



Komeko 2019



Instytut Techniki Górniczej

**INNOWACYJNE I PRZYJAZNE
DLA ŚRODOWISKA
TECHNIKI I TECHNOLOGIE
PRZERÓBKI SUROWCÓW
MINERALNYCH**

BEZPIECZEŃSTWO - JAKOŚĆ - EFEKTYWNOŚĆ



KOMEKO 2019



INSTYTUT TECHNIKI GÓRNICZEJ

Praca zbiorowa

**INNOWACYJNE I PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA TECHNIKI I TECHNOLOGIE
PRZERÓBKİ SUROWCÓW MINERALNYCH**

BEZPIECZEŃSTWO – JAKOŚĆ – EFEKTYWNOŚĆ

Monografia

Redakcja naukowa:

Prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński

Dr hab. inż. Dariusz Prostański

Recenzenci:

Dr inż. Andrzej Drwięga

Prof. dr hab. inż. Adam Klich

Prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński

Dr inż. Edward Pieczora

Dr hab. inż. Jan Sidor, prof. AGH

Prof. dr hab. inż. Piotr Wodziński

Redaktorzy techniczni:

Mgr inż. Elżbieta Dymarek

Mgr inż. Bogna Kolasińska

Wydawca: Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, tel.: 32 2374100, 2374512

ISBN 978-83-65593-18-4

Copyright by Instytut Techniki Górniczej KOMAG

WPROWADZENIE

Szanowni Państwo,

Mamy przyjemność przedstawić Państwu kolejne wydanie monografii z cyklu „KOMEKO”, poświęconą innowacyjnym i przyjaznym dla środowiska technikom i technologiom przeróbki surowców mineralnych, uzyskiwania ekopaliw oraz rewitalizacji terenów przemysłowych.

Monografia zawiera opisy prac badawczych, technicznych i wdrożeniowych, realizowanych przez jednostki naukowe i przemysłowe.

Przedstawiona w monografii problematyka obejmuje między innymi: retrospektywny przegląd procesów przeróbki mechanicznej w polskich kopalniach węgla, opis nowoczesnych metod i technologii stosowanych w gospodarce odpadami, jak również opis nowych rozwiązań maszyn przeróbczych.

Poruszono także zagadnienia rekultywacji i rewitalizacji terenów przemysłowych, eksploatacji kruszyw i surowców skalnych oraz tematykę śladu wodnego i jego wpływu na gospodarkę słodką wodą.

Przedstawiono problematykę w zakresie możliwości pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich, zgazowania węgla oraz uzyskiwania ekopaliw.

W monografii zwrócono uwagę na brak usystematyzowania prawnego w odniesieniu do szeregu substancji chemicznych występujących w odzieży ochronnej pracowników sektora górniczego dlatego podjęto próbę wyspecyfikowania listy niebezpiecznych substancji chemicznych wraz z podaniem limitów ich występowania.

Zaprezentowane w monografii rozwiązania, będące wynikiem prac naukowych, badawczych, rozwojowych, technicznych i organizacyjnych prowadzonych w ośrodkach naukowych i przemysłowych, świadczą o aktywności środowiska przeróbki surowców mineralnych.

Coraz większy nacisk kładzie się na możliwość odzyskiwania surowców przy równocześnie zwiększającej się świadomości w zakresie wymagań ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa pracy i redukcji czynników zagrożenia.

W imieniu wydawcy redaktorzy naukowi dziękują wszystkim autorom, recenzentom i osobom, które przyczyniły się do powstania niniejszej monografii. Wyrażamy nadzieję, że zaprezentowane tematy wpłyną na poprawę jakości i efektywności procesów produkcji surowców mineralnych oraz zwiększenia bezpieczeństwa pracy.

prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński
dr hab. inż. Dariusz Prostański
Redaktorzy naukowi monografii

Gliwice, marzec 2019 r.

SPIS TREŚCI

ROZDZIAŁ I

PRZERÓBKA MECHANICZNA WĘGLA W POLSCE – STARE I NOWE ROZWIĄZANIA

- | | |
|--|----|
| 1.1. Przeróbka mechaniczna w kopalniach węgla kamiennego niepodległej Polski | 6 |
| 1.2. Rozwój konstrukcji młynów planetarnych | 23 |
| 1.3. Wdrożenie przesiewaczy produkcji PROGRESS ECO w KWK Budryk | 40 |

ROZDZIAŁ II

POZYSKIWANIE PIERWIASTKÓW ZIEM RZADKICH

- | | |
|--|----|
| 2.1. Separacja minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich | 52 |
| 2.2. Opracowanie koncepcji prac badawczo-rozwojowych odzysku pierwiastków ziem rzadkich z popiołu węgla kamiennego | 67 |

ROZDZIAŁ III

KRUSZYWA MINERALNE

- | | |
|---|----|
| 3.1. Metody poprawy jakości kruszyw mineralnych wytwarzanych w mobilnych zestawach przeróbczych | 89 |
|---|----|

ROZDZIAŁ IV

EKOLOGICZNE PALIWA WĘGLOWE

- | | |
|--|-----|
| 4.1. Ekologiczne paliwa węglowe produkcji PGG SA i proces spalania w kotłach klasy Ecodesign | 102 |
|--|-----|

ROZDZIAŁ V
OCHRONA ŚRODOWISKA - REKULTYWACJA TERENÓW,
GOSPODARKA WODNA

5.1. Gospodarcze wykorzystanie wskaźnika śladu wodnego	128
--	-----

ROZDZIAŁ VI
BEZPIECZEŃSTWO PRACY,
MONITOROWANIE CZYNNIKÓW ZAGROŻENIA

6.1. Bezpieczeństwo użytkowania odzieży ochronnej pracowników sektora górniczego pod kątem narażenia na substancje chemiczne	144
Indeks autorów	159

Przeróbka mechaniczna w kopalniach węgla kamiennego niepodległej Polski

Aleksander Lutyński – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Wiesław Blaschke – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono ogólny zarys historii górnictwa węgla kamiennego w okresie ostatnich stu lat na terenie Polski. Informacje podane w opracowaniu dotyczą kopalń podziemnych węgla kamiennego, prezentując ich ilości, produktywności, zatrudnienie oraz aspekty własnościowe w minionym okresie. Opracowanie prezentuje również zmiany ilościowe i jakościowe w przeróbce mechanicznej węgla, jakie nastąpiły w kopalniach polskich w opisywanym okresie. W monografii opisano rolę i znaczenie jaką odegrał w tym procesie zmian Instytut Techniki Górniczej KOMAG.

Coal processing in coal mines of independent Poland

Abstract: The paper presents a general overview of coal mining industry in Poland in the last centennial. Information on the number of mines, productivity, employment and ownership aspects is given in relation to underground mines. Qualitative and quantitative changes in coal processing in this period are also discussed. The study describes the role and significance of the KOMAG Institute of Mining Technology in these processes.

1. Polskie kopalnie węgla kamiennego w omawianym okresie

Kłęska Niemiec w pierwszej wojnie światowej i odrodzenie się Polski w listopadzie 1918 roku oraz działania w nieco późniejszym okresie miały niezwykle istotny wpływ na gospodarkę, a w tym i na górnictwo węgla kamiennego. W 1918 r. w Polsce znajdowały się tylko dwa okręgi przemysłowe. Był to okręg dąbrowski i krakowski. Na Śląsku Cieszyńskim działała jedynie kopalnia „Silesia”. Kopalnie hulczyńskie, znajdujące się w okręgu górnośląskim, które powiązane były finansowo z Zagłębiem Ostrawsko-Karwińskim włączono w 1919 r. do Czechosłowacji [5]. Pozostałe kopalnie znajdujące się w okręgu górnośląskim, z uwagi na mający się odbyć na tym terenie plebiscyt, wzięła pod swoją kuratelę Komisja Międzynarodowa. Należy zaznaczyć, że Górny Śląsk był w państwie niemieckim regionem z wysoko rozwiniętym przemysłem, szczególnie górnictwem i hutnictwem. Był w Europie drugim regionem, zaraz po regionie Ruhry, o takim potencjale gospodarczym. O pozycji Górnego Śląska zadecydowały jego bogactwa naturalne, przede wszystkim węgiel, a także cynk, ołów i ruda żelaza. W przemyśle, który się intensywnie rozwinął zatrudnionych było przed pierwszą wojną światową blisko 250 tysięcy robotników, z czego około 200 tysięcy

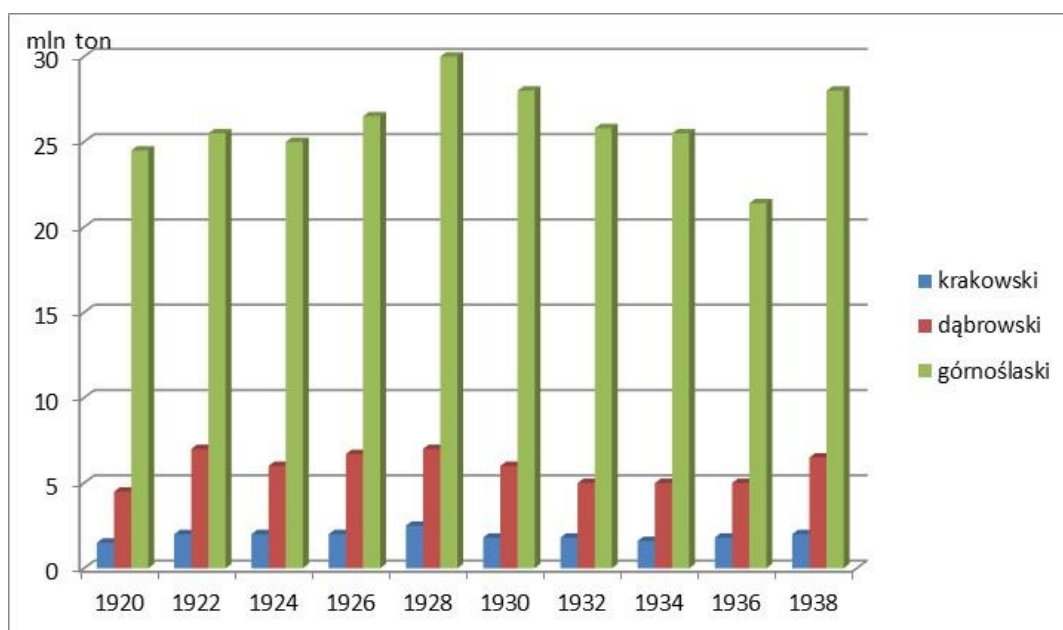
zatrudnionych było w górnictwie i hutnictwie. Działo wtedy bowiem 67 kopalń węgla kamiennego, 15 kopalń rud cynku i ołowiu, 9 kopalń rud żelaza, 18 hut cynku, ołowiu i srebra i 9 hut żelaza. Wydobycie węgla w górnośląskich kopalniach wyniosło w 1918 roku 43,5 mln ton. Ta ilość stanowiła 23% ogólnej produkcji węgla kamiennego Niemiec. Wydobycie Niemiec ogółem w tym roku wyniosło 190 mln ton. Węgiel z kopalń górnośląskich zaopatrywał nie tylko cały przemysł w regionie oraz gospodarstwa domowe, ale i przemysł wschodnich i częściowo południowych Niemiec [5].

W wyniku plebiscytu, poprzedzonego dwoma śląskimi powstaniami, przeprowadzonego 20 marca 1921 r. okręg górnośląski podzielony został pomiędzy Polskę i Niemcy. Polska uzyskała 29% terytorium Górnego Śląska, w tym 52 kopalnie węgla kamiennego, 10 kopalń rud cynku i ołowiu, wszystkie kopalnie rudy żelaza i wszystkie huty rud cynku i ołowiu oraz 5 hut żelaza. Podział Górnego Śląska i dane z omawianego zakresu pokazano na rysunku 1 [26].

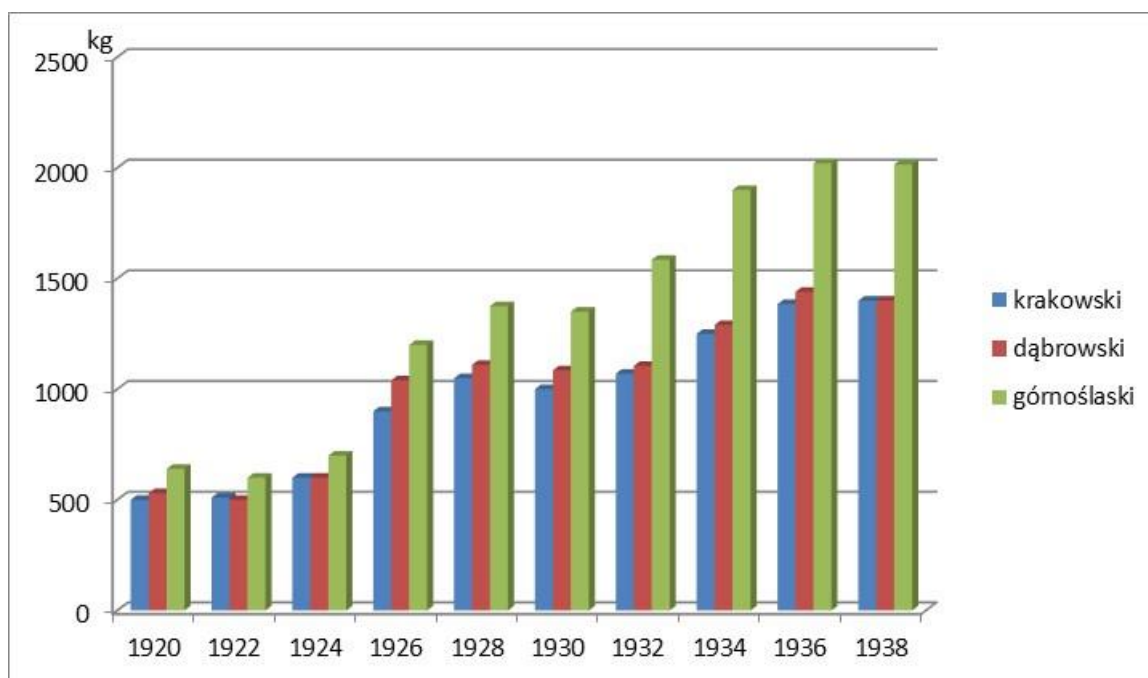


Rys. 1. Podział terytorium, ludności oraz gospodarki Górnego Śląska jako wynik plebiscytu przeprowadzonego 20 marca 1921 r. [26]

Tak więc do trzydziestu dwóch kopalń okręgu dąbrowskiego (z czego połowa to bardzo małe, płytkie kopalnie) wydobywających około 4,5 mln ton węgla i zatrudniających ok. 22 tys. robotników i do ośmiu kopalń okręgu krakowskiego wydobywających około 1,5 mln ton i zatrudniających około 7 tys. robotników dołączyły pięćdziesiąt trzy kopalnie górnośląskie wydobywające ok. 22,5 mln ton (1921 r.) oraz 25,5 mln ton (1922 r.) i zatrudniające w tych latach odpowiednio około 139 i 146 tys. robotników (statystyki Górnośląskiego Związku Przemysłowców Górniczo-Hutniczych). W okresie międzywojennym wydobywanie polskich kopalń, jak i zatrudnienie w nich podlegało zmianom. Zmiany wydobywania w polskich kopalniach pokazano na rysunku 2 [5]. Również zmianom podlegała wydajność przeliczana na roboczo-dniówkę. Pokazano to na rysunku 3 [5]. Wpływ na to miał kryzys gospodarczy oraz zakaz importu polskiego węgla przez Niemcy. Istotny spadek wydobywania zaznaczył się we wszystkich trzech okręgach w latach 1924 i 1925. Niezwykle ostro spadała liczba robotników zatrudnionych w polskich kopalniach. W 1923 r. było ich 219 tys., w 1924 r. około 180,5 tys., w 1925 r. około 122,5 tys., a 1926 r. około 115 tys. Na skutek tych działań szereg kopalń przestało działać. Do poprawy sytuacji polskich kopalń doszło nieoczekiwanie w 1926 r. z uwagi na załamanie wydobywania węgla w Wielkiej Brytanii, będącej wtedy jednym z najważniejszych producentów i eksporterów węgla. W 1925 r. w 2800 kopalniach należących do 1500 przedsiębiorców wydobywano tam 247 mln ton węgla, z czego 21% było eksportowane. Strajki górników brytyjskich i wynikający z nich spadek eksportu pozwolił na wejście polskiego węgla na rynki zagraniczne. Nowymi odbiorcami polskiego węgla były Szwecja, Dania, Finlandia, Łotwa, Litwa, Estonia i Włochy.



Rys. 2. Wydobywanie węgla kamiennego polskich kopalń w trzech okręgach: krakowskim, dąbrowskim i górnośląskim [5]



Rys. 3. Wydajność przeliczana na roboczo-dniówkę w polskich kopalniach w trzech okręgach: krakowskim, dąbrowskim i górnośląskim [5]

Eksport polskiego węgla, który w 1925 r. wynosił ok. 8,2 mln ton wzrósł w 1926 r. do 14,7 mln ton, aby w 1929 r. osiągnąć poziom ok. 15 mln ton. W tym roku poziom wydobywania wszystkich polskich kopalń wyniósł ok. 46 mln ton. Od tego roku zaczął się ogólnoswiatowy długotrwały kryzys gospodarczy, co przełożyło się na istotne zmniejszenie zapotrzebowania na węgiel. Należy zaznaczyć, że w 1938 roku, po zmianie granic i przyłączeniu wschodniej części okręgu ostrawsko-karwińskiego, wchodzącej w skład Śląska Zaolziańskiego, Polska uzyskała 15 czynnych kopalń. Kopalnie te wydobyły w 1937 r. około 7,3 mln ton przy zatrudnieniu około 15 tys. robotników [5].

Szacuje się, że łączna produkcja polskich kopalń w okresie międzywojennym wyniosła około 700 mln ton. Zasoby nowo udostępnione zrównoważyły ubytek substancji węglowej zaledwie w drobnej części. Z uwagi na kryzysy gospodarcze w okresie międzywojennym kopalnie były słabo wyposażone, a użytkowane maszyny i sprzęt przestarzały i wyeksploatowany.

Ciekawą jest informacja Instytutu Badania Koniunktur Gospodarczych i Cen [12], która dotyczy finansów kopalń okręgu górnośląskiego i dąbrowskiego. Otóż w latach 1929 do 1937 analizowane finanse funkcjonowania kopalń wykazały tylko w 1929 roku zysk, natomiast w pozostałych latach wykazywane były straty od kilku do kilkunastu procent przychodów ze sprzedaży węgla.

W roku 1938 kopalnie polskie i polsko-francuskie miały 35,4% udziału w wydobyciu węgla kamiennego w Polsce, niemieckie - 44,8 %, amerykańsko-niemieckie (Giesche) - w 6,1% oraz firmy francuskie i belgijskie - 13,7% [12].

Druga wojna światowa doprowadziła do dalszego obniżenia zdolności produkcyjnej kopalń. W okresie drugiej wojny światowej w kopalniach węgla kamiennego prowadzona była rabunkowa gospodarka złożem. Okupant dążył do maksymalnego wydobycia węgla bez nakładów inwestycyjnych. Efektem tej gospodarki były fatalne skutki techniczno-ekonomiczne i radykalne pogorszenie warunków bezpieczeństwa oraz higieny pracy górników. W roku 1944 wydobycie kopalń trzech okręgów dąbrowskiego, krakowskiego i górnośląskiego w części polskiej wynosiła niespełna 20 mln ton [5]. W ostatnich dniach drugiej wojny światowej czynione były przez okupanta przygotowania mające na celu zniszczenie kopalń lub ich zatopienie. Jednak zdecydowana postawa górników strzegących z narażaniem życia swoich zakładów, nie dopuściła do zniszczenia kopalń. Natychmiast po wyzwoleniu górnicy sami zajęli się przygotowaniem kopalń do produkcji, zanim kopalnie zostały objęte przez oficjalny zarząd.

Po wyzwoleniu, na mocy ustawy z dnia 3 stycznia 1946 r., rząd Polski przejął wszystkie kopalnie na własność państwa. Górnictwo rozwijało się na zasadach planów gospodarki narodowej, stanowiąc w niej decydujące ogniwo dla rozwoju innych dziedzin wytwórczości.

Już w 1946 roku wydobycie węgla kamiennego wyniosło około 47 mln ton [15]. Likwidacji uległy małe kopalnie okręgów krakowskiego i dąbrowskiego. Modernizowano i doposażano kopalnie istniejące oraz podejmowano budowę kopalń nowoczesnych, wysoko produkcyjnych. Węgiel był praktycznie jedynym towarem eksportowym. Niezwykle dynamicznie rozwijał się Rybnicki Okręg Węglowy, obecnie Jastrzębska Spółka Węglowa SA. Powstały tam kopalnie: Jastrzębie (1962), Moszczenica (1966), Zofiówka (1969), Borynia (1971), Pniówek (1974) i w późniejszym okresie Krupiński (1983) oraz Morcinek (1987). Najpóźniej zagospodarowanym górnictwo rejonem węglowym w Polsce jest Lubelskie Zagłębie Węglowe, dla którego pierwszą dokumentację złoża opracowano w 1971 r. [17], a w 1982 r. uruchomiono pierwszą kopalnię w Bogdanie k. Łęcznej [23], w której planuje się wydobyć w 2019 r. 9,4 ton węgla [25]. Najwyższe wydobycie węgla kamiennego zanotowano w naszym kraju w 1979 roku. Było to według niektórych źródeł nawet 201 mln ton [19]. Od tego czasu ilość wydobywanego surowca maleje, podobnie jak zatrudnienie w branży górniczej. W roku 1990 w 70 funkcjonujących kopalniach wydobyto 151,3 mln ton węgla kamiennego, przy zatrudnieniu wynoszącym 416 tys. pracowników [16]. W okresie powojennym górnictwo węglowe przechodzi głębokie zmiany strukturalne, techniczne i technologiczne, które mają na celu poprawę efektywności jego funkcjonowania. W 2018 roku w Polsce pracowało 18 kopalń zatrudniających ok. 85 tys. pracowników. Wydobyto 63,4 mln ton węgla. Import węgla do kraju był rekordowy i wyniósł około 19,7 mln ton, to jest o ok. 70% więcej niż w 2017 roku. Działalność organizacji górniczych jest rentowna.

Wśród obecnie działających kopalń są takie, które już mają za sobą obchody 100-lecia istnienia. Najstarszą z czynnych kopalń jest kopalnia Murcki, w której rozpoczęto eksploatację podziemną w roku 1769 [20], a kolejną kopalnia Rydułtowy działająca od 1792 r. [22] oraz Wieczorek (1826 r.). W listopadzie 2013 r. 130-lecie działalności obchodziła kopalnia Marcel

w Radlinie, a w 2016 r. i 2017 r. 100-lecia świętowały kopalnie odpowiednio Jankowice i Sośnica [23, 24]. Natomiast najmłodszą kopalnią węgla jest Budryk w Ornontowicach, uruchomiony w 1994 r. [21].

2. Zakłady przeróbki mechanicznej węgla w omawianym okresie

W okresie międzywojennym zaobserwować można znaczne zmiany modernizacyjne w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. Są one związane z rozwojem maszyn i urządzeń oraz ze sposobem ich zasilania w energię. Praktycznie we wszystkich kopalniach węgiel wydobyty z podziemi kierowany był do zakładów przeróbki mechanicznej zwanej wtedy sortowniami. W kopalniach polskich urobek węglowy w 80% poddawany był suchemu rozdzielaniu na poszczególne sortymenty według wielkości ziarna. Ziarna skały płonnej wybierano z grubych sortymentów ręcznie. Modernizacja sortowni polegała na zabudowie kruszarek rozdrabniających urobek (przerosty), zabudowie sit poprawiających procesy sortowania, płuczek wodnych oraz wialni pozwalających na wzbogacanie urobku. Istotne zmiany następowały w rozwiązaniach napędu poszczególnych maszyn i urządzeń pracujących w sortowniach. Napędy centralne poruszające maszyny i urządzenia za pomocą wałów i systemów pasów transmisyjnych zastępowano silnikami elektrycznymi małej mocy. Efektem tych rozwiązań modernizacyjnych było zmniejszenie zużycia energii i zwiększenie bezpieczeństwa pracy. Zmodernizowano także transport urobku z szybów do sortowni i z sortowni do wagonów kolejowych. Pojawiły się przenośniki taśmowe posiadające napęd elektryczny, wywroty usprawniające wyładunek z wozów kopalnianych, automatyczne opróżniane zbiorniki węgla. W 1936 r. w kopalni „Karsten-Centrum” zastosowano przenośnik taśmowy transportujący węgiel na zwały i ze zwałów. Wydajność największych sortowni dochodziła do 600 t/godz. Drobne sortymenty oczyszczano z kamienia przeważnie w płuczkach. I tak w kopalniach polskich w 1934 r. płukano 16,1 % wydobywanego węgla, a w 1937 r. ilość ta wzrosła do 18,7%. W 1938 r. w kopalniach „Bytom” i „Hohenzollern” zainstalowano płuczki kaskadowe, co było w owych czasach innowacyjnym rozwiązaniem. Natomiast w latach trzydziestych w zakładach przeróbki mechanicznej zaczęto wprowadzać wialnie, nazywane czasem płuczkami pneumatycznymi. Pierwszymi kopalniami, które wprowadziły do swoich zakładów takie wialnie systemu Birtley były „Bielszowice” i „Abwehr”. Wydajność takich wialni to 80 do 100 t/godz. Wialnia przeznaczona była do oczyszczania z kamienia urobku o wymiarze ziarna od 0,5 do 35 mm, charakteryzując się mocą 185 kW (251 KM). Ciekawym rozwiązaniem była wialnia zabudowana w latach 1936-1937 w kopalni „Hrabina Joanna” (KWK Bobrek) o wydajności 500 t/godz. Przystosowana była do oczyszczania z kamienia urobku o ziarnach do 70 mm. W sumie jednak w wialniach poddawano tylko kilka procent urobku wydobywanego w kopalniach [5].

Nowym rozwiązaniem w zakładach przeróbki mechanicznej węgla były urządzenia wzbogacające (flotujące) najdrobniejsze ziarna węgla. Pierwsze takie urządzenia zabudowano w kopalni „Dębieńsko” w latach 1937-1938 [5]. Urządzenie flotujące ziarna poniżej 1 mm miało

dwie baterie o łącznej wydajności 25 t/godz. W skali roku dostarczało ono do 75 tys. ton koncentratu, który przerabiany był na koks odlewniczy.

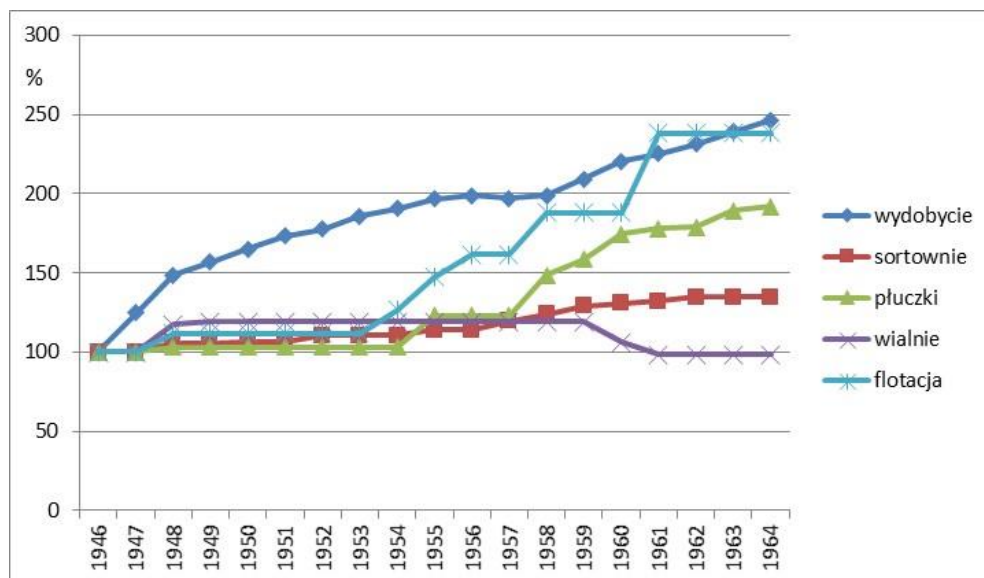
Z części najdrobniejszych sortymentów węgla produkowane były brykiety. Produkowano je w kopalniach „Król” („Prezydent”), „Radzionków”, „Rymer”, „Królowa Luiza”, „Hohenzollern”.

Mimo wymienionych nowych rozwiązań wprowadzanych do zakładów przeróbki ich poziom techniczny był niższy w porównaniu z zakładami w innych krajach. Pierwsze płuczki bowiem pojawiły się w zakładach kopalń Górnego Śląska o 20 lat później niż w Anglii czy Ameryce. Ilustracją tego stwierdzenia może być następujący przykład. W 1934 r. w kopalniach angielskich wzbogacano w płuczkach 33,4% wydobywanego węgla, a w wialniach 6,1%. W kopalniach polskich było to odpowiednio 16,1% oraz 2,1% [5].

Zaznaczyć należy, iż mimo postępu w zakresie wzbogacania węgla nie znormalizowane zostały zarówno wymiary, jak i liczba jego sortymentów. Zostawiono znaczną dowolność dla poszczególnych okręgów, a nawet kopalń. Taka sytuacja stwarzała niejasny obraz konkurencji cenowej na rynku węgla.

Po zakończeniu drugiej wojny światowej, po przejściu na własność państwa kopalń węgla kamiennego, które ze względu na rabunkową gospodarkę okupanta były niedoinwestowane rozpoczęto zabiegi modernizacyjne. Miały one na celu przywrócenie należnego poziomu technicznego tym kopalniom. W początkowym okresie najistotniejszym było odbudowanie zdolności wydobywczej kopalń.

W 1946 roku wydobyte polskich kopalń wyniosło około 51 mln ton. Zdolność przerobowa zakładów przeróbki wynosiła wtedy 19 800 t/h. Stopień wykorzystania tej zdolności przerobowej zakładów, w których technologia wzbogacania oparta była na ręcznym wzbogacaniu sortymentów grubych, wyniósł 56,3%. Zdolność przerobową płuczek i wialni szacowano wtedy na ok. 26,5 mln ton, co pozwalało na wzbogacanie 52,3% wydobywanego węgla kamiennego brutto. Była to więc stosunkowo korzystna sytuacja dla zakładów mechanicznej przeróbki węgla. Sytuacja ta trwała nistety krótko. Szybkie tempo wzrostu wydobywania, dyktowane koniecznością rozwoju przemysłu krajowego, nie przekładało się na przyrost zdolności przerobowej zakładów przerobczych. Zdolność ta utrzymywała się prawie na niezmiennym poziomie do 1959 r. Pokazuje to rysunek 4, na którym istotny wzrost wydobywania węgla w kopalniach nie koresponduje z przyrostem zdolności przerobowych zakładów i poszczególnych procesów technologicznych wzbogacania urobku, które prowadzone były w tych zakładach [7]. Dane prezentowane na wykresie wskazują, że w 1964 roku przyrost w stosunku do roku 1946 wzrósł w przypadku wydobywania węgla o 146,3%, a w przypadku zdolności przerobowych odpowiednio: sortowni o 34,7%, płuczki o 92,1%, flotacji o 138,2%. Natomiast w przypadku wialni ich zdolność przerobowa zmniejszyła się o 18% [7].



Rys. 4. Względny, w stosunku do roku 1946, przyrost wydobywania węgla kamiennego w kopalniach wraz z względnym przyrostem zdolności przerobowych sortowni i poszczególnych węzłów technologicznych wzbogacania urobku [7]

Wzrost zdolności przerobowej zakładów przeróbki w poszczególnych zjednoczeniach przemysłu węglowego na przestrzeni lat 1946 do 1964 przedstawia tabela 1 [7].

Porównanie zdolności przerobowej zakładów przerobczych poszczególnych zjednoczeń przemysłu węglowego w latach 1946 i 1964 [7]

Tabela 1.

zjednoczenie	Zdolność przerobowa zakładów przeróbki t/godz. brutto							
	sortownie		płuczki		wialnie		flotacja	
	1946	1964	1946	1964	1946	1964	1946	1964
Jaw. Mikoł.	2 120	3 610	165	985	-	-	-	-
Dąbrowskie	2 990	3 860	505	440	100	100	-	-
Katowickie	4 680	4 970	275	275	70	70	-	-
Bytomskie	4 935	7 400	580	1 710	440	545	-	-
Zabrzeńskie	4 520	5 720	1 435	2 825	510	385	20	65
Rybnickie	1 850	2 850	1 225	2 575	-	-	25	165
Dolnośląskie	-	-	900	960	-	-	125	175
Razem PW	21 095	28 410	5 085	9 770	1 120	1 100	170	405

Widoczny wzrost zdolności przerobowej zakładów przeróbki mechanicznej w latach 1946 do 1964 był wynikiem budowy nowych i rozbudowy już istniejących zakładów. W tym okresie zbudowano bowiem 21 sortowni, 19 płuczek, 3 wialnie i 6 oddziałów flotacji, a rozbudowano 3 sortownie, 4 płuczki i 1 oddział flotacji. Przy wydobywaniu kopalń w 1963 r. na poziomie

około 130,7 mln ton zdolność przerobowa sortowni pozwalała na przerób ok. 93% wydobytego surowca, a zdolność przerobowa płuczek i wialni pozwalała na wzbogacanie tylko 35,1% surowca [7]. Przypomnieć należy, że zakłady przerobcze w 1946 r. mogły wzbogacić wydobywany węgiel w płuczkach i sortowniach w 52,3%, przy wydobywaniu około 51 mln ton.

Stosunkowo szybki rozwój mechanizacji urabiania, ładowania i transportu w latach sześćdziesiątych powodował wzrost zanieczyszczeń urobku węglowego skałą płonną. Z tego względu koniecznym stawała się rozbudowa technologii wzbogacania urobku w niższych klasach ziarnowych tym bardziej, że istniejące zakłady przerobcze były przestarzałe i niedostosowane do wymagań jakościowych węgla. Lata pracy węzłów technologicznych zakładów przerobczych w 1965 roku pokazano w tabeli 2 [7].

Lata pracy węzłów technologicznych zakładów przeróbki węgla w 1965 r. [7]

Tabela 2.

Lata pracy	sortownie		płuczki		wialnie		flotacja	
	liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%
< 20	26	36,7	21	50,3	3	22,2	6	52,2
21-30	13	14,3	11	16,8	6	70,8	2	13,7
31-40	4	3,1	6	14,1	1	7,0	3	34,1
41-50	20	18,3	6	13,5	-	-	-	-
51-60	25	20,7	6	5,3	-	-	-	-
> 60	9	6,9	-	-	-	-	-	-
Suma	97	100	50	100	10	100	11	100

Kolejne lata rozwoju górnictwa węglowego przynoszą znaczny postęp w zakresie rozwoju zakładów przeróbki węgla. W okresie do 1997 r. wybudowano łącznie 53 nowe zakłady przeróbki mechanicznej węgla, a 23 zmodernizowano. Tylko w okresie 1990 do 1996 wybudowanych zostało 10 zakładów przerobczych, w tym 9 nowych zakładów wzbogacania miałów energetycznych. Podjęte zabiegi restrukturyzacyjne polskiego górnictwa węgla kamiennego wynikające ze zmian politycznych w 1989 r. i gospodarczych jako efekt urynkowania gospodarki miały istotny wpływ na jego funkcjonowanie, a tym samym na funkcjonowanie zakładów przeróbki mechanicznej węgla. Radykalnie zmniejszała się produkcja węgla. W latach od 1989 do 1997 w ramach restrukturyzacji przemysłu zlikwidowane zostały 22 zakłady przerobcze. Tak więc w 1997 r. węgiel kamienny wydobywano w 57 kopalniach, w których funkcjonowało 66 zakładów przeróbki mechanicznej. W zakładach tych pracowało 66 sekcji płuczek ziarnowych +20(10) mm, 45 sekcji płuczek miałowych 20(10) ÷ 0,5 mm, oraz 22 oddziały flotacji węgla 0,5 ÷ 0 mm [14].

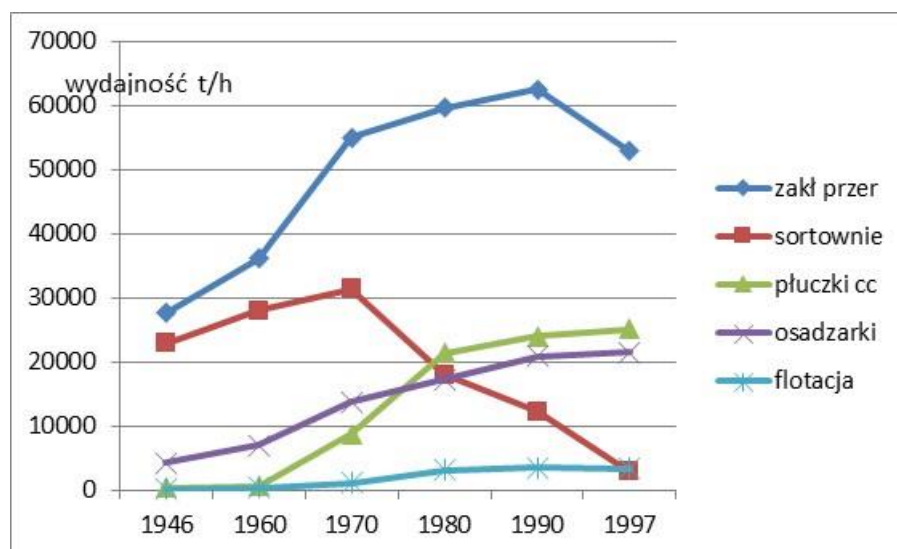
Wyposażenie zakładów przerobczych w maszyny podstawowych węzłów technologicznych przedstawiono w tabeli 3 [14].

**Wyposażenie podstawowych węzłów technologicznych zakładów przeróbczych
w maszyny w 1997 r. [14]**

Tabela 3.

Lp.	Maszyny podstawowych węzłów technologicznych	Liczba maszyn		
		razem	krajowe	import
1.	Przesiewacze klasyfikacji wstępnej	394	351	43
2.	Wzbogacalniki w klasach +0,5	417	371	46
3.	Flotowniki	86	77	9
4.	Maszyny do odwadniania	916	881	35
5.	Ogółem	1813	1680	133

Zmiany wydajności zakładów przeróbczych oraz poszczególnych węzłów technologicznych tych zakładów w okresie od 1946 r. do roku 1997 pokazano na rysunku 5 [7].



