

WYKORZYSTANIE ŁUPKÓW POWĘGLOWYCH JAKO NOŚNIKA ENERGII I PIERWIASTKA GLINU

Bibianna ŻYMLA

Streszczenie: Przemysł wydobywczy w Polsce boryka się od lat z problematyką zagospodarowania odpadów powęglowych – łupków przywęglowych, zarówno z procesu wydobywania, jak i z procesu wzbogacania. Składowanie na hałdach niesie za sobą olbrzymie nakłady finansowe oraz ryzyko samozapłonu, a co za tym idzie negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Wpływ ten wiąże się z emisją zanieczyszczeń do powietrza, zanieczyszczeniem gleb i wód powierzchniowych i podziemnych. Poszukiwania odbiorców tego typu odpadów jest nadal bardzo aktualne, gdyż odpad może być surowcem w innych procesach technologicznych. Wykorzystanie łupków powęglowych w przemyśle cementowym ma znaczenie ekonomiczne i ekologiczne. Łupek jest bowiem źródłem ciepła i częściowo zamiennikiem surowca w procesie wypalania klinkieru.

Słowa kluczowe: odpady powęglowe, proces wypału klinkieru, zagospodarowanie odpadów powęglowych, ciepło

1. Wprowadzenie

Z procesem wydobywania węgla związane jest nieodzownie wytwarzanie znacznej ilości odpadów powęglowych. Odpady te różnią się między sobą właściwościami fizykochemicznymi, co wpływa znacząco na ich zagospodarowanie. Pochodzenie powstałych materiałów odpadowych jest zależne od procesu ich powstania. Odpady te mogą powstawać w procesie urobku, wydobywania węgla, jego przeróbki i uzdatniania. Ich ilość zależna jest od szeregu czynników, które wiążą się z budową geologiczną pokładu, jakością danego złoża oraz metod ich urabiania, wydobywania i uszlachetniania. Ze względu na eksploatację pokładów coraz gorszych węgli (uboższych w węgiel) wzrasta znacznie ilość odpadów powęglowych, które stwarzają duże kłopoty kopalnią i środowisku. Istniejące technologie zagospodarowania tych odpadów nie rozwiązują tego problemu, co powoduje że znaczna ich część składowana jest na hałdach przykopalnianych. Oprócz znacznych kosztów składowania, składowiska wymagają znacznych terenów często rolniczych i stanowią duże zagrożenie dla środowiska (samozapłon hałd) w wyniku emisji CO i SO₂. Problem zagospodarowania i wykorzystania odpadów przemysłowych, w tym odpadów powęglowych jest zagadnieniem o dużej aktualności, gdyż rozpatrywany jest on nie tylko pod względem podejścia do racjonalnej gospodarki odpadami w aspekcie ochrony środowiska, lecz również stanowi zasadnicze ekonomicznie zasadne podłoże do rozpatrzenia. Wiele prac, artykułów i badań naukowych w obszarze gospodarki surowcami na przełomie lat wskazuje tendencje uznawania materiałów odpadowych za materiały surowcowe, mogące mieć zastosowanie w różnych technologiach i procesach. Podejście technologiczne odzwierciedla wartości użytkowe odpadów przemysłowych i ich ekonomiczną wartość i korzyści wynikające z ich zagospodarowania.

2. Klasyfikacja i wykorzystanie odpadów pochodzenia powęglowego

Odpadami powęglowymi są skały płonne osadów karbońskich, wśród których występują pokłady węgla. Odpady te można podzielić na dwie grupy zależne od sposobu ich powstawania:

- Odpady górnicze – skała płonna powstała na skutek urabiania, robót przygotowawczych. Odpady te to w większości duże okruchy skalne.
- Odpady przerobcze – skała płonna zalegająca w spągu bądź stropie pokładów węgla, jak również przerosty, które przedostają się do węgla i z nim są wydobywane na powierzchnię. Ich podział zależy jest od urządzeń wydobywczych i technologii wzbogacania węgla.

