

PROBLEMY LOGISTYCZNE PRZY STOSOWANIU PALIW ALTERNATYWNYCH W PRZEMYSŁE CEMENTOWYM

Anna DUCZKOWSKA-KĄDZIEL, Joanna SITKOWSKA

Streszczenie: Sposób spalania paliw alternatywnych w piecach obrotowych w przemyśle cementowym w Polsce nie jest już nowością. Cementownie dążą do uzyskania jak największego udziału energii z paliw alternatywnych w zamian zmniejszając energię z paliw konwencjonalnych. W artykule została przedstawiona nowa instalacja do podawania paliw alternatywnych, która dzięki jej rozwiązaniom umożliwia ciągłą pracę pieca obrotowego bez konieczności magazynowania paliw.

Słowa kluczowe: logistyka paliw alternatywnych, współspalanie, cementownia, outsourcing

1. Współspalanie paliw alternatywnych w przemyśle cementowym

Komisja Europejska, która w 2003r. przyjęła dokument pt. „Refuse Derived Fuel, current practice and perspectives”, definiujący pojęcie Refuse Derived Fuel (RDF) jako odpady przetworzone w celu spełnienia wymagań przemysłu, głównie w zakresie składu chemicznego i wartości opałowej [1]. Pojęcie RDF zawiera m.in.: wybrane frakcje odpadów komunalnych, odpady przemysłowe i handlowe, osady ściekowe, przemysłowe odpady niebezpieczne i biomasę. Przeznaczenie RDF to: spalanie w spalarniach odpadów komunalnych przystosowanych do współspalania paliwa alternatywnego, spalanie w specjalnych obiektach energetycznych przystosowanych jedynie do spalania paliwa alternatywnego posiadających status spalarni odpadów, współspalanie w przemyśle cementowym będące zastąpieniem części paliwa kopalnego, współspalanie w kotłach energetycznych. Materiały wykorzystywane do produkcji RDF, to przede wszystkim: odpady komunalne, opony, odpadowe rozpuszczalniki i pozostałości po destylacji rozpuszczalników, tworzywa sztuczne, pozostałości z demontażu samochodów, papier i karton, odpady zwierzęce i biomasa, przetworzone oleje, masa włóknista z zakładów papierniczych, osady ściekowe oraz tekstylia. RDF to mieszanka tych składników, ale należy pamiętać, że nie zawsze wszystkich jednocześnie. Mogą one być komponowane w zależności od potrzeb i wymagań odbiorców, a z uwagi na to iż mogą to być wówczas odpady bezpieczne i tzw.: niebezpieczne, to na ich stosowanie należy uzyskać odpowiednie uprawnienia i zgody.

Przemysł Cementowy spełnia ważną rolę na rzecz ochrony środowiska, wykorzystując odpady komunalne, jak również odpady z innych procesów produkcyjnych. Korzyści dla środowiska ze stosowania paliw alternatywnych w procesie produkcji cementu to m.in.

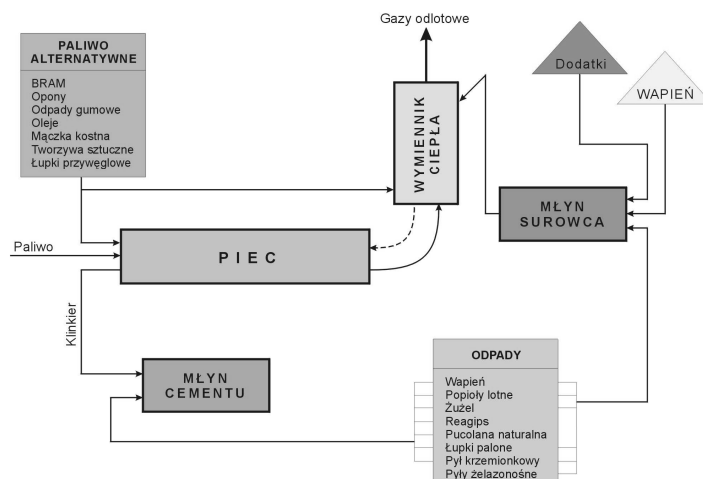
- ograniczenie degradacji terenów rolniczych,
- całkowite wykorzystanie niepalnych części odpadów paliw alternatywnych,
- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych[1].

