresie coraz większym powodzeniem cieszy się metoda polegająca na wykorzystaniu ciepła odpadowego do produkcji energii elektrycznej, która może być spożytkowana na cele własne zakładu lub sprzedawana do sieci państwowej.

3. Wykorzystanie ciepła odpadowego do produkcji energii elektrycznej

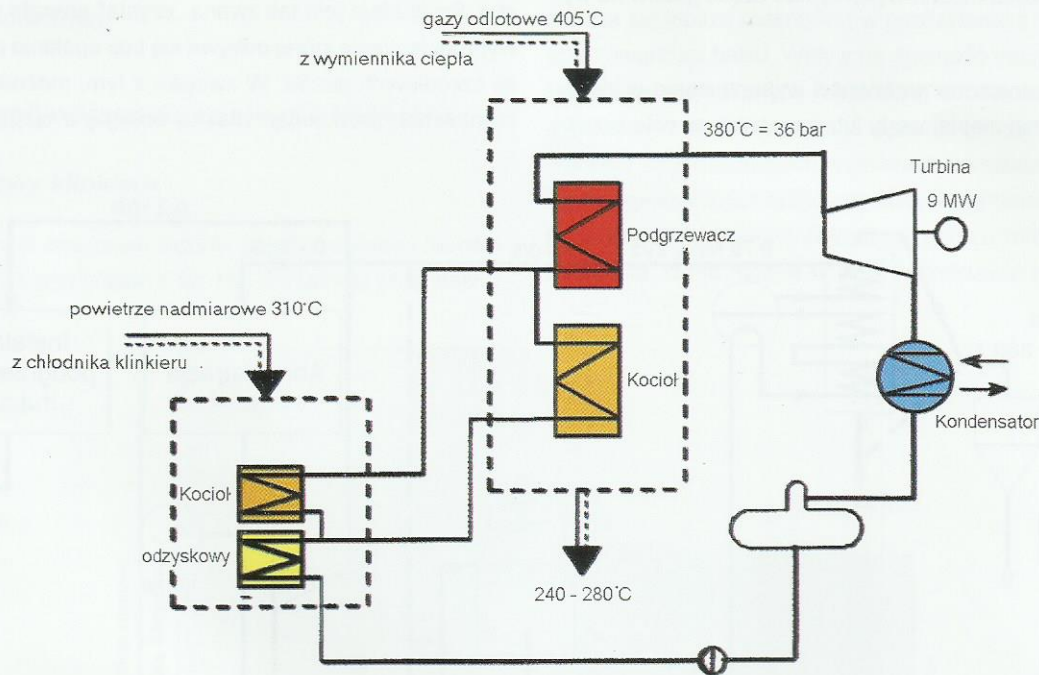
Rozwój nowych technik wypalania klinkieru cementowego i związane z tym znaczny wzrost wydajności pieców spowodował inne podejście do zagadnienia wykorzystania energii odpadowej. Jedną z podstawowych tez zrównoważonego rozwoju jest efektywne użytkowanie i oszczędzanie energii oraz wykorzystanie alternatywnych paliw i źródeł energii. Znaczącym źródłem energii w procesie produkcji cementu może być własna energia elektryczna uzyskana dzięki skojarzeniu procesu wypalania klinkieru z produkcją energii elektrycznej. Działalność taka jest zgodna z preferowanym modelem energetycznym w Unii, który popiera skojarzone wytwarzanie energii oraz małe lokalne przyjazne środowisko źródła energii. Skojarzenie procesu wypalania klinkieru w piecu obrotowym z procesem wytwarzania energii elektrycznej, oprócz poprawy sprawności energetycznej procesu i ograniczenia zużycia paliw naturalnych, ma również korzystny wpływ na środowisko. Produktem jest tak zwana „czysta” energia (Clean Energy), wyprodukowanie której odbywa się bez spalania paliwa oraz emisji szkodliwych gazów. W związku z tym, można przyjąć, że cementownia, produkując własną energię z ciepła odpadowego,



Rys. 6. Metoda odzysku ciepła w cyklu Clausiusa-Rankina



Rys. 7. Schemat instalacji do wytwarzania w procesie ORC energii elektrycznej z ciepła odpadowego z chłodnika



Rys. 8. Schemat instalacji odzysku ciepła w cementowni Slite

pośrednio ogranicza emisję o około 800 g CO₂/kWh, odpowiadającą produkcji energii elektrycznej w konwencjonalnej elektrowni węglowej.