Dzieli się je na:

- gruboziarniste (200-20mm);
- drobnoziarniste (20-1mm);
- flotacyjne i inne mułowe (poniżej 1mm)

W ogólnej masie odpadów powęglowych większość sięgająca nawet 80% stanowią odpady przerobcze [1]

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. 2014 poz. 1923) odpady z górnictwa węgla kamiennego zostały sklasyfikowane pod następującymi kodami w grupie 01 (odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin:

01 01 02 – Odpady z wydobywania kopaliny innych niż rudy metali

01 04 12 - Odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopaliny inne niż wymienione w 01 04 07 i 01 04 11

01 04 81 - Odpady z flotacyjnego wzbogacania węgla inne niż wymienione w 01 04 80 [3].

Zgodnie z Ustawą o odpadach wytwórca odpadów zobowiązany jest do zminimalizowania powstawania odpadów w swoim procesie produkcyjnym, ich odzysku a w ostateczności do ich unieszkodliwiania [4].

Głównymi kierunkami zagospodarowania odpadów wydobywczych jest ich użycie jako materiału rekultywacyjnego, jako surowca do produkcji materiałów budowlanych, jego lokowanie w podziemiach kopalń. Ponadto odpady powęglowe wykorzystywane są jako nośniki energii jak to ma miejsce w cementowniach, gdzie używane są jako substytut pyłu węglowego.

3. Wykorzystanie odpadów powęglowych w Cementowni

Modernizacja przemysłu cementowego w Polsce, a co za tym idzie zmiana sposobu wypału klinkieru z tzw. metody mokrej na mniej energochłonną metodę suchą pozwoliło na wzrost wydajności zakładów, ich większą efektywność środowiskową, a w wielu przypadkach na ich dalsze funkcjonowanie. Lata 80 i 90 ubiegłego stulecia to lata, w których przemysł cementowy w Polsce należał do najbardziej energochłonnych i negatywnie wpływających na środowisko naturalne. Wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa zmusił przedsiębiorców do podjęcia działań proekologicznych w swoich zakładach.

Powstała w latach 70-tych XX wieku Cementownia Warta została zakwalifikowana do modernizacji w ramach programu modernizacji przemysłu cementowego. Każda z ujętych w programie cementowni wymagała indywidualnych rozwiązań, gdyż uogólnienie nie było

możliwe ze względu na różnice w zamaszynowaniu, inne właściwości fizyko-chemiczne stosowanych surowców do produkcji [5].

Proces modernizacji zakładu niósł za sobą olbrzymie nakłady finansowe, gdyż poza modernizacją linii piecowych wymagane było również otwarcie wyrobisk kamienia. Jakość kamienia wapiennego – wysoka wilgotność kamienia wysokiego i braki w ilościach kamienia niskiego nie pozwalały na typowe rozwiązania modernizacyjne. Należało znaleźć inne rozwiązania, które byłyby dla zakładu opłacalne i zasadne. Bazując na doświadczeniach stosowania w przemyśle cementowym surowców odpadowych postanowiono technologię wypalania klinkieru oprzeć na odpadach powęglowych, które swoim składem chemicznym były podobne do naturalnych surowców tzw. niskich ze względu na zawartość CaO. Już w latach 1969-1971 prowadzone były próby wykorzystania odpadów powęglowych jako surowca do produkcji klinkieru w metodzie mokrej. Wypalanie szlamu łupkowego (ze względu na udział łupka przywęglowego) potwierdziło wówczas możliwość wykorzystania tych odpadów jako zamiennika surowców naturalnych. Ze względu jednak na zawartość rozproszonego węgla w tych odpadach wystąpiły kłopoty eksploatacyjne (wzrost temperatury gazów odlotowych i emisji pyłowej), co spowodowało, że zrezygnowano z ich wykorzystania. Dopiero modernizacja pieców w cementowni Warta II i brak surowca niskiego spowodowała, że powrócono do wykorzystania odpadów powęglowych jako zamiennika surowca niskiego. Uwzględniając wcześniejsze negatywne doświadczenia z zawartości węgla w odpadach powęglowych opracowano nową technologię ich wykorzystania. Polega ona na dwustopniowym wykorzystaniu odpadów powęglowych w procesie wypalania klinkieru cementowego. W pierwszym stopniu odpady, które zawierają około 10-15% rozproszonego węgla wykorzystują się jako częściowy substytut paliwa w tym procesie, a dopiero powstały po spaleniu popiół stanowi w drugim etapie uzupełnienie surowca. Do dnia dzisiejszego łupek powęglowy jest stosowanym surowcem w procesie wypału w cementowni Warta. Na przełomie lat zmieniali się dostawcy, ale ustalony skład i wymogi fizyczno-chemiczne stale są utrzymywane. Dostarczany do cementowni łupek powęglowy musi spełniać ustalone przez technologów parametry, które z podstawowym surowcem wapiennym z własnej kopalni cementowni pozwolą uzyskać wysokiej jakości klinkier cementowy.