Rys. 5. Zmiany wydajności zakładów przeróbczych wraz ze zmianami wydajności poszczególnych węzłów technologicznych [7]

Po 1997 r. zmiany restrukturyzacyjne w górnictwie kontynuowano. Obecnie w osiemnastu kopalniach węgla kamiennego funkcjonuje czterdzieści zakładów przeróbki mechanicznej węgla [1, 3]. Trzydzieści trzy zakłady wzbogacają węgiel energetyczny, z czego dziewięć wzbogaca węgiel tylko w klasie powyżej 20(10) mm, szesnaście zakładów przeróbczych wzbogaca węgiel w klasach powyżej 0,1 mm, a osiem wzbogaca węgiel w pełnym zakresie uziarnienia. Węgiel koksowy natomiast wzbogaca siedem zakładów przeróbczych, wszystkie w pełnym zakresie uziarnienia. W zakładach mechanicznej przeróbki węgla pracują na ogół

nowoczesne maszyny. Operacje przygotowujące węgiel do procesu wzbogacania prowadzone są w maszynach takich jak przesiewacze różnych rodzajów i typów oraz kruszarki. Węgiel wzbogacany jest we wzbogacalnikach z cieczą ciężką, wodnych osadzarkach pulsacyjnych, spiralach Reicherta, cyklonach z cieczą ciężką, hydrocyklonach i flotownikach. Produkty wzbogacania odwadniane są na przesiewaczach wibracyjnych, w wirówkach wibracyjnych oraz sedymentacyjno-sitowych, prasach taśmowych i filtracyjnych, filtrach ciśnieniowych oraz tarczowych próżniowych. Poszczególne węzły technologiczne cechuje wysoki poziom automatyzacji [4]. Praca maszyn i urządzeń jest wizualizowana.

3. Rola Instytutu Techniki Górniczej KOMAG w procesach zmian zachodzących w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń

Instytut Techniki Górniczej KOMAG pod aktualną nazwą funkcjonuje od 1 stycznia 2009 r. [6]. Zmianę nazwy Instytutu poprzedziło szereg działań organizacyjnych zmieniających nie tylko nazwę jednostki, ale i zakresy jej funkcjonowania. Historia Instytutu sięga bowiem roku 1950, kiedy to istniejące Centralne Biuro Projektów zostało przekształcone w Biuro Konstrukcji Maszyn Górniczych, aby w 1953 r. przyjąć nazwę Centralnego Biura Konstrukcji Maszyn Górniczych z siedzibą w Gliwicach. W 1957 roku połączono Centralne Biuro Konstrukcji Maszyn Górniczych oraz istniejący od 1951 r. Instytut Mechanizacji Górnictwa. W wyniku tego połączenia powstał Instytut Doświadczalno-Konstrukcyjny Przemysłu Węglowego, który w 1958 roku przyjął nazwę Zakładów Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego. W rozwijającym się dynamicznie, zgodnie z potrzebami przemysłu węglowego, ZKMPW utworzono na przestrzeni kilku lat Zakład Elektroniki Górniczej w Tychach, „Elektrometal” w Cieszynie, Zakład Budowy Maszyn Doświadczalnych oraz Zakład Cybernetycznych Kompleksów Górniczych w Biskupicach. Do struktury ZKMPW włączono również kopalnię doświadczalną M300 i Doświadczalną, Zautomatyzowaną Kopalnię JAN w Katowicach. Funkcjonujący w ramach istniejącej struktury Ośrodek Szkolenia Maszynowego przekształcono w Zakład Doskonalenia Kadr.

Kolejną reorganizację przeprowadzono na początku 1975 r. Z Zakładów Konstrukcyjno-Mechanizacyjnych Przemysłu Węglowego wydzielono wtedy Zakład Budowy Maszyn Doświadczalnych, Kopalnię Doświadczalną M-300 oraz Zakład Doskonalenia Kadr, tworząc Centralny Ośrodek Projektowo-Konstrukcyjny Maszyn Górniczych KOMAG w Gliwicach, mający status ośrodka badawczo-rozwojowego. Został on podporządkowany organizacyjnie Zjednoczeniu Przemysłu Maszyn Górniczych POLMAG. KOMAG stał się wtedy zapleczem konstrukcyjnym, badawczym i rozwojowym dla wszystkich fabryk, wchodzących w skład Zjednoczenia, a więc: FAMUR, FAZOS, TAGOR, RYFAMA i GEORYT. W fabrykach tych KOMAG utworzył zakłady terenowe.

W 1979 roku do KOMAG-u włączono Ośrodek Projektowo-Technologiczny Maszyn Górniczych ORTEM. Tak więc zakres działania został poszerzony o zagadnienia technologii wytwarzania maszyn i urządzeń górniczych oraz o tematykę organizacji i zarządzania produkcją. Postanowiono wtedy zmienić nazwę na Centrum Konstrukcyjno-Technologiczne

Maszyn Górniczych KOMAG W wyniku kolejnej reorganizacji, która miała miejsce w marcu 1990 roku powstała jednostka badawczo rozwojowa o nazwie Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG.

W 2005 roku w wyniku realizacji procesu konsolidacji jednostek badawczo-rozwojowych, podlegających Ministrowi Gospodarki, do Centrum KOMAG włączono Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Reduktorów i Motoreduktorów REDOR w Bielsku-Białej, natomiast w 2006 r. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Budownictwa Górniczego BUDOKOP w Mysłowicach.

W związku ze znacznym poszerzeniem zakresu działalności uznano, że nazwa ta nie odzwierciedla szerokiego spectrum działalności naukowej, badawczej i technicznej, realizowanej przez KOMAG w zakresie innowacyjnych rozwiązań dla gospodarki. Biorąc pod uwagę ten fakt, wystąpiono do Ministerstwa Gospodarki z wnioskiem o zmianę dotychczasowej nazwy Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG na Instytut Techniki Górniczej KOMAG.

W pierwszych latach swojej blisko siedemdziesięcioletniej historii prace badawczo-konstrukcyjne dotyczyły głównie maszyn i urządzeń służących do eksploatacji złóż węglowych. Z upływem czasu rozwijane były kierunki i zakres tych prac. Obecnie prace naukowe, badawcze i techniczne, realizowane w KOMAG-u, obejmują systemy mechaniczne i mechatroniczne, w tym: maszyny i urządzenia dla podziemnej eksploatacji złóż oraz przeróbki mechanicznej surowców mineralnych oraz systemy zasilania, sterowania, diagnostyki i monitoringu. Prowadzone są prace badawczo-rozwojowe maszyn i urządzeń oraz wykonywane są ekspertyzy w zakresie doboru maszyn i urządzeń dostosowanych do określonych warunków eksploatacyjnych. Prowadzone są także badania modelowe, stanowiskowe i przemysłowe celem zwiększenia trwałości, niezawodności, bezpieczeństwa pracy, ergonomii i ochrony środowiska. W okresie od 1950 roku powstało ponad 1100 rozwiązań technicznych maszyn i urządzeń zastosowanych w kopalniach surowców mineralnych w kraju i za granicą oraz ponad 4400 patentów i wzorów użytkowych.

Istotnym obszarem działań KOMAG-u od roku 1955 do chwili obecnej jest obszar przeróbki mechanicznej węgla kamiennego i innych surowców mineralnych. W tym obszarze działania jednostki jednym z najistotniejszych jest segment maszyn i urządzeń wzbogacających urobek w cieczy ciężkiej (wzbogacalniki DISA) oraz w pulsującym ośrodku wodnym (osadzarki). W okresie od 1955 do 2018 r. opracowano dokumentacje techniczne trzystu dwudziestu wzbogacalników (nowych i zmodernizowanych) w tym ponad dwustu wzbogacalników w pulsującym ośrodku wodnym [11]. Obecnie konstruowane są osadzarki typu KOMAG do wzbogacania różnych klas ziarnowych. Są nimi osadzarki miałowe - OM przeznaczone dla klasy ziarnowej 20-0(0,5)mm, osadzarki średnioziarnowe - OS przeznaczone dla klasy ziarnowej 80(50)-0(0,5) mm i osadzarki ziarnowe - OZ przeznaczone dla klasy ziarnowej 120-20 mm. Osadzarki mają modyfikacje, które uwzględniają wymagania stawiane przez użytkowników i warunki ich lokalizacji. Osadzarki pracują w kopalniach polskich i zagranicznych węgla kamiennego w Brazylii, Chinach, Indiach, Rumunii i Wietnamie, a zmodyfikowane ich konstrukcje w zakładach produkcji kruszyw. Wykaz osadzarek

zaprojektowanych w latach 1955-2018 i wdrożonych w polskich kopalniach węgla kamiennego, zakładach produkcji kruszyw oraz przeznaczonych na eksport przedstawiono w tabeli 4 [11].

Wykaz osadzarek typu KOMAG zaprojektowanych w latach 1955-2018 [11]

Tabela 4.

Okres produkcji	Typ osadzarki	Miejsce zastosowania
1955-1970	OBM12, OBM15, OBSZ15, OBZ10, OBZ12	Kopalnie Węgla Kamiennego: „Anna”, „Dębieńsko”, „Knurów”, „1-Maja”, „Nowy Wirek”, „Mysłowice”, „Rydułtowy”, eksport do Chin, Indii oraz Wietnamu.
1971-1985	ODM10, ODM18, ODZ15, OM12, OM12-2, OM12-3, OM12-3S, OM12G3, OM12P3, OM12L3, OM18P3, OM18L3, OM24-3, OM24D, OM24B3, OM24D3, OZ18L, OZ12, OZ12L, OZ12P3, OS36D3, OZ36D3, OC8, OC10	Kopalnie Węgla Kamiennego: „Bogdanka”, „Borynia”, „Dębieńsko”, „Gliwice”, „Halemba”, „Knurów”, „Krupiński”, „Jankowice”, „Makoszowy”, „Marcel”, „Pniówek”, „Dymitrow”, „Rydułtowy”, „Sośnica”, „Staszic”, „Wujek”, „Szczygłowice”, „Wawel”, „Zabrze”, „Zofiówka”, „Moszczenica”, eksport do Brazylii, Indii oraz Rumuni.
1986-2014	OM8L2e, OM8L2E, OM10L2E, OM15P3E, OM12P3E, OMPE-3x6,5, OM18L3E, OM18P3E, OM20P3E, OM20L3E, OM24P4E, OM24L4E, OM24D3E, OS24D3E, OM30-3E, OM18 3x8, OM30D3E, OS30D3E, OM30, OZ18, OZ18L3E, Osadzarka KOD	Kopalnie Węgla Kamiennego: „Andaluzja”, „Anna”, „Barbara-Chorzów”, „Bogdanka”, „Borynia”, „Budryk”, „Dębieńsko”, „Halemba”, „Jastrzębie”, „Jasmos”, „Knurów”, „Krupiński”, „Marcel”, „Pniówek”, „Rozbark”, „Rymer”, „Rydułtowy-Anna”, „Sośnica”, „Staszic”, „Szczygłowice”, „Wawel”, „Wujek”, „Zofiówka”, eksport do Czech i Indii. KWK „Budryk”, do odkamieniania urobku.
2003-2018	Klasyfikator pulsacyjny K-100, K-150, K-50, K-80, K-101, K-102, K-151	KSM sp. z o.o. w Borzęcinie, PPMD KRUSZBET S.A w Suwałkach, PRInż. Surowce Sp. z o.o. w Januszkowicach, PUHM „M +” Sp. z o.o. w Kędzierzynie Koźlu, Żwirownia Bierawa, PRESTO Emil Potręć, Rokitno, Rent-Pol - Przezchlebie
2014-2019	OM30, OS18L, OS18P, OM15L, OM15P, OS4, OM20, OS18L, OS18P, OM24, OM15L i OM15P	Kopalnie Węgla Kamiennego: „Sośnica”, „Krupiński”, „Pniówek”, „Budryk”, „Zofiówka”, ZG „Eko-Plus”, ZG „Sobieski”.

Rozwój konstrukcji osadzarek pulsacyjnych na przestrzeni lat charakteryzuje się doskonaleniem rozwiązań prowadzącym do zmian parametrów technicznych, które mają istotny wpływ na walory użytkowe w tym, co jest niezwykle istotne, na wydajność i koszty eksploatacyjne. Doskonalono w konstrukcji przedziały robocze osadzarek, zawory pulsacyjne, pokłady sitowe, układy odprowadzania produktów, układy sterowania siłownikami pneumatycznymi i przenośniki odprowadzające produkty. Opracowano oryginalny, autorski System Sterowania Osadzarką Pulsacyjną KOMAG (K.O.S.S.). Wysoki poziom nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych osadzarek pulsacyjnych doceniony został na szeregu konkursach i wystawach zdobywając nagrody i wyróżnienia nie tylko w Polsce, ale i za granicami kraju.

Zmiany wybranych parametrów będące wynikiem rozwoju konstrukcji, które zaobserwowano w okresie kilkudziesięciu lat projektowania osadzarek typu KOMAG, prezentuje tabela 5 [9].

**Zmiany wybranych parametrów technicznych osadzarek typu KOMAG
projektowanych w latach 1960-2004 [9]**

Tabela 5.

Parametr charakteryzujący osadzarkę	Lata produkcji			
	1960	1970	1975	2004
	Typ osadzarki			
	OBM12	ODM18	OM24	OM20
Wydajność nominalna, t/h	125	250	500	500
Wydajność jednostkowa (na 1m ³ sita),t/h	10,5	14,0	20,8	25,0
Masa osadzarki, t	120	70	40	32
Masa osadzarki na 1 t/h wzbogacanego węgla, kg	250	150	80	66
Masa przenośników kubelkowych, t	120	100	50	54
Masa urządzeń na 1 t/h wzbogacanego węgla, kg	480	340	180	172
Zapotrzebowanie na sprężone powietrze, m ³ /min	200	140	100	80
Zapotrzebowanie wody, m ³ /h	1800	1200	1000	800
Zapotrzebowanie wody na 1 t/h wzbogacanego węgla, m ³	3,6	2,4	2,0	1,6
Łączna zainstalowana moc urządzeń, kW	250	200	130	110
Moc zainstalowanych urządzeń na 1 t/h wzbogacanego węgla, kW	0,50	0,40	0,26	0,22
Kubatura zabudowy (osadzarka + przenośniki kubelkowe), m ³	11200	5600	2800	1600
Kubatura zabudowy na 1 t/h wzbogacanego węgla, m ³	22,4	1,2	5,6	3,2
Wskaźnik im perfekcji, -	0,20	0,16	0,15	0,12

W zakresie przeróbki mechanicznej węgla prace konstrukcyjno-badawcze KOMAG-u w minionym okresie dotyczyły także hydrocyklonów (przykład to opracowanie typoszeregu hydrocyklonów *water only* o średnicach 300, 225 i 150 mm) przesiewaczy oraz kruszarek. Są to istotne elementy technologicznych systemów przeróbczych. Opracowania projektowe z tego zakresu, mając za podstawę opracowane dokumentacje techniczne, zostały sukcesywnie wdrażane do praktyki przemysłowej.

Innym istotnym segmentem w obszarze mechanicznej przeróbki węgla kamiennego, w którym prowadzi prace Instytut Techniki Górniczej KOMAG jest segment związany

z bezpieczeństwem pracy. W zakładzie przeróbki mechanicznej węgla istnieje bowiem szereg zagrożeń dla życia i zdrowia tam zatrudnionych [7]. Jednym z takich zagrożeń jest pył kopalniany generujący zarówno czynnik niebezpieczny, którego oddziaływanie na pracującego może prowadzić lub prowadzi do urazu oraz czynnik szkodliwy, którego oddziaływanie na pracującego może prowadzić lub prowadzi do schorzenia.

W wyniku prac prowadzonych w ITG KOMAG powstały interesujące rozwiązania konstrukcyjne [8, 10] pozwalające na ich zastosowanie w wielu miejscach zakładu górniczego, w których pojawia się zagrożenie wybuchem pyłu. Są to urządzenia czterech różnych typów:

- typu UO, które wykorzystują mokrą metodę odpylania. W urządzeniach tych woda jest rozpraszana za pomocą dysz stałych, bądź poprzez dyszę wirową. Urządzenia te osiągają wysokie skuteczności odpylania, do 99,7% i produkowane są w szerokim zakresie wielkości;
- typu DCU, które działają na zasadzie kontaktu strugi zanieczyszczonego pyłem powietrza z kurtyną wodną wytwarzaną za pomocą wirnika napędzanego silnikiem elektrycznym. Silnik ten działa jednocześnie jak wentylator przetłaczający oczyszczane powietrze;
- typu LDCU, w których zastosowano mechanizm mokrego odpylania połączony z labiryntowym przepływem powietrza. Wskutek częstych i gwałtownych zmian kierunku przepływu zanieczyszczonego powietrza cząstki pyłu tracą swój pęd i są łatwo separowane za pomocą kurtyny wodnej. Odpylacz ten może współpracować zarówno z wentylatorami osiowymi, jak i promieniowymi, zainstalowanymi przed lub za odpylaczem, co umożliwia jego pracę w systemach wentylacji ssącej oraz kombinowanej;
- typu DRU, w których zastosowano tradycyjny mechanizm natrysku wody, połączony z silną separacją odśrodkową, uzyskiwaną za pomocą dwóch kierownic stałych. Dzięki temu urządzenie charakteryzuje się wysoką skutecznością odpylania przy stosunkowo niskich oporach przepływu.

Innym interesującym podejściem w zwalczaniu zagrożenia pyłem węglowym, które rozwija ITG KOMAG jest wykorzystywanie urządzeń zraszających w postaci baterii z dyszami zraszającymi, montowanymi bezpośrednio w miejscach powstawania pyłu na drogach transportowych. Instalacje te są zasilane wodą lub wodą ze sprężonym powietrzem wspomagającym proces rozpylania kropel. Jednym z rozwiązań przeznaczonych dla zakładów przerobczych, jest system mgłowy PASAT, montowany na przesypach przenośników i kruszarkach. System ten został zainstalowany w zakładach przerobczych kopalń KWK Bolesław Śmiały oraz KWK Mysłowice-Wesoła. Drugi z systemów zraszających, typu PASAT-W, wdrożono w zakładzie przerobczym KWK Mysłowice-Wesoła. Miejscem zabudowy były przesypy z przenośników stalowo-członowych, na przenośniki taśmowe [10].

W ostatnich miesiącach wdrożono w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla Polskiej Grupy Górniczej sp. z o.o. Oddział KWK „Bolesław Śmiały” system zraszający NEPTUN System ten składa się z siedmiu niezależnych instalacji zabudowanych na pięciu stanowiskach pracy [2].

Od 2000 roku, w cyklu rocznym, Instytut Techniki Górniczej KOMAG organizuje konferencję KOMEKO, na której omawiane są innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Konferencje te stanowią forum naukowo techniczne prezentacji najnowszych osiągnięć w zakresie przeróbki kopalin i wnoszą znaczący wkład w tej dziedzinie.

4. Podsumowanie

Opisane w opracowaniu zmiany jakie następowały w polskim górnictwie węgla kamiennego na przestrzeni stu lat niepodległej Polski, a co za tym idzie zmiany w zakładach przeróbki mechanicznej, wskazują na niezwykle istotne i głębokie dokonania techniczne, technologiczne i organizacyjne. Zmodernizowano zakłady istniejące i wybudowano nowe. W efekcie tych działań polskie górnictwo stało się nowoczesną, wysoko produkcyjną i efektywną gałęzią przemysłu. Polskie rozwiązania, maszyny i urządzenia produkowane w kraju z powodzeniem konkurują na rynku krajowym oraz rynkach zagranicznych z firmami spoza kraju. Istotną rolę w powojennych zabiegach modernizujących górnictwo węgla kamiennego po drugiej wojnie światowej odegrał, kilkakrotnie zmieniając swą nazwę, Instytut Techniki Górniczej KOMAG.

Literatura

1. Baic I., Blaschke W.: Przeróbka węgla kamiennego w Polsce – trendy rozwoju w zakresie zwiększenia efektywności produkcji. Inżynieria Mineralna. Lipiec-grudzień 2017
2. Bałaga D., Kalita M., Lutyński A., Siegmund M.: System zraszający NEPTUN konstrukcji ITG KOMAG do ograniczania zagrożenia pyłem węglowym w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń. Rozdział monografii pt.: Mechanizacja, Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie - Problemy bezpieczeństwa, transportu i przeróbki w górnictwie. Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego - Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH. Redakcja naukowa prof. dr hab. inż. K. Krauze. Łędziny, Kraków 2018 (w redakcji)
3. Blaschke W.S, Szafarczyk J., Baic I., Blaschke Z., Gawlik L.: Status of Coal Mining and Coal Preparation in Poland XVIII International Coal Preparation Congress. Ed. Springer. ISBN 978-3-319-40942-9 Saint Petersburg 2016
4. Giemza H., Lutyński A.: Stan rozwoju technologii przeróbki w świetle scenariuszy foresightu węglowego. Rozdział monografii *Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych* KOMEKO. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Redakcja naukowa: prof. dr hab. inż. A. Klich, dr inż. A. Kozieł. ISBN 978-83-60708-91-0. Gliwice 2016
5. Jaros J.: Historia górnictwa węglowego w Zagłębiu Górnośląskim w latach 1914-1945. Śląski Instytut Naukowy. Katowice, Kraków 1969
6. Kłęczek Z., Kozieł A., Malec M.: 60 lat działań Instytutu Techniki Górniczej KOMAG na rzecz rozwoju przemysłu maszyn górniczych. Maszyny Górnicze 3-4.2010

7. Lutyński A.: Zagrożenia metanem, pyłem i hałasem występujące w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Monografia nr 16. ISBN 978-83-60708-96-5. Seria: Innowacyjne techniki i technologie mechanizacyjne. Gliwice 2016. Stron 106
8. Lutyński A.: Zwalczanie zagrożeń wywołanych przez metan, pył i hałas w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Monografia ISBN 978-83-65593-03-0. Seria: Innowacyjne techniki i technologie mechanizacyjne, nr 18. Gliwice 2017. Stron 126
9. Lutyński A., Osoba M.: Wpływ charakterystyki pulsacji wody w wodnych osadzarkach pulsacyjnych na proces pozyskiwania wybranych produktów mineralnych Prace Naukowe – Monografie CMG KOMAG, nr 18. ISBN 978-83-60708-06-4. Gliwice 2007. Stron 86
10. Lutyński A., Prostański D.: Zwalczanie zagrożenia wywołanego pyłem w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego. Rozdział nr 10 monografii pt.: Mechanizacja, Automatyzacja i Robotyzacja w Górnictwie - Problemy bezpieczeństwa, transportu i przeróbki w górnictwie. Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego - Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych AGH. Redakcja naukowa prof. dr hab. inż. K. Krauze. Łódziny, Kraków 2017, str. 134-146
11. Matusiak P., Kowol D.: Rozwój osadzarek pulsacyjnych typu KOMAG. Maszyny Górnicze 2/1918
12. Pruszyński M.: Z zagadnień przemysłu węglowego. Kraków 1939.
13. Aktualny stan i potrzeby mechanicznej przeróbki węgla oraz efektywność inwestycji przeróbczych. Opracowanie Ministerstwa Górnictwa i Energetyki – Departament Nowej techniki. Katowice 1965
14. Stan przeróbki mechanicznej węgla kamiennego w Polsce. Opracowanie Państwowej Agencji Restrukturyzacji Górnictwa Węgla Kamiennego SA. Biuro Restrukturyzacji Węgla Kamiennego. Katowice, maj 1997
15. <http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,9713/k,2>
16. <https://www.pgi.gov.pl/psg-1/psg-2>
17. <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo/Lubelskie-Zaglebie-Weglowe> [dostęp 31.01.2019]
18. <http://komag.eu/gearbox/1048-sterowanie-osadzarka> [dostęp 03.02.2019]
19. <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/import-wegla-do-polski-2018-r-dane-eurostatu> [dostęp 08.02.2019]
20. https://pl.wikipedia.org/Kopalnia_Węgla_Kamiennego_Murcki [dostęp 08.02.2019]
21. https://pl.wikipedia.org/wiki/Kopalnia_Węgla_Kamiennego_Budryk [dostęp 08.02.2019]
22. https://pl.wikipedia.org/wiki/Kopalnia_Węgla_Kamiennego_Rydułtowy [dostęp 08.02.2019]
23. https://pl.wikipedia.org/wiki/Kopalnia_Węgla_Kamiennego_Jankowice [dostęp 08.02.2019]
24. https://pl.wikipedia.org/wiki/Kopalnia_Węgla_Kamiennego_Sońnica [dostęp 08.02.2019]
25. <http://ri.lw.com.pl/aktualnosci> [dostęp 09.02.2019]
26. <https://www.google.com/podział+górnego+śląska>

Rzówj konstrukcji młynów planetarnych

Jan Sidor - AGH Akademia Górnitzo-Hutnicza

Streszczenie: Młyny planetarne, zwane także satelitowymi charakteryzują największe wartości wskaźnika mocy jednostkowej, co umożliwia uzyskiwanie największej szybkości procesu mielenia z pośród wszystkich młynów z mielnikami swobodnymi, a tym samym uzyskiwanie największej wydajności przy najmniejszych wymiarach i masie. Najszerze zastosowanie – w wersjach o działaniu okresowym młyny te znalazły w praktyce laboratoryjnej. Natomiast wersje młynów o działaniu ciągłym dzięki zaletom technologicznym, stanowią przedmiot prac rozwojowych uczelni oraz firmowych ośrodków badawczych. W pracy podano przykłady budowy młynów planetarnych, klasyfikacje, elementy rozwoju ich konstrukcji oraz możliwości technologicznych. Podano także przykłady budowy ich układów mielenia oraz zastosowań.

Development of planetary mills

Abstract: Planetary mills, also known as satellite mills, are characterized by the largest values of the unit power index. This allows to obtain the highest speed of the grinding process from among all mills with free grinding media, thus to obtain the highest efficiency at the smallest dimensions and weight. The widest application (in versions with periodic action) of these mills is found in laboratory practice. On the other hand, the versions of continuous action, due to their technological advantages, are the subject of development works of universities and company research centers. The paper provides examples of the construction of planetary mills, classifications, elements of their development and technological capabilities. Examples of the construction of their grinding systems and applications are also presented.

1. Wprowadzenie

Młyny planetarne stanowią ważną podgrupę młynów z mielnikami swobodnymi z przekazywaniem energii przez ruchomą komorę [1, 2, 3, 4]. Młyny te mają długą historię – pierwszy tego typu młyn opatentowano w USA w 1896 roku [5]. W literaturze anglojęzycznej nazywane są centrifugal mill, lub planetary mill a najnowsze konstrukcje ze względu na wykonywany przez komorę ruch – nutating mill [6]. W literaturze niemieckiej funkcjonuje nazwa Planetenmühlen [4], a nazwa Zentrifugalmühlen [4] dotyczy młynów wibracyjnych o kinematycznym wymuszeniu ruchu drgającego. W literaturze polskiej nazywane są również młynami satelitowymi.

W tych młynach elementy robocze mają kształt kul, lub cylpepsów, a środowiskiem mielenia może być powietrze, lub ciecz. Sposób oddziaływania mielników na rozdrabniany materiał, którego rezultatem jest proces mielenia, jest w nich zbliżony do sposobu

występującego w młynach wibracyjnych, jednak ze znacząco większą dominacją normalnych obciążeń udarowych. Sposób działania tego młyna zapewnia możliwość zwiększania energii mielników, co nie jest możliwe w młynach grawitacyjnych. Uzyskuje się to przez zwiększenie prędkości obrotowej konstrukcji wsporczej komór zwanej jarzmem. W młynie znajdują się mogą jedna, dwie, trzy, lub cztery. Osie komór geometryczne komór mogą być usytuowane poziomo, pionowo, mogą być również nachylone pod niewielkim kątem do pionu. Nowe konstrukcje tych młynów wyposażone są tylko w jedną komorę i mechanizm zapewniający ruch złożony – nutacyjny nachylonej do pionu komory wokół pionowej osi młyna. Podstawy teoretyczne działania i projektowania typowych młynów planetarnych podano w pracy [4].

W latach 70. opublikowano prace dotyczące badań podstawowych dotyczące tych zastosowań w technologiach bardzo drobnego mielenia oraz badań porównawczych tych młynów z innymi młynami [7, 8].

Pod koniec ubiegłego wieku oraz na początku obecnego opublikowano szereg prac teoretycznych dotyczących działania młynów planetarnych. Prace te dotyczyły symulacji komputerowych ruchu ładunku, modelowania procesu mielenia oraz wykorzystania ich możliwości technologicznych w najnowszych technologiach [9, 10, 11]. Prace nad nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi tych młynów realizowane są w uczelniach technicznych oraz w ośrodkach badawczych firm produkujących młyny [12, 13].

Wadą młynów planetarnych jest skomplikowana budowa, wymagająca wyrównoważenia statycznego i dynamicznego minimum dwóch komór usytuowanych na obrotowym jarzmie, obracających się w jarzmie [1, 4, 5] oraz sposób dozowania nadawy i odbioru zmielonego materiału w młynach wielokomorowych. W latach 90. ubiegłego wieku opracowano nowe rozwiązania tych młynów jednokomorowych o budowie pozbawionej typowego jarzma. W tych młynach komory wykonują ruch obrotowy wokół osi nachylonej do pionu. Młyny te noszą handlowe nazwy Hi-G [12] oraz Hicom [13, 14]. Młyn Hicom chroniony jest patentem USA z roku 2006 [15]. W obu młynach dozowanie nadawy odbywa się grawitacyjnie od góry w osi obrotu komory, a zmielony materiał odprowadzany jest w młynie Hi-G grawitacyjnie przez otwory znajdujące się w czaszy zamykającej komorę od dołu, a w młynie Hicom przez działanie siły odśrodkowej otworami umieszczonymi wzdłuż największego obwodu komory w kształcie gruszki.

Młyny Hi-G i Hicom mają znacząco mniej skomplikowaną budowę. Do napędu komory młyna Hi-G zastosowano jednak skomplikowany silnik hydrauliczny. Znacznie mniej skomplikowany – mechaniczny na młyn Hicom.

W tych młynach komory wykonują ruch złożony wokół swojej geometrycznej osi nachylonej pod niewielkim kątem (kilku stopni) do pionu, składający się z ruchu obrotowego precesyjnego oraz ruchu drgającego komory wokół osi, którego charakter zbliżony jest do ruchu nutacyjnego. Ruch ten można traktować jako obrotowo-wibracyjny, lub wibracyjny o pionowej osi komory. Twórcy tego młyna nazwali go jednak „*centrifugal mill*” [15], ale w niektórych pracach nazywany jest „*nutatig mill*” [8]. Jednak ze względu na przyjętą przez

jego twórców nazwę w języku angielskim, zachowano również taką samą nazwę w języku polskim.

Na możliwości technologiczne młynów z mielnikami swobodnymi mają wpływ dwa wzajemnie zależne wskaźniki porównawcze, to jest liczba Froude'a oraz moc jednostkowa nazywana też gęstością mocy. Liczba Froude'a reprezentuje stosunek przyspieszenia działającego na mielniki do przyspieszenia ziemi. Natomiast moc jednostkowa jest to stosunek zainstalowanej mocy w młynie do objętości komory mielącej. Większe wartości obu wskaźników wskazują na większe możliwości technologiczne, zarówno w zdolności uzyskiwania drobniejszego uziarnienia zmielonego materiału, a także w otrzymywaniu większej wydajności z jednostki objętości komory mielącej, czyli przy mniejszej masie młyna.

W młynach grawitacyjnych liczba Froude'a jest stała i wynosi 1, natomiast w młynach planetarnych jest znacznie większa - osiąga przeciętnie wartości w zakresie 20÷50, a jego maksymalna wartość osiąga 100. W młynach wibracyjnych liczba ta zwykle nie przekracza 10, a w najbardziej obciążonych młynach dochodzi maksymalnie do 30 [2, 3, 4].

Znacząco większy jest również wskaźnik mocy jednostkowej w młynach planetarnych. W najczęściej stosowanych laboratoryjnych młynach o działaniu okresowym wskaźnik ten mieści się w zakresie od 200 do 625 kW/m³ [16], dla standardowych młynów laboratoryjnych i przemysłowych młynach o działaniu ciągłym: 1750÷2115 kW/m³, przy czym dla młyna do wytwarzania proszków o uziarnieniu w skali nano osiąga 7500 kW/m³ [17]. Dla przemysłowych młynów Hicom wynosi 1500÷1780 kW/m³ – dla jednostek standardowych, a dla młynów o największej szybkości mielenia 2500 kW/m³ [18].

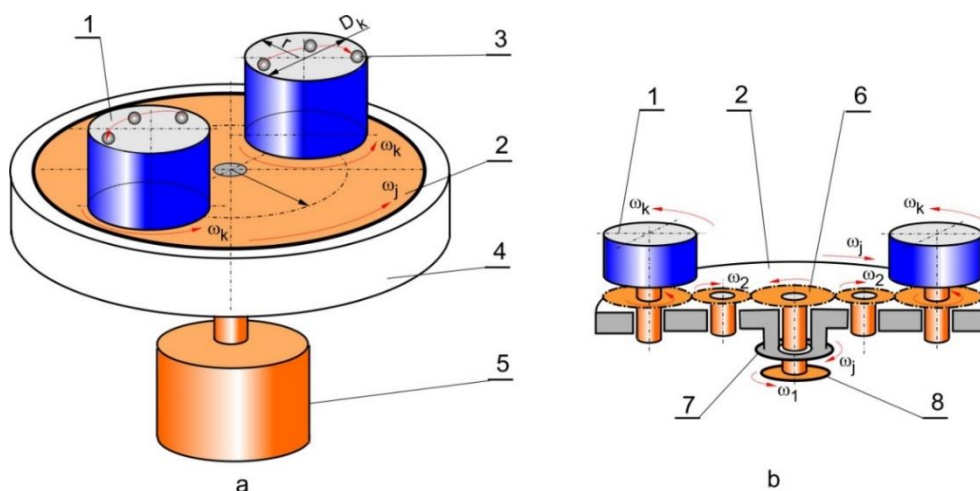
Dla młynów grawitacyjnych wskaźnik jest wielokrotnie mniejszy i wynosi 15÷17 kW/m³.

Młyny planetarne znalazły zastosowanie w następujących technologiach [19]:

- metalurgii proszków,
- produkcji i recyklingu katalizatorów,
- produkcji farmaceutyków,
- wytwarzaniu pigmentów,
- mieleniu materiałów abrazyjnych,
- aktywacji rud oraz ich koncentratów przed procesami hydro i pyrometalurgii,
- przeróbce mechanicznej odpadów,
- przemysłu ceramicznego,
- chemicznego,
- górniczego,
- mechanicznym stapianiu (mechanical alloying),
- wysokoenergetycznym mieleniu (HEBM) – przy wytwarzaniu metali o największej czystości [20, 21],
- produkcji uziarnionych materiałów budowlanych i suchych zapraw.

2. Budowa i opis działania młynów planetarnych

Schemat budowy i działania najczęściej użytkowanego młyna planetarnego zamieszczono na rysunku 1. Młyn zbudowany jest z dwóch lub czterech walcowych komór 1, a w niektórych wersjach tylko z jednej komory. Wały uchwytyw komór ułożyskowane są w łożyskach, których osady usytuowane są w obrotowym jarzmie 2. Elementami roboczymi są najczęściej kule 3. Zespół napędowy 4 napędza najczęściej jeden silnik 5.



Rys. 1. Schemat budowy i działania młyna planetarnego: a – młyn, b – napęd komór młyna, 1 – komora, 2 – jarzmo, 3 – mielniki, 4 – zespół napędowy, 5 – silnik, 6 – czynne koło zębate napędu komór, 7 – pośrednie koło zębate napędu komór, 8 - koło zębate napędu jarzma, D_k – średnica komory, r – promień komory, ω_k – prędkość kątowa komory, ω_j – prędkość kątowa jarzma, ω_1 – prędkość obrotowa silnika, ω_2 – prędkość obrotowa koła pośredniego [źródło: opracowanie własne]

Zespół napędowy komór 1 składa się z jarzma 2, głównego koła zębatego 6, osadzonego na wale napędzanym przez pośrednie koło zębate kołem 8. Jarzmo 2 posiada niezależny napęd z koła 7. W większości młynów wielokomorowych stosuje się układ napędu komór z kołem zębatym o wewnętrznym uzębieniu, co umożliwia zastosowanie do napędu komór i jarzma tylko jednego silnika. Przy dwóch lub czterech komorach siły odśrodkowe generowane przez obracające się komory wzajemnie się równoważą, natomiast w młynach jednokomorowych do wyrównoważenia siły dynamicznej komory stosuje się dodatkowy obciążnik usytuowany naprzeciw komory.

Osie geometryczne komór i jarzm młynów laboratoryjnych (o działaniu okresowym) i przemysłowych (o działaniu ciągłym) są najczęściej równoległe i mogą być usytuowane pionowo (rys. 1) oraz poziomo. Wyjątek stanowią jednokomorowe młyny o osi komory nachylonej do pionu o niewielki kąt, które budowane są jako młyny przemysłowe [12, 13, 14, 15].

Na rysunku 2 przedstawiono uproszczony układ sił działających na pojedynczy mielnik znajdujący się w komórce w momencie odrywania się od jej wewnętrznej poboczniczy.

Położenie sił przestawiono w układzie współrzędnych, którego środek usytuowany jest w osi geometrycznej kuli, przy czym jedna z osi układu przechodzi pokrywa się promieniem komory, a druga jest do niej prostopadła.

Na mielnik oddziałują: siła odśrodkowa pochodząca od ruchu jarzma - F_j , siła odśrodkowa pochodząca od ruchu komory - F_o - siła odśrodkowa pochodząca od ruchu komory, siła Coriolisa - F_C , siła tarcia - μF_r oraz składowe sił.