Paliwa alternatywne z odpadów wykorzystywane w piecu obrotowym (rys.1) muszą, oprócz minimalnej wartości opałowej, spełniać dodatkowo szereg innych wymagań

wynikających z technologii procesu wypalania klinkieru portlandzkiego. Z technologicznego punktu widzenia paliwo alternatywne można scharakteryzować za pomocą:

- składu chemicznego i jego zmienności,
- własności fizycznych,
- wartości opałowej,
- składu chemicznego i własności stałych produktów spalania (popiołu).

W zależności od rodzaju odpadu i jego własności fizycznych oraz składu chemicznego, można przygotować odpowiednie dla danego pieca paliwo alternatywne, które pozwoli uzyskać dodatni efekt ekonomiczny i nie spowoduje zagrożenia dla jakości klinkieru i środowiska. Rysunek 1 przedstawia schemat blokowy cementowni. Zaznaczono na nim możliwe miejsca podania paliw alternatywnych w procesie wypału klinkieru. Pierwszym z nich jest palnik główny pieca (tzw.: „gorący koniec pieca”), drugi to palnik kalcynatora lub komora wlotowa do pieca („zimny koniec pieca”). Rodzaj paliw jaki można podawać w obydwu „końce” pieca jest bardzo różny i nie zawsze musi to być to samo paliwo, a to determinuje dobór linii transportu i dozowania.



Rys.1. Schemat blokowy cementowni z uwzględnieniem materiałów odpadowych pochodzących z linii technologicznych innych przemysłów.

Technologia wypału klinkieru ma dużą bezwładność cieplną, która gwarantuje bezpieczeństwo spalania nawet odpadów niebezpiecznych eliminując z emitowanych gazów szkodliwe substancje. Wypalony klinkier w swojej strukturze wiąże pozostałe po spalaniu popioły powodując, że proces jest bezodpadowy. Ponadto w procesie stosuje się urządzenia odpylające o wysokiej skuteczności co pozwala zachować emisje pyłowe na poziomach ustalonych przez Unię Europejską [1].

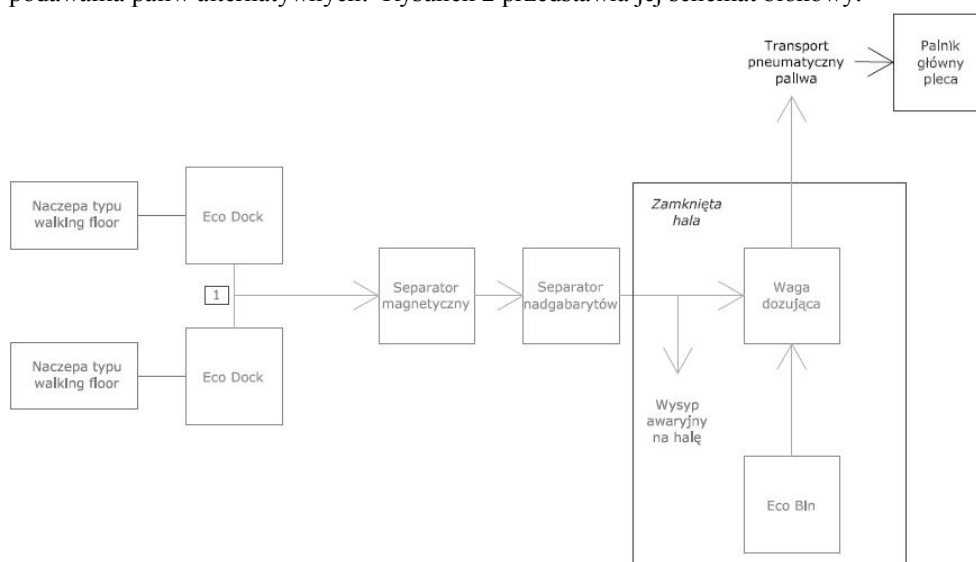
2. Transport wewnętrzny logistyki paliw na przykładzie instalacji do współspalania w Cementowni Odra S.A. w Opolu

Wypał klinkieru w cementowniach jest procesem pochłaniającym najwięcej energii,

zatem jest także i najbardziej kosztowny. Oszczędności dokonuje się przez wprowadzanie różnych rozwiązań technologicznych, jednak najefektywniejsza jest zamiana części ciepła pozyskiwanego ze spalania pyłu węglowego na ciepło pochodzące ze spalania paliw alternatywnych.