4. Proces wypału klinkieru i przygotowania łupka

4.1. Proces wypału klinkieru w Cementowni Warta SA

Proces wypału klinkieru w Cementowni Warta S.A. reguluje instrukcja technologiczna wraz z Kartami wyrobu, które zawierają parametry, jakie muszą zostać dotrzymane. Układ technologiczny wypału klinkieru metodą suchą w Cementowni Warta stanowią dwa piece obrotowe wraz z urządzeniami towarzyszącymi.

W nowej innowacyjnej technologii wypalania oddzielnie przygotowana jest mąka wapienna i mąka łupkowa. Surowcem podstawowym do produkcji klinkieru jest mączka surowcowo-wapienna, której skład jest ściśle określony. Jako surowca korygującego używa się mąki „łupkowej”. Ze względu na występujące wahania w składzie chemicznym dostaw łupka podlega on w cementowni dwustopniowej homogenizacji. Pierwszy stopień stanowi składowisko prehomogenizacyjne, na którym magazynowany jest łupek z dostaw, który następnie poddawany jest procesowi przemiału i suszenia w młynie susząco-mielącym. Zmielona mąka łupkowa jest następnie homogenizowana w zbiorniku homogenizacyjnym

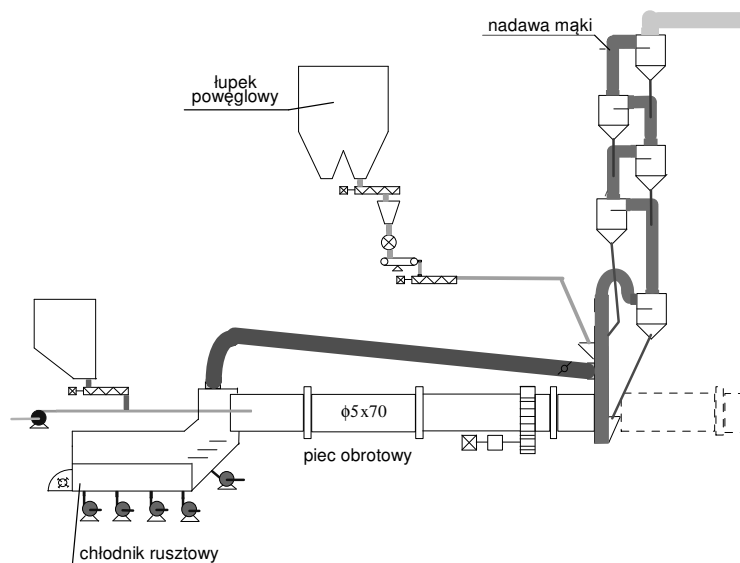
i magazynowana w zbiorniku zapasu, skąd pobierana jest do procesu wypalania. W tabeli 1 przedstawiono wybrane parametry mąki łupkowej po homogenizacji.