Całkowita siła poruszająca mielnik na kierunku promienia komory wynosi:

$$F_r = F_o + F_C - F_j \cos(\alpha + \psi)$$

Natomiast na kierunku prostopadłym do promienia komory:

$$F_t = \mu F_r - F_j \sin(\alpha + \psi)$$

gdzie:

$$F_r = F_o \omega_r^2, \quad F_C = 2mr\omega_k\omega_j, \quad F_j = mR\omega_j^2$$

Promień działania siły F_r względem osi obrotu jarzma określa wyrażenie:

$$R = \frac{R_j \cos \alpha - r}{\cos(\alpha + \psi)}$$

Wówczas siłę F_r można obliczyć z zależności:

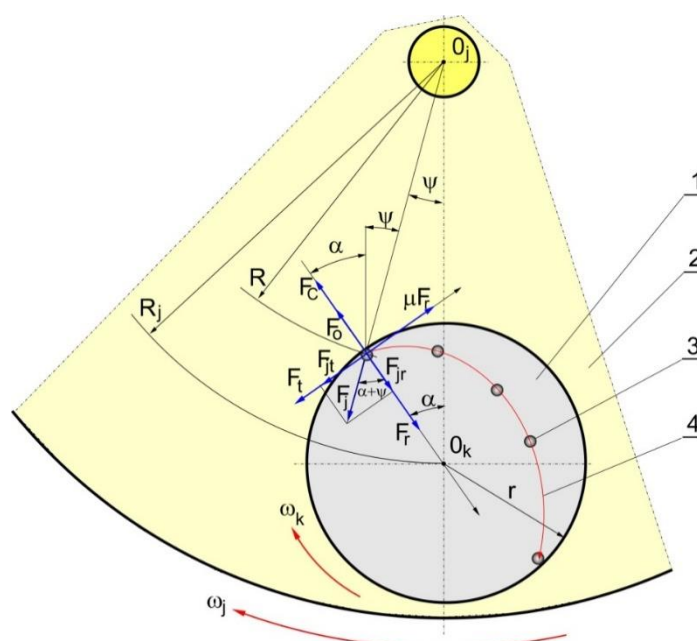
$$F_r = m R_j \omega_j \left[\left(\frac{\omega_k}{\omega_j} + 1 \right)^2 \frac{r}{R_j} - \cos \alpha \right]$$

Kąt α oderwania się mielnika od wewnętrznej poboczniczy komory, który ma wpływ na energię mielników, oblicza się z powyższego wyrażenia przyjmując warunek stosowany w obliczeniach klasycznych młynów grawitacyjnych, czyli przyjmując $F_r = 0$.

Stąd wynikają zależności:

- dla młyna planetarnego: $\cos \alpha = \frac{r}{R_j} \left(\frac{\omega_k}{\omega_j} + 1 \right)^2$,

- dla młyna grawitacyjnego: $\cos \alpha = \frac{r}{g} \omega_k^2$.



Rys. 2. Układ sił działających na mielnik w młynie planetarnym: 1 – komora, 2 – jarzmo, 3 – mielnik, 4 – trajektoria ruchu mielnika, O_j – środek tarczy jarzma, O_k – środek walczaka komory, ω_k – prędkość kątowa komory, ω_j – prędkość kątowa jarzma [źródło: opracowanie własne]

Warunkiem poprawnego działania młynów planetarnych jest dobór stosunku prędkości obrotowych jarzma i komór oraz kierunku

Na energię kinetyczną mielników wpływa głównie jest przyspieszenie jakiemu podlega mielnik w momencie odrywania się od poboczniczy komory oraz droga zwiększania jego prędkości. W młynie grawitacyjnym na mielnik oddziałuje tylko stałe przyspieszenie wynikające z pola sił grawitacji na długiej drodze, bowiem średnice komór dochodzą do 7÷9 m (młynów kulowych) oraz do 11÷13 m (młynów autogenicznych) [2]. Natomiast średnie przyspieszenie działające na mielnik w młynie planetarnym a_p jest wielokrotnie większe i uwarunkowane jest prędkością obrotową jarzma oraz jego promieniem, przy czym jego droga jest znacznie krótsza, ponieważ średnica komory tego młyna nie przekracza 0,5 m. Średnie przyspieszenie działające na mielnik opisuje wyrażenie:

$$a_p = \omega_j^2 R_j$$

Przyspieszenie to można łatwo zwiększać – przez zwiększanie prędkości obrotowej jarzma oraz w mniejszym stopniu - liniowo przez wymiary jarzma.

Nieco inną budowę oraz działanie mają nowsze konstrukcje młynów planetarnych, czyli młyny w literaturze nazywane handlowymi nazwami Hi-G oraz Hicom [2, 12, 13, 14]. W tych młynach komory mają kształt zbliżony do kształtu lejka ogrodowej podlewaczki, wykonują ruch

o stałym kącie precesji, przy czym punkt przecięcia pionu z osią geometryczną komory znajduje się nad komorą. Młyny te różnią się układem napędu komory.

3. Klasyfikacja młynów planetarnych

Główny podział tych młynów wyróżnia młyny ze względu na zastosowanie:

- laboratoryjne klasyczne,
- laboratoryjne specjalne – do mielenia w atmosferze ochronnej,
- przemysłowe o niewielkiej wydajności – poniżej 1 Mg/h, stosowane w technologiach specjalnych,
- przemysłowe o średniej i dużej wydajności dochodzącej do kilkudziesięciu Mg/h.

Pozostałe podziały dotyczą aspektów konstrukcyjnych młynów, to jest położeniem komór, czyli z komorami usytuowanymi:

- poziomo,
- pionowo,
- pod kątem do pionu.

Kształtem komór:

- walcowe
- stożkowe.

Liczbą komór w młynie:

- jednokomorowe,
- dwukomorowe,
- trzykomorowe – nieliczne konstrukcje,
- czterokomorowe.

Rodzajem napędu:

- z wspólnym napędem jarzma i komór,
- z niezależnym napędem jarzma i komór.

Typem napędu:

- mechaniczny z silnika elektrycznego,
- hydrauliczny z silnika hydraulicznego.

4. Młyny planetarne laboratoryjne oraz o niewielkiej wydajności

W zdecydowanej większości są to młyny laboratoryjne o bardzo różnej budowie, liczbie komór (1, 2, 4), pojemności komór od 0,1 dm³ do 20 dm³. Młyny o pojemności komór powyżej 5 dm³ można zaliczyć do okresowych młynów przemysłowych stosowanych w technologiach o niewielkich wydajnościach - poniżej 1 Mg/h, w technologiach specjalnych, przy wytwarzaniu uziarnionych komponentów oraz używanych w niewielkich firmach. Zainstalowana moc młynów mieści się w zakresie od 0,25 kW do 11 kW.

Podstawowe parametry jednego typoszeregu młynów planetarnych z czterema komorami pionowymi oferowanymi przez jedną z chińskich firm podano w tabeli 1 [16].

Tabela 1.

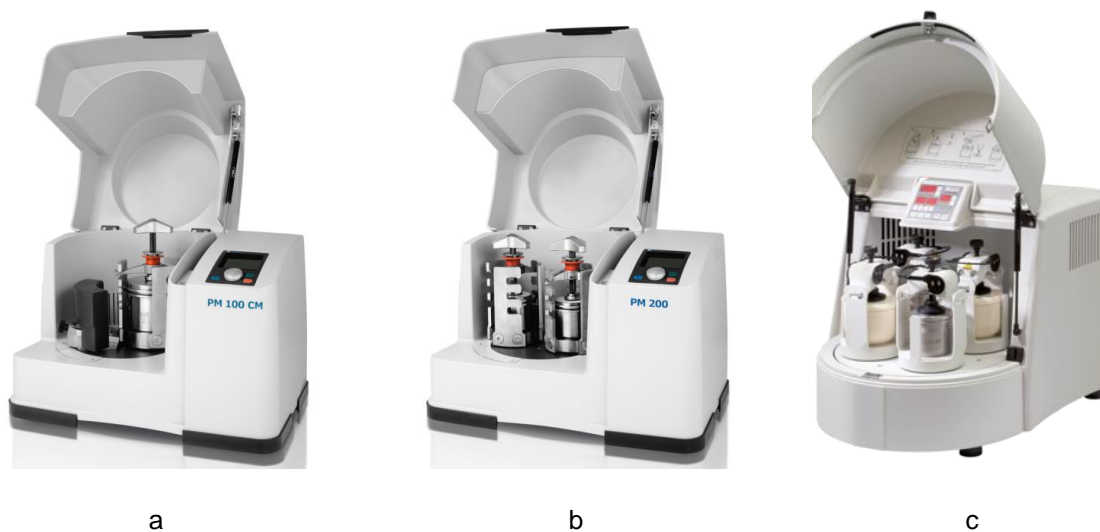
Typ	Prędkość obrotowa komory [obr/min]	Moc [kW]	Pojemność komór, [dm ³]	Objętość mielonego materiału w młynie [dm ³]
DECO-0.4L	900	0,25	4x0,1	0,13
DECO-2/4/6L	800	0,75	4x0,5/1,0/1,5	0,67/ 1,35 / 2,0
DECO-8L	580	1,5	4x2	2,6
DECO-12L	580	1,5	4x3	4,0
DECO-20L	430	4,0	4x5	6,6
DECO-40L	390	5,5	4x10	13,3
DECO-60L	250	7,5	4x15	20
DECO-100L	240	11,0	4 x 20	35

Laboratoryjne młyny planetarne budowane są najczęściej z dwoma lub z czterema komorami usytuowanymi pionowo, co ułatwia ich użytkowanie. Jednak w ofertach firm znajdują się także młyny o komorach usytuowanych poziomo oraz nieliczne egzemplarze z komorami umieszczonymi pod kątem ostrym do pionu. Komory w tych młynach wykonane są ze stali o podwyższonej odporności na zużycie ściernie oraz odpornej na korozję. Aby wyeliminować w produkcie mielenia zanieczyszczenia metaliczne w komorach stosuje się wykładziny wykonane z naturalnego agatu, tworzyw ceramicznych – korundu, cyrkonu, węgla wolframu, tworzyw polimerowych (poliuretanu nylonu, teflonu, poliamidu) oraz z innych materiałów. W tych komorach stosuje się również mielniki – kulki ceramiczne – wykonane z korundu, cyrkonu, azotku krzemu, węgla wolframu, rzadko z porcelany.

W standardowych wykonaniach w młynach można przeprowadzać proces mielenia w środowisku powietrza, lub cieczy. W wykonaniach specjalnych oferowane są młyny z komorami przystosowanymi do mielenia w gazach obojętnych, przy obniżonym ciśnieniu oraz w stabilizowanej temperaturze oraz przy obniżonych temperaturach do około -60°C.

Na rysunku 3 przedstawiono typowe laboratoryjne młyny planetarne o pionowych komorach i działaniu okresowym oferowanych przez firmy europejskie.

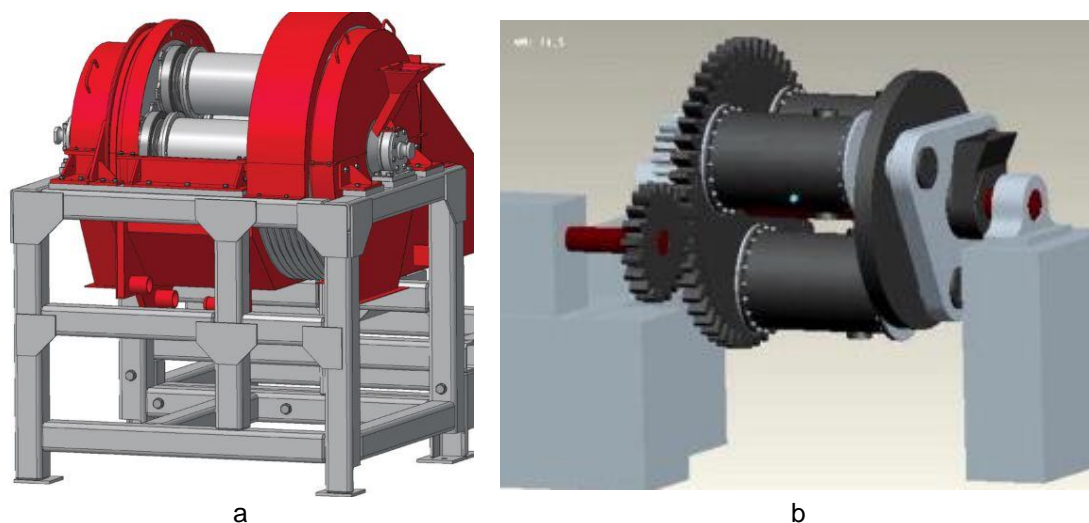
Na rysunku 4 zamieszczono młyny laboratoryjne o działaniu okresowym oferowane przez jedną z chińskich firm [16], a na rysunku 5 zamieszczono młyny przemysłowe o działaniu ciągłym. Są to: wysokoenergetyczny młyn firmy Leotec [17] o największej mocy jednostkowej ze wszystkich znanych młynów z mielnikami swobodnymi oraz wizualizacja eksperymentalnego młyna o działaniu ciągłym [24].



Rys. 3. Laboratoryjne młyny planetarne: a – jednokomorowy firmy Retsch, źródło: [22], b – dwukomorowy firmy Retsch, źródło: [22], czterokomorowy firmy Fritsch, źródło: [23]



Rys. 4. Czterokomorowe młyny planetarne firmy Deco, źródło: [16]: a – z poziomymi komorami, b – z komorami umieszczonymi pod kątem do pionu, c – największy młyn z komorami pionowymi o pojemności 20 dm³ każda



Rys. 5. Młyny planetarne o działaniu ciągłym: a – czterokomorowy firmy Leotec, źródło: [17],
b – trzykomorowy – wizualizacja, źródło: [24]

Wersje laboratoryjne młynów firmy Leotec mają pojemność komór 1 dm^3 , moc w wersji standardowej 7 kW, a wersji nano do 30 kW oraz masę 500 kg. Wydajność młyna standardowego dochodzi do $0,1 \text{ Mg/h}$ [17].

5. Młyny planetarne przemysłowe

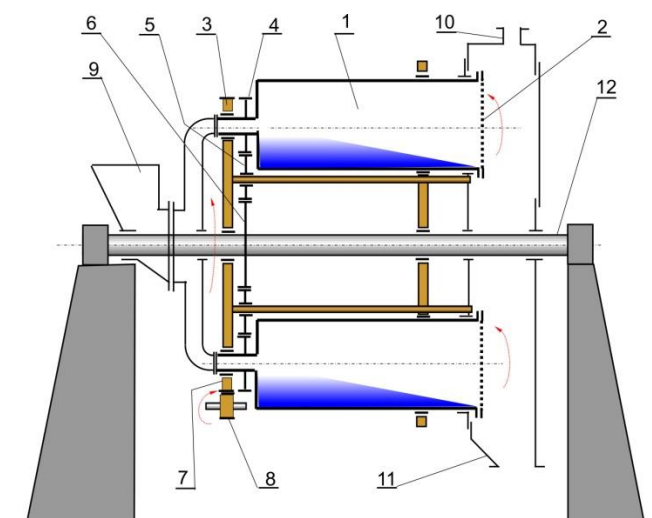
Jako młyny przemysłowe przyjęto maszyny o tylko o działaniu ciągłym o wydajności powyżej 1 Mg/h . Taką wydajność uzyskują większe młyny firmy Leotec PCM-1500 oraz PCM-3000, które uzyskują wydajności odpowiednio $1,5 \text{ Mg/h}$ oraz $3,0 \text{ Mg/h}$ przy zainstalowanych mocach 37 i 55 kW, łącznej pojemności komór 20 i 26 dm^3 oraz masie 1,5 Mg oraz 3 Mg [17]. W tych młynach można prowadzić proces mielenia w środowisku powietrza oraz cieczy, przy uziarnieniu nadawy do 5 mm oraz uziarnieniu zmielonego materiału poniżej $5 \mu\text{m}$.

Zamieszczony na rysunku 6 młyn planetarny posiada wydajność od 1,2 do 3 Mg/h – przy uziarnieniu produktu mielenia poniżej $10 \mu\text{m}$. Większy model MP-5 posiada wydajność 3-5 Mg/h [19]. W tym opracowaniu podano informację, że największy oferowany młyn planetarny osiąga wydajność 12 Mg/h – przy ww. tak drobnym uziarnieniu produktu mielenia.

Na rysunku 7 przedstawiono schemat budowy tego rodzaju młyna.



Rys. 6. Budowa typowego młyna planetarnego MPP-4 o działaniu ciągłym, źródło: [19]



Rys. 7. Schemat młyna o działaniu ciągłym: 1 - komora, 2 - przegroda 3 – jarzmo, 3 – przekładnia komory, 4 – koło komory, 5 – koło pośrednie, 6 – koło nieruchome, 7 – koło główne, 8 – koło czynne, 9 - wlot nadawy, 10 – wylot powietrza, 11- wylot produktu, 12 – wspornik, źródło: [opracowanie własne]

Najwięcej tego rodzaju młynów posiada komory usytuowane poziomo, ale budowane są również młyny z komorami usytuowanymi pionowo, które mają mniej skomplikowaną budowę. Takie rozwiązania miały starsze konstrukcje młynów. Są to: czterokomorowy młyn do mielenia na sucho z niezależnymi napędami: jarzma o mocy 75 kW oraz komór o mocy 28 kW [4] oraz trzykomorowy młyn do mielenia na mokro z wspólnym napędem hydraulicznym jarzma i komór [5]. Moc napędu tego młyna wynosi 75 kW, przy prędkości obrotowej jarzma 500 obr/min oraz 44 kW - przy prędkości obrotowej jarzma 420 obr/min.

W ostatnich kilkunastu latach tego rodzaju młyny nie są oferowane. Natomiast pojawiły się jednokomorowe młyny Hi-G [12] oraz Hicom [13, 14]. Młyn Hi-G posiadał napęd hydrauliczny o bardzo skomplikowanej budowie [1, 5]. Niestety poza wynikami badań jego prototypu brak jest informacji o jego zastosowaniach.

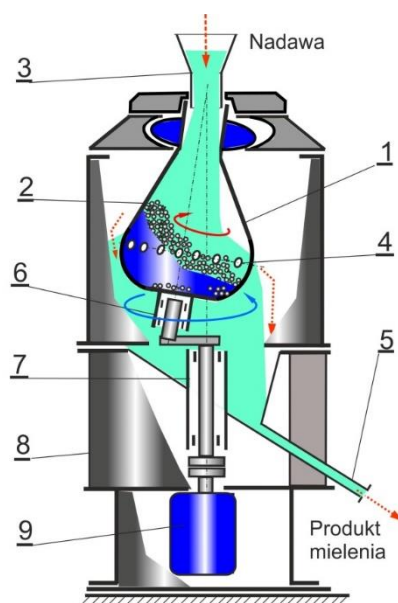
Największe wydajności osiągają młyny Hicom, które można eksploatować również jako młyny autogeniczne. Wówczas funkcję mielników pełnią większe ziarna mielonego materiału.

W tych młynach moc jednostkowa wynosi od 1500 do 1780 kW/m³, czyli jest około 6 razy większa niż w młynach mieszadłowych i około 100 razy większa niż w młynach grawitacyjnych [2]. Przy tak dużej jednostkowej mocy, młyn ma bardzo dużą wydajność jednostkową (z jednostki objętości komory). Młyny te są szczególnie przydatne do bardzo drobnego mielenia (poniżej 10 μm). Wydajność największego młyna Hicom 1000

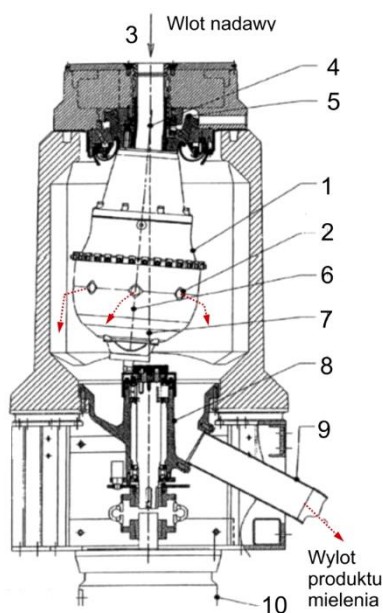
- użytkowanego w cyklu zamkniętym, z komorą o objętości 0,6 m³ wynosi 27 Mg/h - przy mieleniu wapienia o uziarnieniu produktu mielenia $d_{97} = 20 \mu\text{m}$, a przy uziarnieniu o $d_{97} = 5 \mu\text{m}$ wynosi 8 Mg/h. Taką wydajność młyn grawitacyjny może osiągnąć przy objętości komory około 100 m³ i mocy około 1500 kW, który powinien pracować również w cyklu zamkniętym z separatorem w układzie mielenia o dodatkowej mocy około 500 kW. Podstawowe parametry młynów HiCom podano w tabeli 2 [18]. Na rysunku 8 zamieszczono schemat jego budowy, a uproszczoną budowę na rysunku 9.

Tabela 2.

Model, Moc [kW]	Masa [Mg]	Wysokość [M]	Powierzchnia zabudowy [m x m]	Prędkość obrotowa [obr/min]	Pojemność komory [dm ³]
15	0,5	1,425	0,67x0,72	1200	5
25	2,8	1,60	0,99x1,97	960	11
55	7,5	3,80	1,26 x2,62	815	30
110	8,2	4,05	1,26 x2,62	730	60
350	33,7	4,70	3,97 x5,10	425	200
500	36,5	4,90	3,97 x5,65	350	300
750	74,2	6,40	4,95 x6,40	280	420
1 000	78,0	6,60	4,95 x7,00	250	600



Rys. 8. Schemat budowy i działania młyna HiCom: 1 – komora, 2 – ładunek, 3 – wlot nadawy, 4 – otwór rozładowniczy, 5 – wylot produktu mielenia, 6 – oś mimośrodowa, 7 – wał, 8 – konstrukcja wsporcza, 9 – silnik [źródło: opracowanie własne]

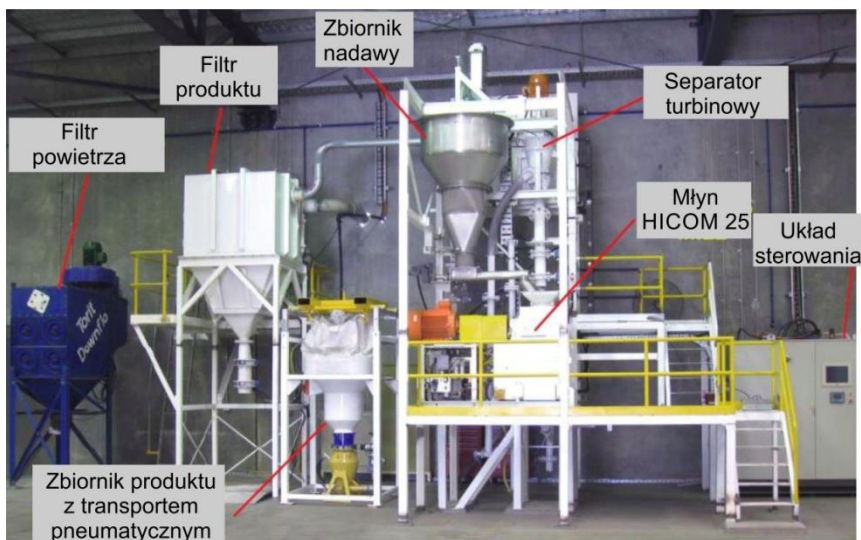


Rys. 9. Budowa młyna HiCom: 1 – komora, 2 – otwór rozładowczy, 3 – wlot nadawy, 4 – punkt precesji, 5 – wahlowa tarcza, 6 – oś komory, 7 – oś precesji, 8 – napęd komory, 9 - wylot produktu mielenia, 10 - silnik źródło: [7]

Na rysunku 10 zamieszczono fotografię jednego z młynów HiCom, a na rysunku 11 widok kompletnego układu eksperymentalnego – pilotowego młyna, w którym przeprowadzono badania bardzo drobnego mielenia na sucho surowców mineralnych. Był to układ zamknięty z separatorem turbinowym firmy Comex.



Rys. 10. Młyn planetarny HiCom typ MPP-4, źródło: [18]



Rys. 11. Eksperymentalny układ bardzo drobnego mielenia z młynem HiCom 25, źródło: [25]

W tabeli 3 zamieszczono wydajności typoszeregu młynów HiCom - wyznaczone na podstawie eksperymentu, możliwych do uzyskania przy mieleniu wapienia, piasku kwarcowego oraz cyrkonu [18].

Tabela 3.

Model, moc [kW]	Wydajność młyna Mg/h przy uziarnieniu produktu mielenia o d97					
	Wapień		Krzemionka		Cyrkon	
	5 µm	20 µm	5 µm	20 µm	5 µm	20 µm
15	0,10	0,34	0,10	0,24	0,04	0,07
25	0,17	0,57	0,16	0,41	0,07	0,12
55	0,42	1,43	0,36	0,89	0,18	0,30
110	0,83	2,86	0,71	1,77	0,35	0,60
350	2,78	9,51	2,28	5,67	1,17	2,01
500	3,92	13,43	3,25	8,10	1,65	2,83
750	5,96	20,43	4,88	12,10	2,51	4,31
1 000	7,92	27,14	6,51	16,20	3,33	5,72

Ważne zalety eksploatacyjne młynów HiCom to [18]:

- niewielka powierzchnia zabudowy o niewielkiej kubaturze,
- niskie koszty inwestycyjne ze względu na niewielką masę i kubaturę,
- łatwa obsługa ze względu na niewielkie wymiary i masę młyna,
- łatwa wymiana mielników – ze względu na niewielką masę,
- łatwa i szybka wymiana wykładziny komory mielącej – poniżej 45 minut,
- możliwość całkowitej automatyzacji,
- krótki czas przebywania mielonego materiału w komorze – poniżej 15 minut,
- możliwość mielenia nadawy o uziarnieniu do 5 mm.

Wady tego młyna to:

- wysoki poziom ciśnienia akustycznego,
- szybkie zużycie elementów roboczych,
- wysokie obciążenia elementów konstrukcyjnych.

Młyn jest prawnie chroniony w USA (Centrifugal Grinding Mills - Patent Nr US 7,070,134) z 2006 roku oraz innymi patentami chroniącymi jego podzespoły.

3. Podsumowanie

Młyny planetarne cechuje znaczne zróżnicowanie budowy komór oraz rozwiązań konstrukcyjnych, zwłaszcza młynów przemysłowych. Największe zastosowanie młyny te znalazły w praktyce laboratoryjnej oraz w technologiach specjalnych, w których produkt mielenia cechuje bardzo drobne uziarnienie (0,5÷5 µm), a także w skali nano, czyli poniżej

100 nm, przy niewielkiej wydajności oraz specjalnych warunkach procesu mielenia, czyli stabilnej temperaturze i nietypowym środowisku mielenia.

Obecnie oferowane są również przemysłowe wielokomorowe młyny planetarne o działaniu ciągłym, o wysokiej mocy jednostkowej około 40÷130 razy większej niż w młynach grawitacyjnych – kulowych, o wydajności poniżej 3 Mg/h, przeznaczone do bardzo drobnego mielenia – poniżej 5 µm w technologiach specjalnych.

Największe wydajności – kilkadziesiąt Mg/h uzyskują jednokomorowe młyny z nutacyjnym ruchem komór, w których przeprowadzono szereg badań bardzo drobnego mielenia surowców mineralnych oraz rud – z korzystnymi rezultatami technologicznymi.

Najważniejsze ich zalety młynów planetarnych to:

- możliwość uzyskiwania w nich największej energii mielników,
- realizacja procesu mielenia w środowisku cieczy, powietrza, gazu obojętnego, a nawet – w młynach okresowych – przy obniżonym ciśnieniu,
- łatwość uzyskiwania najdrobniejszego uziarnienia produktu mielenia poniżej 5 µm oraz w skali nano,
- znacząco mniejsze wymiary i masa młyna przy tej samej wydajności w porównaniu z młynami grawitacyjnymi,
- niskie koszty zabudowy oraz fundamentów.

Niestety młyny te nie są pozbawione wad, z których najważniejsze to:

- złożona, skomplikowana budowa, zwłaszcza młynów wielokomorowych,
- szybkie zużycie elementów roboczych,
- duże obciążenia dynamiczne w elementach konstrukcyjnych, wymagające stosowania materiałów o wysokich parametrach wytrzymałościowych,
- możliwość mielenia materiałów niewrażliwych na wysoka temperaturę,
- wydajny układ odprowadzania ciepła oraz smarowania łożysk.

Uzyskiwane w nich rezultaty technologiczne w zakresie bardzo drobnego mielenia materiałów o zróżnicowanych własnościach fizycznych czynią je przydatnymi do stosowania w zakresie wydajności 1÷25 Mg/h.

Przemysłowe wersje młynów o działaniu ciągłym dzięki zaletom technologicznym, stanowią przedmiot prac rozwojowych uczelni oraz firmowych ośrodków badawczych.

Literatura

1. Sidor J.: Rozwój konstrukcji młynów z mielnikami swobodnymi i złożonym ruchu komory, Kraków, Zesz. Nauk. AGH, Mechanika t.13, z. 4, 1994. s. 585- 601
2. Sidor J., Klich A.: Współczesne maszyny do rozdrabniania – kruszarki i młyny. Wyd. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2018
3. Sidor J.: Badania, modele i metody projektowania młynów wibracyjnych, Rozprawy Monografie nr 150, UWND AGH, Kraków 2005

4. Höffl K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985
5. Bradley A.A.: Some Principles of Centrifugal Milling. 3. Europäische Symposions "Zerkleinern", Dechema-Monographien Band 69, Teil 2. Verlag Chemie, GmbH Weinheim 1972, pp. 781-803
6. Vock F.: Möglichkeiten zur spezifischen Leistungssteigerung kontinuierlicher Dispergermaschinen nach dem Prinzip der Planetenkugelmühle und Schwingmühle. 3. Europäische Symposions "Zerkleinern", Dechema-Monographien Band 69, Teil 2. Verlag Chemie, GmbH Weinheim 1972, pp. 805-829
7. Bradley A. A., Freemantle A. J., Lloyd P. J. D.: Developments in centrifugal milling. Journal Of The South African Institute Of Mining And Metallurgy, 1974 June pp.379-387
8. Cleary P. W., And Mark L., Sawley M. L.: Three-Dimensional Modelling Of Industrial Granular Flows Second International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia 6-8 December 1999
9. Kaminsky Yu.D., Lyakhov N.Z.: Efficiency of Grinding and Mechanical Activation of Solids in Planetary Ball Mills. Proceedings of the International Seminar on Mineral Processing Technology - 2006, Chennai, India. pp. 59 – 64
10. Lu Sheng-Yong, Mao Qiong-Jing, Peng Zheng, Li Xiao-Dong, and Yan Jian-Hu: Simulation of ball motion and energy transfer in a planetary ball Mill, Chin. Phys. B Vol. 21, No. 7 (2012) 078201
11. Tove Anette Haug: Dissolution and carbonation of mechanically activated olivine, Norwegian University of Science and Technology Trondheim, March 2010
12. Boyes J.M.: Performance Testing of a New High Intensity Centrifugal Mill. XVI International Mineral Processing Congress. E. Forsberg Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, 1988 pp. 135-146
13. Hicom-High Intensity Comminution Mill <http://www.flsmidth.com/en-US/Industries> (1.02.2019 r.)
14. Braun M R.: Fine dry comminution of calcium carbonate in a Hicom mill with an inprosys air classifier. Minerals Engineering. Vol. 15, Issue 3, March 2002, pp. 123-129
15. Centrifugal grinding mill. Unites States Patent No US 7,070,134 B1, Jul. 4, 2006
16. <https://www.deco-ballmill.com/planetary-ball-mill/vertical-planetary-ball-mill/100l-planetary-mill.html> (1.02.2019 r.)
17. www.leotec.ru (1.02.2019 r.)
18. www.hicom-mill.com (1.02.2019 r.)
19. http://active-nano.com/index.php?option=com_content&view=article&id=29& (1.02.2019 r.)
20. Sidor J.: Mechanical devices used for production of metallic, ceramic-metallic alloys or nanomaterials, Archives of Metallurgy and Materials, vol. 52, 2007 p.407-414
21. Suryanarayana C.: Mechanical alloying and milling, Progress in Materials Science 46, 2001, pp. 1÷184
22. <https://www.retsch.com/products/milling/ball-mills/> (1.02.2019 r.)
23. <https://www.fritsch-international.com/sample-preparation/milling/planetary-mills/details/product/pulverisette-54-classic-line/downloads/> (1.02.2019 r.)

24. Jiaguan Zhang, Yang Bai, Hai Dong Qiong Wu, Xuchu Ye: Influence of ball size distribution on grinding effect in horizontal planetary ball mill. *Advanced Powder Technology*. Vol. 25, Issue 3, May 2014, pp. 983-990
25. MinBaS II Mineral•Ballast Sten Område 2 Rapport nr 2.2.5:1 område nr 2 Produktutveckling Delområde nr 2 Utveckling av industrimineralbaserade produkter Projekt/Delprojektnamn nr 2.2.5. Coating och malning av industrimineral med Hicom-teknik Slutrapport Malning och coating med Hicom-teknik Eric Forssberg, MISEC AB Stockholm, april 2011

Wdrożenie przesiewaczy produkcji PROGRESS ECO w KWK Budryk

Piotr Pasiowiec, Jerzy Wajs, Klaudia Bańczyk - Progress Eco Sp. z o.o. Sp. K.

Janusz Babczyński - JSW S.A. KWK Budryk

Barbara Tora - AGH - Akademia Górniczo-Hutnicza

Streszczenie: W ostatnich latach w KWK Budryk udostępniono poziom 1300 m, o zasobach około 160 mln ton węgla, w tym około 120 mln ton węgla koksowego typu 35. Zwiększenie wychodu węgla typu 35 spowodowało podjęcie zadania kompleksowej modernizacji Zakładu Wzbogacania Węgla. W rozdziale przedstawiono wdrożenie przesiewaczy firmy PROGRESS ECO sp. z o.o. SK. w modernizowanym układzie przesiewania, klasyfikacji i odwadniania węgla w Zakładzie Wzbogacania Węgla KWK Budryk.

Implementation of screens manufactured by PROGRESS ECO in KWK Budryk coal mine

Abstract: In recent years, Coal Mine Budryk (KWK Budryk) reached the depth of mining of 1300 m, where there is about 160 million tons of coal, including 120 million tons of coking coal (type 35). The task of complex modernization of the Coal Processing Plant was undertaken.

The chapter presents the implementation of screening of PROGRESS ECO sp. z o.o. SK in the project modernization of coal screening, classification and dewatering systems at the Coal Processing Plant KWK Budryk

1. Wprowadzenie

Przesiewacze jako urządzenia do klasyfikacji ziarnowej i odwadniania

Przesiewacze mają wiele zastosowań – od rozdzielania, płukania do odwadniania. Efektywność przesiewania jest określana w różny sposób – w zależności od funkcji przesiewacza [1]. Przesiewacze dzielą się na dwie główne kategorie: przesiewacze sortujące są to przesiewacze, za pomocą których nadawa jest rozdzielana na klasy ziarnowe w zależności od wielkości ziaren, natomiast przesiewacze odwadniające są przesiewaczami, dzięki którym woda jest odprowadzana z produktu końcowego, aby umożliwić jego łatwe magazynowanie lub transport.

KWK BUDRYK

Przedsiębiorstwo państwowe pod nazwą Kopalnia Węgla Kamiennego "Budryk" w budowie zostało utworzone w 1978 roku, które w 1994 zostało przekształcone w Jednoosobową Spółkę Skarbu Państwa. Wydobycie węgla w Kopalni rozpoczęło w marcu 1994 r. Kopalnia Węgla Kamiennego "Budryk" została włączona w struktury Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA w 2008 r.

Najmłodsza kopalnia w gronie JSW S.A. ponosi duże nakłady na dostosowanie Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla do wzbogacania udostępnianych obecnie zasobów z poziomu 1290 m wysokojakościowego węgla ortokoksowego. Prace zmierzające do udostępnienia węgla z tego poziomu trwają już od kilku lat. Zasoby udostępnione z poziomu 1300 m wynoszą około 160 mln ton, z czego 121 mln ton to poszukiwany na rynku i osiągający wysokie ceny węgiel koksowy typu 35. Planowana jest eksploatacja kopalni do 2077 r. Celem modernizacji zakładu przerobczego jest przygotowanie do pełnego wzbogacania węgla koksowych. Koszt modernizacji i rozbudowy zakładu przerobczego szacowany jest na 150 mln zł. Inwestycja obejmuje m.in. uruchomienie drugiego systemu technologicznego w stacji przygotowania węgla oraz przebudowę węzła wzbogacania węgla w ośrodku wodnym a także modernizację pozostałych węzłów i układów technologiczno-maszynowych, pomiarowo-sterujących oraz systemów zabezpieczeń. Zaprojektowano instalacje odpylania, odkurzania przemysłowego oraz przewietrzania zbiorników, poprawiające bezpieczeństwo pracowników.

2. Rozbudowa i modernizacja Zakładu Przeróbki Węgla w KWK Budryk

Zakres modernizacji obejmuje wykonanie projektów wykonawczych, budowę i przebudowę obiektów budowlanych, dostawę urządzeń mechanicznych (w tym m.in. pras filtracyjnych, wirówek, osadzarek, przesiewaczy, przenośników, pomp) oraz urządzeń elektrycznych wraz z wyposażeniem i instalacjami, montaż na miejscu budowy, uruchomienie, rozruch, przeprowadzenie inwentaryzacji, wykonanie dokumentacji powykonawczej i dokumentacji typu koncesyjnego dla całości ZPMW oraz świadczenie serwisu gwarancyjnego. Realizacja następuje etapowo na podstawie harmonogramu rzeczowo-finansowego.

W poprzednich latach zabudowano w zakładzie:

- obiekt odwadniania produktów flotacji, wyposażony m.in. w nowoczesne prasy filtracyjne Diemme Automat 1500x2000 dla odpadów,
- uzupełniono wirówki dla flotokoncentratu o 2 szt. Decanter DMI 44x132" Screenbowl,
- hydrocyklony KREBS 26" dla klasyfikacji mułów,
- zabudowano nowoczesne analizatory i popiołomierze WILPO,
- zabudowano nowy układ ważenia samochodów.

Realizowana obecnie rozbudowa i modernizacja ZMPW obejmuje:

- kontynuację zabudowy kompletnego drugiego systemu odstawy surowego urobku od skipu do zbiorników węgla surowego,
- budowę dwóch mostów przenośnikowych do obiektu kompleksowego,
- zabudowę nowych osadzarek jednokorytowych, przesiewaczy klasyfikacyjnych przed nimi, maszyn do odwadniania produktów, instalacji i urządzeń towarzyszących, w tym zasilania i sterowania,
- budowę drugiego, niezależnego ciągu transportowego węgla na zwałę.

3. Zabudowa przesiewaczy Progress ECO w układzie klasyfikacji i odwadniania w Zakładzie Przeróbki Węgla KWK Budryk

Progress ECO jest producentem i dostawcą przesiewaczy przemysłowych od ponad trzydziestu lat. Realizacje przemysłowe są prezentowane na konferencjach branżowych [2] – [9].