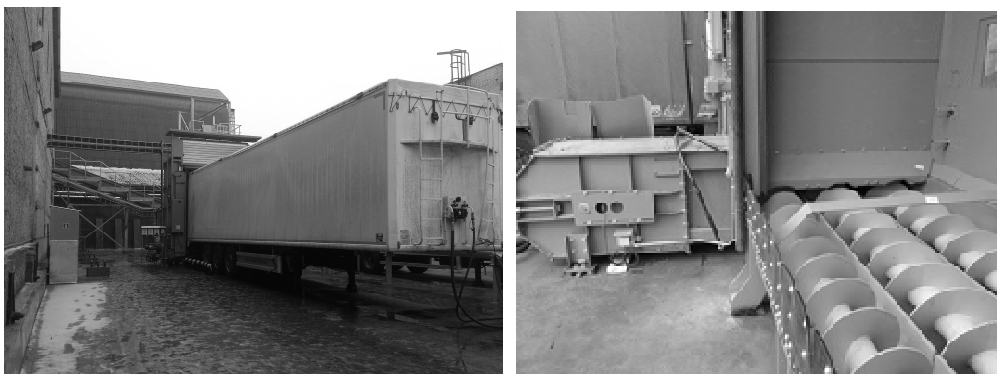
Rozwiązanie takie wprowadziła Cementownia ODRA S.A. w Opolu. z uwagi na jej usytuowanie – centrum miasta – rozpatrywano rozwiązania, które nie będą uciążliwe dla pobliskich mieszkańców i sąsiadujących przedsiębiorstw. Aby współspalanie było opłacalne, paliwa alternatywne muszą być dużo tańsze od paliwa podstawowego – pyłu węglowego. Z tego powodu cementownie najczęściej spalają (pozyskują ciepło) paliwa wytwarzane z odpadów komunalnych, tzw.: RDF. Magazynowaniu ich towarzyszy nieprzyjemny zapach oraz szybko tworzący się „bałagan”. Lekka frakcja przy delikatnym wietrze jest porywana z łatwością, co dodatkowo wpływa negatywnie na rozciąganie się wokół już wcześniej wspomnianego nieprzyjemnego zapachu.

W Cementowni ODRA S.A. w Opolu w 2015r. uruchomiono nową instalację do podawania paliw alternatywnych. Rysunek 2 przedstawia jej schemat blokowy.



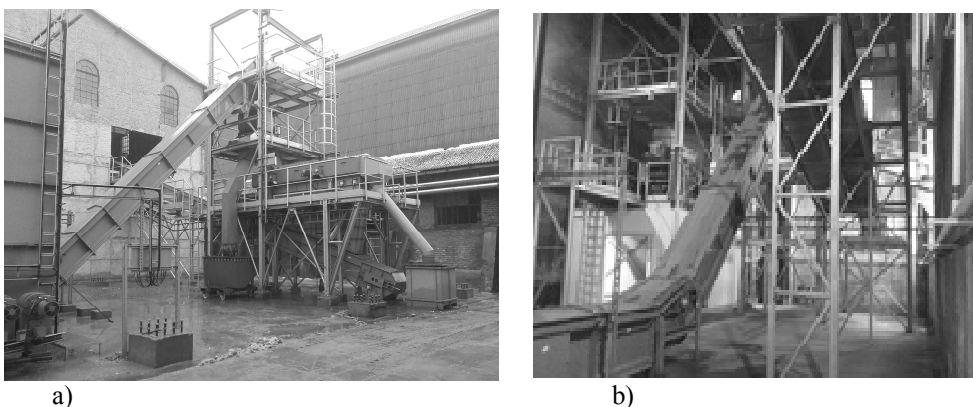
Rys.2. Schemat blokowy instalacji dozowania paliw alternatywnych