Tab. 1. Karta wyrobu łupku powęglowego

Lp	Wyszczególnienie	Jednostka	Min.	Śred.	Max.
1	Zawartość wilgoci po młynie	%	0,4	1,2	2
2	Pozostałość na sitach 0,2 mm 0,08 mm	%	0,5 10	1,5 12	2,5 15

Źródło: (opracowanie własne)

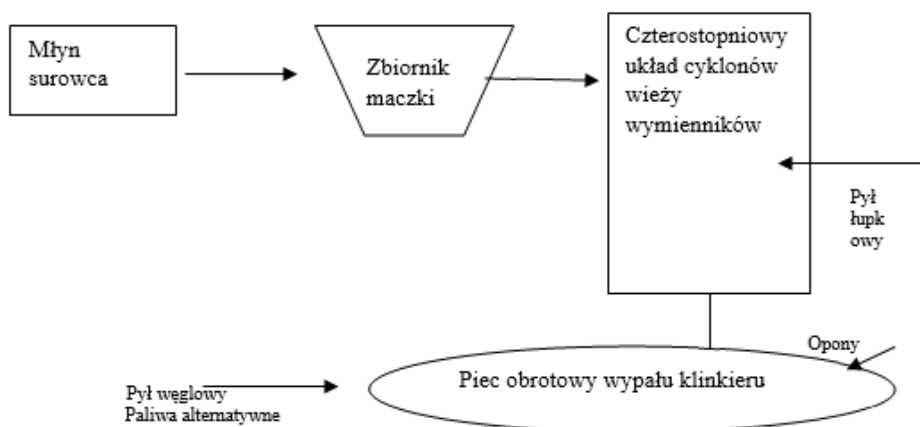
Udział procentowy tych komponentów ustalany jest przez Operatora Centralnej Sterowni na podstawie składu chemicznego produkowanego klinkieru, analizy chemicznej wsadu: mąki surowcowej do pieca oraz łupka podawanymi przez laboratorium ruchowe. Pozwala to określić potrzebną nadawę mąki „łupkowej”. Na rysunku 1 przedstawiono schemat technologiczny pieca obrotowego.



Rys. 1. Schemat technologiczny zmodernizowanego pieca

Mączka surowcowa podawana jest do górnego stopnia wymiennika. Stamtąd przemieszcza się w dół, przeciwnie do kierunku przepływu gazów z pieca. Wymiana ciepła występuje kolejno na wszystkich stopniach. Mączka wpada z góry do gorącego strumienia gazu. Zostaje przez niego porwana, ogrzewa się, a następnie jest oddzielana w cyklonie. Gaz przepływa do następnego wyższego stopnia, a podgrzana mączka spada do stopnia położonego niżej. Mąka surowcowa po przejściu przez pierwsze trzy stopnie cyklonowych wymienników ciepła dostaje się w strugę gazów z pieca, w której znajduje się popiół ze spalanej mąki „łupkowej”. Mieszanina tych składników stanowiąca