Firma jest również dostawcą przesiewaczy do projektu realizacji modernizacji układu przeróbki w KWK Budryk. Wymagania technologiczne stawiane przesiewaczom zostały sprecyzowane w SIWZie.

3.1. Wymagania techniczne dotyczące wszystkich przesiewaczy w projekcie rozbudowy Zakładu Przeróbczego KWK Budryk

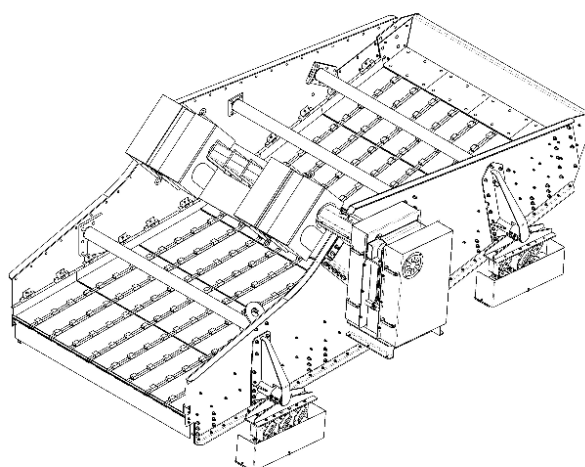
1. Dostarczone są przesiewacze wibracyjne o napędzie typu liniowego, z jednostką napędową umieszczoną na belce napędowej przesiewacza w postaci generatorów drgań.
2. Napędy przesiewaczy wyposażone w urządzenie rozruchowo-hamujące.
3. Zastosowanie łożysk głównych napędu przesiewacza o nominalnym okresie eksploatacji wynoszącym co najmniej 40 000 roboczogodzin.
4. Wszystkie powierzchnie robocze wykonane z materiałów o wytrzymałości dla nadawy o uziarnieniu do 80 mm i odporności na ścieranie; listwy boczne oraz sita umocowane w sposób zapewniający bezawaryjną pracę, a jednocześnie łatwą i szybką wymianę.
5. Osłony z blachy nierdzewnej.
6. Burty boczne, belki oraz inne elementy do nich montowane połączone śrubami z zastosowaniem systemu zabezpieczającego przed korozją szczelinową oraz rozłączaniem się elementów.
7. Zastosowanie systemu monitorowania i wizualizacji parametrów pracy tj.:
 - skoku rzeszota,
 - temperatury pracy łożysk i stanu ich zużycia.

Dostarczono trzy rodzaje przesiewaczy, ich charakterystyki przedstawione są poniżej (rys. 1., 2., 3)

3.2. Charakterystyka przesiewaczy PWP1-1Z-2,8x6,0 realizujących alternatywnie procesy odmulania lub odsiewania

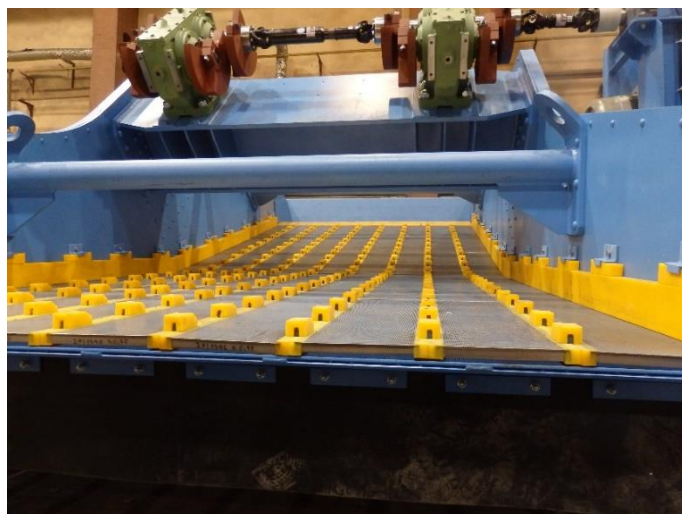
Przesiewacz realizujący w sposób alternatywny procesy odmulania lub odsiewania (urz. 4.503A-C, 4.603A-C): typ PWP1-1Z-2.8x6.0, producent PROGRESS ECO SP. Z O.O. SP.K. (rys. 1, 1a, 1b)

- nadawa węgla surowego
- wydajność nominalna maszyny 250 do 300 t/h
- szerokość pokładu sitowego 2800 mm
- długość pokładu sitowego 6000 mm
- grubość burt min. 10 mm
- konstrukcja przesiewacza umożliwiająca zastosowanie sit o szczelinie:
- 0,75 mm (odmulanie); 12,00 mm (odsiewanie)
- moc 37,0 kW
- napięcie 500 V /50 Hz
- wykonanie stacjonarne, z zabezpieczeniem termistorowym
- klasa izolacji; stopień ochrony silnika F; min. IP 54
- masa max. 12,0 t
- przesiewacze wyposażone w 2 komplety sit roboczych (\varnothing 75 mm i 12,0 mm) obejmujących (każdy) całość pokładu.



CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA	
Przeznaczenie	odwadnianie
Wydajność	do 300 t/h
Uziarnienie nadawy	0 - 80 mm
Powierzchnia sit	16,8 m ²
Sita pokładu o szczelinie	0,75 mm
Częstotliwość drgań	14,3 Hz
Skok rzeszota	9 ± 1 mm
Kąt pochylecia rzeszota	15° / 5°
Moc silnika	37 kW
Masa	11,7 Mg

Rys. 1. Przesiewacz wibracyjny PWP1-1Z-2,8 x 6,0



Rys. 1a. Powierzchnia sitowa przesiewacza wibracyjnego PWP1-1Z-2,8x6,0



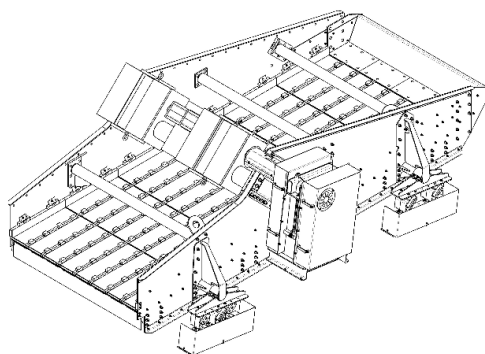
Rys.1b. Przesiewacz wibracyjny PWP1-1Z-2,8 x 6,0 – zdjęcie z instalacji

3.3. Charakterystyka przesiewaczy PWP1-2,4x6,0 realizujących procesy odmulania

Przesiewacz odwadniający (urz. 4.507A-C, 4.607A-C) typ PWP1- 2.4x6,0, producent PROGRESS ECO Sp. z o.o. Sp.k. (Ilość sztuk: 6) (rys. 2, 2a)

– wydajność nominalna maszyny	150 do 200 t/h
– nadawa węgiel	80 – 0,75 mm
– szerokość pokładu sitowego	2400 mm
– długość pokładu sitowego	6000 mm
– grubość burt	min. 10 mm
– masa	max. 10 t

- szczelina 0,75 mm
- napięcie 500 V; 50 Hz
- moc silnika napędowego max 30 KW
- klasa izolacji; stopień ochrony silnika F; min. IP 54



CHARAKTERYSTYKA
TECHNICZNA

Przeznaczenie	odwadnianie i klasyfikacja
Wydajność	do 200 t/h
Uziarnienie nadawy	0,75 - 80 mm
Powierzchnia sit	14,4 m ²
Sita pokładu o szczeliny	20,0 mm
Częstotliwość drgań	14,3 Hz
Skok rzeszoła	9 ± 1 mm
Kąt pochylecia rzeszoła	8°
Moc silnika	30 kW
Masa	10,1 Mg

Rys. 2. Przesiewacz wibracyjny PWP1 - 2,4 x 6,0

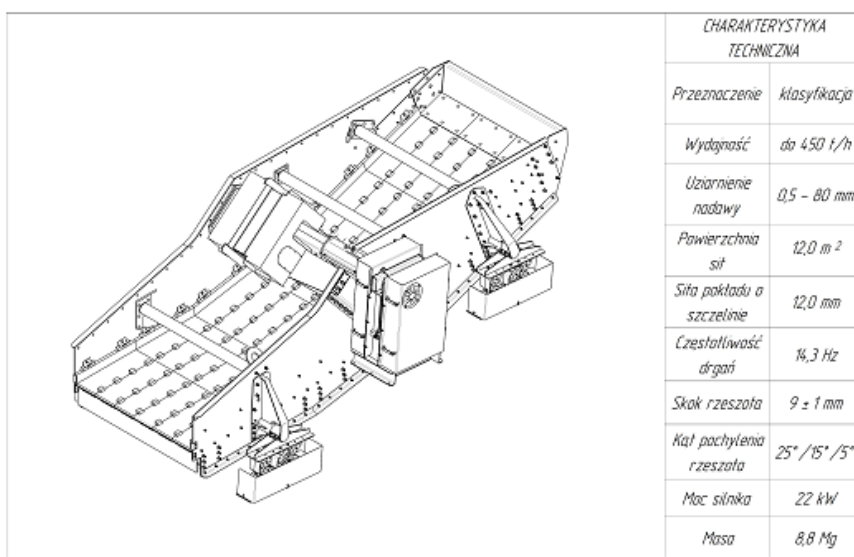


Rys. 2a. Przesiewacz wibracyjny PWP1- 2,4 x 6,0 – zdjęcie z instalacji

3.4. Charakterystyka przesiewacza PWP1-2,0x6,0 realizującego proces klasyfikacji

1. Przesiewacz wibracyjny sortujący (urz. 4.709): typ PWP1-2Z-2.0x6.0, producent PROGRESS ECO Sp. z o.o. Sp.k. (Ilość sztuk: 1) (rys. 3, 3a, 3b)

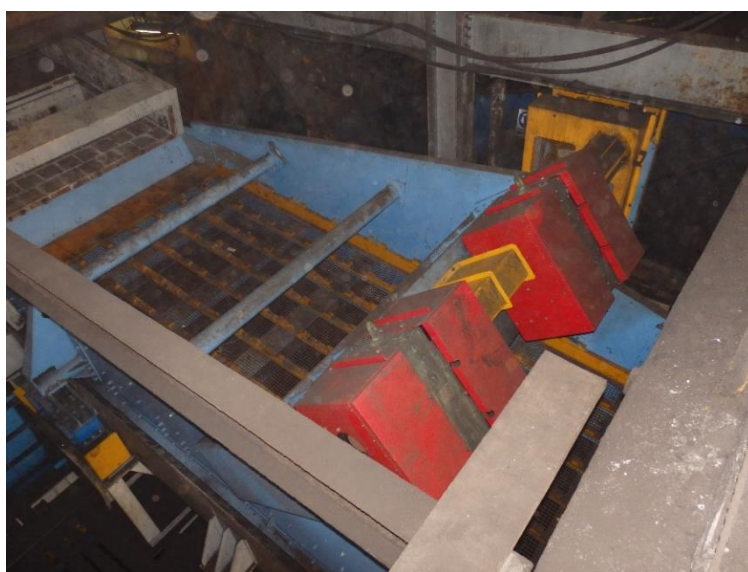
- nadawa: przerost	80 – 0,5 mm
- wydajność nominalna	450 t/h
- szerokość pokładu sitowego	2000 mm
- długość pokładu sitowego	6000 mm
- szczelina	12 mm
- moc	22 kW
- napięcie	500 V/50 Hz
- napięcie sterujące	230 V/50 Hz



Rys. 3. Przesiewacz wibracyjny PWP1 – 2Z-2,0 x 6,0

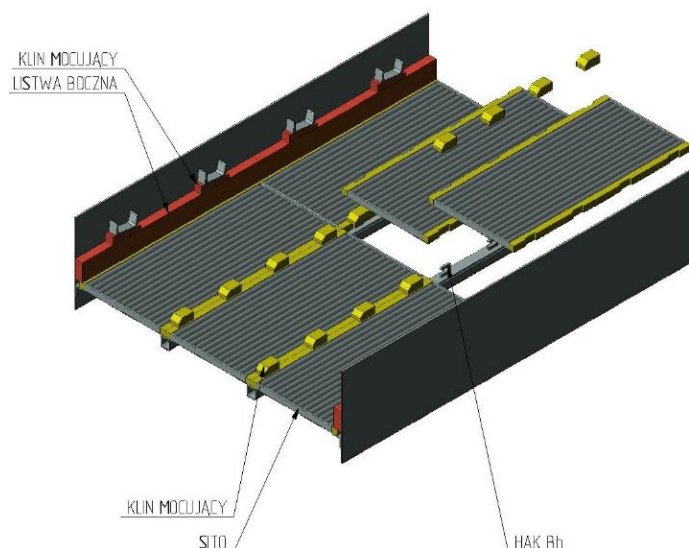


Rys. 3a. Przesiewacz wibracyjny PWP1 – 2Z-2,0 x 6,0 – pokład sitowy

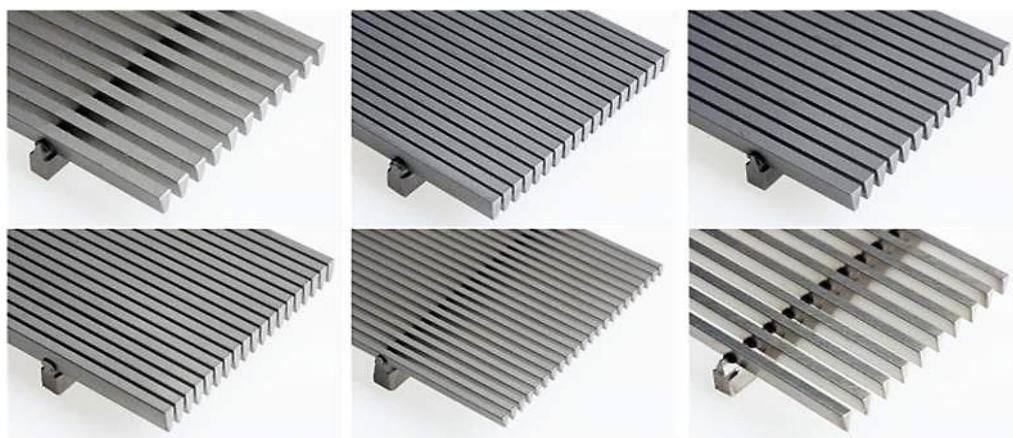


Rys. 3b. Przesiewacz wibracyjny PWP1 – 2Z-2,0 x 6,0 – zdjęcie z instalacji

Przesiewacze wibracyjne zastosowane w procesie modernizacji zakładu przerobczego KWK Budryk są wyposażone w sita mocowane w systemie PRO-CLIN (rys. 4). W procesie odmulania zastosowano sita szczelinowe zgrzewane o szczelinie 1 mm, w procesie klasyfikacji zastosowano sita zgrzewane typu PROGRESS-TYTAN oraz sita poliuretanowe. W systemie PRO-CLIN sito tworzy moduł, który mocowany jest do konstrukcji nośnej za pomocą haków i klinów. Oferowany system charakteryzuje się brakiem połączeń śrubowych, co znacznie przyspiesza wymianę zarówno pojedynczego sita, jak i całego pokładu. Zaletą zastosowania haków mocujących sita do konstrukcji przesiewacza jest rozpraszanie materiału znajdującego się na pokładzie sit, ograniczając wpływ tzw. martwej strefy. W miejsce klinów mocujących można stosować poprzeczne progi zwalniające, które dodatkowo zwiększają skuteczność procesów przesiewania i odwadniania. Ważną zaletą systemu jest niższa masa pokładu sit, co w znacznym stopniu zmniejsza jego oddziaływanie na konstrukcję przesiewacza. System mocowania sit PRO-CLIN doskonale sprawdza się w przesiewaczach o niskich pokładach.



Rys. 4. Schemat mocowania sit w systemie PRO-CLIN



Rys. 5. Sita szczelinowe o różnych profilach i szczelinach
(sita Pro-SLOT® firmy Progress Eco, www.progresseco.pl)

Sita szczelinowe zgrzewane produkowane są w oparciu o metodę zgrzewania elektrooporowego, która polega na zgrzewaniu profilowanych drutów roboczych do układu nośnych prętów. W wyniku tego powstają mocne sita zdolne do przenoszenia dużych obciążeń (rys. 5.).

Sita szczelinowe zgrzewane charakteryzują się:

- zdolnością do przenoszenia dużych obciążeń,
- dużym współczynnikiem powierzchni otwartej,
- niską podatnością na zaślepienie,
- idealnie równą i gładką powierzchnią,
- dużą precyzją wykonania,
- zwiększoną skutecznością i dokładnością separacji i odwodnienia.

Druty profilowe dzielimy na dwie zasadnicze grupy. Pierwsza, to profile powierzchniowe tworzące powierzchnię filtracyjną. Wykonuje się je z drutów profilowych typu Sb, Sbb oraz profili specjalnych. Druga, to druty nośne, poprzeczki, wykonuje się je z drutów profilowych typu Q i Sb oraz profili specjalnych. Najczęściej stosowanym materiałem do wykonywania sit szczelinowych zgrzewanych jest stal nierdzewna i kwasoodporna (chromowa lub chromoniklowa z dodatkami min molibdenu, tytanu i manganu). Zakres szczelin mieści się w przedziale od 0,02 ÷ 20,0 mm.

4. Podsumowanie i wnioski

1. Pomimo zmiennych warunków ekonomicznych funkcjonowania górnictwa, następuje dalszy rozwój i modernizacja zakładów przeróbki mechanicznej węgla w JSW S.A.
2. Celem głównym realizowanych zadań jest zwiększenie produkcji i uzysku węgla do celów koksowniczych oraz efektywna poprawa jego jakości w parametrach, na które wpływ mają procesy technologiczne w ZPMW.
3. Wraz ze zmianami technicznymi w modernizowanych i budowanych obiektach wymiennie poprawiają się warunki higieny i bezpieczeństwa pracy załogi.
4. Dla sfinansowania inwestycji konieczne jest dostosowanie struktury funkcjonowania ZPMW do uwarunkowań zewnętrznych oraz prawnych, skoncentrowane wysiłku na najefektywniejszych przedsięwzięciach.
5. Sterowanie wskaźnikami jakości produktów klasyfikacji powinno się odbywać za pomocą parametrów rozliczeniowych węgla, a nie gęstością rozdziału.
6. Ścisła współpraca i wymiana doświadczeń pracowników PROGRESS ECO i KWK Budryk miała pozytywny i owocny wpływ na projektowanie i konstruowanie przesiewaczy wibracyjnych, które obecnie w pełni realizują stawiane im wymagania technologiczne w zakresie klasyfikacji, odwadniania, bezpieczeństwa ich użytkowania i trwałości węzłów napędowych.

Literatura

1. Banaszewski T.: Przesiewacze, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1990.
2. Jonczak P., Pasiowiec P., Śmiejek Z.: Technologiczne i ekonomiczne racje istnienia nowych rozwiązań w obszarze stosowania sit produkcji Progress Eco S.A.; Nowoczesne systemy przerobcze surowców mineralnych z uwzględnieniem problemów ochrony środowiska; KOMEKO 2004 Ustroń.
3. Tora B., Pasiowiec P., Śmiejek Z.: The possibilities of using the centrifugal dewatering sieve In the system of classification; 7th Conference on Environment and Mineral Processing, VŠB – TU Ostrava 2003.
4. Pasiowiec P., Wajs J., Bańczyk K., Borkowski W., Bogusław A., Tora B.: Rozbudowa układu klasyfikacji i odwadniania w Zakładzie Przeróbczym PG Silesia na bazie przesiewaczy wibracyjnych produkcji Progress Eco; Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych : bezpieczeństwo – jakość – efektywność. Monografia, KOMAG 2015.
5. Hycnar J.J., Pasiowiec P., Bańczyk K., Wajs J., Tora B.: Zwiększenie skuteczności odwadniania i klasyfikacji zawiesiny wody odciekowej w instalacjach odwadniania żużla przy zastosowaniu sit OSO, XXIX konferencja z cyklu: Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej pt. Paliwa dla energetyki – mix energetyczny. Zakopane, 2015.

6. Pasiowiec P., Bańczyk K., Wajs J., Gawlista S., Tora B., Burek A.: Comparative analysis of dewatering efficiency and distribution of materials in centrifugal dewatering sieve with steel and polyurethane insert; 19th Conference on Environment and Mineral Processing, VŠB – TU Ostrava 2015.
7. Pasiowiec P., Bańczyk K., Tora B., Brożyna J., Wajs J., Uniwersalne zastosowanie sit szczelinowych zgrzewanych w procesach wydobywania i przeróbki węgla kamiennego, ropy naftowej, gazu ziemnego oraz uranu, XXXI Konferencja Energetyczna, Zakopane 2017
8. Pasiowiec P., Bańczyk K., Tora B., Wajs J., Uniwersalne zastosowanie sit szczelinowych zgrzewanych w procesach wydobywania i przeróbki węgla kamiennego, ropy naftowej, gazu ziemnego oraz uranu, XXXII Konferencja Energetyczna, Zakopane 2018
9. Materiały reklamowe, prace badawcze i dokumentacje firmy Progress Eco Sp. z o. o. Sp. K., www.progresseco.pl

Separacja minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich

Paweł Friebe – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W niniejszym rozdziale zawarto krótkie wprowadzenie do tematyki. Przedstawiono główne źródła pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich, przy czym skupiono się na źródłach naturalnych. Zamieszczono przegląd wybranych urządzeń wykorzystywanych do pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich. Scharakteryzowano: najważniejsze elementy urządzeń, charakterystykę nadawy do procesu separacji, produktów procesu separacji oraz przykładowe zastosowania urządzeń. Ukazano również możliwości pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich w Polsce. Zamieszczono spis stwierdzonych miejsc występowania tych pierwiastków w Polsce oraz koncepcja ich pozyskania w warunkach polskich.

Separation of minerals containing rear earth elements

Abstract: Short introduction to the discussed problems is presented. Main sources for rear earth elements recovery are given focusing on the natural sources. Review of the selected devices used in rear earth elements recovery is presented. Most important components of these devices, characteristics of the feed for the separation process, the products from the separation process as well as sample applications of these devices are given. Possibilities of recovery of rear earth elements in Poland are shown. List of the reported sources of these elements in Poland as well as the concepts of their recovery are discussed.

1. Wprowadzenie

Pierwiastki ziem rzadkich nazywane powszechnie REE (Rare Earth Elements) to grupa 17 pierwiastków chemicznych, w skład których wchodzi skandowce i lantanowce tj.: skand – Sc, itr – Y, lantan – La, cer – Ce, prazeodym – Pr, neodym – Nd, promet – Pm, samar – Sm, europ – Eu, gadolin – Gd, terb – Tb, dysproz Dy, holm Ho, erb Er, tul Tm, iterb Yb i lutet Lu. Charakteryzują się podobnymi właściwościami chemicznymi ze względu na podobną budowę zewnętrznych powłok elektronowych i niewielkie różnice w rozmiarach atomów i jonów. W 2009 r. międzynarodowa Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju umieściła pierwiastki ziem rzadkich na liście tzw. surowców strategicznych.

Minerały zawierające pierwiastki ziem rzadkich mogą zostać podzielone na różne grupy ze względu na zawartość poszczególnych pierwiastków ziem rzadkich. Można je zidentyfikować jako typu cerowego lub itrowego w zależności od tego, czy rozkład lantanowców w minerałach należy do lekkich (Light Rare Earth Elements – LREE) lub ciężkich (Heavy Rare Earth Elements – HREE) pierwiastków ziem rzadkich. Minerały

te mogą zawierać wszystkie lub tylko niektóre lantanowce [1]. Pierwiastki ziem rzadkich są szeroko rozpowszechnione w przyrodzie, ale tylko bardzo mała ilość z nich może być pozyskiwana w sposób ekonomicznie uzasadniony. Można je również znaleźć w bardzo małych ilościach w wodach morskich oraz w biosferze jako drugorzędne składniki organizmów roślinnych i zwierzęcych [2].

Światowe wydobywanie REE kształtuje się aktualnie na poziomie 130 tys. Mg. Rynek pierwiastków ziem rzadkich na świecie należy obecnie do Chin, które dysponują 36% zasobów światowych (około 44 mln Mg) i pokrywają 81% światowej produkcji. Drugim największym producentem jest Australia, która posiada 3% zasobów światowych (ok. 3,4 mln Mg) i pokrywa 15% światowej produkcji (dane z 2017 r.) [3].

2. Źródła pierwiastków ziem rzadkich

Pierwiastki ziem rzadkich naturalnie koncentrują się głównie w skorupie ziemskiej. Źródłami pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich są samodzielne złoża, bądź występujące jako składniki towarzyszące w złożach innych kopalin m.in. niobowych, apatytowych czy fosforytowych [4]. Najczęściej spotyka się je w formie fosforanów, węglanów, tlenków oraz krzemianów. Kolejnym, alternatywnym źródłem tych pierwiastków jest recykling zużytego zaawansowanego sprzętu elektronicznego (wyświetlacze, samochody hybrydowe). Następnym, potencjalnym źródłem mogą być popioły i żużle paleniskowe z elektrowni węglowych [5]. W niniejszym rozdziale skupiono się na naturalnych źródłach pierwiastków ziem rzadkich. Obecnie najczęściej eksploatowanymi minerałami są: bastnazyt, monacyt oraz ksenotym.

Bastnazyt jest minerałem fluorowęglanowym najczęściej występuje jako $CeCO_3F$ ($4,90-5,20 \text{ g/cm}^3$). Pozostałymi mniej rozpowszechnionymi odmianami minerału są $LaCO_3F$ ($\sim 4,98 \text{ g/cm}^3$) oraz YCO_3F ($3,90-4,0 \text{ g/cm}^3$). Ze względu na swoje własności magnetyczne minerał ten jest paramagnetykiem. Zawiera średnio 70% tlenków pierwiastków ziem rzadkich takich jak: Ce, La, Pr oraz Nd [6, 7]. Bastnazyt stał się głównym źródłem REE, zastępując monacyt, od momentu rozpoczęcia produkcji REE przez kopalnię Bayan Obo w Chinach oraz kopalnię Mountain Pass w USA [8]. Proces separacji bastnazytu we wspomnianych zakładach opiera się na flotacji.

Monacyt jest minerałem fosforanowym. Występuje jako $CePO_4$ ($4,98-5,43 \text{ g/cm}^3$), $LaPO_4$ ($5,17-5,27 \text{ g/cm}^3$), $NdPO_4$ ($\sim 5,43 \text{ g/cm}^3$), $SmPO_4$. Podobnie jak bastnazyt monacyt zawiera średnio 70% tlenków pierwiastków ziem rzadkich takich, Ce, La, Pr oraz Nd [1, 6, 7]. Jest to minerał paramagnetyczny. W odróżnieniu od bastnazytu monacyt zawiera 4% do 12% toru oraz zmienną, niewielką zawartość uranu (sporadycznie do 14%) [6, 9]. Monacyt znajduje się na całym świecie w złożach aluwialnych oraz piaskach plaż. Najważniejszymi źródłami materiału zawierającego monacyt są piaski plażowe [6]. W początkowych etapach, do wstępnej separacji, wykorzystuje się metody separacji grawitacyjnej, następnie zaś stosuje się metodę separacji magnetycznej lub flotację [10].

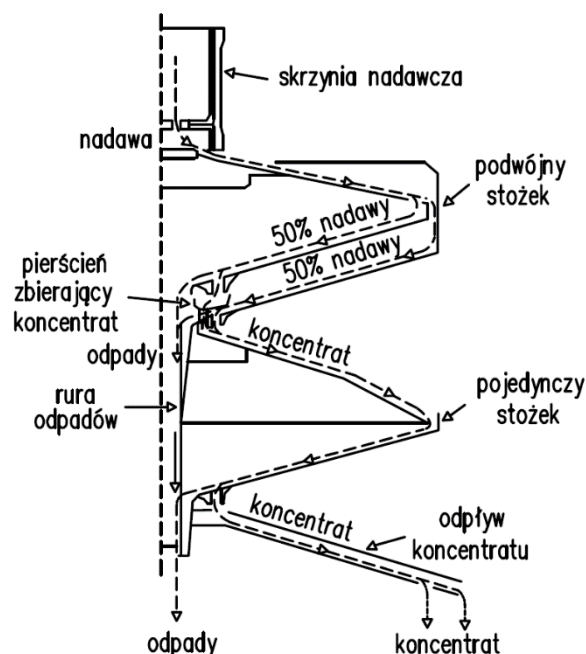
Ksenotym jest to fosforan itru YPO_4 ($4,40-5,10 \text{ g/cm}^3$) o zawartości około 67% tlenków pierwiastków ziem rzadkich, takich jak: Ce, La, Pr oraz Nd. Pomimo swojej rzadkości minerał ten wraz z jonowo zaadsorbowanymi skałami ilastymi jest głównym źródłem HREE. Ksenotym jest minerałem typowo współwystępującym z monacytem w niewielkich ilościach około 0,5-5% [1, 6]. Minerał ten jest najczęściej uzyskiwany jako produkt uboczny przeróbki monacytu. Ksenotym może być odseparowany od monacytu przy pomocy procesu flotacji pianowej ($<100 \mu\text{m}$) lub metodami magnetycznymi wykorzystując większą podatność magnetyczną ksenotymu [11, 12, 13].

3. Przegląd maszyn i urządzeń do separacji minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich

Do produkcji koncentratów bogatych w minerały zawierające pierwiastki ziem rzadkich stosuje się urządzenia przedstawione niżej.

Separatory stożkowe

Urządzenia te zbudowane są z kilku połączonych śluz (rys. 1). Śluzy są ułożone obok siebie, a końce wylotowe są skierowane do wewnątrz. Tworzą one okrągły zbiornik, w którym każda śluz to osobny przedział. Usunięcie ścian bocznych każdej ze śluz utworzyłoby okrągły zbiornik w kształcie stożka skierowanego wierzchołkiem ku dołowi. Pojedynczy wzbogacalnik może składać się z kilku śluz, tworząc układ wielostopniowego wzbogacania.



Rys. 1. Poglądowy rysunek wzbogacalnika stożkowego Reichert Cone (opracowanie własne)

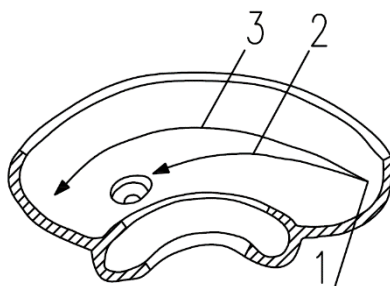
Stożki najczęściej są zbudowane z włókna szklanego. Montuje się je w okrągłych ramach wsporczych o wysokości mogącej przekraczać 6 m. Wzbogacalnik o masie około 2,5 Mg może osiągać wydajność do 75 t/h. Jako nadawę do urządzenia kieruje się zawieszoną o zagęszczeniu 55-70% częścią stałych wagowo. Urządzenie to posiada największą sprawność wzbogacania, gdy uziarnienie nadawy mieści się w granicach 0,5-0,045 mm. Badania prowadzone przez Colorado School of Mines Research Institute wykazały, że można osiągnąć nawet 95% składnika użytecznego w koncentracji z materiału, zawierającego 28% tego składnika użytecznego [14].

Proces wzbogacania przebiega w następujący sposób: zawieszina przepływa w dół śluzy, przyjmując własności podobne do cieczy ciężkiej. Ziarna o większej gęstości osadzają się w niższych częściach strumienia, wypychając ziarna o mniejszej gęstości ku górze. Na końcu pojedynczego segmentu urządzenia znajdują się otwory, przez które odbierane są ziarna o większej gęstości. Efektywność wzbogacania pojedynczego segmentu jest relatywnie mała. Konstrukcje wzbogacalników stożkowych składają się z kilku segmentów umieszczonych wewnątrz pojedynczego wzbogacalnika np. rozwiązanie Reichert Cone jest zbudowane z dwu segmentów. Pierwszy segment posiada podwójny stożek, drugi zaś jest pojedynczy.

Separatory stożkowe stosuje się najczęściej jako urządzenia przygotowujące nadawę do wzbogacalników strumieniowo-zwojowych lub na stoły koncentracyjne. Są stosowane do wzbogacania np. rudy złota, rudy uranu lub piasków plażowych bogatych w minerały ciężkie. Można uzyskać do 20-30% minerałów ciężkich w koncentracji [6].

Wzbogacalniki strumieniowo-zwojowe

Najważniejszym elementem wzbogacalnika strumieniowo-zwojowego jest koryto robocze o przekroju wycinka koła, paraboli lub innego bardziej złożonego kształtu. Koryto to jest zwinięte na kształt spiralny. Dodatkową wodę roboczą doprowadza się przewodami lub rurociągiem. Materiał w postaci zawiesziny wprowadza się do koryta roboczego ze skrzynki nadawczej w punkcie oznaczonym numerem 1 na rysunku 2. Na zawieszinę przepływającą w dół koryta roboczego działają siły, takie jak: siła odśrodkowa, siła ciężkości siła naporu hydrodynamicznego wody roboczej, siła tarcia. Będąc w polu działania sił ziarna o większej gęstości przesuwają się ku wewnętrznej części koryta roboczego, których ruch obrazuje linia oznaczona numerem 2. Z kolei ziarna o mniejszej gęstości przesuwają się bliżej zewnętrznej części koryta roboczego (linia 3). W korycie roboczym mogą być zabudowane odbieralniki, przeznaczone do odbioru ziaren o większej gęstości. Produkty są odbierane przez znajdującą się na końcu koryta roboczego skrzynkę odbiorczą.



Rys. 2. Wycinek koryta roboczego (opracowanie własne)

Do wzbogacania można kierować drobno uziarniony materiał surowy najczęściej o wymiarach nie przekraczających 3 mm. Dolna granica uziarnienia dla materiałów o niskiej gęstości wynosi 0,1 mm, a dla materiałów o wysokiej gęstości 0,05 mm [15, 16]. Zagęszczenie zawiesiny ustala się jako stosunek 15-25% części stałych materiału do wody roboczej [17]. Zastosowaniem wzbogacalników strumieniowo-zwojowych jest separacja grawitacyjna w płynącym strumieniu wody drobno uziarnionego węgla, rud żelaza, złota, minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich. Wzbogacalniki te stosuje się również do wtórnej separacji odpadów pochodzących z procesu wzbogacania w innych urządzeniach np. flotownikach lub osadzarkach.

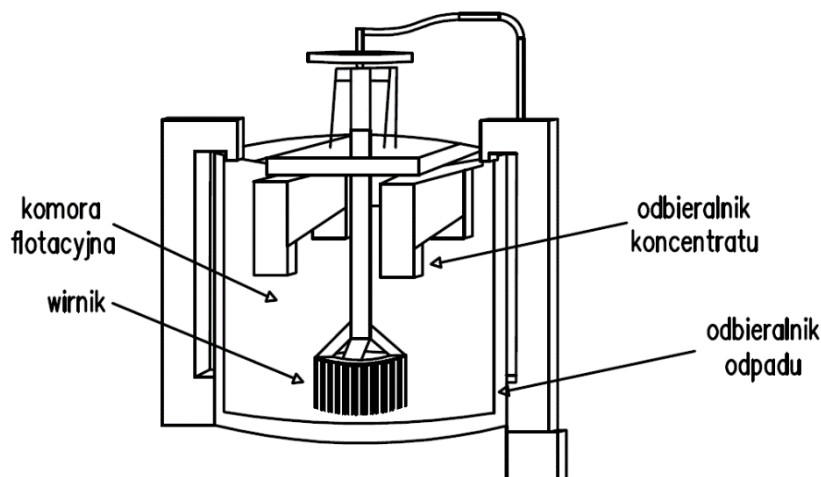
W przypadku wzbogacania piasku możliwe jest uzyskanie do 80-90% minerałów ciężkich w koncentracji [6]. Uzyskany koncentrat o wysokiej zawartości minerałów ciężkich zostaje poddany dalszym operacjom przerobczym (np. separacja magnetyczna, flotacja), celem wydzielenia poszczególnych minerałów z mieszaniny.

Maszyny flotacyjne

Maszyny flotacyjne inaczej flotowniki wykorzystują różnicę w skłonności ziaren do odpychania od siebie cząsteczek wody (hydrofobowość i hydrofilowość). Materiał w postaci zagęszczonej zawiesiny wraz z odczynnikami flotacyjnymi wprowadza się do komory maszyny flotacyjnej (rys. 3). Na dnie komory flotacyjnej znajdują się dysze, porowate spieki, bądź mieszadła mechaniczne dostarczające rozproszone pęcherzyki powietrza. Pęcherzyki powietrza przyłączają się do ziaren hydrofobowych, tworząc zespół o mniejszej gęstości od wody, oraz przemieszczają się w kierunku powierzchni cieczy. Ziarna o skłonności do łączenia się z wodą (hydrofilowe) opadają na dno flotownika.

Flotacja pianowa jest powszechnie stosowana do wzbogacania minerałów zawierających pierwiastków ziem rzadkich ze względu na fakt, że możliwe jest dostosowanie procesu do unikalnej mineralogii danego złoża. Metody przeprowadzania procesu flotacji podstawowych minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich (bastnazyt, monacyt lub

ksenotym) będą różniły się ze względu na różną mineralogię złóż, choć wszystkie będą wykorzystywały kwasy tłuszczowe oraz hydroksyminy [18].



Rys. 3. Mechaniczna maszyna flotacyjna wirnikowa (opracowanie własne)

Nadawę do procesu flotacji stanowi materiał wstępnie wzbogacony grawitacyjnie np. w wzbogacalnikach strumieniowo-zwojowych. Wzbogacanie flotacyjne składa się z wielu etapów tj. flotacji głównej i kilkustopniowej flotacji czyszczącej. Koncentrat otrzymany z flotacji może zawierać około 30% lub więcej minerałów bogatych w pierwiastki ziem rzadkich [19]. Ze względu na uwarunkowania mineralogiczne uwolnienie cząstek minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich pochodzących z złoża Bayan Obo w Chinach wymaga głębokiego mielenia 74 – 10 μm , co determinuje flotację jako jedyny proces wzbogacania mogący być zastosowanym w przemyśle przy takim zakresie uziarnienia [20]. Flotokoncentrat jest kierowany do dalszych operacji przerobczych takich jak separacja magnetyczna lub elektrostatyczna.