Linia transportu i dozowania paliw alternatywnych jest układem zaprojektowanym tak, by nie było konieczne magazynowanie paliw w hali lub poza nią. Dodatkowym jej atutem jest możliwość dozowania jednego rodzaju lub mieszanki dwóch różnych paliw. Podstawą całości są dwie stacje dokujące - EcoDock dla kontenerów samo rozładunkowych z ruchomą podłogą (rys.3a). To zapewnia zachowanie czystości wokół instalacji i brak zapachów pochodzących z paliw typu RDF. Wewnątrz stacji rozładunkowej znajdują się przenośniki ślimakowe wybierające materiał z naczepy (rys.3b) . Do układu mogą się podpiąć jednocześnie dwie naczepy. Jeśli obie mają takie samo paliwo, wówczas do pieca trafia jeden jego rodzaj, jeśli jednak każda z naczep ma inne, do pieca trafia mieszanka. Udział poszczególnych paliw jest określany przez inżyniera procesu i otrzymywany przez sterowanie prędkością posuwu podłogi w naczepach i obrotu ślimaków w EcoDockach. Dodatkowo każdy rodzaj paliwa ma przyporządkowaną własną stację.



Rys. 3. Stacje dokujące EcoDock: a) wyładunek, b) wnętrze – przenośniki ślimakowe transportujące paliwa z naczepy do redlera

Materiał ze stacji trafia do zamkniętego przenośnika zgrzeblowego (redlera). Na powyższym schemacie blokowym miejsce to jest oznaczone punktem 1. Jest to miejsce, w którym rozpoczyna się mieszanie paliw (jeśli w kontenerach znajdują się różne ich rodzaje). W dalszej części instalacji znajduje się separator magnetyczny wybierający elementy metalowe i żelazne oraz separator nad gabarytów oddzielający elementy duże do transportu. Zarówno materiał oddzielony w separatorze magnetycznym, jak i ten z separatora nad gabarytów jest zbierany w pojemnikach na odpady (rys.4a.). Oczyszczone paliwo jest dostarczane kolejnym redlerem do urządzenia ważąco-dozującego (rys.4b) skąd transportem pneumatycznym trafia do palnika głównego pieca.



Rys. 4. Instalacja dozowania paliw alternatywnych a) separatory magnetyczny i tzw. nadgabarytów b) waga dozująca i przenośniki do awaryjnego wysypu paliw alternatywnych

3. Transport zewnętrzny logistyki paliw alternatywnych

Przemysł cementowy oczekuje od dostawców paliw alternatywnych: stabilności w każdej dostawie, odpowiedniej konsystencji, która gwarantuje łatwość i stabilność dozowania, homogeniczności od paliw wyprodukowanych z kilku rodzajów odpadów, jednorodności w całej masie, poziomu zanieczyszczeń nieprzekraczającego wymaganych

poziomów ustalanych przez urzędy i rozporządzenia, dostaw paliwa zapewniających ciągłość współspalania.

Ostatni z czynników staje się często kluczowym elementem funkcjonowania układu. Aby mogło to wszystko prawidłowo funkcjonować należało przeprowadzić analizę, której głównymi elementami były:

- wybór rodzaju paliw alternatywnych,
- przeprowadzenie kalkulacji dotyczącej doboru ilości spalanej masy paliw alternatywnych,
- logistyka transportu paliw alternatywnych,

3.1 Wybór rodzaju paliw alternatywnych

Przy wyborze paliw alternatywnych w głównej mierze czynnikami decydującymi było: jakość paliwa, możliwość transportu i brak uciążliwego zapachu (ze względu na pobliską lokalizację domostw i przedsiębiorstw). Przeprowadzono analizę rynku dotyczącą dostępności rodzajów paliw alternatywnych w Polsce. Wybrano dwa rodzaje paliw:

- RDF,
- ścinki gumowe.

Pierwsze z nich wybrano ze względu na dużą ilość RIPOK-Ów. Na mapie poniżej (rys.5) przedstawiono regionalne instalacje do przetwarzania odpadów komunalnych. Dostępność dużych ilości, a co za tym idzie, możliwość wyboru paliwa o odpowiednich parametrach jakościowych zdecydowały o wyborze tego paliwa. Drugi rodzaj paliwa został wybrany ze względu na wysoką kaloryczność, niskie zanieczyszczenie, stabilność jakościową, brak nieprzyjemnego zapachu i konsystencję umożliwiającą bezproblemowy rozładunek i transport.