wsad piecowy zostaje porwana do ostatniego stopnia cyklonowych wymienników ciepła, z których dostaje się do pieca obrotowego, gdzie jako wsad piecowy pod wpływem wysokiej temperatury ulega klinkieryzacji. Do komory wzniosu wieży wymienników jest podawany zarówno pył łupkowy jak również pył węglowy, który po spaleniu umożliwia wstępną kalcynację wsadu piecowego. Ułatwia to proces wypału przy mniejszym obciążeniu termicznym pieca. By uniknąć niekorzystnego wpływu składników lotnych (chlorków, siarki, alkaliów), pochodzących z nadawy i paliwa jest zastosowana instalacja by-passu części gazów odlotowych bogatych w pył i wyprowadzanie ich poza układ cyklonów. Gazy by-passu odciągane na wylocie pieca są intensywnie schładzane w celu kondensacji alkaliów, a następnie skierowane do odpylacza cyklonowego i filtra workowego chłodnika, gdzie pył by-passu wraz z częścią pyłów piecowych jest zwracany do procesu produkcji. Do opalania pieca obrotowego używany jest pył węglowy, opony oraz paliwa alternatywne. W procesie spalania głównego paliwa - pyłu węglowego doprowadzenie ciepła jest rozdzielone na dwa punkty. Podstawowe spalanie paliwa ma miejsce w strefie spiekania pieca obrotowego. Wtórne spalanie (dopalanie) odbywa się w komorze wzniosu, ulokowanej między piecem obrotowym, a wymiennikiem ciepła. W komorze tej spalaniu ulega nawet do 40% całkowitego paliwa, użytego w procesie wypalania z prekalcynacją. Energia ta jest zasadniczo zużyta na kalcynację mąki surowcowej przed wejściem do pieca. Mąka surowcowa spełniająca wymogi Karty Wyrobu produkowana i uśredniona w zbiorniku zapasu, jest pobierana do układu technologicznego poprzez zasuwę walcową na rynnę piecową i elewator i następną rynną aeracyjną mąka surowcowa kierowana jest do zbiornika ważonego, w którym utrzymywany jest stały poziom mąki surowcowej, co umożliwia równomierne dozowanie wsadu do pieca. Ze zbiornika wyrównawczego mąka surowcowa podawana jest na wagę przepływową. Następnie kierowana jest w zadanej ilości na przenośnik kubełkowy, którym transportowana jest na górę wieży wymienników. Z przenośnika kubełkowego mąka surowcowa przesypywana jest do rynny aeracyjnej, która zasila układ dozowania mąką surowcową wieżę wymienników. Uproszczony schemat procesu technologicznego wypalania klinkieru przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat procesu wypału klinkieru
Źródło: opracowanie własne

4.2. Przygotowanie łupka w Cementowni Warta S.A.

Łupek do zakładu dostarczany jest z zewnątrz i składowany na dwóch pryzmach prehomogenizacyjnych w zadaszanej hali. Jedną pryzmę stanowi materiał dostarczany, natomiast druga pryzma to chemicznie zbadany surowiec, który podawany jest do produkcji. Pryzmy wzdłuż hali rozsypywane są przy pomocy wózka zrzutowego. Następnie ładowarką suwnicową przygotowany surowiec podawany jest na przenośniki taśmowe, skąd dozowany jest do zbiornika zapasu. Ze zbiornika łupek przy ustalonej nadawie dozowany jest wagą dozująco-ważąco do młyna susząco - mielącego. Do suszenia w młynie wykorzystuje się gorące gazy wytwarzane w palenisku olejowym -węglowym. Przemielony i wysuszony łupek opuszcza młyn dzięki przepływającym gazom. Gazy wraz ze zmielonym surowcem dostają się do separatora – w separatorze następuje rozdział gotowego produktu od nadziarna. Nadziarno zawracane jest ponownie do młyna by ponownie zostało zmielone, a gotowy produkt transportowany jest do cyklonów skąd zespołem przenośników do zbiornika homogenizacyjnego, gdzie jest składowany. Łupek dostarczany do zakładu, łupek podawany do produkcji oraz wysuszony i zmielony poddawany jest badaniom laboratoryjnym przez wewnętrzne laboratorium. [6]

Tabela 2 przedstawia zestawienie wyników analiz chemicznych łupka w stanie dostawy. Obejmuje ona lata 2014-2016. Natomiast tabela 3 przedstawia zawartość wilgoci, zawartość popiołów oraz wartość opałową łupka w stanie dostawy, w stanie produkcyjnym (nadawa do młyna), w stanie po przemiale w młynie susząco - mielącym w tym samym przedziale czasowym.