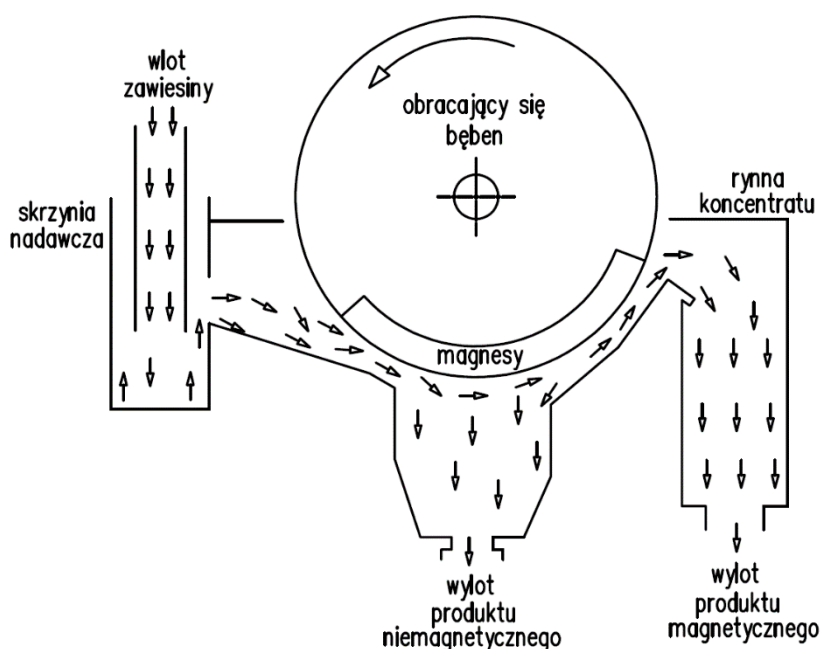
Separatory magnetyczne

Separatory magnetyczne są szeroko stosowane w przeróbce pierwiastków ziem rzadkich. W ciągu technologicznym są wykorzystywane w pierwszej kolejności do wydzielenia minerałów o wysokiej podatności magnetycznej. W dalszej kolejności zwiększając natężenie pola magnetycznego wydziela się minerały średniej i słabej podatności magnetycznej. Końcowe koncentraty o wysokim stopniu czystości, monomineralne, kierowane są do przeróbki chemicznej [20].

Na sprawność procesu rozdziału w separatorze magnetycznym wpływają: natężenie pola magnetycznego w komorze roboczej separatora, podatność magnetyczna rozdzielanych minerałów, stopień uwolnienia minerałów, rozmiary minerałów, opór ruchu ziaren minerałów wywoływany siłami grawitacji i tarcia [21].

Ze względu na podatność magnetyczną wyróżniamy minerały: silnie magnetyczne (np. magnetyt, pirotyt), średnio magnetyczne (np. ilmenit, ksenotym), słabo magnetyczne (np. monacyt, rutył) oraz niemagnetyczne (np. kwarc, kalcyt).

Ziarna wysokiej podatności magnetycznej wydziela się przy użyciu separatora bębnowego o niskiej intensywności pola ($<0,3\text{ T}$) (rys. 4.) [22]. Do urządzenia tego zawieszina dostarczana jest za pomocą skrzynki nadawczej. Zawieszina ta przepływa przez urządzenie, blisko obracającego się bębna z zamontowanymi w stałej pozycji magnesami. Następnie pochwycone przez pole magnetyczne ziarna przylegają do bębna i są wynoszone do rynny koncentratu. Pozostałe ziarna, nie pochwycone przez pole, opadają do wylotu produktu niemagnetycznego.



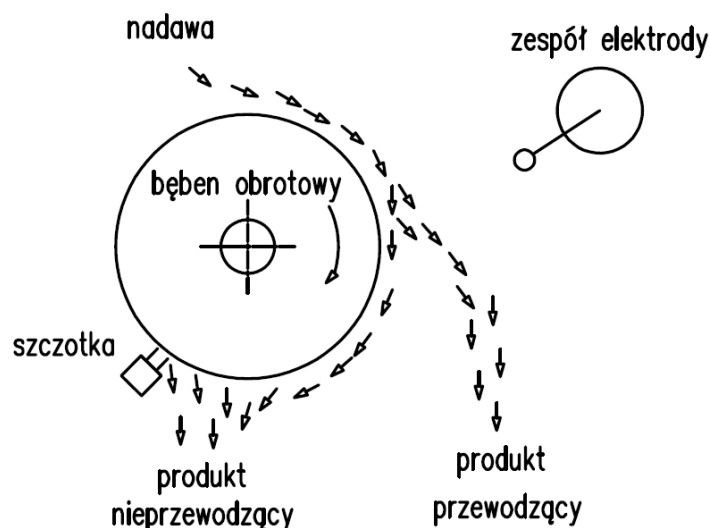
Rys. 4. Magnetyczny separator bębnowy o niskiej intensywności pola do rozdzielenia zawiesziny (opracowanie własne)

Do wydzielenia cząstek o mniejszej podatności magnetycznej szeroko stosowane są separatory WHIMS (Wet High Intensity Magnetic Separator). Silniejsze pole magnetyczne jest osiągnięte dzięki elektromagnesom o dużej mocy oraz wypełnieniu komory roboczej urządzenia prętami lub wełną z ferromagnetyku. Cząstki pochwycone przez pole magnetyczne pozostają w komorze roboczej, z której są odbierane za pomocą koła wynoszącego. Pozostałe cząstki opadają w dół komory, w kierunku odbieralników produktu niemagnetycznego [23].

W przypadku wzbogacania materiału z Sichuan Maoniuping Rare Earth Ore w Chinach, ze względu na mineralogie złoża, połączenie separacji magnetycznej o różnej intensywności oraz separacji grawitacyjnej pozwala otrzymać uzysk bastnazytu większy niż 55% bez flotacji [20].

Separatory elektrostatyczne

Urządzenia te, aby osiągnąć rozdział ziaren, wykorzystują różnice w przewodnictwie pomiędzy minerałami. Sucha nadawa jest podawana na górę obrotowego, uziemionego bębna (rys. 5). Cząsteczki poruszające się wraz z obracającym się bębniem zbliżają się do elektrody jonizującej, co powoduje naładowanie powierzchni minerałów. Naładowane powierzchniowo minerały otrzymują w ten sposób ładunek przeciwny do uziemionego bębna i przywierają do niego. Kiedy cząsteczki oddalają się z pola oddziaływania elektrody, powierzchnie tych silniej przewodzących, szybko tracą naładowanie i odpadają od bębna. Cząsteczki minerałów słabiej przewodzących pozostają dłużej przyklepione do bębna, i są z niego usuwane za pomocą szczotki [23].



Rys. 5. Uproszczony schemat obrazujący zasadę działania separatora elektrostatycznego HTR (opracowanie własne)

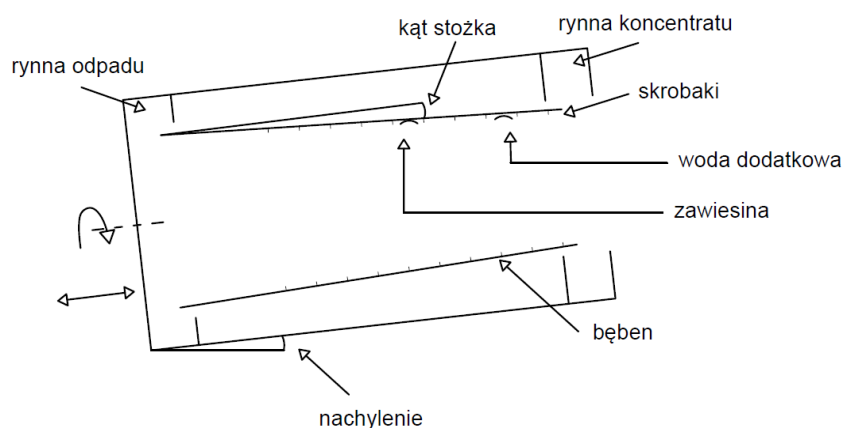
Separatory elektrostatyczne stosuje się tylko wtedy, gdy pozostałe metody zawodzą z powodu zbyt niskich różnic w gęstości oraz podatności magnetycznej. Wadą separatorów elektrostatycznych jest to, że wymagają dokładnego suszenia materiału [20]. Zastosowaniem tych separatorów może być przypadek, gdy jednym z produktów separacji magnetycznej będzie materiał zawierający ksenotym i ilmenit (paramagnetyki o podobnej podatności

magnetycznej). Ksenotym może być oddzielony od ilmenitu tylko na podstawie przewodnictwa, którego ksenotym nie wykazuje, a ilmenit tak [7].

Separatory odśrodkowe Multi-Gravity

Urządzenia te służą do separacji: odpadów bądź mułów zawierających cenne pierwiastki, piasków mineralnych oraz aluwiiów w zakresie 150 – 5 μm i węgla <1 mm [24, 25]. Głównymi elementami są: bęben w widoku z boku, przypominający ścięty stożek, skrobaki, rynna koncentratu, rynna odpadu oraz napęd. Pokazano to na rysunku 6.

Parametry mające wpływ na efektywność separacji to: prędkość obrotowa bębna, kąt nachylenia bębna, kąt stożka, amplituda wibracji bębna, częstotliwość wibracji bębna, ilość skrobaków, kształt skrobaków, ilość podawanej wody dodatkowej, zagęszczenie zawiesiny [26, 27].



Rys. 6. Separator Multi-Gravity (opracowanie własne)

Separator Multi-Gravity wykorzystuje zasadę działania stołu koncentracyjnego oraz wzbogacalnika strumieniowo-zwojowego. Nadawca, w formie zawiesiny, jest podawana stałe rurą na rynnę nadawczą, na wewnętrzną powierzchnię bębna obrotowego. Woda dodatkowa jest wprowadzana podobnie, bliżej zewnętrznej strony bębna. W separatorze dochodzi do rozwarstwienia materiału. Ziarna o większej gęstości, pod działaniem siły odśrodkowej, przylegają do powierzchni bębna, tworząc pódstałą warstwę. Powyżej powstaje warstwa pośrednia składająca się z cząstek o mniejszej gęstości oraz z szlamu. Górna warstwa zawiera względnie czystą wodę. Dodatkowo wprowadzany w wibrację bęben intensyfikuje proces rozwarstwiania drobin. Zamontowane na bębnie skrobaki spełniają następujące zadania: mieszanie osadzonych na bębnie cząstek (minimalizując w ten sposób prawdopodobieństwo porwania lżejszych ziaren do głębszych warstw materiału), przesuwanie produktu ciężkiego wyżej, ku węższej części bębna

(przeciwnie do prądu wody) do rynny koncentratu. Cząstki lżejsze wraz z wodą przesuwają się, w kierunku szerszej części bębna, do rynny odpadu.

Podsumowanie przeglądu maszyn

Maszyny i urządzenia przedstawione w tym rozdziale pracy, można podzielić ze względu na sprawność wzbogacania. Urządzenia o względnie małej sprawności wzbogacania, są zazwyczaj stosowane na początku ciągu technologicznego do produkcji koncentratów wstępnych. Do urządzeń o względnie małej sprawności wzbogacania należy zaliczyć separatory stożkowe oraz wzbogacalniki strumieniowo-zwojowe. Koncentraty wstępne są następnie kierowane do urządzeń o większej sprawności wzbogacania, jako nadawa. Urządzenia o względnie wysokiej sprawności wzbogacania, takie jak np. separatory magnetyczne bądź separatory elektrostatyczne są zazwyczaj stosowane do produkcji koncentratów końcowych o wysokiej czystości.

4. Możliwości pozyskania pierwiastków ziem rzadkich w Polsce

W Polsce pierwiastki ziem rzadkich występują w następujących rejonach:

- Szklarska Poręba – średnia zawartość tlenku lantanu 0,28%, występują tam minerały takie jak monocyty, ksenotym, apatyt oraz cyrkon [28]
- Bogatynia – średnia zawartość tlenku lantanu 1,55% [2],
- Tajno w pobliżu Białegostoku (stwierdzono występowanie pierwiastków ziem rzadkich w karbonatytach na znacznych głębokościach [28],

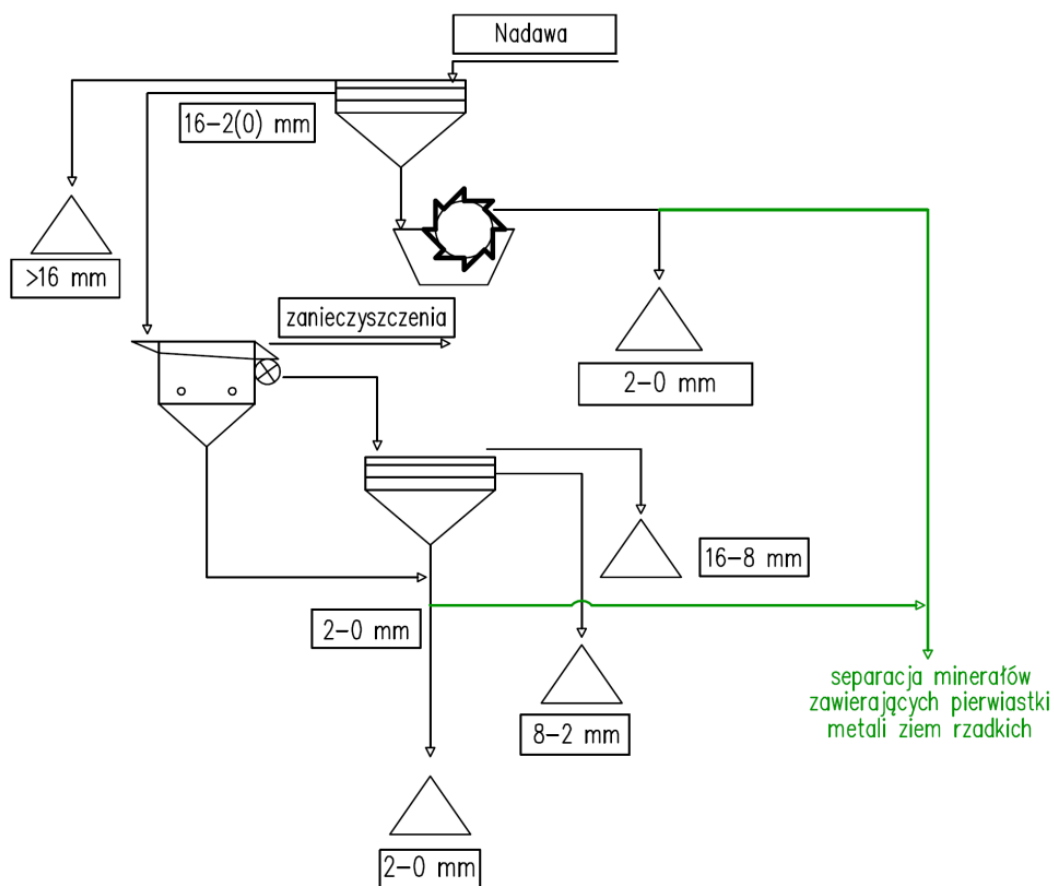
oraz w piaskach plaż Morza Bałtyckiego [2].

Aktualnie określa się występujące w Polsce minerały zawierające pierwiastki ziem rzadkich jako nieprzydatne, głównie z powodu niskiej zawartości tych pierwiastków. Dalsza ocena ich perspektywności wymaga dalszych badań. Potencjalnym źródłem pierwiastków ziem rzadkich mogą być fosfogipsy. Jest to surowiec odpadowy powstały przy przeróbce koncentratów apatytowych na kwas fosforowy (hałda ZCh „Wizów”) [2, 29].

Perspektywnymi miejscami pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich w Polsce mogą być aktualnie eksploatowane złoża kruszyw mineralnych. Istniejące ciągi technologiczne mogą posłużyć jako etap klasyfikacji wstępnej, surowego materiału ze złoża. Niezbędne będzie przeprowadzenie badań mineralogicznych tego materiału, obejmujące pobieranie próbek frakcji piaskowej oraz przeprowadzenie analizy w spektrometrze.

Nawet bardzo niska zawartość minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich, stwarza możliwość ekonomicznie uzasadnionej inwestycji w maszyny i urządzenia do separacji. Zakłady wzbogacające piaski plaż egipskich uzyskują koncentrat o zawartości monocytyu sięgającej 97% z surowego materiału zawierającego 0,25% tego minerału [30].

Na rysunku 7 zaprezentowano uproszczony schemat technologiczny klasyfikacji kruszywa mineralnego z zaznaczoną zieloną linią, frakcją piaskową. Frakcja ta, jest potencjalnym nośnikiem minerałów zawierających pierwiastki ziem rzadkich.



Rys. 7. Uproszczony schemat klasyfikacji kruszywa mineralnego z klasifikatorem pulsacyjnym (opracowanie własne)

Pierwiastki ziem rzadkich REE występują również w węglach kamiennych i związane są głównie z minerałami ilastymi oraz z obecnością drobnych ziaren minerałów – fosforanów, siarczanów, karbonatytów. Mogą być również związane z częścią organiczną węgla, na co wskazują inne badania [5].

Do tej pory nie wykonano szerszych badań polskich węgli kamiennych dotyczących zawartości w nich pierwiastków ziem rzadkich REE. W dostępnej literaturze, na temat występowania pierwiastków ziem rzadkich w polskich węglach kamiennych, można znaleźć jedynie nieliczne informacje.

Prowadzono analizy węgla z pokładu 405 [31]. Badano również jedynie zawartość skandiu i ceru w węglach z następujących kopalń: KWK Sośnica-Makoszowy, KWK Bielszowice, KWK Chwałowice oraz KWK Jankowice. Uwagę zwraca wysoka zawartość ceru (KWK Sośnica-Makoszowy – 78-108 ppm), w stosunku do średniej ich zawartości w węglach chińskich (18-32 ppm), oraz średniej światowej (23 ppm). Sumaryczna zawartość REE – 77,02 ppm w węglu z KWK „Jankowice” jest wyższa, od sumarycznej zawartości światowej – 60,07 ppm.

Inne badania [31, 32], wykazują znacznie niższe zawartości pierwiastków ziem rzadkich w tych węglach. Węgla pokładów 378, 382, 387, 389, 391, 394 Lubelskiego Zagłębia Węglowego badano na Uniwersytecie Śląskim [33]. Oznaczono w nich pierwiastki ziem rzadkich, takie jak lantan i skand, a także pierwiastki śladowe: uran i tor. W uzyskanych wynikach zwraca uwagę wyższa od średniej światowej zawartość lantanu (np. LZW pokład 378 – 7,72-23,37 ppm, LZW pokład 387 – 21,59-22,47 ppm, świat – 11 ppm), natomiast zawartość w tych węglach skandiu jest porównywalna z wynikami uzyskanymi dla pokładów 405 GZW [31].

W polskich węglach kamiennych występują minerały pierwiastków ziem rzadkich, takie jak: ksenotym, monacyt i apatyt [34]. Z tymi minerałami związany jest również fosfor. Badania w tym zakresie podjął w 2012 roku Główny Instytut Górnictwa w Katowicach [31]. W wytypowanych 22 próbkach węgla z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, między innymi, zawartość w nich fosforu. Zawartości fosforu zmienia się w granicach 0–5000 ppm i wykazuje bowiem duże zróżnicowanie regionalne i stratygraficzne. Najwięcej fosforu występuje w węglach serii mułowcowej a najmniej, w węglach serii krakowskiej i piaskowcowej [34, 35, 36]. W przypadku węgla koksowego z kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA, najmniejszą zawartością fosforu charakteryzuje się węgiel wydobywany w kopalni Jas-Mos, a największą, węgiel z kopalni Borynia i Krupiński [35].

Ze względu na ultradrobne rozproszenie oraz skomplikowaną mineralogię pierwiastków ziem rzadkich w węglu, fizyczne metody wzbogacania wykorzystujące różnice w gęstości, własnościach magnetycznych, zwilżalności powierzchni są ograniczone w zdolności do wzbogacania.

Kolejnym problemem jest niska zawartość pierwiastków ziem rzadkich w surowym węglu kamiennym pochodzenia polskiego.

5. Podsumowanie i dalsze kierunki prac

Dotychczasowo przeprowadzono jedynie nieliczne badania poszukiwawcze pierwiastków ziem rzadkich w Polsce. Na podstawie zebranych informacji można stwierdzić, że krajowe, przebadane naturalne złoża REE nie mają znaczenia gospodarczego. Niezbędne jest przeprowadzenie dalszych, dokładniejszych badań. Aktualnie jako potencjalne źródło pierwiastków ziem rzadkich uważa się fosfogipsy zlokalizowane na hałdzie ZCh „Wizów”. Kolejnym potencjalnym źródłem może być zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny (ZSEiE).

Aktualnie w ITG KOMAG trwają prace poszukiwawcze pierwiastków ziem rzadkich w kruszywie naturalnym oraz węgla. Wyniki tych badań pozwolą określić przydatność wielu śląskich złóż kruszywa naturalnego oraz węgla.

Planowana jest praca badawcza nad poprawieniem cech użytkowych separatorów strumieniowo-zwojowych do wydzielenia minerałów ciężkich z uboższego w nie materiału. Prace będą obejmowały m.in. przystosowanie parametrów konstrukcyjnych i operacyjnych do osiągnięcia jak najwyższego uzysku minerałów ciężkich w koncentracie.

Literatura

1. Ferron C.: Beneficiation of Rare Earth Oxide Minerals, Materials Science Forum (Volumes 70-72), 1991
2. Jarosiński A.: Możliwości pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich w Polsce, Zeszyty naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej PAN, 2016
3. Gambogi J.: U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 2018
4. Witkowska-Kita N.: Surowce krytyczne i strategiczne w Polsce. Monografia, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, 2015
5. Całus-Moszek J., Białicka B.: Analiza możliwości pozyskania pierwiastków ziem rzadkich z węgla kamiennych i popiołów lotnych z elektrowni, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2013
6. Gupta C. K., Krishnamurthy N.: Extractive Metallurgy of Rare Earths, CRC Press, Florida, 2005
7. Gupta C.K., Krishnamurthy N.: Extractive metallurgy of rare earths. International Materials Reviews 37 (5), 1992
8. Ozbayoglu G., Umit Atalay M.: Beneficiation of bastnasite by multi gravity separator, Journal of Alloys and Compounds, 2000
9. Gramaccioli C.M., Segalstad T.V.: 1978. A uranium- and thorium-rich monazite from a south-alpine pegmatite at Piona, Italy. American Mineralogist 63, 757– 761.
10. Zhang J., Edwards C.: A review of rare earth mineral processing technology, 44th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Ottawa, 2012
11. Ito S., Yotsumoto H., Sakamoto H.: 1991. Magnetic separation of monazite and xenotime. In: Proceedings of the International Conference on Rare Earth Minerals and Minerals for Electronic Uses. Prince Songkla University, Hat Yai, TH, pp. 279–299.
12. Cheng T.W.: 2000. The point of zero charge of monazite and xenotime. Minerals Engineering 13 (1), 105–109.
13. Cheng T.W., Holtham P.N.: Tran, T., 1993. Froth flotation of monazite and xenotime. Minerals Engineering 6 (4), 341–351.
14. 911 Metallurgist <https://www.911metallurgist.com/blog/reichert-cone>, dostęp 12.10.2018 r.
15. Holland-Batt A. B., Holtham P.N.: Particle and fluid motion on spiral separators, Mineral Engineering, 1991

16. Richards R.G., MacHunter D.M.: Gravity Separation of Ultra-Fine (-0,1mm) Minerals using Spiral Separators, Minerals Engineering, 2000
17. Blaschke W., Blaschke St.: Technika wzbogacania grawitacyjnego: Wzbogacalniki strumieniowe, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 1999
18. Abaka-Wood G.,B., Addai-Mensah J.: Review of flotation and physical separation of rare earth element minerals, 4th UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference, Ghana, 2016
19. Xiong W., Deng J., Chen B. i in.: Flotation-magnetic separation for the beneficiation of rare earth ores, Minerals Engineering 119, 2018
20. Jordens A., Ying P.Ch., Kristian E. Waters: The beneficiation of rare earth element-bearing minerals, PhD degree thesis, McGill University, Canada, 2013
21. Łuszczkiewicz A.: Instrukcje do ćwiczeń: Wzbogacanie magnetyczne minerałów, <http://www.minproc.pwr.wroc.pl/zpkio/pdf/PrzerKopLab/labPK13.pdf>, dostęp 16.10.2018
22. Murariu V., Svoboda J.: The Applicability of Davis Tube Tests to Ore Separation by Drum Magnetic Separators, Physical Separation in Science and Engineering 12, 2002
23. Jordens A.: The beneficiation of rare earth element-bearing minerals, PhD degree thesis, McGill University, Canada
24. 911 Metallurgist, <https://www.911metallurgist.com/equipment/mgs-multi-gravity-separator>, dostęp 20.10.2018 r.
25. Chaurasia R.Ch.: Optimization Studies on Multi Gravity Separator Treating Ultra-Fine Coal, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2016
26. Triphany S.K., Murthy Y.R., Tathavadkar V., Denys M.B.: Efficacy of multi gravity separator for concentration ferruginous chromite fines, Journal of Mining and Metallurgy, 2012
27. Fitzpatrick R., Hegarty P., Fergusson K., Rollinson G., Xie W., Mildren T.: Optimisation of a Multi-Gravity Separator with Novel Modifications for the recovery of ferberite, Journal of Mining and Mineral Processing, 2018
28. Kowalczyk J., Mazanek C.: Pierwiastki ziem rzadkich i ich związki Warszawa: WNT, 1989
29. Radwanek-Bąk B.: Zasoby kopalin Polski w aspekcie oceny surowców krytycznych Unii Europejskiej, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2011
30. Moustafa M., I., Abdelfattah N., A.: Physical and chemical beneficiation of the Egyptian Beach monazite, Resource Geology 60, 2010
31. Całus-Moszko J., Białecka B.: Potencjał i zasoby pierwiastków ziem rzadkich w Świecie oraz w Polsce, Górnictwo i Geologia, 2012
32. Smółka-Danielowska D.: Rare earth elements in fly ashes created during the coal burning process in certain coal-fired power plants operating in Poland, Journal of Environmental Radioactivity, 2010
33. Parzentny H.: Variability of La, Sc, Th and U contents in bituminous coals of Lublin Formation in Lublin Coal Basin, Vysoka skola Banska-Technicka univerzita Ostrava, 2008

34. Parzenty H., Różowska A.: Distribution of lead content in coals and carbonaceous shale in the profile of the Upper Silesia coal basin, Uniwersytet Śląski, 1990
35. Olkuski T., Ozga-Blaschke U.: Występowanie fosforu w węglu kamiennym, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2010
36. Morga R.: Struktura zmienności fosforu w eksploatowanych pokładach węgla kamiennego KWK Pniówek, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2007

Opracowanie koncepcji prac badawczo-rozwojowych odzysku pierwiastków ziem rzadkich z popiołu węgla kamiennego

Rafał Baron – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono opracowaną w ITG KOMAG koncepcję prac mających na celu odzysk pierwiastków ziem rzadkich (REE - Rare Earth Element) z popiołów węgla kamiennego. Opisano kolejne kroki prac mających na celu określenie zasobności pierwiastków ziem rzadkich w popiołach węgla kamiennego z wykorzystaniem hydrocyklonu. Proponuje się wykorzystanie hydrocyklonu, jako urządzenia klasyfikującego zawiesinę zawierającą REE. Praca również jest ukierunkowana w stronę wyselekcjonowania optymalnych parametrów konstrukcyjnych hydrocyklonu, poprzez modelowanie z zastosowaniem specjalistycznych programów symulacyjnych.

Development of the concept of the research projects for recovery of the rare earth elements form hard coal ashes

Abstract: Concept of the research projects aiming at recovery of rare earth elements (REE) from hard coal ashes developed at KOMAG is presented. The next steps of the work are aiming at determination of REE content in hard coal ashes using the hydrocyclone. It is suggested to use a hydrocyclone for separation of the suspension containing REE. The work is also focused on selection of the hydrocyclone optimal design parameters by modelling it with use of the special simulating software.

1. Wprowadzenie

Pierwiastki ziem rzadkich (REE) to grupa 17 pierwiastków o strategicznym znaczeniu gospodarczym dla rozwoju nowoczesnych technologii. Popyt na metale ziem rzadkich zwiększa się wraz z rozwojem nowych technologii. Wbrew nazwie pierwiastki te nie występują rzadko, natomiast problem stanowi ich rozproszenie. W związku ze znacznym rozproszeniem, tylko w niektórych przypadkach ich pozyskiwanie jest ekonomicznie uzasadnione. Kraje posiadające największe złoża pierwiastków REE to: Chiny, USA, Rosja, Indie oraz Australia. Światowe wydobycie pierwiastków ziem rzadkich utrzymuje się na poziomie 139 tys. Mg i jest zdominowane w znacznym stopniu przez Chiny, które dysponują 23% światowych zasobów oraz dostarczają 93% światowego zapotrzebowania REE. Na terenie UE zasoby tych pierwiastków są nieznaczne, a zasoby kopalin mineralnych stopniowo maleją [3, 4, 8].

Pierwiastki ziem rzadkich dzielą się na dwie grupy, lantanowce (posiadające wyższą liczbę atomową) oraz skandowce. W skład REE, o szerokim zastosowaniu wchodzi [4]:

- Skand (Sc) – przemysł lotniczy, budowa samolotów oraz radioterapii,
- Lantan (La) – wyroby optyczne, pojazdy hybrydowe,

- Itr (Y) – ceramika, stopy metali,
- Cer (Ce) –hutnictwo, barwnik do porcelany, chemia analityczna,
- Prazeodym (Pr) – barwnik szkła oraz kamieni,
- Neodym (Nd) – technika laserowa, materiały magnetyczne,
- Samar (Sm) – kinematografia, technika jądrowa,
- Europ (Eu) – inżynieria jądrowa,
- Gadolin (Gd) – dodatek stopowy, technika mikrofalowa,
- Promet (Pm) – źródło promieniowania Beta,
- Terb (Tb) –lasery, diody,
- Dysproz (Dy) – przemysł petrochemiczny,
- Holm (Ho) – technika jądrowa, elektronika,
- Erb (Er) – wzmacniacze optyczne,
- Tul (Tm) – materiały magnetyczne,
- Iterb (Yb) – mikroelektronika,
- Lutet (Lu) –wyrób ferrytów [4].

Mimo licznych poszukiwań w Polsce nie odnaleziono złóż pierwiastków ziem rzadkich. Wykazano obecność niewielkiej ilości skał krystalicznych w rejonie Szklarskiej Poręby i Bogatyni, na Dolnym Śląsku. Opisano również występowanie nieznacznej ilości REE, bez potwierzonego znaczenia gospodarczego na terenie Sudetów, w rejonie Suwałk oraz w piaskach Morza Bałtyckiego [8]. Istnieje natomiast duże złożo wtórne na terenie miejscowości Wizów, w postaci fosfogipsów, będącego odpadem pozyskiwanego kwasu fosforowego z koncentratu apatytowego ze złóż chibińskich. Szacuje się że składowisko Zakładów Chemicznych „Wizów” zawiera 8,28 tys. ton pierwiastków ziem rzadkich, w koncentracji 0,69% tlenków metali ziem rzadkich (REO) w przeliczeniu na masę suchą [13].

W Polsce potencjalnym źródłem metali ziem rzadkich są różnego rodzaju surowce wtórne i odpadowe jak np. fosfogipsy apatytowe, złoża piasków i żwirów, zużyty sprzęt elektryczny, zużyte katalizatory oraz węgiel i popioły lotne ze spalania węgla kamiennego [8, 13].

W związku z wartością REE o krytycznym znaczeniu strategicznym dla rozwoju zaawansowanych technologii, w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG podjęto prace badawczo rozwojowe, mające na celu określenie zasobności tych pierwiastków oraz opracowanie technologii odzysku REE z popiołów węgla kamiennego.

2. Odzysk REE z węgla kamiennego

Polska energetyka w głównej mierze oparta jest na przetwarzaniu paliw kopalnych, w szczególności węgla kamiennego oraz brunatnego. Zużycie węgla kamiennego jako podstawowego surowca energetycznego wynosi około 60% [7].

Proces spalania węgla generuje duże ilości odpadów, które można poddać wtórnemu wykorzystaniu. Około 16% powstałych odpadów przemysłowych w Polsce stanowią odpady energetyczne (generowane przez elektrownie, elektrociepłownie i kotłownie). Rocznie

przybywa około 18 mln ton odpadów paleniskowych (popioły lotne i żużle) powstałych w wyniku spalania węgla kamiennego [7].

Zawartość REE w węglu

Obecność w węglu kamiennym pierwiastków ziem rzadkich wynika z zawartych w węglu minerałów ilastych, drobnych ziaren minerałów (fosforany, siarczany czy karbonatyty). Istnieje korelacja pomiędzy REE a zawartymi w węglu takimi pierwiastkami jak: Si, Al, P, Na, Cu, Mn, Co, Zn. Reasumując obecność pierwiastków ziem rzadkich można wiązać z obecnością kaolinitu, biotytu, hornblendy i muskowitu [3].

Przeprowadzono liczne badania [3] dotyczące zawartości pierwiastków ziem rzadkich w złożach węgla w różnych rejonach świata (tabela 1). Największą sumaryczną zawartością pierwiastków ziem rzadkich charakteryzują się złoża w Chinach, Indiach oraz Rosji. Z badań wynika że środowisko powstawania pokładów węgla oraz procesy geologiczne miały decydujący wpływ na znaczną akumulację REE. Średnia światowej zawartości REE wynosi około 60 ppm.

W Polsce, jak na razie przeprowadzono fragmentaryczne badania polskich węgla kamiennych, pod kątem zawartości pierwiastków ziem rzadkich. Dotychczas przeprowadzono analizy węgla pewnych pokładów z kilku kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) oraz Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW), które przedstawiono w tabeli 2. Zwraca się uwagę, iż w węglach GZW występuje wysoka zawartość ceru w stosunku do węgla chińskich oraz średniej światowej. W węglach pochodzących z LZW znajduje się znaczna, ponad średniej światowej zawartość lantanu oraz skandu [3, 8].

Zawartość metali ziem rzadkich w różnych rejonach świata [3]

Tabela 1

Złoże	ppm														Σ REE
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Chiny Zhuji coal mine	25	45	4,9	20,9	4,8	0,86	4,2	0,2	3,7	0,8	1,54	bd	bd	bd	bd
Chiny	18	35	3,8	15	3	0,65	3,4	0,52	3,1	0,7	2,1	bd	bd	bd	bd
Chiny	26	49	5,5	22	4,3	0,87	3,7	0,67	3,1	0,65	1,9	0,27	2,1	0,3	120,36
Chiny	23	47	6,4	22,3	4,1	0,84	4,7	0,62	3,7	1,0	1,79	0,64	2,08	0,38	136
Chiny Huaiber	32	64	5,8	21,8	4,1	0,78	3,3	0,59	3,7	0,8	2,23	bd	bd	bd	bd
Iran Złoże Kisar	26	41	bd	13	5,2	0,5	bd	0,55	4,7	bd	bd	bd	2	0,27	95,22
Chiny Guanbanwusu	32,33	57,63	6,06	21,61	3,64	0,73	3,35	0,61	3,54	18,81	0,68	1,99	0,63	1,99	154
USA	12	21	2,4	9,5	1,7	0,4	1,8	0,3	1,9	0,35	1,0	0,15	0,95	0,14	bd
Australia Gunnedah	11,6	27	1,68	10,67	8,96	bd	bd	bd	bd	bd	bd	bd	0,37	bd	bd
Indie (węgiel płukany)	39,7-8	66,5-3	8,59-25,8	4	4,9	1,15	3,92	0,81	3,38	0,89	1,43	0,39	1,57	0,35	192
Indie (węgiel z odkrywki)	59,4-0	49,3-4	19,1-6	22-6	4,41	2,95	3,39	2,36	3,26	1,53	1,45	1,28	1,68	1,98	22
Rosja Zyrjanka-Jakutia	1,2-14,3	2,6-29,3	bd	2-15	0,35-2,56	0,09-0,73	bd	0,05-0,41	bd	bd	bd	bd	1-1,7	0,13-0,26	36,2
Hiszpania	14	28,9	3,4	13	bd	bd	bd	0,4	2	0,4	1,1	0,2	1,1	0,15	bd
Bulgaria	1,6-7,4	5,5-25	bd	bd	0,8-4	0,2-0,7	bd	0,3-1	bd	bd	bd	bd	0,8-2	0,09-0,16	bd
Górne warstwy skorupy	30	64	7,1	26	4,5	0,88	3,8	0,64	3,5	0,8	2,3	0,33	2,2	0,32	bd
Świat	11	23	3,5	12	2	0,47	2,7	0,32	2,1	0,54	0,93	0,31	1,0	0,2	60,07

Tabela 2
Zawartość metali ziem rzadkich w węglach z wybranych kopalń w Polsce [3]

Obszar	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sc	Σ REE	
																	ppm
KWK Sośnica-Makoszy pokład 405	n.o.	78-108	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	17,8-20	n.o.
KWK Bielszowice pokład 405	n.o.	84	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	13,5	n.o.
KWK Chwałowice pokład 405	n.o.	65-68	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	11,2-12,7	n.o.
KWK Jankowice pokład 405	n.o.	63-66	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	10,6-12,4	n.o.
KWK Pniówek	6,79	14,64	1,75	7,39	1,68	0,38	1,59	0,26	1,4	0,26	0,73	0,1	0,6	0,09	2,8	40,34	n.o.
KWK Ziemowit	8,41	14,46	1,63	6,19	1,28	0,28	1,16	0,19	1,06	0,21	0,6	0,09	0,56	0,09	3,42	39,63	n.o.
KWK Jankowice	14,58	28,82	3,28	12,93	2,75	0,58	2,22	0,35	1,91	0,37	1,08	0,16	1,03	0,16	6,81	77,02	n.o.
KWK Borynia	1,06	2,53	0,3	1,37	0,36	0,09	0,41	0,07	0,44	0,09	0,26	0,04	0,22	0,03	0,86	8,13	n.o.
Węgiel A	3,5	7,0	n.o.	3,0	0,7	n.o.	0,6	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
Węgiel B	0,8	2,0	n.o.	1,7	0,4	n.o.	0,5	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.
LZW pokład 378	7,72-23,37	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	8,45-20,56	n.o.
LZW pokład 382	7,67-14,31	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	6,86-15,83	n.o.
LZW pokład 385	4,07-33,58	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	4,75-12,49	n.o.
LZW pokład 387	21,59-22,47	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	5,5-8,76	n.o.
LZW pokład 389	0,17-19,09	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	4,25-9,38	n.o.
LZW pokład 391	3,70-4,46	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	1,54-7,24	n.o.
LZW pokład 394	1,54-11,24	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	n.o.	4,09-7,0	n.o.
Świat	11	23	3,5	12	2	0,47	2,7	0,32	2,1	0,54	0,93	0,31	0,2	0,2	n.o.	60,07	n.o.