3.2 Dobór ilości spalanej masy paliw alternatywnych

W Cementowni ODRA S.A. piec obrotowy o wydajności około 51t/h opalany był wyłącznie pyłem węgla kamiennego. Do wyliczenia niezbędnego ciepła na wypał klinkieru wykorzystano dane dotyczące: zużycia miału węglowego na 1 t klinkieru, które kształtowało się na poziomie 146 kg, co stanowi ok.7,5t/h. Zakładając, że średnia wartość opałowa miału węglowego wynosiła prawie 26 000 kJ/kg to zużycie ciepła na wypał klinkieru wynosi ok 3 560kJ/kg. Tabela 1 przedstawia wyliczenie ilości paliw alternatywnych jakie należy podać do pieca w zależności od jego rodzaju oraz od tego jaka część energii z paliw konwencjonalnych zostanie zamieniona na energię z paliw alternatywnych.

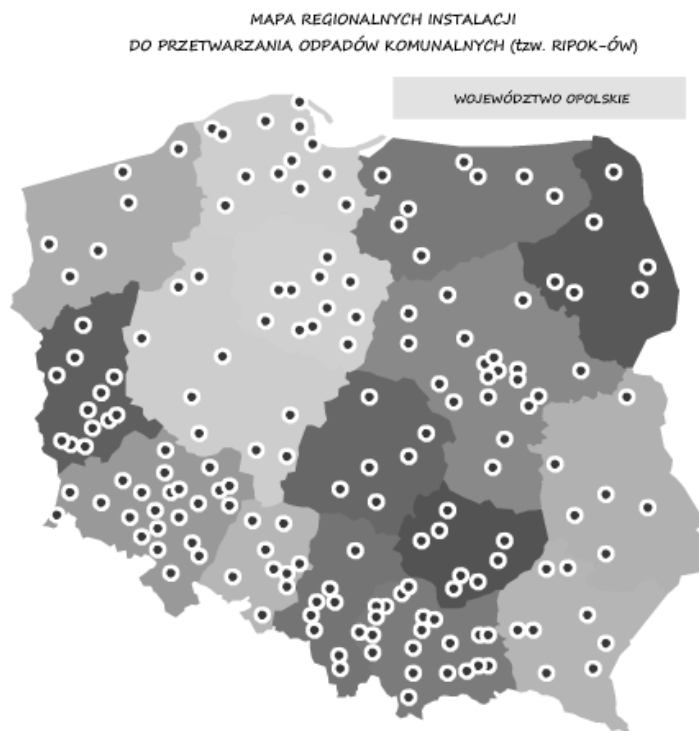
Do zestawienia wybrano trzy rodzaje paliwa:

- paliwo typu RDF – o wartości opałowej 19 000kJ/kg,
- paliwo mieszane: RDF + ścinki gumowe – o wartości opałowej 28 000kJ/kg,
- ścinki gumowe – o wartości opałowej 34 000kJ/kg.

W tabeli 1 przedstawiano procentowy udział paliw alternatywnych w przedziałach od 5% do 50%. Ekwiwalent ciepła na wypał klinkieru wynosi od 9 514 do 95 143MJ/h. Zużycie trzech rodzajów paliw alternatywnych o wartości opałowej w przedziale 19 000kJ/kg - 32 000 kJ/kg. Zużycie paliw alternatywnych na klinkier w zawiera się w przedziale 0,30 - 5,01 t/h, natomiast zużycie ogólne paliwa w przedziale 6,75 – 8,78 t/h.

Optymalnym udziałem ciepła z paliwa alternatywnego jest ok. 1 070 kJ/kgkl, co odpowiada zamianie 30% pyłu węglowego. Biorąc pod uwagę 2 rodzaje paliw:

o wysokiej i średniej wartości opałowej można zmniejszyć ilość pyłu węglowego o 2,25t/h i zastąpić go ok.: 2,04 t/h paliw średniej klasy i 1,8 t/h paliw wysokiej klasy.