Już w latach siedemdziesiątych prowadzone były na świecie prace dotyczące wykorzystania ciepła odpadowego do produkcji ener-

gii elektrycznej w procesie Claudiusa-Rankina. Sposób produkcji energii elektrycznej w procesie C-R z wykorzystaniem ciepła odpadowego z pieca w cementowni Untervaz w Szwajcarii przedstawiono na rysunku 6 (3).

Ze względu na małą wilgotność surowca w tej cementowni, moż-

na było wykorzystać tylko część ciepła odpadowego po cztero-stopniowym wymienniku ciepła. W związku z tym postanowiono zasadniczą jego część (około 7 MW) wykorzystać w kotle do odzysku ciepła zainstalowanym na wymienniku do produkcji pary wodnej. Wytworzona w kotle para wykorzystywana jest do produkcji energii elektrycznej (około 1 MW) oraz ogrzewania budynków i podgrzewania mazutu. Ze względu na duże koszty takiej instalacji i stosunkowo niską jej sprawność (17,8%), rozwiązanie to nie znalazło większego zastosowania. W związku z tym prowadzone są badania nad innymi technikami, które oprócz wytworzenia energii elektrycznej, zapewnią wymaganą ilość ciepła do suszenia surowca.

Jedną z metod, która ze względu na stosunkowo niską temperaturę gazów odlotowych jest coraz częściej stosowana, jest technologia ORC (Organic Rankine Cycle). W metodzie tej zamiast wody stosuje się ciecze organiczne o niższej temperaturze parowania. Jest ona z powodzeniem stosowana w elektrowniach geotermicznych. Na rysunku 7 przedstawiono schemat instalacji do wytwarzania energii elektrycznej z ciepła odpadowego, z procesu wypalania klinkieru w układzie ORC (4, 5). W procesie tym wykorzystuje się entalpię powietrza nadmiarowego z chłodnika o temperaturze około 270°C do podgrzewania oleju w wymienniku rurowym. Gorący olej o temperaturze 230°C doprowadzany jest następnie do procesu ORC, gdzie w wymienniku przeciwprądowym podgrzewa on do temperatury parowania ciekły pentan. Następnie pary pentanu napędzają dwustopniową turbinę o mocy 1,5 MW. Dzięki takiemu wykorzystaniu ciepła odpadowego uzyskano zmniejszenie jednostkowego zużycia energii elektrycznej o 12%, co odpowiada ograniczeniu emisji CO₂ o około 7000 ton rocznie.

Uruchomione dotychczas instalacje, wykorzystujące ciepło odpadowe do produkcji energii elektrycznej w cementowniach, mają stosunkowo małą moc, która stanowi około 5–10% mocy zainstalowanej w cementowni. Duże koszty takiej instalacji i stosunkowo mała moc powodują, że nie są to rozwiązania atrakcyjne dla cementowni. W związku z tym poszukuje się innych rozwiązań, któ-

re pozwolą produkować więcej własnej energii elektrycznej. Ciekawym rozwiązaniem o znacznie większej mocy pracuje już w Szwecji w cementowni Slite (5), w której zastosowano specjalny układ wymienników wykorzystujących jednocześnie ciepło powietrza nadmiarowego i gazów wylotowych. Aby uzyskać większą moc wytwarzanej energii, zdecydowano się na prowadzenie wypału klinkieru z większymi stratami cieplnymi. W tym celu zwiększono temperaturę gazów odlotowych z 385°C do 405°C oraz temperaturę powietrza nadmiarowego z chłodnika z 275°C do 310°C.

Układ wymienników ciepła zainstalowany na piecu o wydajności 5600 t/24 h w cementowni Slite pokazano na rysunku 8 (6). Całkowita ilość odpadowego ciepła z instalacji piecowej wynosi około 30 MW, z tego około 20 MW stanowi ciepło zawarte w gazach odlotowych z wymiennika, natomiast około 10 MW to ciepło odpadowe z powietrzem nadmiarowym z chłodnika.