Zawartość REE w popiołach węgla kamiennego

Obecnie elektrownie stosują paleniska pyłowe, w których niepalna część mineralna węgla (pyłowa) wychwytywana jest przez elektrofiltry. W pierwszej strefie elektrofiltrów zbierają się najgrubsze frakcje popiołowe, głównie krzemionkowe, natomiast w kolejnych dwóch strefach popioły drobne o dość stałym składzie chemicznym.

Skład chemiczny popiołów zależy w głównej mierze od pochodzenia złoża węgla oraz technologii spalania. W skład popiołów wchodzi: składniki podstawowe: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ i CaO, składniki uboczne: MgO, SO₃, Na₂O i K₂O, składniki śladowe: TiO₂, P₂O₅, Mn oraz niespalone części węgla.

Popioły posiadają strukturę agregatową o skomplikowanej powierzchni zewnętrznej, zróżnicowanej porowatości i wytrzymałości. Ich powierzchnia właściwa waha się w granicach od 1500 do 4500 cm²/g.

W celu odzysku REE przeprowadzono badania [3] części polskich popiołów elektrownianych, pochodzących ze spalania węgla kamiennego. Wyniki badań (tabela 3) wykazują, że koncentracja pierwiastków ziem rzadkich w popiołach jest nawet kilkadziesiąt razy wyższa w stosunku do zawartości w węglu. Wykazano dość wysoką zawartość ceru (39-186 ppm) oraz lantanu (16-86 ppm) [3, 7, 14].

Zawartość wybranych pierwiastków ziem rzadkich w popiołach z elektrowni [3]

Tabela 3.

Obszar	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sc	Y
	ppm															
Popioły GOP	16-86	39-186	-	27-87	4-19	0,4-3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11-25,8
Popiół Elektrownia Łagisza	39,3	79,6	9,3	35,8	7,43	1,74	6,64	0,98	5,54	1,06	2,85	0,36	2,18	0,31	15,6	26,5
Popiół lotny	56,5	117,6	13,7	52,3	-	-	-	1,6	9,5	1,9	5,3	0,72	4,8	0,69	-	43,8
Żużel paleniskowy	55,1	112,2	13,2	50,3	-	-	-	1,5	9,0	1,7	5,1	0,72	4,6	0,64	-	43,6

Odzysk REE z popiołów

Podsumowując, przeprowadzone dotychczas badania wykazały obecność pierwiastków ziem rzadkich w węglach kamiennych oraz popiołów z elektrowni. Aktualny stan badań zawartości REE w węglach kamiennych jest niepełny, należy wykonać analizę wszystkich etapów łańcucha węglowego. Istnieje również możliwość odzyskiwania REE z popiołów pochodzących ze spalania węgla kamiennego. Rozwiązanie to może stanowić element czystych technologii węglowych, zmniejszające ilość produkowanych odpadów.

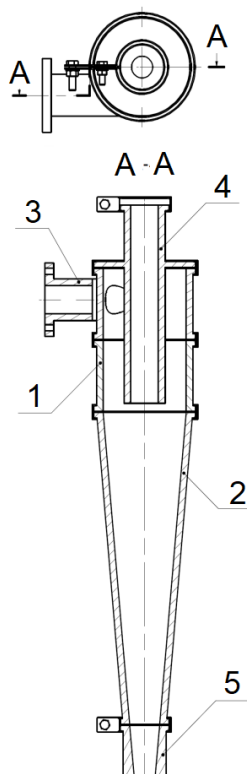
W chwili obecnej trudna do przewidzenia jest efektywność ekonomiczna procesu odzysku tych pierwiastków z węgla kamiennego oraz popiołów elektrownianych [3, 8].

3. Zastosowanie hydrocyklonu

W związku z drobnoziarnową charakterystyką materiału ($0-420 \mu\text{m}$) planowane w KOMAG-u badania, polegające na ocenie zasobności polskich popiołów lotnych w REE, pochodzących ze spalania węgla kamiennego, zostaną przeprowadzone przy użyciu hydrocyklonu. Przeprowadzane planowane symulacje przepływu modelowanego wlotu hydrocyklonu, pozwolą uzyskać poprawę cech użytkowych urządzenia.

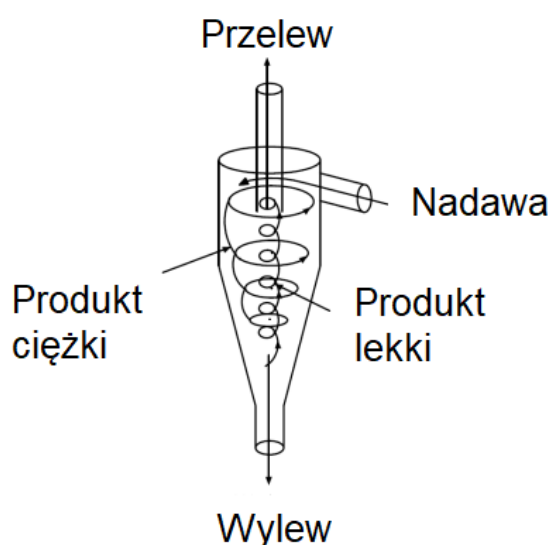
Hydrocyklon to wysokowydajne urządzenie, które poprzez wykorzystanie siły odśrodkowej, zapewnia skuteczny rozdział mieszaniny dwuskładnikowej, w ośrodku ciekłym. Hydrocyklon poza wysoką skutecznością rozdziału frakcji drobnych, posiada szereg innych zalet, jak prosta konstrukcja, wysoki poziom bezawaryjności, duża wydajność jednostkowa oraz brak elementów ruchomych.

Każdy hydrocyklon, niezależnie od przeznaczenia (klasyfikujący, zagęszczający czy wzbogacający) składa z następujących elementów (rys. 1).



Rys. 1. Budowa hydrocyklonu [opracowanie własne]: 1 - część cylindryczna – nadająca ruch obrotowy włączanej zawieszinie, 2 - część stożkowa – gdzie następuje rozdział na frakcje o mniejszej i większej gęstości, 3 - dysza wlotowa – często zintegrowana z częścią cylindryczną, którą wprowadza się materiał do hydrocyklonu, 4 - dysza przelewowa – służąca do odbioru frakcji lekkich, 5 - dysza wylewowa – którą odprowadza się produkt ciężki [12]

Zasada działania hydrocyklonu opiera się na wykorzystaniu siły odśrodkowej, w celu rozdzielania mieszaniny na składniki lekkie oraz ciężkie. Zawiesinie trafiającej do hydrocyklonu nadawany jest ruch wirowy, wokół powstającej wewnątrz strugi materiału. Materiał dostarczany jest dyszą wlotową, umieszczoną stycznie do części cylindrycznej. Zgodnie z własnościami fizycznymi poszczególnym składników mieszaniny, ziarna ciężkie opadają ruchem spiralnym przy ściankach części cylindrycznej oraz części stożkowej, a następnie trafiają do wylewu. Ziarna o mniejszej gęstości poruszające się w osi hydrocyklonu wynoszone są ku górze, skąd odbierane są przelewem znajdującym się w górnej części urządzenia. Na rysunku 2 przedstawiono zasadę działania, w oparciu której następuje wydzielenie poszczególnych składników mieszaniny [1, 2].

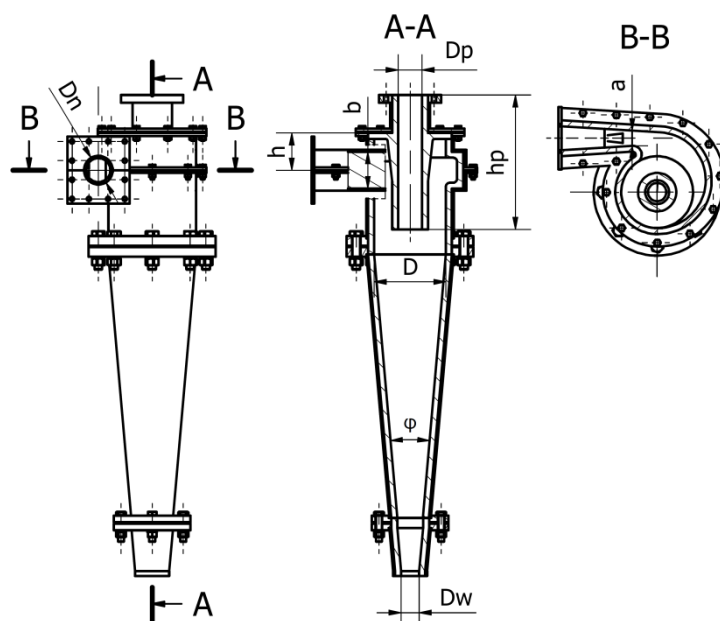


Rys. 2. Zasada działania hydrocyklonu [opracowanie własne]

Zjawiska przepływu mieszaniny wieloskładnikowej zachodzące w hydrocyklonie są wysoce skomplikowane i nie idą w parze z jego prostą konstrukcją. Na poprawność pracy urządzenia wpływa szereg oddziaływań. Ruch ziarna ukierunkowany jest takimi siłami oraz zjawiskami jak: siła odśrodkowa, siła oporu ośrodka, siła Coriolisa i prędkości: stycznej promieniowej i osiowej. Kolejnymi czynnikami wpływającymi na właściwy rozdział mieszaniny w hydrocyklonie jest dobór: odpowiednich zależności geometrycznych, poszczególnych elementów składowych urządzenia, materiału konstrukcyjnego oraz parametry technologiczne materiału [12].

Konstrukcja hydrocyklonu uzależniona jest od przeznaczonej operacji przerobczej (klasyfikacja, wzbogacanie, zagęszczanie). Istotą doboru odpowiednich parametrów konstrukcyjnych jest zachowanie właściwych proporcji geometrycznych, poszczególnych części hydrocyklonu (rys.3). Zasadniczymi parametrami konstrukcyjnymi hydrocyklonu jest: średnica hydrocyklonu D , średnica oraz kształt otworu wlotowego D_n (wysokości „a”

i szerokość „b” (istotne dla wlotu o przekroju prostokątnym) i wylotowych (przelew D_p , wylew D_w), kąt zbieżności stożka φ , wysokość otworu wlotowego h oraz zanurzenie dyszy przelewowej h_p [1].



Rys. 3. Schemat wymiarowy hydrocyklonu [1]

Zintegrowana część cylindryczna z wlotem

Podstawowym parametrem hydrocyklonu, który bezpośrednio wpływa na prędkość styczną oraz spadek ciśnienia jest średnica hydrocyklonu. Wraz ze wzrostem średnicy hydrocyklonu wzrasta wydajność całkowita, co wiąże się z negatywnym zjawiskiem jakim jest wzrost objętości ziarna podziałowego. Zależność długości części cylindrycznej do jej średnicy wynosi od 0,5 do 2D.

Kształt oraz średnica dyszy wlotowej D_n bezpośrednio wpływa na ewentualny spadek ciśnienia zawiesiny oraz możliwość występowania wirów w obszarze wlotu materiału do części cylindrycznej. Zalecany dla wlotu o przekroju prostokątnym stosunek wysokości szczeliny wlotowej „b” do szerokości „a” zawiera się w granicach 2:1 ÷ 4:1. Dobór średnicy dyszy wlotowej zależy od średnicy hydrocyklonu D bądź od średnicy dyszy przelewowej D_p . Autorzy opracowań nie są zgodni co do konkretnych zależności, sugerując dobór wzajemnych wartości w oparciu o badania oraz doświadczenie. W celu utrzymania spokojnych warunków przepływu zawiesiny (minimalizujących występowanie niepożądanych wirów) w hydrocyklonie, zaleca się zachowanie następującej zależności (1) [1, 11, 12].

$$\frac{2D_n + D_p}{D} = 0,4 \div 0,6 \quad (1)$$

gdzie:

- D_n - średnica dyszy wlotowej, [mm],
- D_p - średnica dyszy przelewowej, [mm],
- D - średnica hydrocyklonu, [mm].

Część stożkowa

Parametrem wpływającym na wydajność oraz uzyskiwane wyniki pracy jest kąt zbieżności φ części stożkowej hydrocyklonu. Kąt zależy od operacji przerobczej. W przypadku hydrocyklonu zagęszczającego oraz klasyfikującego wynosi od 8° do 20° ; hydrocyklonu wzbogacającego od 20° do 30° (wzbogacającego w ośrodku wodnym od 45° do 90°).

Dysza przelewowa

Średnica otworu przelewowego D_p , związana jest z średnicą części cylindrycznej D oraz warunkami przepływu cieczy w hydrocyklonie. Zgodnie z badaniami Bradley'a, długość dyszy przelewowej wpływa na skuteczność rozdziału i uzależniona jest od wielkości ziarna podziałowego. Wpływ długości dyszy przelewowej wyznacza zależność (2) [1, 11].

$$d_{50} = 0,2h_p +_0 d_{50} \quad (2)$$

gdzie:

- d_{50} - ziarno podziałowe hydrocyklonu, [μm],
- od_{50} - rozmiar ziarna podziałowego dla $h_p=0$, [μm],
- h_p - wysokość dyszy przelewowej, [mm].

Dysza wylewowa

Dysza wylewowa D_w , jest elementem wymiennym, dobieranym w zależności od określonych warunków przemysłowych. Regulacja parametrów odbieranych produktów odbywa się poprzez zmianę zanurzenia, lub poprzez zmianę średnicy dyszy wylewowej.

Prawidłowy dobór hydrocyklonu jest problematyczny, w związku z mnogością parametrów wpływających na jego pracę. Pewne problemy technologiczne pojawiają się dopiero w momencie uruchomienia urządzenia [1].

4. Program prac badawczo-rozwojowych

Program prac badawczo-rozwojowych, których celem jest odzysk REE z popiołów węgla kamiennego (z zastosowaniem hydrocyklonu), zakłada realizację zadania według następujących etapów:

1. Pozyskanie próbek węgla kamiennego oraz popiołów elektrownianych, a następnie przeprowadzenie analizy pod kątem zawartości pierwiastków ziem rzadkich.
2. Wykonanie pomiarów znacznikowych istniejącego hydrocyklonu klasyfikującego, w celu pozyskania danych doświadczalnych, niezbędnych do weryfikacji symulacji komputerowych.
3. Wykonanie symulacji przepływów CFD w opracowanym modelu komputerowym hydrocyklonu.
4. Modelowanie kształtu wlotu przyszłego hydrocyklonu klasyfikującego.
5. Przeprowadzenie badań na wykonanym stanowisku badawczym.
6. Weryfikacja poprzez porównanie danych otrzymanych za pośrednictwem symulacji komputerowych z uzyskanymi w wyniku badań laboratoryjnych.
7. Podsumowanie i wnioski końcowe.

Analiza materiałowa

W etapie 1, wykonane zostaną badania dotyczące określenia zasobności pierwiastków ziem rzadkich w popiołach węgla kamiennego, pochodzących z kilku kopalń oraz elektrowni Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Celem badań popiołu ze spalania węgla kamiennego, w którym zastosowane będą techniki spektrometrii plazmowej, będzie analiza ilościowego udziału REE w popiołach oraz zasadność odzysku tych pierwiastków w aspekcie ekonomicznym.

W celu realizacji etapu, w pierwszej kolejności przedsięwzięte zostaną działania polegające na pozyskaniu 5 próbek węgla z różnych kopalń (list formalny z prośbą o udostępnienie materiału do badań a następnie pobranie próbek węgla), różniących się charakterystyką (węgle energetyczne i koksowe). Kolejne 3 próbki stanowić będą popioły elektrowniane z elektrowni spalających między innymi węgiel z kopalń z których pobrano próbki. Pozyskane próbki węgla zostaną uśrednione (w celu uzyskania próbki reprezentatywnej) a następnie poddane procesom zbliżonym do panujących podczas spalania węgla w elektrowniach. Spalony węgiel oraz próbki elektrowniane zostaną zmielone do pożądanego uziarnienia, które pozwoli na wykonanie badań techniką spektrometrii plazmowej. W założeniu próbki węgla pochodzić będą z kopalń: KWK „Ruda” Ruch „Bielszowice”, KWK „Sośnica”, KWK „Budryk”, KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” i ZG „Sobieski”, a próbki popiołów z elektrowni: „Jaworzno III”, „Rybnik” oraz „Łaziska”.

Istnieje szereg technik analitycznych do oznaczenia pierwiastków w danym materiale, które dobierane są na podstawie charakterystyki materiału oraz udziału poszukiwanego pierwiastka. Na przykładzie techniki emisyjnej spektrometrii optycznej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP OES) proces oznaczania REE w popiele węgla kamiennego przedstawiają się następująco [9]:

- Ustalenie odpowiednich parametrów wzbudzenia w technice ICP OES, poprzez przeprowadzenie badań optymalizacyjnych (przepływ strumienia argonu oraz wpływ mocy generatora plazmy na stabilność i natężenie sygnału analitycznego konkretnych pierwiastków).
- Przygotowanie próbki do badań (dla każdej z próbek identycznie) poprzez usunięcie substancji mineralnych w kwasach nieorganicznych oraz dotapianie. Jeden gram próbki należy rozpuścić w kwasie solnym. Następnie przesączyć materiał, a sączonego osadu przepłukać i umieścić w tyglu. Tygiel wraz z zawartością poddać procesowi spopielenia w temperaturze 750°. W kolejnym etapie do tygla dodać mieszaninę tetraboranu sodu oraz węglanu sodu, po czym mieszaninę poddać stapianiu w temperaturze 1050°. Po ostygnięciu rozpuścić w kwasie solnym i odsączyć.
- Przygotowaną 1 gramową próbkę należy oznaczyć przy użyciu spektrometru, w celu identyfikacji zawartości pierwiastków ziem rzadkich [9].

W przypadku dostatecznej zawartości REE w analizowanym popiele w kolejnych etapach realizacji zadania materiał ten, posłuży jako surowiec przyszłych doświadczeń ukierunkowanych na poprawie cech użytkowych hydrocyklonu klasyfikującego.

Badanie przepływów w hydrocyklonie

Przed przystąpieniem do komputerowych symulacji CFD (Computational Fluid Dynamics), należy wyznaczyć, a następnie zadać aktualne przepływy w modelowanym urządzeniu. W związku z tym należy przeprowadzić badania, bądź bazować na wykonanych autorskich opracowaniach. W celu przeprowadzenia prawidłowych symulacji, należy również zadać tożsame parametry konstrukcyjne istniejącego hydrocyklonu klasyfikującego.

W przypadku braku możliwości przeprowadzenia doświadczeń na istniejącej konstrukcji (np. hydrocyklon znajdujący się w Hali Technologicznej Politechniki Śląskiej), należy wykonać model pilotażowy. Proponowanym pierwowzorem jest model hydrocyklonu, przeznaczonego do odzysku REE z magnezów neodymo-żelazo-borowych (NdFeB), w związku z podobnym uziarnieniem nadawy.

Proponowane parametry prototypowego hydrocyklonu przedstawiają się w sposób następujący:

- średnica hydrocyklonu – 50 mm,
- średnica dyszy przelewowej – 14 mm,
- średnica dyszy wylewowej – 4,5 mm,
- ciśnienie nadawy – 80 kPa,
- zagęszczenie – 100 g/l.

Inną, bardziej skomplikowaną metodą badań układów przepływowych jest metoda znaczników, z zastosowaniem znaczników promieniotwórczych. Badania tego typu polegają na wyznaczeniu rozkładów czasu przebywania cząstek wewnątrz układu. Próbki materiału aktywowane są w strumieniu neutronów termicznych, a następnie ich ruch opisują sondy detekcyjne [14].

Symulacje przepływów w hydrocyklonie

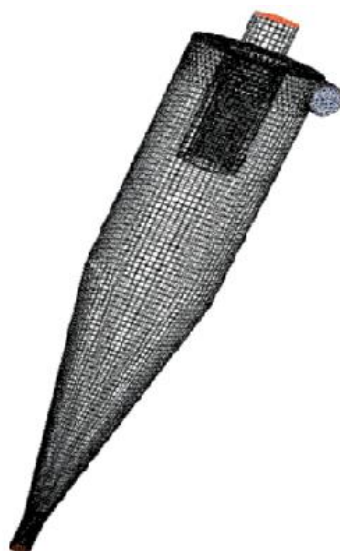
Na podstawie przeprowadzonych analiz, z zastosowaniem programu CFD, poprzez równania różniczkowe, możliwym jest pełny opis rozkładu pola prędkości, ciśnienia i innych wielkości związanych z przepływem w hydrocyklonie. Przeprowadzone symulacje pozwolą ocenić rodzaj przepływu (laminarny, turbulentny) wzbogacanej mieszaniny wielofazowej. W celu sprecyzowania charakteru przepływu turbulentnego powstało wiele modeli. Na podstawie poniższych modeli możliwym będzie nadanie przepływowi charakteru jaki zachodzi podczas procesów wzbogacania zachodzących w hydrocyklonie:

- model z dwoma dodatkowymi równaniami transportu (k - ϵ , k - ω),
- model transportu naprężeń Reynoldsa (RSM - Reynold'sStress Model),
- model symulacji dużych wirów (LES - Large Eddy Simulation).

W pierwszej kolejności na drodze projektowej hydrocyklonu, wykonany zostanie model urządzenia z zastosowaniem programu INVENTOR (rys. 4). Następnie przy użyciu programu FLUENT, istnieje ewentualna możliwość rozwiązań układów równań opisujących przepływ zawiesiny. Kolejnym krokiem jest przygotowanie geometrii hydrocyklonu i podziału objętości na siatkę elementarną (rys. 5), przy użyciu programu OpenFOAM [15].



Rys. 4. Model hydrocyklonu wykonany w programie INVENTOR [opracowanie własne]



Rys. 5. Siatka hydrocyklonu zastosowana do obliczeń CFD [15]

Oczekiwany rezultat przeprowadzonych symulacji jest wyznaczenie, w obszarze hydrocyklonu przestrzennych profili prędkości, lokalnych turbulencji oraz ciśnienia dla całej mieszaniny. Możliwym będzie również wyznaczenie prędkości i stężenia poszczególnych frakcji gęstościowych klasyfikowanej mieszaniny.

Modelowanie wlotu hydrocyklonu

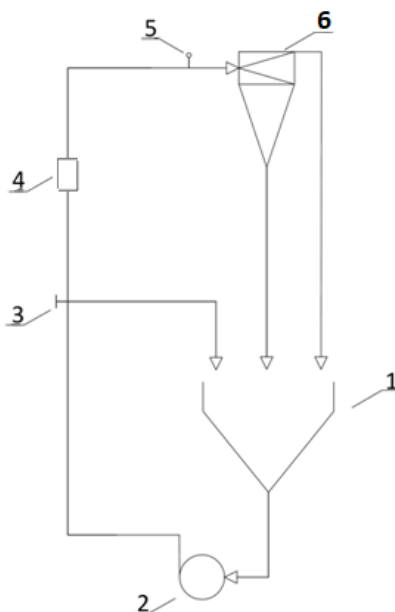
W przypadku uzyskania zbieżnych wyników badań pod kątem uzyskiwanych wyników pracy, przez wykonany eksperymentalny hydrocyklon klasyfikującym, a symulację komputerową, możliwym będzie podjęcie kroków mających na celu ocenę ilościowego odzysku REE.

Kolejnym krokiem będą modyfikacje wlotu modelowanego w dedykowanym programie hydrocyklonu (średnicy, kształtu otworu dyszy wlotowej wraz z przylegającym do niego obszaru w części cylindrycznej). Przeprowadzone modyfikacje mają na celu uzyskanie lepszego rozdziału oraz na ile to możliwe, mniejszego spadku ciśnienia w hydrocyklonie, poprzez uzyskanie odpowiedniej prędkości wlotowej, a także zmniejszenie oporów i turbulencji przepływu (tworzących się wirów w rejonie dyszy wlotowej). Modyfikacje będą wykonywane w sposób doświadczalny, a następnie weryfikowane przeprowadzanymi symulacjami przepływu, w celu oceny poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych dyszy wlotowej przylegającej do części cylindrycznej hydrocyklonu.

Słuszność przyjętych założeń konstrukcyjnych, należy następnie potwierdzić na wykonanym, eksperymentalnym hydrocyklonie na stanowisku badawczym.

Stanowisko badawcze

W przypadku uzyskania pozytywnych wyników symulacji przepływów zawiesiny w hydrocyklonie, których wyniki w sposób istotny poprawiają jakość uzyskiwanych produktów wzbogacania, następnym etapem będzie wykonanie hydrocyklonu klasyfikującego typu KOMAG. Badania skonstruowanego hydrocyklonu, wykonane zostaną na stanowisku badawczym składającego się z podzespołów (rys. 6).



Rys. 6. Schemat stanowiska badawczego [opracowanie własne]
1 - zbiornik zawiesinowy, 2 - pompa o zmiennej prędkości obrotowej, 3 - zawór regulujący,
4 – przepływomierz, 5 – manometr, 6 - hydrocyklon klasyfikujący

Otrzymane próby z przelewu oraz wylewu hydrocyklonu zostaną przeanalizowane za pomocą spektrometru pod kątem zawartości pierwiastków ziem rzadkich.

Na sporządzonym stanowisku dodatkowo możliwe będzie przeprowadzenie badań polegających na zmianie ciśnienia oraz zagęszczeniu nadawy, w celu przeanalizowania ich wpływu na uzysk REE.

Weryfikacja danych

Efektom wykonanych prób będzie określenie zasobności pierwiastków ziem rzadkich w popiołach węgla kamiennego.

Wykonane eksperymenty dotyczące klasyfikacji materiału zawierającego REE przez hydrocyklon, pozwolą na określenie poprawność wykonanych symulacji przepływu z zastosowaniem programu CFD.

Na podstawie uzyskanych wyników badań skonkretyzowana zostanie szacunkowa opłacalność ekonomiczna wzbogacania popiołów elektrownianych, jako alternatywne źródło pozyskiwania pierwiastków ziem rzadkich oraz ocena stopnia klasyfikacji hydrocyklonu.

5. System stabilizacji pracy hydrocyklonu

W związku z rosnącymi wymaganiami producentów w zakresie produkcji wszelakich materiałów drobnouziarnionych, koniecznym jest zapewnienie wzrostu efektywności rozdziału klas ziarnowych. Polepszenie uzyskiwanych wyników pracy hydrocyklonu można uzyskać poprzez wdrożenie systemu stabilizacji parametrów klasyfikacji, który umożliwi stałą kontrolę nad zachodzącymi procesami klasyfikacji. W zależności od klasyfikowanego materiału wykonuje się monitoring określonych parametrów zawiesiny.

Wykonany hydrocyklon, zgodnie z powyższymi etapami, wyposażony zostanie w jeden z dostępnych systemów stabilizacji pracy.

Monitorowanie kąta wypływu

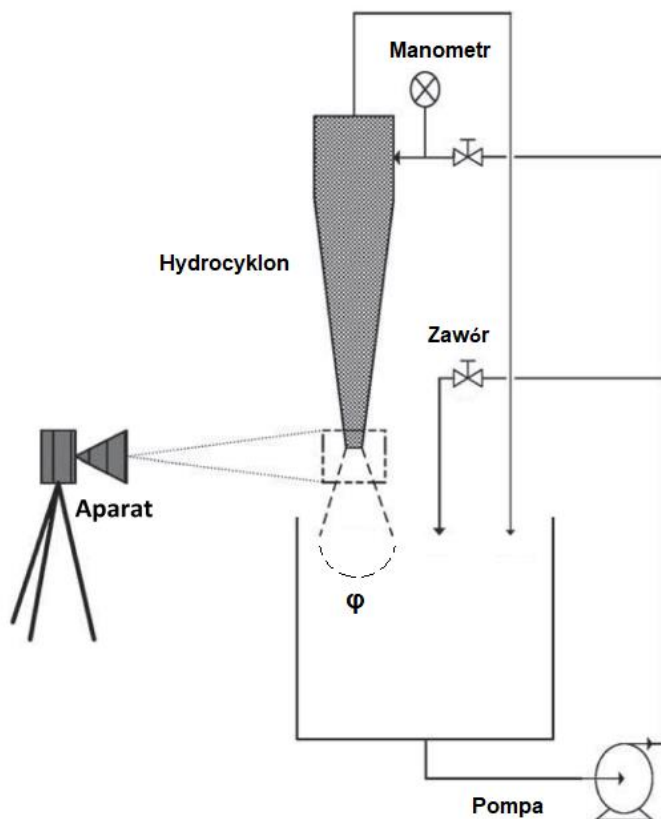
Jedną z metod oceny wydajności hydrocyklonu jest system polegający na monitorowaniu kąta wypływu zawiesiny z wylewu (rys. 7). Ma ona na celu wykorzystanie potencjału aplikacyjnego kąta rozpylenia, jako narzędzia do monitorowania wydajności, a co za tym idzie, zbadania stanu pracy hydrocyklonu. W metodzie tej zawiesina z wylewu jest rejestrowana za pomocą aparatu cyfrowego i analizowana w oparciu o algorytm przetwarzania obrazu w celu wykrycia kąta przepływu w różnych warunkach roboczych i projektowych. W celu wykorzystania kąta wyładowania jako wskaźnika do monitorowania działania hydrocyklonu, konieczne jest przekształcenie wzoru wypływu z dolnego strumienia hydrocyklonu w parametr kwantyfikowalny.

Badania w oparciu o monitoring kąta wypływu z wylewu przeprowadzono przy użyciu 2-calowego hydrocyklonu „Tega”, ustawionego względem podłoża pod kątem 7° , do rozklasyfikowania piasku kwarcowego [6]. W pracy obraz przetwarzano na platformie MATLAB, w celu kwantyfikacji profilu kąta rozpylenia wylewu φ .

Podczas badań wykazano, że algorytm opracowany do warunków przepływu wody w hydrocyklonie, można zastosować również do obliczeń kąta rozpylenia podczas procesu klasyfikacji w nim wodnej zawiesiny fazy stałej.

Stwierdzono ponadto, że kąt natrysku pozostaje stabilny i jest powtarzalny w danych warunkach pracy. Jednakże, niniejsze badanie przeprowadzono całkowicie w oparciu o cząstki zasilające o gęstości jednorodnej (piasek kwarcowy) i identyczny rozkład wielkości nadawy, zatem wpływ rozkładu wielkości zawiesiny nie jest częścią tego badania. Konieczne

są zatem dalsze badania pod tym względem, aby potwierdzić zasadność stosowania profilu kąta wypływu jako wskaźnika wydajności [6].



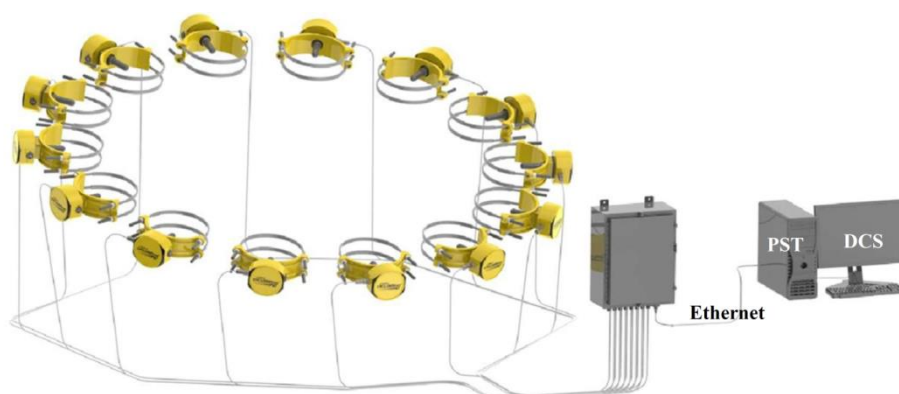
Rys. 7. Układ do pomiaru kąta wypływu zawiesiny [6]

Pomiar rzeczywisty wielkości ziaren

System składa się z czujników montowanych w sposób bezinwazyjny na przelewie hydrocyklonu (rys. 8). Otrzymane przez czujnik dane, dotyczące rozmiaru ziarna, zapewniają kontrolę w czasie rzeczywistym, dając informację o ewentualnym wystąpieniu nadziarna w przelewie hydrocyklonu. Czujnik instalowany na rurociągu przelewowym hydrocyklonu przesyła dane w sposób ciągły, poprzez transponder z komputerem kablem ethernetowym z komunikacją PST do instalacji DCS (rys. 9). Podłączenie komputera do sieci internetowej zapewnia zdalny monitoring systemu sterowania zachodzącymi procesami [10].

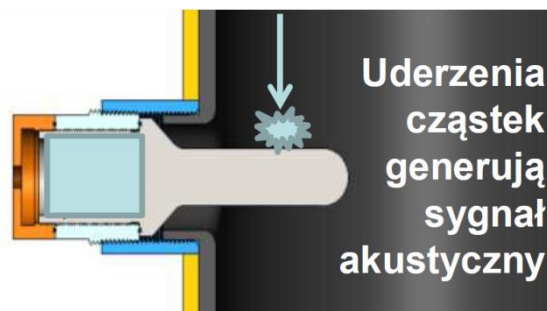


Rys. 8. Czujnik rurociągu przelewowego [10]



Rys. 9. System monitoringu nadziarna w przelewie [10]

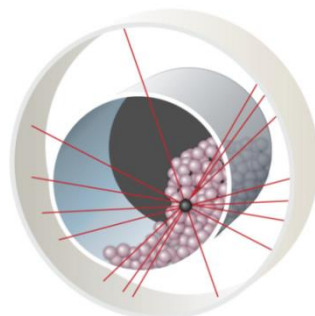
Pomiar polega na detekcji wielkości cząstek stałych (rys. 10) przemieszczających się w rurociągu przelewu hydrocyklonu. Czujnik wykrywa uderzenia cząstek generujących sygnał akustyczny. Otrzymane dane dotyczące niechcianych gruboziarnistych części stałych w przepływie, w czasie rzeczywistym przekazywane są systemowi sterowania umożliwiając podjęcie działań koordynujących, w celu zapobiegania dalszym negatywnym skutkom procesu [10, 16].



Rys. 10. Detekcja ziaren w przelewie hydrocyklonu [10]

Pozytronowa detekcja emisji cząstek

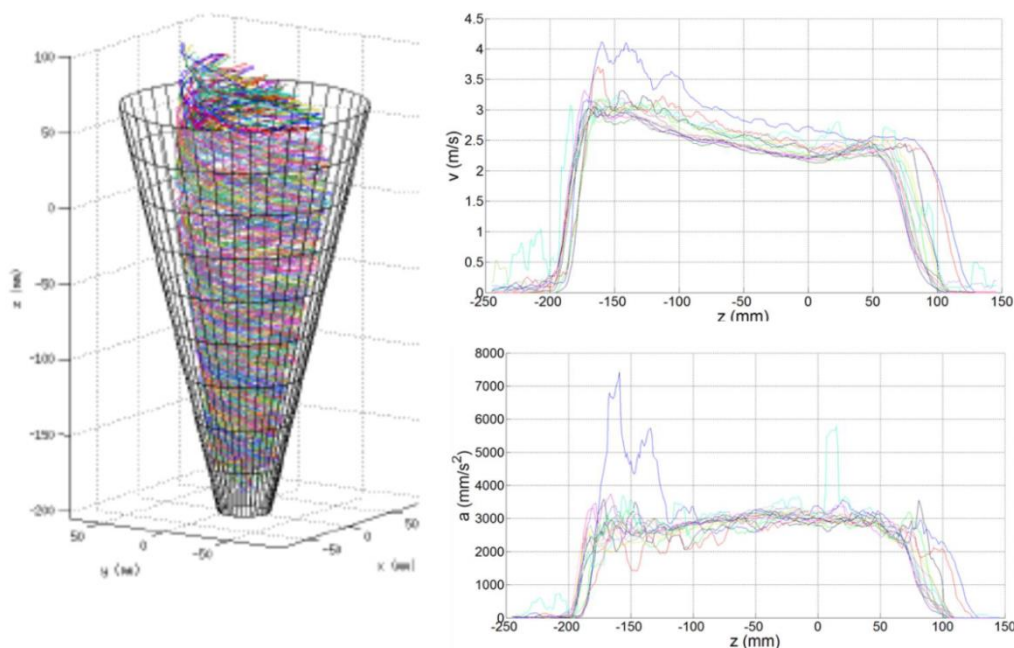
Eksperymentalna metoda polega na badaniu mechanizmu przemieszczania się cząstek w hydrocyklonie, poprzez określenie ich ruchu oraz położenia, na podstawie pozytronowej detekcji emisji cząstek (PEPT). Z powodzeniem stosowana jest w układach przeróbki mechanicznej, takich jak młyny bębnowe. W celu śledzenia położenia cząstek w układzie wykorzystuje się radioaktywność. Pojedyncze cząsteczki naświetlane są „pozytronową emisją radionuklidową”, a następnie śledzone kamerą do pozytronowej tomografii emisyjnej (PET). Zderzające się cząstki uwalniają dwa promienie barwy gamma, równe 0,511 MeV. Dwa punkty detekcji tworzą linię LOR, wzdłuż której nastąpiło zderzenie. Dwie lub więcej przecinających się linii LOR (rys. 11) można wykorzystać do triangulacji położenia znacznika, jakim jest naświetlona cząstka [5].



Rys. 11. Pozytronowa detekcja emisji cząstek zastosowana w procesie wyznaczania parametrów ruchu mielników w młynie grawitacyjnym kulowym [6]

W pracach testowych przeprowadzono doświadczenie polegające na wykorzystaniu PEPT, w celu detekcji cząstek w hydrocyklonie „Krebs” [5]. Przedmiotem rozdziału był kwarc oraz granat. Na podstawie zebranych danych opracowano programem Minitab model hydrocyklonu (rys.12), pozwalający na przetwarzanie otrzymanych danych. Wykazano, że trajektorie cząstek w hydrocyklonie mogą być śledzone przy użyciu Pozytonowego

Monitorowania Cząstek Emisji (PEPT). Możliwa jest rejestracja prędkości i przyspieszenia do funkcji radialnej pozycji modalnej wysokości „z” (rys. 13). Problemem w przeprowadzonym eksperymencie okazała się zmienna gęstość zawiesiny oraz obecność innego składnika (zawiesina dwuskładnikowa). Wykazano konieczność wykonania badań hydrocyklonu posiadającego różne średnice dysz [5].