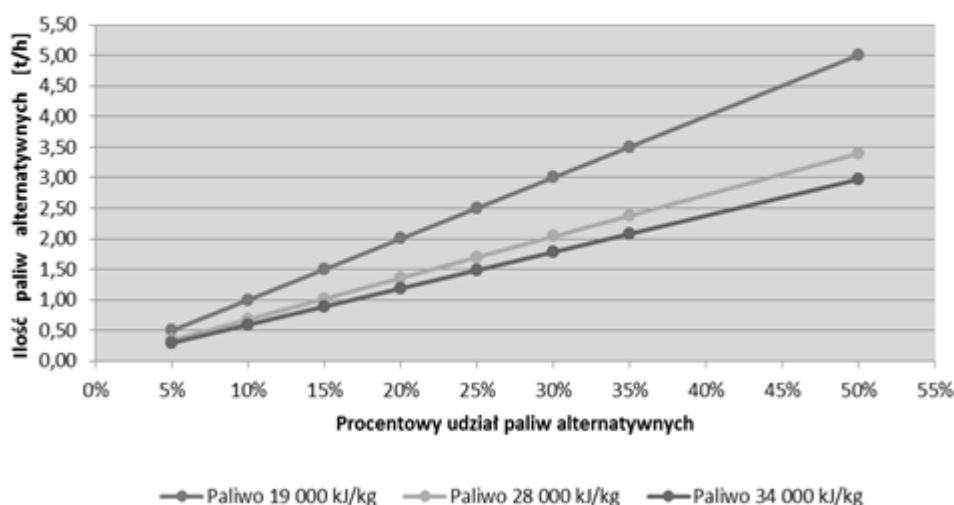
Rys.5. Mapa regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych [9]

Tab. 1 Analiza zużycia paliw alternatywnych na wypał klinkieru w zależności od wybranej do zamiany ilości ciepła z pyłu węglowego

Paliwa alternatywne								
udział % paliwa alternatywnego	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	50%
ekwiwalent ciepła z paliw alternatywnych na wypał klinkieru [MJ/h]	9 514	19 029	28 543	38 057	47 572	57 086	66 600	95 143
19 000 [kJ/kg]	19							
zużycie paliw alternatywnych na klinkier [t/h]	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,51	5,01
zużycie ogólne paliwa [t/h]	7,53	7,67	7,81	7,95	8,09	8,23	8,37	8,78
28 000 [kJ/kg]	28,00							
zużycie paliw alternatywnych na klinkier [t/h]	0,34	0,68	1,02	1,36	1,70	2,04	2,38	3,40
zużycie ogólne paliwa [t/h]	7,37	7,35	7,33	7,31	7,29	7,26	7,24	7,18
32 000 [kJ/kg]	32							
zużycie paliw alternatywnych na klinkier [t/h]	0,30	0,59	0,89	1,19	1,49	1,78	2,08	2,97
zużycie ogólne paliwa [t/h]	7,33	7,27	7,20	7,14	7,07	7,01	6,94	6,75

Poniziej przedstawiono także wykres (rys. 6) obrazujący różnice w ilości paliw alternatywnych zużywanych do procesu wypału klinkieru w zależności od jego wartości opałowej. Jest on zobrazowaniem tab.1.

Ilości paliw alternatywnych przy założonych udziałach procentowych i wartościach opałowych paliw



Rys. 6. Wykres ilości paliw alternatywnych wykorzystanych w procesie wypału klinkieru

3.3 Proces wdrożenia outsourcingu logistyki paliw alternatywnych do Cementowni ODRA w Opolu

Budowa nowej instalacji do współpalania paliw alternatywnych (RDF, ścinki gumowe) daje możliwość utrzymania dotychczasowej czystości na terenie Cementowni. Jednak aby to osiągnąć występowała konieczność zastosowania specjalistycznej floty samochodowej z naczepami typu „walking-floor”. Z racji tego należało podjąć decyzje dotyczące wdrożenia outsourcingu logistyki paliw.

Ze względu na chęć zawężenia zakresu zadań realizowanych przez przedsiębiorstwo znaleziono alternatywę w postaci usług oferowanych przez zewnętrznego dostawcę [3]. Skorzystano w ramach outsourcingu z funkcji pomocniczej w obszarze transportu w zakresie częściowym.

Na podstawie trzech modeli: M.Trockiego, L.Gaya i J.Eessingera, M.F. Cooka [4, 5, 6] zaplanowano i przeprowadzono proces wdrożenia outsourcingu dotyczącego logistyki paliw alternatywnych. Polegał on na przejściu przez trzy fazy:

1. FAZA KONCEPCYJNA

- a. Określenie obszaru zastosowania - transport samochodowy paliw alternatywnych do cementowni.