Wykorzystanie całej ilości ciepła odpadowego gazów piecowych i powietrza nadmiarowego z chłodnika pozwoliło wyprodukować około 50 GWh energii elektrycznej (o mocy około 9 MW), co stanowi około 20% zapotrzebowania na energię elektryczną w zakładzie.

4. Układ do wytwarzania energii elektrycznej kosztem ciepła gazów odlotowych z pieców

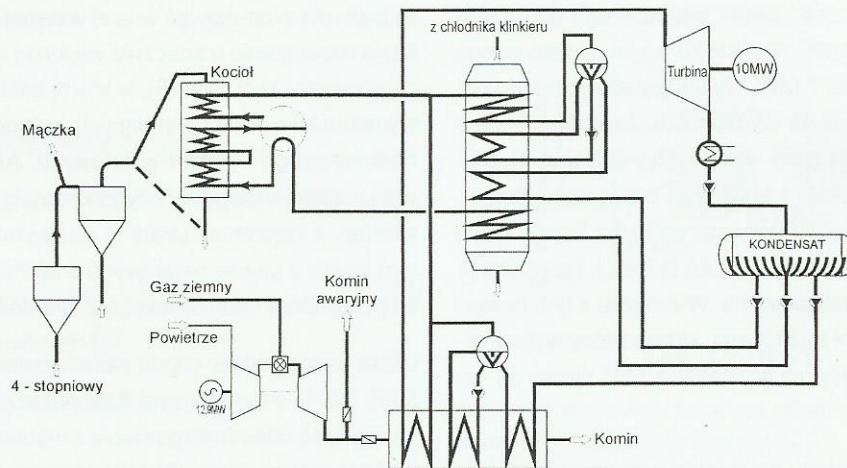
Wykorzystywanie ciepła z pieców do równoczesnego wytwarzania klinkieru i energii elektrycznej nie jest dotychczas spotykane. Prowadzone są prace badawcze nad wykorzystaniem takich układów podobnych do stosowanych w energetyce cieplnej. Układ ten polega na skojarzeniu procesu C-R z turbiną gazową o odpowiedniej mocy. Podobne rozwiązanie jest często stosowane w ciepłowniach zawodowych, w których gazy z turbiny wykorzystuje się w kotle do odzysku ciepła. Na rysunku 9 przedstawiono przykład skojarzenia turbiny gazowej z procesem C-R tak zwanym Kombi-Proces w układzie pieca cementowego (7).

W stosunku do stosowanego w energetyce cieplnej rozwiązania,

Tablica 1

ILOŚCI CIEPŁA ODPADOWEGO Z PIECÓW DO WYPALANIA KLINKIERU

Cementownia	Liczba linii	Temperatura gazów odlotowych	Temperatura powietrza nadmiarowego z chłodnika	Ciepło odpadowe gazów odlotowych $t_{gok} = 190^{\circ}\text{C}$	Ciepło odpadowe powietrza nadmiarowego chłodnika $t_{pnk} = 190^{\circ}\text{C}$	Sumaryczna moc cieplna linii dla $t_{gok} = 190^{\circ}\text{C}$ $t_{pnk} = 190^{\circ}\text{C}$	Potencjalna moc sumaryczna
	n	t_{go} °C	t_{pn} °C	P_{ogn} MW	P_{opn190} MW	ΣP_c MW	P_e MW
Cementownia 1	1	382	350	38,7	28,4	67,1	12,1
Cementownia 2	1	144	350	–	11,6	11,6	2,1
Cementownia 3	3	355	350	24,7	17,4	42,1	7,6
Cementownia 4	1	342	350	27,5	29,6	57,1	10,3



Rys. 9. Schemat układu Kombi-Proces do wytwarzania energii alternatywnej

w metodzie Kombi ciepło odpadowe z turbiny gazowej wykorzystywane jest do wytwarzania energii elektrycznej w procesie C-R. Jest to rozwiązanie składające się z dwóch turbogeneratorów - gazowego i parowego o znacznie większej mocy. Do wytworzenia pary wykorzystuje się ciepło fizyczne gazów odlotowych i powietrza nadmiarowego z chłodnika oraz ciepło odpadowe z turbiny gazowej. Układ taki wykazuje wysoką efektywność i przy zastosowaniu odpowiedniej mocy turbiny gazowej może pokryć pełne zapotrzebowanie na energię elektryczną. Metoda ta umożliwi również wytwarzanie energii elektrycznej w czasie postoju pieca tylko za pomocą turbiny gazowej, co znacznie poprawia efektywność takiej inwestycji.