Rys. 12. Detekcja cząstek w hydrocyklonie [5] Rys.13. Wykres funkcji prędkości i przyspieszenia do funkcji (z) [5]

6. Podsumowanie

W powyższej pracy zdefiniowano oraz opisano kolejne etapy przyszłych prac związanych z określeniem zasobności popiołów (pochodzących ze spalania węgla kamiennego), w pierwiastki ziem rzadkich. Uzyskany materiał, w przypadku dostatecznej zawartości REE, posłuży jako surowiec przyszłych doświadczeń ukierunkowanych z zamiarem poprawy cech użytkowych hydrocyklonu klasyfikującego. Prace badawcze poprzez dobór odpowiednich wymiarów elementów składowych hydrocyklonu oraz modelowaniu wlotu hydrocyklonu w dedykowanych programach komputerowych pozwolą wyznaczyć optymalny kształt hydrocyklonu.

Wnioski z przeprowadzonych etapów prac badawczych zawierać będą oprócz podsumowań badań, tj.: zawartości REE w piółach lotnych pochodzących ze spalania węgla kamiennego, ocenę pracy hydrocyklonu pod kątem poprawy procesu wzbogacania REE, oraz

wskazanie koniecznych do wyeliminowania (powtórzenia; rozwinięcia badań) nieprawidłowości.

W celu podniesienie efektywności urządzenia wykonany hydrocyklon klasyfikujący rozbudowany zostanie o system stabilizacji pracy urządzenia.

Literatura

1. Battaglia A.: Maszyny do przeróbki mechanicznej kopalin. Cz II – urządzenia hydromechaniczne. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Kraków, 1968.
2. Bieszk H.: Wybrane aparaty do rozdzielania zawiesin. Katedra Aparatury i Maszynoznawstwa Chemicznego. Politechnika Gdańska. Gdańsk, 2011.
3. Całus-Moszko J., Białecka B.: Analiza możliwości pozyskania pierwiastków ziem rzadkich z węgla kamiennego i popiołów lotnych z elektrowni. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” – Tom 29, z.1. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 2013.
4. Całus-Moszko J., Białecka B.: Potencjał i zasoby metali ziem rzadkich w świecie oraz w Polsce. „Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko” – Kwartalnik, Tom 4, s. 61-72. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 2012.
5. Collins A.R.: Classification of Multi-Component Feeds in a Hydrocyclone. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland, Australia, 2016.
6. Dubey R.K., Climent E., Banerjee C., Majumder A.K.: Performance monitoring of a hydrocyclone based on underflow discharge angle. International Journal of Mineral Processing – Volume 154, Pages 42-52, France, 2016.
7. Hordyńska M.: Popioły elektrowniane w procesach stabilizacji odpadów niebezpiecznych. Praca doktorska. Wydz. Inżynieria Materiałowa i Metalurgii, Politechnika Śląska, Katowice, 2003.
8. Jarosiński A.: Możliwości pozyskania metali ziem rzadkich w Polsce. „Zeszyty Naukowe” – Tom 92, s. 75-88. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 2016.
9. Latacz A.: Oznaczanie pierwiastków ziem rzadkich w węglach i popiołach. Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, Tom 69, s. 44-47. Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2017.
10. Myszkowski P.: Innowacyjne urządzenia oraz systemy stosowane z zakładach przeróbki mechanicznej metali nieżelaznych – wybór. PRO-INDUSTRY Sp. z o.o., Konferencja Inżynierii Mineralnej MEC 2018, Zawiercie, 2018
11. Niechciał J.: Cyklony i Hydrocyklony. Pismo Polskiego Towarzystwa Przyrodniczego „Wszechświat”, Kraków, 2013.

12. Nowak Z.: Hydrocyklony w przeróbce mechanicznej kopalin. Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1970.
13. Paulo A.: Pierwiastki ziem rzadkich pod koniec XX wieku. „Przegląd Geologiczny” – Tom 47, s. 34-41. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1999.
14. Stęgowski Z.: Badanie znacznikowe i modelowanie komputerowe wybranych układów przepływowych. Praca doktorska. Wydz. Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 2010.
15. Yuan Hsu Ch., Jhih Wu S., Ming Wu R.: Particles Separation and Tracks in a Hydrocyclone. Tamkang Journal of Science and Engineering – Volume 14, Pages 65-70, Tamkang University, Taiwan, 2011.
16. <https://www.cidra.com/cidra-products/cyclonetrac-pst> (19.10.2018).
17. Friebe P.: Separacja minerałów zawierających pierwiastki metali ziem rzadkich, EM-M22-23783/OR. ITG KOMAG Gliwice 2018 (materiały niepublikowane)

Metody poprawy jakości kruszyw mineralnych wytwarzanych w mobilnych zestawach przeróbczych

Piotr Wodziński – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Kaliszu

Remigiusz Modrzewski – Politechnika Łódzka

Katarzyna Ławińska – Instytut Przemysłu Skórzanego, Zakład Garbarstwa NG, Łódź

Streszczenie: *W ostatnich latach szeroko rozpowszechniły się w całym przemyśle wydobywczym zestawy mobilne. Zestaw taki zawiera przede wszystkim dwie maszyny przeróbcze: przesiewacz realizujący proces klasyfikacji wstępnej i kruszarkę rozdrabniającą urobek. Zdecydowana większość konstrukcji tych zestawień zbudowana jest w taki sposób, iż jego pierwszym elementem jest podajnik rusztowy, odsiewający, z którego produkt nadsitowy kierowany jest bezpośrednio do kruszarki. I w tym momencie pojawia się problem jakości uzyskiwanego kruszywa, rozumianego jako foremność ziaren produktu gotowego. Wiadomo bowiem, iż warunkiem uzyskania oczekiwanej foremności ziaren jest utrzymanie stopnia wypełnienia kruszarki nadawą na stałym, optymalnym poziomie. Ponieważ urobek do zestawu przeróbczego dostarczany jest ładowarkami, które (co oczywiste) podają go w sposób nierównomierny, dlatego utrzymanie stałości stopnia wypełnienia kruszarki, jest w tym układzie maszynowym zestawu niemożliwe. Dlatego autorzy niniejszego opracowania proponują zmiany konstrukcyjne w zestawach mobilnych tak, aby zapewnić możliwość utrzymania stopnia wypełnienia komory roboczej kruszarek na stałym najkorzystniejszym poziomie.*

Methods of improving the quality of mineral aggregates produced in mobile processing sets

Abstract: *In recent years one may observe that mobile systems are becoming more and more widespread in the whole mining industry. Such a system comprises two processing machines: a screener realizing the process of preliminary classification and a crusher which grinds winning. The vast majority of constructions of those systems is made in such a way that its first element is a grate sifting feeder the screen product of which is directed to the crusher. At this stage there appears the problem of quality of the obtained aggregate understood as a regularity of grains of the product. Thus, it is known that the condition of obtaining the expected grain regularity is maintaining the degree of packing of a crusher by particulate material at the stable optimal level. Due to the fact that winning for the processing system is supplied by loaders which, obviously, supply it in a non-homogenous way, that is why maintaining the stability of the packing degree of the crusher is impossible in this machine system. Therefore, the Authors of the present study proposes the constructional changes in mobile systems such that the possibility of maintaining the packing degree of a working chamber of the crusher is ensured at the stable most favorable level.*

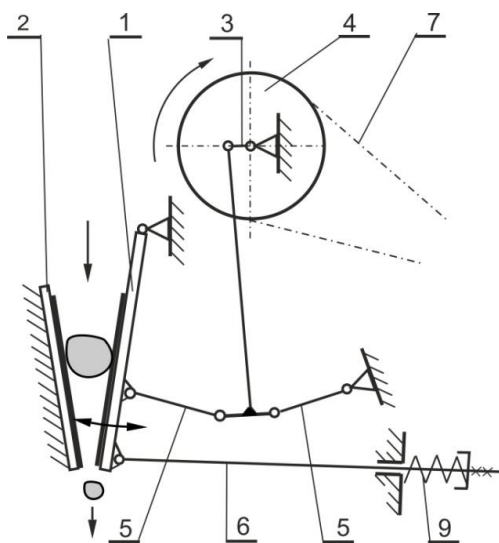
1. Wprowadzenie

Zestawy mobilne służące do przerobu kopalnych ciał uziarnionych, są bardzo wygodnym narzędziem przeróbczym, stosowanym powszechnie w górnictwie surowców skalnych [2, 7, 8, 9, 10]. Mogą one realizować następujące operacje technologiczne:

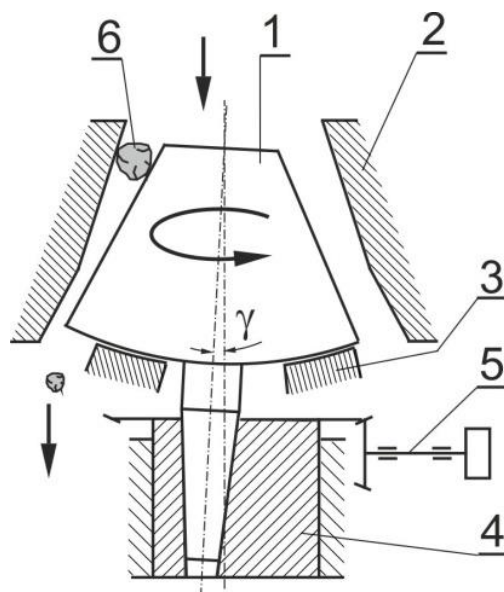
- odsiewanie wstępne,
- rozdrabnianie,
- klasyfikacja ziarnowa,
- transport.

Istotnym procesem realizowanym w tych zestawach jest rozdrabnianie, prowadzone w zainstalowanych tam kruszarkach [1, 5, 6]. Najczęściej używane są następujące typy kruszarek:

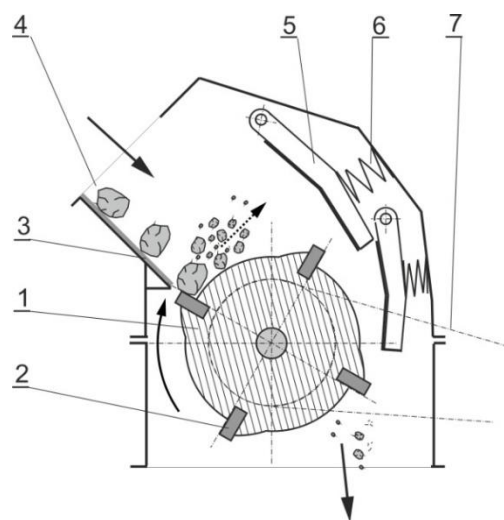
- a – szczękowe (rys. 1),
- b – stożkowe (rys. 2),
- c – udarowe (rys. 3).



Rys. 1. Kruszarka szczękowa z prostym ruchem szczęki: 1 – szczęka ruchoma, 2 – szczęka nieruchoma, 3 – wał mimośrodowy, 4 – koło napędowe, 5 – płyty rozporowe, 6, 9 – mechanizm powrotny, 7 – cięgno napędowe, źródło: [7]



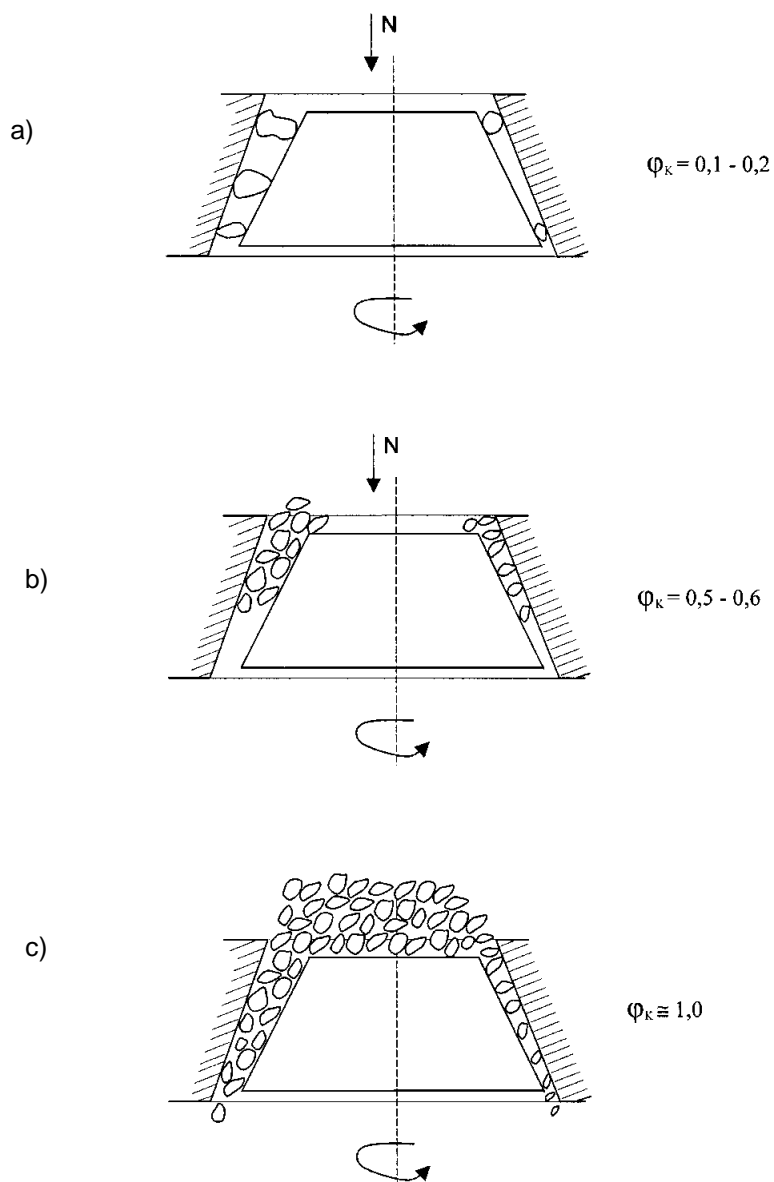
Rys. 2. Kruszarka stożkowa z wałem podpartym: 1 – stożek ruchomy, 2 – stożek nieruchomy, 3 – podparcie stożka, 4 – tuleja mimośrodowa, 5 – napęd kruszarki, 6 – materiał ziarnisty źródło: [7]



Rys. 3. Kruszarka bijakowa (listwowa): 1 – wirnik, 2 – bijak, 3 – zasyp, 4 – materiał ziarnisty, 5, 6 – mechanizm odbojowy, 7 – ciągnio napędowe źródło: [7]

Wyżej wymienione kruszarki posiadają jedną wspólną cechę polegającą na konieczności utrzymania stałego (w pewnych granicach tolerancji) stopnia wypełnienia strefy kruszenia kruszarki. Jak wiadomo pod pojęciem stopnia wypełnienia kruszarki rozumiemy stosunek objętości materiału rozdrabnianego (nadawy), do całkowitej objętości komory roboczej kruszarki.

$$\Theta = \frac{V_m}{V_{PRK}} \quad (1)$$

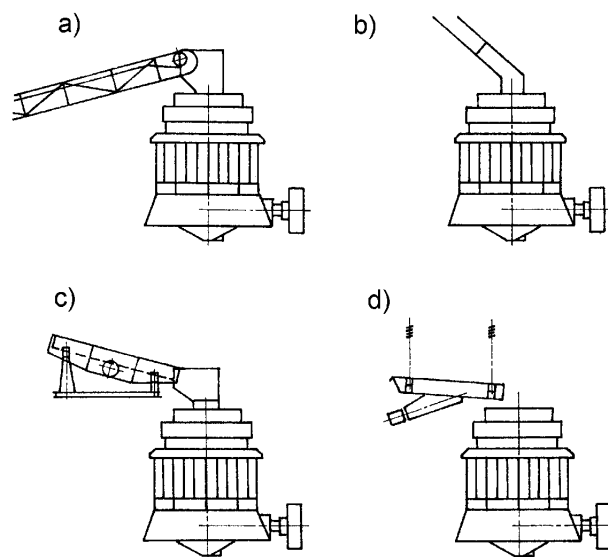


Rys. 4. Mechanizm rozdrabniania kruszyw w kruszarce stożkowej: a, b, c – stopnie wypełnienia strefy kruszenia, źródło: [opracowanie własne]

Na rysunku 4 pokazano mechanizm rozdrabniania kruszywa w kruszarce stożkowej, istniejący dla trzech różnych wartości stopnia wypełnienia komory kruszarki. Rysunek 4a pokazuje niewielkie napełnienie komory roboczej kruszarki, a w takim przypadku ziarna są rozdrobnione tylko poprzez oddziaływanie szczęk. W drugim przypadku (rys. 4b) mamy do czynienia z optymalnym stopniem wypełnienia komory roboczej kruszarki. To oznacza, że kruszenie ziaren odbywa się zarówno na skutek oddziaływania szczęk, jak i ziaren pomiędzy sobą. Jest to najkorzystniejszy przebieg procesu rozdrabniania. Na rysunku 4c pokazano nadmierny zasyp nadawy do kruszarki, przy którym stopień napełnienia komory roboczej kruszarki wynosi 1. Materiał poddawany kruszeniu wypełnia całą przestrzeń roboczą maszyny.

2. Zasilanie kruszarek nadawą

Na rysunku 5 pokazano stosowane obecnie sposoby zasilania kruszarek (w tym wypadku stożkowych) nadawą. Na rysunku 5a nadawa jest dostarczana do kruszarki za pomocą podajnika taśmowego, a na rysunku 5b za pomocą grawitacyjnej zsuwni. Oba te sposoby nie gwarantują utrzymania stopnia wypełnienia komory roboczej maszyny na stałym, najkorzystniejszym poziomie. Częściowym rozwiązaniem problemu, pokazanym na rysunku 5c, jest dostarczanie nadawy np. z przesiewacza pod warunkiem, że podawana jest ona do tego przesiewacza równomiernie. Najwłaściwszy sposób zasilania nadawą kruszarki stożkowej pokazano na rysunku 5d, gdzie nadawa do rozdrabniania dostarczana jest za pomocą dozownika wibracyjnego, dającego możliwość płynnej regulacji ilości podawanego materiału.



Rys. 5. Zasilanie kruszarek nadawą, źródło: [opracowanie własne]

3. Wydajność kruszarek i przesiewaczy

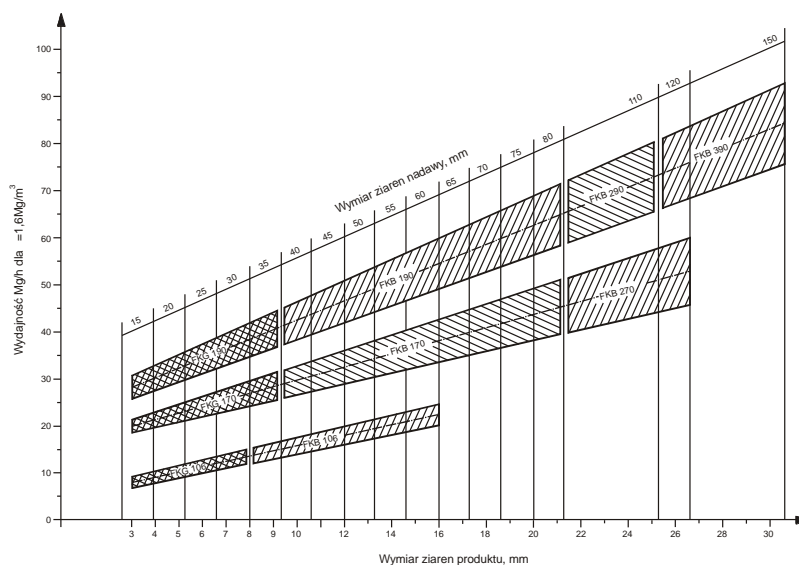
Najważniejsze parametry procesowe kruszarek i przesiewaczy zostały pokazane w tabeli 1 i na rysunku 6 i 7. W tabeli 1 podano wydajności kruszarek szczękowych, dla przypadku rozdrabniania odpadów mineralnych o średniej masie właściwej nadawy $\approx 1,5 \text{ Mg/m}^3$. Natomiast podobne charakterystyki kruszarek stożkowych pokazano na rysunku 6 (oznaczenia na rysunku dotyczą różnych typów kruszarek). Rysunek 7 przedstawia zakresy stosowania podstawowych parametrów przesiewaczy, w zestawieniu z wielkością kwadratowych otworów sit, użytych do klasyfikacji rozdrobnionych kopalin w zestawach przerobczych. Zamieszczone dane traktować należy jako wielkości orientacyjne, albowiem zależą one od wielu czynników procesowych, jak i od samej konstrukcji maszyny.

Parametry procesowe kruszarek

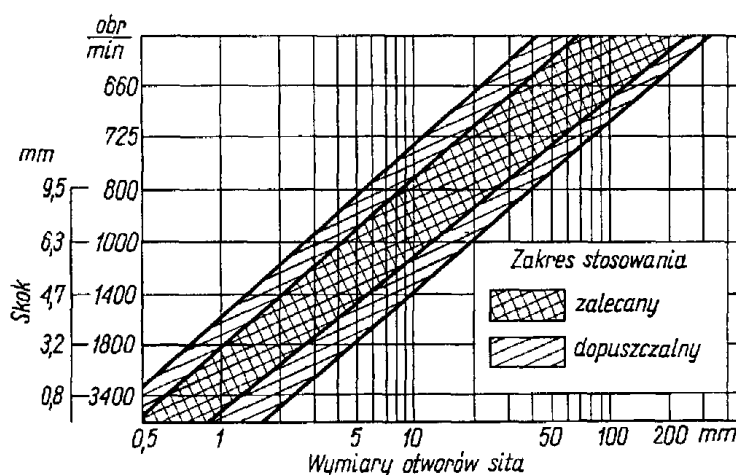
źródło: opracowanie własne na podstawie [12]

Tabela 1.

Dane kruszarek					Wydajność m ³ /h														
Wymiary szczęk roboczych, [mm]	Wymiary max. ziaren nadawy, [mm]	Liczba cykli pracy, [min]	Moc silnika, [kW]	Masa maszyny, [kg]	dla wymiarów ziaren produktu [mm]														
					15	20	25	35	50	65	85	110	135	160	190	220	260	300	350
500/350	450×320	280	22	6000						18	24	30							
600/425	550×400	270	30	9600					24	28	36	45							
800/570	750×550	250	55	18500							45	50	70						
1000/200	180×180	290	30	8600	8	10	12	16	22										
1000/350	320×320	260	45	13300				25	37	47	60								
1000/800	950×750	240	75	34000								80	90	105					
1250/450	420×420	265	75	26500					50	65	80	100							
1250/900	1150×800	210	132	55000								105	130	150	175				
1250/1000	1150×900	210	132	66000									140	165	190	220			
1500/1200	1400×1100	180	160	110000										190	215	245	270	300	
1800/140	1700×1300	160	200	156000											260	300	340	400	460



Rys. 6. Wydajność kruszarek stożkowych, źródło: [opracowanie własne]

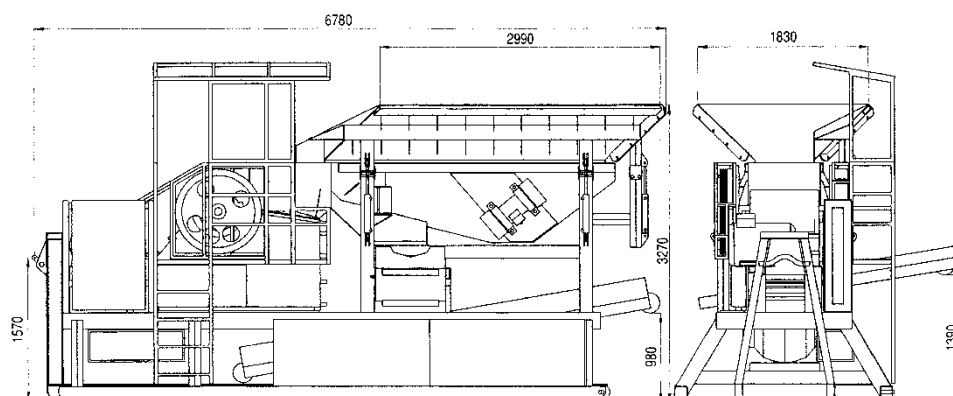


Rys. 7. Zakres stosowania skoku i drgań rzeszota w zależności od otworów sita
źródło: [opracowanie własne]

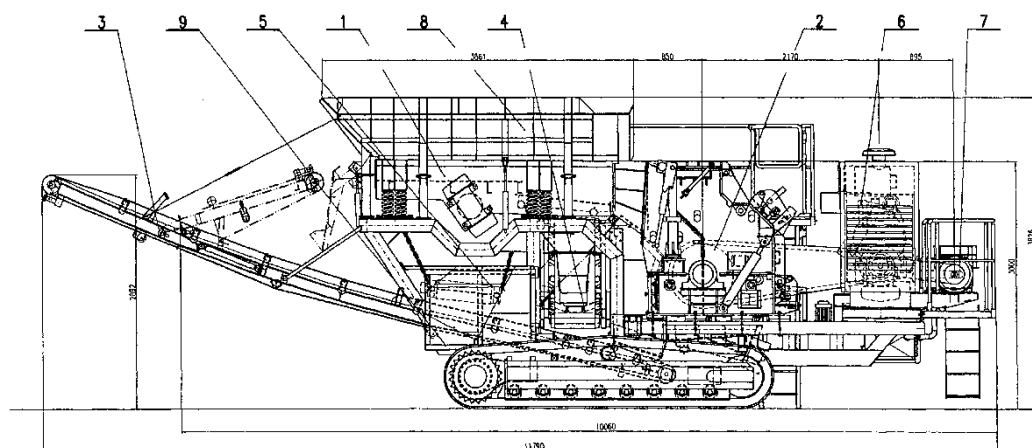
4. Zestawy mobilne

W ostatnim czasie w całym przemyśle kruszyw rozpowszechniły się zestawy mobilne [3, 4, 11], służące do przerobu urobku kopalnianego. Zawierają one w sobie na ogół przesiewacz oraz kruszarkę usytuowaną na podwoziu. Na rysunku 8 pokazano stacjonarny zestaw przerobczy zasilany elektrycznie, który jednakże może być przemieszczany niemal dowolnie na terenie kopalni i ustawiany na utwardzonym podłożu. Natomiast na rysunku 9 pokazano typowy zestaw przejezdny z napędem autonomicznym (silnik spalinowy), który ma zdolność samodzielnego przemieszczania się po terenie kopalni. W obu przedstawionych

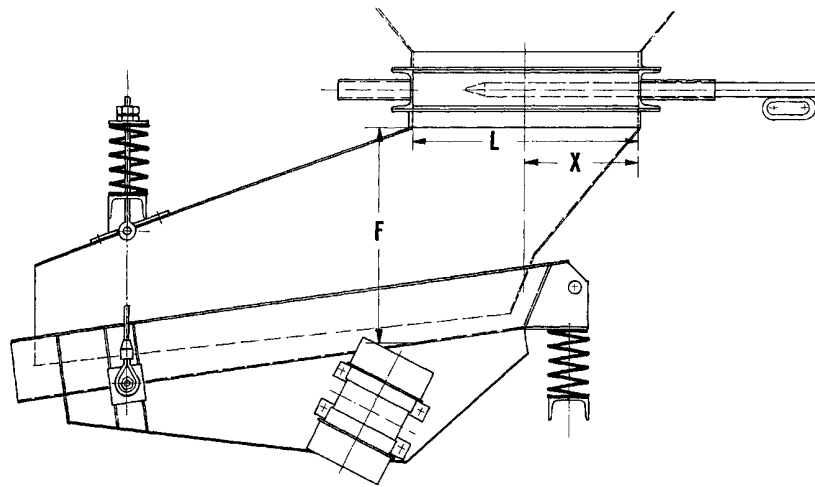
przypadkach mamy do czynienia z zasilaniem kruszarki bezpośrednio z podajnika wibracyjnego, odsiewającego. Urobek kierowany jest na przesiewacz (na ogół rusztowy podajnik odsiewający), a z przesiewacza bezpośrednio do kruszarki. Ten układ nie zapewnia stopnia wypełnienia komory roboczej kruszarki na stałym poziomie, a to z kolei uniemożliwia otrzymanie właściwej jakości kruszywa. Prawidłowy układ zawierać powinien objętość pośrednią (zasobnik), z którego nadawa do rozdrabniania pobierana jest dozownikiem wibracyjnym, a ten kieruje ją do kruszarki. Wydaje się, że najwłaściwszym rodzajem dozownika, który może być użyty w takim układzie, jest dozownik wibracyjny (rys. 10). Pełny zestaw zasilania kruszarki (w tym konkretnym wypadku stożkowej) nadawą, pokazano na rysunku 11.



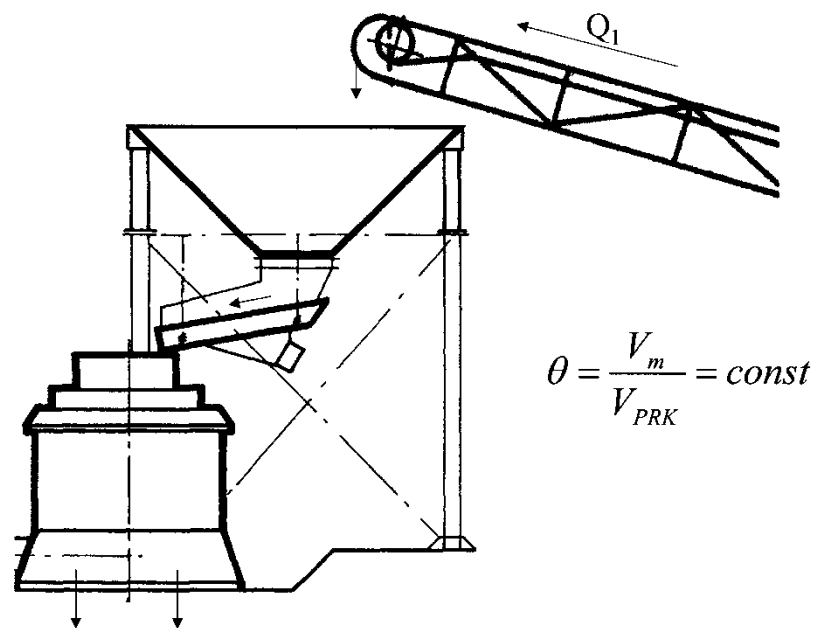
Rys. 8. Stacjonarny zestaw przeróbczy, źródło: opracowanie własne na podstawie [4]



Rys. 9. Przejedny zestaw przeróbczy, źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

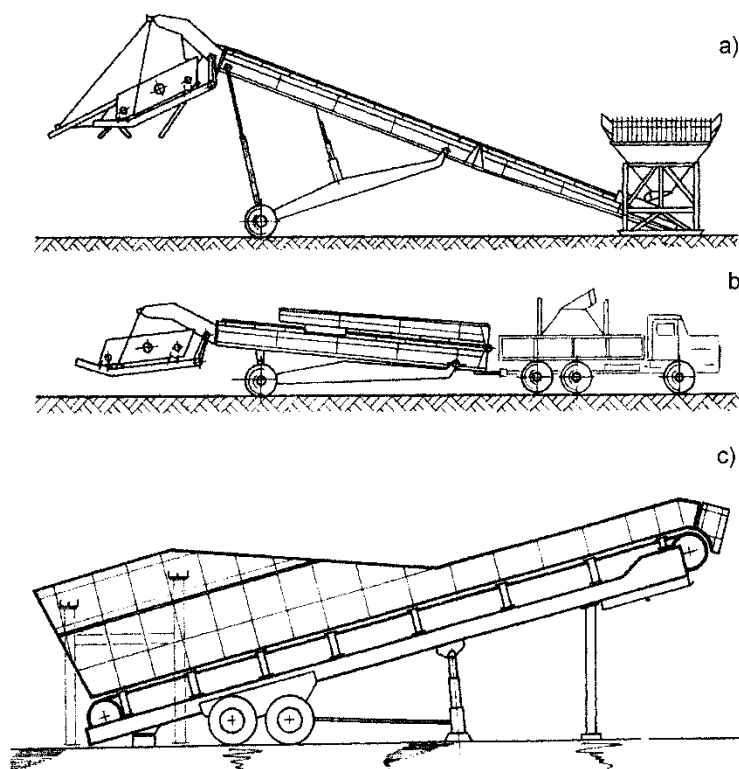


Rys. 10. Dozownik zasilający, źródło: [opracowanie własne]



Rys. 11. Zasilanie kruszarki nadawą, źródło: [opracowanie własne]

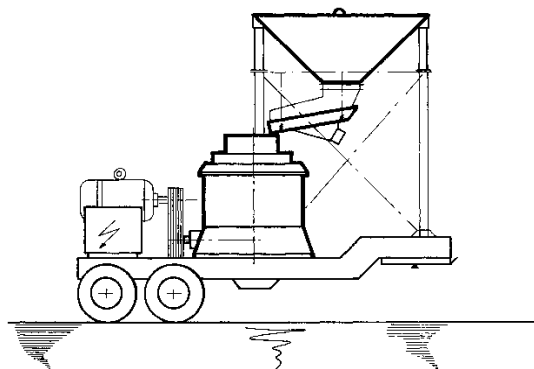
Zbudowanie zestawu przejezdnego, zawierającego wszystkie oczekiwane elementy składowe, na jednym podwoziu może być trudne, z powodu ograniczonych gabarytów pojazdu ($L \times B \times H$). Dlatego postuluje się aby zastosować metodę elementów składowych - modułów, dla realizacji poszczególnych procesów. I tak pierwszym elementem składowym modułem byłby zestaw załadowczo - sortujący (rys. 12). Na rysunku 12a pokazano zestaw z grawitacyjnym odsiewaczem rusztowym, podajnikiem i przesiewaczem końcowym. Podobny zestaw widnieje na rysunku 12b w pozycji złożonej do transportu. Na rysunku 12c pokazano sam kosz załadowczy z podajnikiem taśmowym. Drugim elementem składowym zestawu mobilnego, umieszczonym na oddzielnym podwoziu jest zestaw (moduł) rozdrabniający, pokazany schematycznie na rysunku 13. Przedstawiono dwa warianty w których zastosowano kruszarkę stożkową. W obu przypadkach nadawa do kruszenia jest kierowana podajnikiem wibracyjnym zasilanym z zasobnika buforowego, a dodatkowo również z przesiewacza (rys. 14), gdzie możliwe są przeróżne konfiguracje przesiewaczy, umieszczonych na podwoziach kołowych. Zestawy te można stosować w zależności od konkretnych potrzeb i założonych procesów technologicznych.



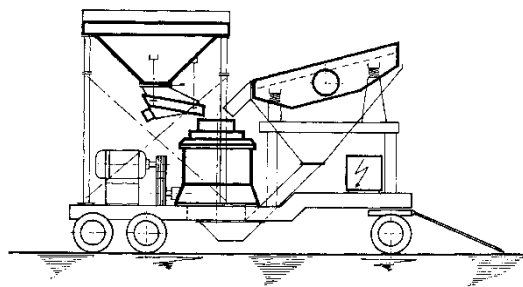
Rys. 12. Zestawy załadowczo – sortujące źródło: [opracowanie własne]

Możliwe jest także zbudowanie zestawu przesiewającego z natryskiem wodnym (rys. 15), który podobnie, jak omówione poprzednio stanowić będzie element składowy całej linii technologicznej.

a)

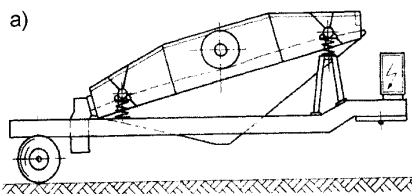


b)

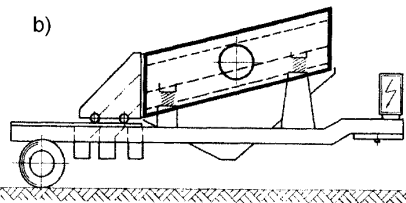


Rys. 13. Zestawy dozowania nadawy do kruszarek (semimobilne), a – z dozownikiem wibracyjnym, b - z dozownikiem wibracyjnym i przesiewaczem, źródło: [opracowanie własne]

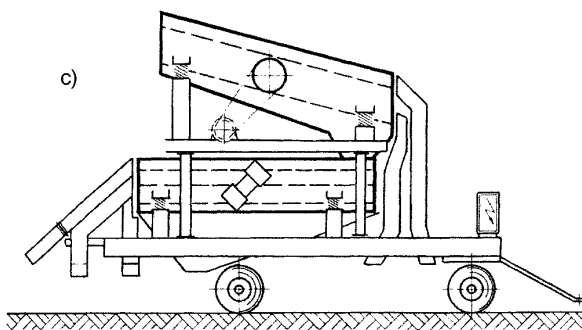
a)



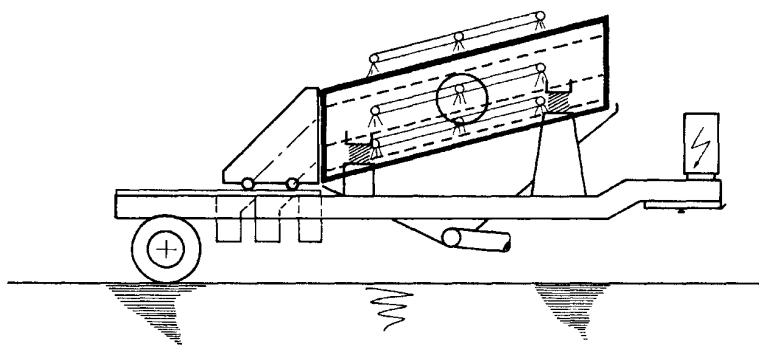
b)



c)



Rys. 14. Zestawy przesiewające: a – z pojedynczym przesiewaczem, b – z układem dwóch przesiewaczy, źródło: [opracowanie własne]



Rys. 15. Przesiewacz mobilny z natryskiem wodnym, źródło: [opracowanie własne]

5. Wnioski

1. Zasilanie kruszarek znajdujących się w zestawach przejezdnych bezpośrednio z podajnika odsiewającego nie jest właściwym sposobem podawania nadawy do kruszenia.
2. Do zasilania kruszarek nadawą należy zastosować podajnik dozujący (najwłaściwiej wibracyjny) i zasilać nadawę z objętości buforowej, celem utrzymania stopnia wypełnienia kruszarki na stałym poziomie.
3. Do budowy zestawów przejezdnych, a właściwie całych mobilnych linii technologicznych, służących do przeróbki kopalin, zastosować metodę autonomicznych elementów składowych - modułów.
4. Poszczególne składniki tego rodzaju linii technologicznej można przemieszczać transportem drogowym i instalować je wedle potrzeb technologicznych.