Aby określić wielkość zamówienia odpadów pod uwagę należy wziąć moc przerobową linii technologicznych w cementowni. Dotychczas do utrzymania ciągłości procesu wypału klinkieru należało zapewnić dobowo ok 170t pyłu węglowego. Po wprowadzeniu do procesu produkcyjnego nowej instalacji do współspalania paliw alternatywnych, gdzie uwzględniane są dwa do trzech rodzajów paliw, zużycie węgla uległo znacznemu ograniczeniu. Pył węglowy nadal jest produkowany w dziale młyna węgla. Jego ilość zmniejszyła się z 7t/h do 2t/h więc obecnie pracuje on znacznie krócej. Paliwa alternatywne dostarczane są transportem samochodowym - naczepy samo rozładownicze typu „walking-floor” mające pojemność ok 24ton. Do pieca podawana jest mieszanka paliw alternatywnych (20% gumy + 80% RDF) co wymaga dostarczenia 7 naczep na dobę tj.: od 1,5 do 2 naczep z paliwem ściniek gumy i od 5 do 5,5 naczep paliwa alternatywnego RDF.

- b. Określenie celów outsourcingu:
 - obszar przekazania floty samochodowej na rzecz zewnętrznej firmy usługowej,
 - dobór rodzaju transportu paliw alternatywnych,
 - rozłożenie potoku ruchu w sieci transportowej i kryterium ponoszenia minimalnych kosztów. [7]. (Analiza wykorzystania mierników jakości: minimalny czas realizacji usługi transportowej, maksymalna ilość ruchu, minimalny koszt przemieszczenia, minimalny czas realizacji zamówienia.
- c. Wybór rodzajów outsourcingu – zlecenie.
- d. Analiza kosztów i korzyści z wdrożenia metody.

Podczas modelowania problemu transportowego przeprowadzono symulację dotyczącą usługi transportowej. Obliczenia dotyczyły analizy kosztów przewozu w następujących kategoriach: handlowa - z punktu widzenia nabywcy usług transportowych, ekonomiczna - z punktu widzenia dostawcy usług transportowych, techniczna - wskaźnik oceny jakości usługi.

- e. Analiza szans i ryzyka związanych z wdrożeniem.

Po przeprowadzeniu analiz dotyczących wprowadzeniu outsourcingu korzyści (K) i zagrożeń (Z) bezpośrednich. Przeprowadzono analizę korzyści i zagrożeń (tab.2.) dotyczyła obszarów: strategicznych (KS), operacyjnych (KO), ekonomiczno-finansowych (KE-F), techniczno-technologicznych (KT-T), motywacyjnych (KM), prawnych (KP) [8].

2. FAZA REALIZACYJNA

- a. Stworzenie harmonogramu wdrożenia – porządkowanie i przygotowanie taktyczne harmonogramu wdrożenia.
- b. Poinformowanie pracowników o planowanym wdrożeniu – poinformowanie o planowanych zmianach.
- c. Typowanie, opracowanie oferty, wybór, negocjacje potencjalnych partnerów – wybór potencjalnych przewoźników.
- d. Opracowanie harmonogramu rozpoczęcia współpracy – określenie terminów dostaw, zasad przewozu i wyładunku i informacji między partnerami.

Tab.2. Analiza korzyści i zagrożeń bezpośrednich wdrożenia outsourcingu w Cementowni Odra w Opolu

KORZYŚCI BEZPOŚREDNIE	ZAGROŻENIA BEZPOŚREDNIE
Koncentracja przedsiębiorstwa na działalności kluczowej (KS)	Niebezpieczeństwo przenikania poufnych informacji poza strukturę przedsiębiorstwa (ZB)
Zwiększenie strategicznej elastyczności funkcjonowania (KS)	Wysokie obciążenia finansowe w momencie rozpoczęcia współpracy (ZE-F)
Podniesienie jakości i sprawności realizacji procesów operacyjnych w przedsiębiorstwie (KO)	Brak możliwości pełnego wykorzystania zdolności i kreatywności osób zatrudnionych na zewnątrz (ZO-K)
Ograniczenie kosztów realizacji funkcji (m.in. ograniczenie zatrudnienia) (KE-F)	Małe nakłady firmy usługowej na unowocześnienie aparatu produkcyjnego, brak dostatecznej troski o rozwój usługi, zaniedbania w szkoleniu personelu czy niedostateczne starania o redukcję kosztów (ZT-T)
Przyspieszenie przepływu i wymiany informacji w przedsiębiorstwie (KO-K)	
Poprawa parametrów realizacji przekazanych na zewnątrz obszarów działalności (ich jakości, czasu realizacji, kosztów, nakładu zasobów itd.) (KT-T)	
Przeniesienie na dostawcę odpowiedzialności za realizację funkcji (KP)	
Większe zadowolenie i komfort psychiczny w prowadzeniu firmy (KM)	