Tab. 2. Analiza chemiczna łupka powęglowego w stanie dostawy – średnie wartości roczne

Rok	Straty prażenia	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cl
		%					
2014	27,27	42,37	17,30	3,97	2,35	1,49	0,047
2015	24,86	44,22	16,97	4,46	2,06	1,58	0,025
2016	29,96	38,72	16,28	5,63	1,60	1,54	0,056

Źródło: dane laboratorium Cementownia Warta SA

Na podstawie powyższych wyników na przełomie lat obserwuje się spadek zawartości Al₂O₃ oraz CaO, natomiast wzrost zawartości Fe₂O₃ i MgO w dostarczonym surowcu. Różnice w wartościach muszą zostać korygowane nadawą innych surowców by utrzymać założone parametry nadawy do pieca, zarówno po stronie paliwowej jak i po stronie surowcowej.

Jeśli chodzi o nadawę mąki „łupkowej” stanowi ona ok. 4% wsadu surowcowego do pieca. Łupek do pieca obrotowego to nośnik Al₂O₃, którego w składzie jest ok. 20%. Ilość nadawy mączki „łupkowej” ustala się wg nadawy mączki surowcowej, która zmienia się w zależności od kamienia wapiennego, który wydobywany jest w różnych miejscach.

Tab. 3. Parametry energetyczne łupka w stanie dostawy, po przemiale i surowca do produkcji

Przedział czasowy	Faza	Zawartość wilgoci [%]	Zawartość popiołu [%]	Wartość opałowa [kJ/kg]
2014	Stan dostawy	2,0	69,3	5157
	Stan do produkcji (przed przemiałem)	1,8	76,2	5501
	Stan po przemiale	1,1	73,8	5250
2015	Stan dostawy	1,32	72,43	5022
	Stan do produkcji (przed przemiałem)	1,19	78,67	5143
	Stan po przemiale	0,68	75,47	5276
2016	Stan dostawy	1,63	69,38	5563
	Stan do produkcji (przed młynem)	1,13	62,42	4522
	Stan po młynie	0,72	78,6	4773

Źródło: dane laboratorium Cementownia Warta SA

5. Udział łupka powęglowego w mieszance paliwowej

Przemysł cementowy wykorzystuje do opalania swoich pieców obrotowych różne rodzaje paliw, ich wybór zależy od metody wypału, konstrukcji pieca jak również w dużej mierze od względów ekonomicznych. W piecach obrotowych stosuje się paliwo w trzech stanach skupienia: paliwo stałe (węgiel kamienny, węgiel brunatny), paliwo płynne (mazut) oraz paliwo gazowe (gaz ziemny). W Polsce podstawowym paliwem w przemyśle cementowym jest węgiel kamienny.

Duże ilości węgla potrzebne do wypału klinkieru oraz ich koszt zmuszają producentów do szukania rozwiązań zastąpienia paliwa konwencjonalnego paliwami zastępczymi. Piec obrotowy ze względu na warunki w nim panujące jest doskonałym urządzeniem do termicznego unieszkodliwiania odpadów, co przynosi korzyści zarówno przedsiębiorcom jak i jednostkom administracyjnym, które w ten sposób wypełniają wymogi przepisów dot. gospodarki odpadami i innych aspektów środowiskowych. Dlatego wszystkie cementownie dążą do redukcji zakupionych ilości węgla kamiennego, zastępując go innymi paliwami (łupek powęglowy, popioły energetyczne, opony, paliwa alternatywne, osady ściekowe). Tworząc mieszankę paliwową wieloskładnikową muszą zapewnić odpowiednią ilość ciepła potrzebnego do przeprowadzenia procesów fizyko-chemicznych zachodzących w piecu obrotowym. Popiół z paliwa w piecu obrotowym jest w całości absorbowany w klinkierze. Cementownia Warta używa do opalania pieców obrotowych poza pyłem miazgi węglowej paliwa alternatywne (RDF – Refuse Derived Fuel), opony, popioły energetyczne oraz łupek powęglowy.