W tabelicy 1 podano ilości ciepła odpadowego na przykładzie kilku cementowni. Z przedstawionych danych wynika, że piece cementowe są źródłem znacznej ilości energii odpadowej, głównie z powietrza nadmiarowego z chłodników rusztowych.

Wykorzystanie tego ciepła odpadowego pozwoliłoby na poprawę sprawności energetycznej chłodników i tym samym całego procesu wypalania.

Instytut opracował pierwszą modelową instalację wykorzystującą ciepło odpadowe z pieca obrotowego do wytwarzania energii elektrycznej, przy równoczesnym zwiększeniu sprawności procesu. Rozwiązanie to dotyczy długiego pieca obrotowego i pozwala uzyskać łączny wskaźnik zużycia energii zbliżony do wielkości wskaźnika uzyskiwanego w przypadku pieca z wielostopniowym wymiennikiem cyklonowym.

5. Podsumowanie

Ważnym problemem dla przemysłu cementowego, który wymaga rozwiązania jest wykorzystanie ciepła odpadowego z pieców o dużej wydajności. Dla tych pieców istnieje praktycznie jedno rozwiązanie wykorzystania ciepła powietrza nadmiarowego z chłodników do wytwarzania energii elektrycznej. Brak instalacji mazutowych w zakładach oraz duża odległość od osiedli mieszkaniowych

wyklucza praktycznie celowość wykorzystania ciepła na cele grzewcze. W związku z tym uzasadnione jest wytwarzanie energii elektrycznej, którą można wykorzystywać w zakładzie lub przesyłać do sieci państwowej.

W Polsce ważną rolę w podjęciu produkcji własnej energii elektrycznej w cementowni może spełnić Krajowy Program Alokacji Upoważnień do Emisji CO₂, który między innymi promuje energetykę ze źródeł niekonwencjonalnych. Wykorzystanie ciepła odpadowego do produkcji energii elektrycznej można porównać do technologii OZE, które nie naruszają zasobów energetycznych i nie emitują CO₂. W związku z tym każda wyprodukowana w cementowni kWh energii pośrednio zwiększy zyski z uwolnienia dodatkowych uprawnień do emisji dwutlenku węgla. Fakt, że energia wyprodukowana w cementowni może zostać w całości wykorzystana na potrzeby własne, świadczy o opłacalności i celowości związanych z tym zagadnieniem prac badawczych, które są rozwijane w Instytucie.

Literatura

1. J. Duda, Ograniczenie energochłonności i ekologia wyzwaniem dla przemysłu cementowego, Prace Naukowe IMMB nr 31, 2001.
2. E. Steinbiss, Wege zur optimalen Nutzung der Abgaswärme in Zementofenanlagen mit Zyklonvorwärmer, VDZ Kongress 85, Düsseldorf 1985.
3. G. Lang Th., Ziegler, Ausnutzung der Abgase eines Zyklon-vorwärmefens für Heizzwecke und zur Erzeugung von elektrischer Energie, ZKG nr 6 (1980).
4. Energieerzeugung aus Klinkerkühler-Abluftwärme im Zementwerk Lengfurt, ZKG nr 8, s.A 28 (1999).
5. E. Baatz, G. Heidt, Erstes Abwärmekraftwerk nach dem Organic-Rankine-Cycle-Verfahren für die Restnutzung der Klinkerkühlerabluft, ZKG nr 8, 425 (2000).
6. A. Lyberg, Cogeneration, World Cement nr 4, 51 (2002).
7. B. Gericke, O. Hansen, Integrierte Abwärmennutzung in Zementwerken ZKG nr 10, 550 (1999), ZKG nr 5, 270 (2000).