3. FAZA OPERACYJNA

- a. Realizacja pierwszych zleceń – rozpoczęcie operacyjnej współpracy i realizacji pierwszych zleceń czas trwania 3 miesiące
- b. Zaawansowana współpraca – wszystkie nieprawidłowości są na bieżąco wyjaśniane przez obie strony,
- c. Kontrola wykorzystania metody outsourcingu i wprowadzenie ewentualnych modyfikacji – wprowadzenie ewentualnych modyfikacji

4. Wnioski

Zamiana części energii cieplnej z paliw konwencjonalnych na energię z paliw alternatywnych jest ekonomicznie wskazane dla zachowania konkurencyjności produktów. Jest to także pozytywny aspekt ekologiczny. Piece obrotowe są jednostkami zapewniającymi najefektywniejszy sposób spalania paliw wytwarzanych z odpadów komunalnych, nie powodując przy tym emisji szkodliwych substancji do środowiska.

Możliwość zamiany 50% energii z pyłu węglowego na energię z paliw alternatywnych w tak krótkim czasie, zaledwie pół roku, jest dużym osiągnięciem. Wielkim wyzwaniem były działania logistyczne. Zapewnienie ciągłości pracy pieca obrotowego w cementowniach jest warunkiem priorytetowym i czynnikiem krytycznym. Podjęcie decyzji o rezygnacji z magazynowania paliw było kluczowym kryterium w rozpatrywaniu możliwości transportowych. Nie należy tu zapominać o sytuacjach awaryjnych pojawiających się po obu stronach, zarówno dostawcy jak i odbiorcy paliwa. Są one

powodem dokonywania analiz znacznie bardziej rozbudowanych, zawierających kilka różnych scenariuszy zależnych od tego jaki rodzaj awarii i w jakim punkcie łańcuch logistycznego wystąpił. Jednak procedury i techniki planowania działań logistycznych są dzisiaj tak mocno rozbudowane i rozwijające się wraz z potrzebami rynku, że osiągnięcie celu jest możliwe, bez konieczności sięgania po kompromisy.

Literatura

1. Duczkowska-Kądziel A., Duda J., Wasilewski M., Innowacyjne czyste technologie szansą rozwoju przemysłu, Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, s.641-651, Wydawnictwo PTZP, ISBN 978-83-930399-5-1, Opole 2013
2. Duda J., Wasilewski M.: Innowacyjna technologia utylizacji osadów ściekowych, Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, s.68-77, Wydawnictwo PTZP, ISBN 978-83-930399-6-8, Opole 2014.
3. Matejun M., Outsourcing, [w:] Szymańska K. (red.), Kompendium metod i technik zarządzania. Teoria i ćwiczenia, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa 2015, s. 211-239
4. Trochomiuk R., Sztukowska J., Król H., Zarządzanie zasobami ludzkimi; materiały do ćwiczeń, Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania im. L. Koźmińskiego, Warszawa 2002/2003, s. 88
5. Gay L.C., Essinger J., Outsourcing strategiczny, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2002, s. 50 -145.41M.F.
6. Cook, Outsourcing funkcji personalnej, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2003, s. 39.
7. Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009
8. M. Trocki, Outsourcing, PWE, Warszawa 2001, s. 52, 88
9. www.rceeplock.nazwa.pl/blizejsmieci/index.php/wykaz-i-mapa-ripok-ow

Dr Anna DUCZKOWSKA-KĄDZIEL
Katedra Innowacyjnych Procesów Technologicznych
Politechnika Opolska
45-758 Opole, ul. Prószkowska 76
e-mail: a.duczowska-kadziel@po.opole.pl

Mgr inż. Joanna SITKOWSKA
Cementownia ODRA S.A. w Opolu
45-005 Opole, ul. Budowlanych 9
tel.: 77 40 20 800
e-mail: jsitkowska@odrasa.com.pl