Tabela 4 prezentuje procentowy skład mieszanki paliwowej na przełomie lat 2014-2016.

Tab. 4. Procentowy skład mieszanki paliwowej

Rodzaj paliwa	Rok	Ilość całościowa [Mg]	Udział procentowy
Pył węglowy	2014	437 627	42,5
Popiół energetyczny			19,3
Łupek powęglowy			32,6
Opony			2,1
RDF			3,5
Pył węglowy	2015	388 699	41,0
Popiół energetyczny			21,5
Łupek powęglowy			29,2
Opony			2,7
RDF			5,6
Pył węglowy	2016	461 325	34,8
Popiół energetyczny			18,4
Łupek powęglowy			33,1
Opony			2,1
RDF			11,6

Źródło: dane własne Cementownia Warta SA

Jak wynika z przedstawionych w tabeli danych udział łupka powęglowego na przełomie lat zajmuje drugą pozycję w mieszance paliwowej.

6. Podsumowanie

Zagospodarowanie odpadów powęglowych w postaci łupka daje możliwości korekcji nadawy surowcowej do pieca oraz oszczędności w ilościach zużycia węgla kamiennego. Wysoka cena paliwa konwencjonalnego zmusza producentów cementu do poszukiwania alternatywnych źródeł energii potrzebnej do wypału klinkieru w piecach obrotowych. Dlatego coraz częściej poszukują oni innych źródeł dostępu do paliw. Właściwa gospodarka i dobór surowców umożliwia współspalanie w piecu obrotowych, a co za tym idzie wykorzystanie potencjału energetycznego, jaki niosą paliwa zastępcze. Ponadto cementownie przyczyniają się do spełniania przez jednostki administracyjne wymogów przepisów unijnych i krajowych w kwestii gospodarki odpadami, a zakładom wydobywczym pomagają w trudnej polityce zagospodarowania odpadów po wydobywczym. W tych przypadkach mówimy o obopólnej korzyści – dla kopalń jest to pomoc w gospodarce odpadami, a dla zakładów cementowych jest to zysk ekonomiczny zakupu paliw.

Działania proekologiczne i korzyści ekonomiczne pełnią ważną rolę w zarządzaniu zakładami i pozwalają na kształtowanie kosztów wytworzenia. Pozyskiwanie tańszych źródeł energii to jedno ze strategicznych działań dobrego zarządcy. Jeśli te działania niosą jeszcze za sobą wątek ochrony środowiska to korzyść jest podwójna.

Literatura

1. Sokół W., Tabor A.: Problemy zagospodarowania odpadów powęglowych z górnictwa węgla kamiennego w Polsce. Przegląd Geologiczny vol.44 nr 7, 1996r.
2. Lutyński A., Blaschke W.: Analiza innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego”, Górnictwo i geologia, 2011, t.6 zeszyt 2, s.109-120,
3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014r. w sprawie katalogu odpadów, Dziennik Ustaw 2014, poz. 1923
4. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 o odpadach, Dziennik Ustaw 2013, poz. 21 z późniejszymi zmianami
5. Duda J., Kołosowski M., Malinowski P., Tomasiak J.: Ekoinnowacyjne techniki utylizacji odpadów powęglowych, Materiały konferencyjne Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, PTZP, 2017
6. Instrukcja technologiczna Cementowni Warta SA IT/304: Wypał klinkieru, 2016
7. Instrukcja technologiczna Cementowni Warta SA IT/208: Suszenie i przemiał kamienia w odłamkach, 2019

Mgr inż. Bibiana ŻYMŁA
46-060 Chrząszczyce, ul. Szkolna 13
Tel. 697 914 996
e-mail: bzymla@poczta.onet.pl