Literatura

1. Antoniak J.: System kruszenia i odstawy przenośnikowej w kopalni odkrywkowej surowców związanych. Surowce i Maszyny Budowlane. Nr 7, 2009
2. Banaszewski T.: Przesiewacze, Śląsk, Katowice, 1990
3. Feliks J., Mazur M.: Mobilne zestawy do produkcji surowców skalnych. Problemy eksploatacji i zarządzania w górnictwie. AGH, Kraków 2017
4. Gawenda T.: Analiza porównawcza mobilnych i stacjonarnych układów technologicznych przesiewania i kruszenia. Rocznik Ochrona Środowiska. Vol. 15, 2013
5. Mazur M.: Przegląd konstrukcji zestawów kruszących wykorzystywanych w produkcji surowców drogowych. Górnictwo Odkrywkowe. Nr 1, 2010

6. Mrowiec M.: Nowe podejście do optymalizacji pracy kruszarek stożkowych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Nr 134, 2012
7. Sidor J.: Budowa i zastosowanie współczesnych układów kruszenia. KOMEKO 2018 Innowacyjne i Przyjazne Dla Środowiska Techniki i Technologie Przeróbki Surowców Mineralnych. Bezpieczeństwo – Jakość – Efektywność. Monografia, 2018
8. Sidor J.: Współczesne układy kruszenia. Powder & Bulk. Nr 3, 2018.
9. Sztaba K.: Przesiewanie, Śląsk, Katowice, 1993.
10. Wodziński P.: Przesiewanie i przesiewacze, Łódź, 1997.
11. Wodziński P.: Przeróbka kopalin mineralnych w zestawach mobilnych. Surowce i Maszyny Budowlane. Nr 2. 2009, s. 49-53
12. Prospekty firm: IBAG, DSP Engineering Prerov, Metso Minerals

Ekologiczne paliwa węglowe produkcji PGG SA i proces spalania w kotłach klasy ecodesign

Marta Jach-Nocoń – Uniwersytet Śląski w Katowicach, P.P.U.H. Zamech

Renata Maczuga - PGG SA

Adam Nocoń - Uniwersytet Śląski w Katowicach, P.P.U.H. Zamech

Wojciech Cebo - PGG SA

Streszczenie: *Okolo 375 mln lat temu, w okresie dewonu, tereny dzisiejszej Polski pokrywało gorące morze równikowe. W wyniku silnych ruchów górotwórczych na przełomie dewonu i karbonu określanych mianem orogenezy hercyńskiej (waryscyjskiej), nastąpiło okolo 325 mln lat temu całkowite ustąpienia morza z obszaru dzisiejszej Polski. W jej południowo-zachodniej części powstał orogen waryscyjski obejmujący Sudety i blok przedsudecki, a na jego przedpolu powstały zapadliska przedgórskie [zapadlisko górnośląskie]. Gorący, wilgotny, równikowy klimat, oraz wysoka zawartość tlenu w powietrzu - okolo 34% - doprowadziły w karbonie do niesamowitego rozkwitu roślinności. Szczątki roślin gromadziły się warstwowo w obniżeniach terenu, tworząc przyszłe złoża węgla kamiennego, eksploatowane dzisiaj na terenie Polski i Europy Zachodniej. Okres karbonu zakończył się ok. 299 mln lat temu, lecz powstawanie złóż węgla w innych rejonach Ziemi trwało jeszcze okolo 230 mln lat. Węgiel kamienny, który wydobywamy posiada właściwości wynikające z warunków jego powstania oraz czasu w jakim to nastąpiło. Dostępne technologie przeróbki dają możliwość jego przygotowania do zastosowania jako opał, lecz nie zmieniają jego własności pierwotnych. W celu ochrony środowiska, a szczególnie jakości powietrza, zostały na drodze ustawowej ustalone parametry jakościowe węgla jako opału szczególnie do zastosowań indywidualnych. Wychodząc naprzeciw konieczności zmniejszania tzw. niskiej emisji i poprawie jakości powietrza zostały wprowadzone wymogi klasy V (od 2018) i ECODESIGN (od 2020) dla kotłów c.o. stosowanych w indywidualnym ogrzewaniu. Węgiel kamienny jako paliwo jest postrzegany coraz bardziej negatywnie ze względu na zjawisko smogu szczególnie w dużych skupiskach miejskich, pomimo rozwijanej produkcji ekologicznych sortymentów węgla oraz wprowadzania do sprzedaży nowych paliw węglowych. Zastosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych kotłów i ich stały rozwój pokazuje, że węgiel może być pełnoprawnym paliwem ekologicznym, a emisja czynników szkodliwych przy jego spalaniu znikoma w porównaniu do obowiązujących norm. W kotłach na paliwa stałe, czyli właśnie węgiel, posiadających certyfikat Ecodesign, dzięki zastosowaniu innowacyjnego oprogramowania można precyzyjnie sterować procesem spalania. Uzyskane parametry spalania są zgodne z najwyższymi standardami określonymi w Rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w oparciu o dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE dotyczącą kotłów na paliwa stałe. Nowe możliwości i kontrola procesu spalania mogą spowodować, że polski surowiec jakim jest węgiel w postaci ekogroszku będzie postrzegany jako ekologiczne i czyste paliwo.*

Ecological coal fuels produced by PGG SA and burning process in the eco-design boilers

Abstract: *About 375 million years ago, in the Devonian period, the territories of today's Poland were covered by the hot equatorial sea. As a result of strong tectonic movements at the turn of the Devonian and Carboniferous regions known as the Hercegovian orogeny (Variscian), about 325 million years ago the total withdrawal of the sea from the area of today's Poland took place. In its southwestern part, the Variscan orogens were formed, including the Sudetes and the Sudeten block, and pre-collapse valleys were formed on its foreground [the Upper Silesia Depression]. Hot, humid, equatorial climate, and high oxygen content in the air - about 34% - led in the carboniferous to the amazing flowering of vegetation. The remains of the plants accumulated in the depressions of the area, creating future hard coal deposits, exploited today in Poland and Western Europe. The Carboniferous period ended about 299 million years ago, but the formation of coal deposits in other parts of the Earth lasted about 230 million years. The hard coal that we extract has properties resulting from the conditions of its creation and the time in which it occurred. Available technologies of processing give the possibility of its preparation for use as fuel, but do not change its primary properties. In order to protect the environment, and in particular air quality, quality parameters of coal as fuel for special applications have been established on the statutory way. Facing the need to reduce the so-called The V class (from 2018) and ECODESIGN (from 2020) for c.o. boilers have been introduced for low emissions and improved air quality. used in individual heating. Hard coal is perceived more and more negatively due to the phenomenon of smog, especially in large urban centers, despite the development of production of ecological coal grades and the sale of new coal fuels. The use of appropriate boiler technical solutions and their constant development shows that coal can be a full-fledged ecological fuel, and the emission of harmful factors in its combustion is negligible in comparison to the applicable standards. In boilers for solid fuels, i.e. just coal, certified by Ecodesign, thanks to the application of innovative software, you can precisely control the combustion process. The obtained combustion parameters comply with the highest standards specified in the Commission Regulation (EU) 2015/1189 of 28 April 2015 based on Directive 2009/125 / EC of the European Parliament and of the Council regarding solid fuel boilers. New possibilities and control of the combustion process may cause that the Polish raw material, which is coal in the form of eco coal, will be perceived as ecological and clean fuel.*

1. Wprowadzenie

Węgiel ciągle pozostaje głównym źródłem energii cieplnej i elektrycznej w Polsce. Z uwagi na wielkość jego zasobów jest on istotnym elementem bezpieczeństwa energetycznego naszego kraju. Zagadnienia bezpieczeństwa energetycznego należą do tematów związanych z bezpieczeństwem ekonomicznym, które określa rodzaj i charakter odpowiednich czynników niezbędnych do zaspokojenia potrzeb [10]. Zgodnie z założeniami polityki energetycznej Polski do 2030 roku za bezpieczeństwo energetyczne uważa się możliwość stabilnych dostaw paliw i energii, które zagwarantują zaspokojenie potrzeb krajowych przy jednoczesnym założeniu: optymalnego wykorzystania krajowych surowców, różnych źródeł i kierunków

dostaw ropy naftowej, paliw ciekłych i gazowych oraz akceptacji przez gospodarkę cen dostaw [19]. Wskaźnik bezpieczeństwa energetycznego to nic innego jak stosunek energii produkowanej z rodzimych surowców do energii uzyskiwanej z importowanych źródeł paliwa [32]. Konieczne jest racjonalne zarządzanie zasobami energetycznymi i kształtowanie polityki energetycznej w taki sposób, aby maksymalizować cele społeczno – gospodarcze [14].

Bezpieczeństwo energetyczne i racjonalna gospodarka własnymi surowcami nierozzerwalnie związana jest z tematem ekologii i niską emisją. Każdego roku na terenie naszego kraju jest przeprowadzana analiza jakości powietrza pod kątem jego zanieczyszczenia 12 substancjami [12]: dwutlenkiem siarki, dwutlenkiem azotu, tlenkiem węgla, benzenem i ozonem, pyłem zawieszonym PM10 i PM2,5 oraz zanieczyszczeniami oznaczanymi w pyłe PM10: ołowiem, arsenem, kadmem, niklem i benzo(a)pirenem [12]. Jak wynika z raportów o krajowych emisjach zanieczyszczeń, głównymi źródłami zanieczyszczeń w Unii Europejskiej jest sektor komunalno-bytowy i transport. Za przekroczenia dopuszczalnego poziomu pyłu PM10 (wartość średnioroczne – 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) w skali kraju aż w 88,21% odpowiada indywidualne ogrzewanie budynków, natomiast przemysł przyczynia się do tego jedynie w 1,84% [12]. Wysokie stężenia są uzależnione m.in. od rodzaju źródeł ciepła. W Polsce głównym źródłem ciepła użytkowego w sektorze komunalno-bytowym pozostaje węgiel.

Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW) jest głównym i najstarszym zagłębiem węglowym w Polsce. GZW obejmuje teren około 5600 km^2 w granicach Polski i około 1730 km^2 na terenie Czech [8, 13].

2. Ochrona powietrza

Średni skład czystego powietrza atmosferycznego przyjmowany jest za stały. Jego główne składniki: azot, tlen i argon stanowią łącznie 99,9% objętości. Wśród pozostałych największy udział ma dwutlenek węgla, neon oraz hel. Poza stałymi składnikami, w powietrzu atmosferycznym występuje cały szereg innych składników, które emitowane są do atmosfery w wyniku procesów zachodzących w przyrodzie, bądź w wyniku działalności człowieka. Wszystkie substancje stałe, ciekłe lub gazowe zmieniające średni skład atmosfery uznawane są za zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Wprowadzone zanieczyszczenia do powietrza atmosferycznego mogą oddziaływać szkodliwie na zdrowie człowieka i jego otoczenie jeżeli ich zawartość przekracza określone dopuszczalne wartości [23].

Głównymi gazowymi substancjami zanieczyszczającymi atmosferę są: dwutlenek siarki (SO_2), dwutlenek azotu i tlenki azotu (NO_2 , NO_x), tlenek węgla (CO) oraz tzw. gazy cieplarniane, jak dwutlenek węgla (CO_2), metan (CH_4) oraz para wodna. Ta ostatnia w połączeniu z dwutlenkiem siarki (SO_2) daje kwaśne mgły i opady kwaśnego deszczu. Kwaśne opady powodują obniżenie odczynu pH gleb i wód powierzchniowych. Spośród substancji pylistych szczególnie groźne dla zdrowia ludzi są pyły zawieszone o średnicy poniżej 10 mikrometrów – tzw. pył PM 10 oraz pyły zawieszone o średnicy poniżej 2,5 mikrometrów – PM 2,5. Wpływają one również szkodliwie na rozwój roślin i zwierząt. Składnikami tego rodzaju pyłów mogą być

zanieczyszczenia o własnościach mutagennych i rakotwórczych, takie jak: arsen, kadm, nikiel i niektóre wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, w tym benzo(a)piren.

Źródła zanieczyszczeń powietrza podzielić można na naturalne – np. wulkany, pożary lasów, bagna wydzielające m.in. dwutlenek i tlenek węgla, metan oraz na źródła antropogeniczne będące efektem działalności człowieka. Do antropogenicznych źródeł emisji należą przede wszystkim procesy spalania paliw dla celów energetycznych, ciepłowniczych oraz technologii przemysłowych odprowadzające gazy spalinowe do atmosfery, emisje ze źródeł ruchomych związanych z transportem pojazdami samochodowymi i stosowanymi paliwami, oraz emisje związane z ogrzewaniem mieszkań w sektorze komunalno-bytowym.

O jakości powietrza na danym obszarze decyduje poziom zawartości w nim różnorodnych substancji i przestrzenny rozkład emisji ze wszystkich źródeł. Poziomy stężenie zanieczyszczeń w powietrzu wynikają bezpośrednio z poziomu emisji zanieczyszczeń do atmosfery, ukształtowania terenu oraz panujących warunków meteorologicznych. Duże znaczenie ma także wpływ zanieczyszczeń napływowych (transgranicznych) z obszarów sąsiednich, jak też z atmosferycznych przemian fizykochemicznych (np. kwaśne deszcze). Procesy te mają wpływ zarówno na kształtowanie się tzw. tła zanieczyszczeń, które jest wynikiem ustalania się stanu równowagi dynamicznej w dalszej odległości od źródła emisji, jak również na zasięg występowania podwyższonych stężeń w rejonie bezpośredniego oddziaływania źródeł. Zanieczyszczenia emitowane z wysokich kominów przenoszone są na duże odległości i rozpraszane na znacznych obszarach, powodując podwyższenie ogólnego poziomu tła w skali całego kraju. Mają one stosunkowo ograniczony wpływ na jakość powietrza w miastach, gdzie większą rolę odgrywają małe, ale liczne źródła zlokalizowane na niewielkim obszarze (w tym źródła specyficzne zlokalizowane w bezpośredniej bliskości obszarów zamieszkałych). Źródła te emitują również specyficzne substancje podczas niepełnego spalania paliw w przestarzałych typach kotłów lub w paleniskach indywidualnych, stanowiąc w niektórych miastach poważny problem. W dużych miastach, ze względu na specyficzne uwarunkowania związane ze zwartą zabudową mieszkaniową i tworzące się tak zwane kaniony uliczne, a przede wszystkim w związku z dużym natężeniem ruchu samochodowego, występują zagrożenia przekraczania dopuszczalnych poziomów stężeń zanieczyszczeń w powietrzu [24].

Zanieczyszczenia powietrza usuwane są głównie poprzez proces suchego osiadania lub wymywania przez opady atmosferyczne. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniem polega na zapobieganiu przekraczania dopuszczalnych stężeń substancji zanieczyszczających w powietrzu i ograniczaniu ilości lub eliminowaniu wprowadzania do powietrza tych substancji [20].

W wyniku wprowadzania do powietrza znacznych ilości zanieczyszczeń przy dużym natężeniu tego zjawiska w niekorzystnych lokalizacjach terenowych i sprzyjających warunkach atmosferycznych (brak wiatru, mgła) powstaje zjawisko smogu. Głównymi składnikami smogu są pyły i gazy:

- a) pył zawieszony PM 2,5
- b) pył zawieszony PM 10
- c) tlenki azotu (NO_x)

- d) dwutlenek siarki (SO_2)
- e) tlenek węgla (CO).

Aż 14 z 33 najbardziej zanieczyszczonych smogiem polskich miast znajduje się w województwie śląskim [20].

Istotą smogu jest zanieczyszczanie powietrza polegające na tym, że rośnie w nim stężenie substancji niekorzystnych dla zdrowia, czemu sprzyja mgła, bezwietrzna pogoda i duża wilgotność. To co w smogu truje najbardziej to tlenki siarki i azotu, ozon, a także węglowodory aromatyczne, z których najbardziej szkodliwy jest benzoalofapiren oraz pyły zawieszane. Jest to zjawisko nienaturalne, o charakterze lokalnym związane z emisją pyłów i gazów na niskiej wysokości (do 40 m). Wprowadzane do powietrza na tej wysokości zanieczyszczenia gromadzą się wokół miejsca emisji, wyrządzając szkody lokalnie. Powstawanie smogu jest ubocznym skutkiem zaspokajania podstawowych ludzkich potrzeb: m.in. ogrzewania mieszkań, utrzymania higieny osobistej, przygotowania posiłków czy komunikacji samochodowej. Najczęściej jest to problem związany z emisją szkodliwych pyłów i gazów powstałych w wyniku nieefektywnego spalania paliw w domach (piece, kominki, indywidualne kotłownie c.o. i c.w.u.) i oraz lokalnych kotłowniach. Najczęstszymi, zidentyfikowanymi przyczynami powstawania niskiej emisji są:

- a) spalanie odpadów w nieprzystosowanych instalacjach,
- b) niewłaściwe prowadzenie procesu spalania (ograniczony dostęp powietrza, zbyt niska temperatura procesu spalania),
- c) niewystarczająca świadomość społeczna dotycząca szkodliwego dla środowiska nieumiejętnego użytkowania domowych źródeł ciepła [18],
- d) aspekt finansowy zaopatrzenia w ciepło.

Odbiorca zainteresowany jest w pozyskaniu ciepła za jak najniższą cenę. Poziom emisji różnych substancji do atmosfery z tego punktu widzenie jest nieistotny. Gdy cena pozyskiwanego ciepła z danego źródła będzie zbyt wysoka, to odbiorca będzie korzystał z innych, tańszych form zaopatrzenia w ciepło.

Smog charakteryzowany jest poprzez pomiar stężenie w powietrzu dwóch rodzajów pyłu – PM 2,5 oraz PM 10. Trudno jest określić, od jakiego momentu stężenie pyłów zawieszonych oznacza jednoznacznie stan smogu. Brak jest w tym zakresie wspólnych, międzynarodowych czy unijnych wytycznych.

Według zaleceń Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dobowe stężenie PM 2,5 nie powinno przekraczać $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a PM 10 – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dyrektywa UE sprzed ponad dziesięciu lat wyznacza jedynie normy stężenia tlenków siarki, azotu i ozonu w powietrzu (za nagminne ich przekraczanie państwom członkowskim mogą grozić kary ze strony Komisji Europejskiej). Jeśli chodzi o sam pomiar smogu (czyli stężenie PM 2,5 oraz PM 10) ogólnoeuropejskich norm nie ma. Kraje same, jeśli chcą, określają granice, po przekroczeniu których miasta powinny poinformować mieszkańców o smogu – tzw. poziom informowania – oraz podjąć działania by mu przeciwdziałać – tzw. poziom alarmowy.

W Polsce poziom informowania dla PM 10 Minister Środowiska określił w rozporządzeniu na $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ średniodobowego stężenia, a poziom alarmowy na $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Warto jednak zauważyć, że ponieważ kraje wprowadzają je na własną rękę, trudno je porównywać. W Wielkiej Brytanii określa się tylko poziom informowania ($101 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a we Francji tylko poziom alarmowy ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). W Szwajcarii zarówno poziom informowania ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), jak i alarmowy ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ogłasza się, gdy smog osiągnie go nie przez jeden, ale przez dwa dni z rzędu i nie ma perspektywy poprawy [5].

Należy też zwrócić uwagę, że poszczególne miasta mogą ustalać niższe limity stężenia pyłu zawieszonego.

Przyjęto się uważać, że głównie za smog w skali kraju odpowiadają przede wszystkim piece w mieszkaniach i kotły, czyli tzw. niska emisja. Pięć lat temu Najwyższa Izba Kontroli opublikowała raport z kontroli jakości powietrza w Polsce, zgodnie z którym za 82–92,8 proc. zanieczyszczeń odpowiedzialna jest niska emisja. Zanieczyszczenia komunikacyjne to 5,4–7 proc., z kolei przemysł to 1,8–9 proc. odpowiedzialności. Czy obarczanie głównie odpowiedzialnością za niską emisję zabudowę mieszkaniową z indywidualnymi instalacjami grzewczymi jest słuszne? Zanieczyszczenia komunikacyjne mają znacznie większy udział, gdyż 7% to pylenie z rur wydechowych, kilkanaście procent to pył z startych opon, klocków i szcęk hamulcowych i współpracujących z nimi elementami układu hamulcowego w samochodach [15]. Pozostała część to pylenie wtórne. W trakcie pisania niniejszego rozdziału nie znaleziono danych, które w sposób jednoznaczny przedstawiłyby udziały źródeł smogu uwzględniające pylenie wtórne. Zapylenie powietrza w centrach dużych miast powodowane przez transport jest zdecydowanie większym problemem niż emisja pyłów z ogrzewania domów. Szacuje się (wg NIK), że odpowiada ono nawet za 80% przekroczeń dopuszczalnych poziomów stężeń zanieczyszczeń powietrza [17].

3. Aktualny stan prawny w zakresie ochrony powietrza i monitorowania jakości paliw stałych

Zgodnie z art. 89 ustawy z dnia 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska (POŚ), ocena jakości powietrza w Polsce oparta jest na klasyfikacji stref w województwie. Taki mechanizm prawny ma na celu utrzymanie dotychczasowej jakości powietrza na obszarach, gdzie jest ona dobra, oraz osiągnięcia standardów jakości powietrza poprzez działania techniczne i organizacyjne tam, gdzie jakość powietrza jest zła. Na mocy art. 96 (nowelizacja ustawy z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska z dnia 12.11.2015 r.) ustawodawca przyznał sejmikowi województwa kompetencję do wprowadzania ograniczeń wykorzystania rodzajów paliw ze względu na zagrożenie dla środowiska, a więc tzw. uchwał antysmogowych [22]. Od czasu tej nowelizacji w następujących województwach doszło do wydania uchwał, których celem jest przeciwdziałanie problemowi niskiej emisji:

- a) województwo małopolskie - 15 stycznia 2016,
- b) województwo śląskie - 1 września 2017,
- c) województwo mazowieckie - 24 października 2017,

- d) województwo łódzkie - 24 października 2017,
- e) województwo dolnośląskie - 30 listopada 2017¹,
- f) województwo wielkopolskie - 18 grudnia 2017²,
- g) województwo podkarpackie - 23 kwietnia 2018,
- h) województwo lubuskie - 18 czerwca 2018³.

Uchwały antysmogowe to nie jedyne akty prawne, mające na celu zmniejszenie lub zapobieżenie negatywnemu oddziaływaniu na zdrowie ludzi lub na środowisko przez zanieczyszczenia powietrza spowodowanego niską emisją. Z początkiem października 2017 r. weszło bowiem w życie rozporządzenie ministra rozwoju i finansów w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe, które wskazuje między innymi wymogi emisyjne dla kotłów o znamionowej mocy cieplnej nie większej niż 500 kW [28]. Rozporządzenie to odnosi się do kotłów, które są wprowadzane do obrotu lub instalowane, ale nie do tych, które są już w użyciu. W zakresie naruszenia regulacji uchwał antysmogowych oprócz funkcjonariuszy Policji grzywny w drodze mandatu karnego mogą nakładać także odpowiednio upoważnieni inspektorzy Inspekcji Ochrony Środowiska (na mocy rozporządzenia Prezesa Rady Ministrów w sprawie nadania inspektorom Inspekcji Ochrony Środowiska uprawnień do nakładania grzywien w drodze mandatu karnego). Nowelizacja ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. o zmianie ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska oraz niektórych innych ustaw, ogłoszona w Dzienniku Ustaw w dniu 3 sierpnia 2018 r. (Dz. U. poz.1479)) znacząco zwiększyła uprawnienia Inspekcji Ochrony Środowiska (IOŚ). Znowelizowane przepisy stanowią, że do zadań IOŚ należy również ściganie przestępstw przeciwko środowisku, określonych w Kodeksie karnym, w ustawie o odpadach oraz wykroczeń określonych w Kodeksie wykroczeń. Będzie ona też mogła wnosić akty oskarżenia. Kontrole IOŚ będą mogły być przeprowadzane przez inspektorów o każdej porze dnia i nocy. Pracownicy IOŚ podczas wykonywania obowiązków służbowych (wykonywanie kontroli) będą posiadać status funkcjonariusza publicznego i podlegać ochronie przewidzianej dla funkcjonariuszy publicznych w Kodeksie karnym. Zmiana przepisów umożliwi IOŚ prowadzenie kontroli planowych i pozaplanowych. Jako pozaplanowe traktuje się kontrole interwencyjne, które będą mogły być wszczęte bez wcześniejszego powiadomienia. Takie kontrole mogą wynikać ze skarg wpływających do Inspekcji czy podejrzenia wystąpienia jakiegoś zanieczyszczenia. Inspektor IOŚ może przez całą dobę skontrolować m.in. nieruchomości, gdzie jest prowadzona działalność gospodarcza, czy samochody, którymi przewożone są odpady. W swoich działaniach inspektorzy IOŚ mogą stosować techniki satelitarne, drony, utrzymywać dźwięk i obraz, ustalać tożsamość osób, żądać okazania dokumentów czy przeprowadzać kontrole pojazdów. IOŚ uzyskała uprawnienia do wydawania decyzji nakazujących natychmiastowe wstrzymanie pracy jakiejś instalacji (np. instalacji

¹ W dniu 30 listopada 2017 Sejmik Województwa Dolnośląskiego przyjął trzy uchwały antysmogowe: dla Wrocławia, uzdrowisk i pozostałego terenu Dolnego Śląska.

² W dniu 18 grudnia 2017 roku Sejmik Województwa Wielkopolskiego przyjął trzy uchwały antysmogowe dla stref: województwo wielkopolskiej, miasto Kalisz i aglomeracja poznańska (obejmującej miasto Poznań).

³ Dnia 18 czerwca 2018 r. Sejmik Województwa Lubuskiego podjął trzy uchwały antysmogowe dla stref: województwa lubuskiego, miasto Zielona Góra oraz miasto Gorzów Wlkp.

cieplnej małej mocy po stwierdzeniu niedozwolonego stosowania jako opału palnych odpadów komunalnych) oraz nakładania kar finansowych. Prezydent RP Andrzej Duda w dniu 07 sierpnia 2018 r. podpisał ustawę o zmianie Ustawy o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw oraz ustawy o Krajowej Administracji Skarbowej, która zakazuje sprzedaży najgorszej jakości węgla: mułów węglowych, flotokoncentratów i różnego rodzaju mieszanek. Ustawa o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw ma pomóc poprawić jakość powietrza. Nowelizacją ustawy wprowadzono dwuletni okres przejściowy dla węgla brunatnego spalane w indywidualnych kotłach grzewczych. Głównym celem nowelizacji jest umożliwienie konsumentom zakupu paliw stałych spełniających wymagania jakościowe dla paliw stałych przeznaczonych do sektora komunalno-bytowego. Nowelizacja wprowadziła przepisy umożliwiające monitorowanie i kontrolowanie jakości paliw stałych, ze szczególnym uwzględnieniem kierowanych do użytku w gospodarstwach domowych i instalacjach spalania o nominalnej mocy cieplnej mniejszej niż 1 MW (rynek komunalno-bytowy). Aby zapobiec wprowadzaniu najgorszych gatunków węgla do obrotu na rynek komunalno-bytowy, nowelizacja wprowadziła obowiązek wydawania świadectwa jakości paliw w momencie ich sprzedaży, jeżeli wspomniane paliwa stałe będą przeznaczone do użycia w gospodarstwach domowych i instalacjach spalania o nominalnej mocy cieplnej do 1 MW. Działania te z mocy ustawy zostały obwarowane sankcjami od finansowych po karne łącznie (ograniczenie wolności) [25].

Uchwały wprowadzają zakazy używania paliw niskiej jakości powodujących intensywną emisję trujących substancji do atmosfery oraz uruchamiają mechanizmy, których celem jest zmiana struktury i sposobu dostarczania energii cieplnej odbiorcom indywidualnym. Do stosowania w instalacjach ciepłych do 1 MW dopuszczono (zgodnie z ustawą o Systemie monitorowania i kontrolowania paliw) [31] wybrane rodzaje paliw stałych w tym ekogroszki węglowe i sortymenty węglowe gruboziarniste. Przejściowo (do 30 czerwca 2020 r.) dopuszczono również miały o ściśle określonych parametrach (rozporządzenie do ustawy) [27]. Uchwały antysmogowe, ale też i inne akty prawne zobowiązują również do systematycznej modernizacji kotłów CO, stawiają wymagania co do efektywności energetycznej nowo budowanych obiektów oraz zachęcają do stosowania dobrych praktyk w podnoszeniu efektywności energetycznej już istniejących budowli i instalacji wytwarzających ciepło użytkowe.

Polska Grupa Górnicza SA już 2016 roku wycofała z sprzedaży detalicznej muły i floty, przygotowując jednocześnie bogatą ofertę paliw węglowych spełniających wymagania obowiązujących przepisów (rozporządzenie do ustawy).

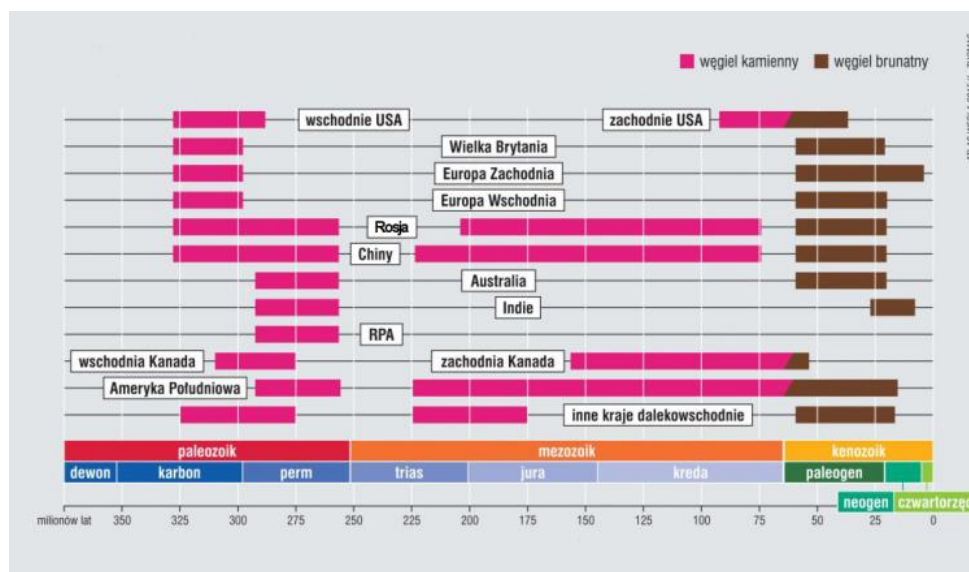
4. Powstanie złóż węgla kamiennego w obszarze Górnego Śląska

Okolo 375 mln lat temu, w okresie dewonu, tereny dzisiejszej Polski pokrywało gorące morze równikowe. Na przełomie dewonu i karbonu silne ruchy górotwórcze określane mianem orogenezy hercyńskiej (waryscyjskiej) doprowadziły okolo 325 mln lat temu do niemal całkowitego ustąpienia morza z obszaru dzisiejszej Polski. Orogeneza waryscyjska spowodowała zasadniczą zmianę paleogeografii obszaru Polski. W jej południowo-zachodniej części powstał orogen waryscyjski obejmujący Sudety i blok przedsudecki wraz z podłożem monokliny przedsudeckiej.



Rys. 1. Mapa paleogeograficzna Ziemi – karbon 310 mln lat temu
(źródło: <http://zywaplaneta.pl/polska-w-przeszlosci-geologicznej/polska-karbon/> [33])

Na jego przedpolu powstało zapadlisko przedgórskie - zapadlisko górnośląskie. Ruchy orogeniczne były wynikiem wielkich kolizji kontynentów. W wyniku kolizji Euroameryki i Gondwany (nastąpiła likwidacja zbiornika wodnego o charakterze oceanicznym – Paleotetydy) powstał ogromny kontynent Pangea (rys. 1). Na granicy pomiędzy Euroameryką i Gondwaną, które były wcześniej samodzielnymi kontynentami, wypiętrzył się ogromny łańcuch górski, którego część znajdowała się na terenie dzisiejszego Dolnego Śląska (Sudety). Towarzyszył temu silny magmatyzm. Powstały wówczas intruzje granitoidowe⁴ Sudetów [karkonoska, strzegomska, strzelińska]. Na zachodnim przedpolu platformy wschodnioeuropejskiej ruchy waryscyjskie spowodowały sfałdowanie skał paleozoiku w regionie świętokrzyskim. Na pozostałym terenie ruchy te miały charakter ruchów wypiętrzających [epejrogenicznych]. Ruchy waryscyjskie spowodowały, że cały obszar Polski w tym czasie stał się łądem, którego południowa część była górzysta i podlegała intensywnej erozji. Polska przekroczyła w karbonie równik i znajdowała się w strefie gorącego klimatu równikowego. To właśnie dlatego na obszarze niecki górnośląskiej mogły powstać bogate lasy karbońskie. Gromadząca się w nich materia organiczna stała się w późniejszym czasie węglem kamiennym. Sprzyjające warunki atmosferyczne strefy równikowej do bujnego rozwoju drzewiastej roślinności powstały na znacznym obszarze łądów karbońskich. Dlatego też w tym okresie powstało najwięcej złóż węgla. Węgiel powstawał również w późniejszych okresach geologicznych dziejów Ziemi (rys. 2).

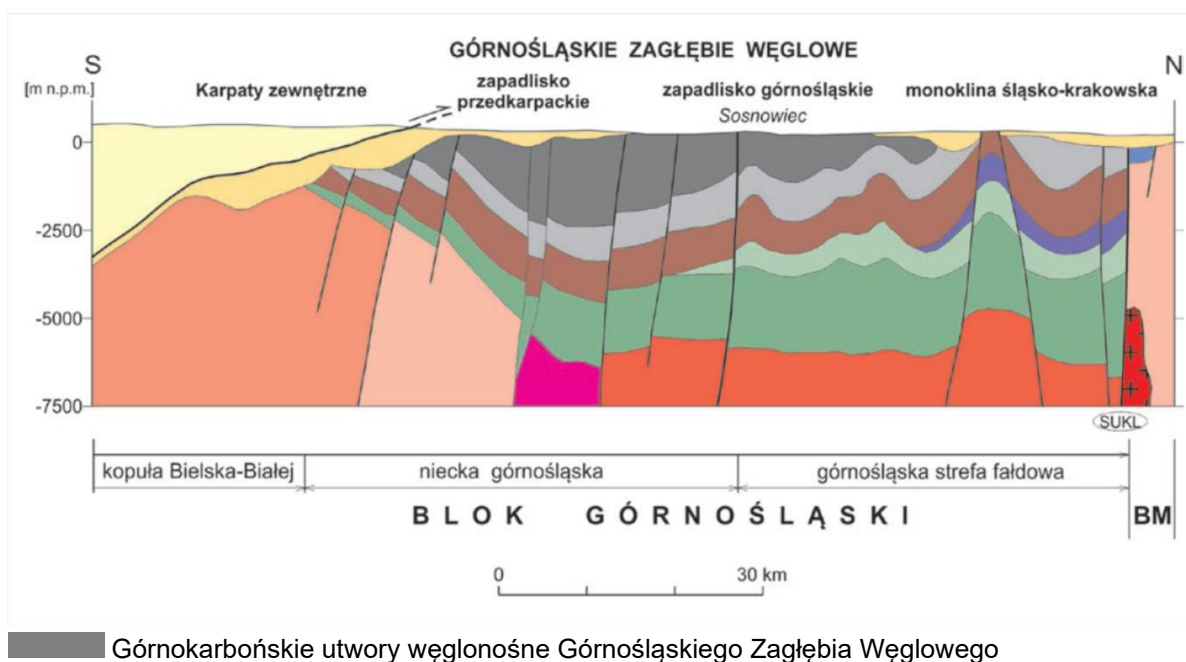


Rys. 2. Okres powstania najważniejszych zasobów węgla kamiennego i brunatnego w Polsce i na Świecie (źródło: opracowanie na podstawie Atlas węgla boell.pdf [9])

⁴ Granitoidy – skały magmowe głębinowe w składzie których jedna z odmian skaleni (skaleni alkaliczne oraz plagioklasy) występują w znaczącej przewadze

Obszar niecki górnośląskiej na przestrzeni milionów lat ulegał stałym przemianom geologicznym. W erze mezozoicznej na obszar północnej i środkowej części województwa na przemian to wkraczały morza, to spłycały się lub wycofywały. W ciepłych wodach mórz, ze szkieletów małży, amonitów, liliowców, ramienionogów i innych organizmów powstały skały osadowe – wapień, dolomity i margle, a na łądach lub w płytkich morzach – piaski, ropy, łupki i inne skały.

Na przełomie kredy i paleogenu niecka górnośląska była w zasięgu głębokiego morza. Z osadzonego na jego dnie materiału mineralnego powstały piaskowce i łupki. W wyniku ruchów górotwórczych orogenezy alpejskiej wypiętrzone zostały Beskidy, a na ich przedpolu powstało wówczas zapadlisko przedkarpackie wypełnione wodami morza obejmujące swym zasięgiem południową część niecki górnośląskiej. Nad istniejącymi już pokładami węgla powstawały nowe warstwy skał nadkładowych z osadzonych tu piasków i ropy. W tym samym czasie północna część województwa śląskiego była już łądem, na którym panował ciepłym i wilgotny klimat. W wyniku trwających jeszcze ruchów tektonicznych formujących Karpaty (orogeneza alpejska) obszar na przedpolu Beskidów, aż po południową część Wyżyny Śląsko-Krakowskiej został pocięty uskokami, wzdłuż których doszło do przemieszczeń podłoża skalnego i w konsekwencji do wykształcenia się rzeźby zrębowej [6]. Skutkiem tych przemian, powstałe w okresie karbonu pokłady węgla w niecce górnośląskiej zostały silnie pocięte uskokami (rys. 3).



Rys. 3. Przekrój geologiczny przez blok górnośląski oraz Górnośląskie Zagłębie Węglowe (wg Z. Buły i in. 2008, ze zmianami) (źródło: opracowanie na podstawie [3])

5. Ekologiczne paliwa węglowe PGG SA

Pokłady węgla powstałe w okresie karbonu na obszarze województwa śląskiego eksploatuje między innymi PGG SA oraz JSW SA i Tauron Wydobycie. PGG SA od samego początku swojego istnienia postawiła na produkcję wysokojakościowego węgla dostosowanego do aktualnych i perspektywicznych wymagań rynku. Pierwszą decyzją wspierającą działania samorządów w zakresie ochrony powietrza było wycofanie ze sprzedaży dla gospodarstw domowych mułków i flotokoncentratów. Jednocześnie przystąpiono do zmian organizacyjnych mających na celu zwiększenie produkcji ekologicznych paliw węglowych. Aby zdynamizować efektywność produkcji i sprzedaży paliw dla gospodarstw domowych i instalacji o mocy cieplnej do 1 MW dokonano zmian w kreowaniu strategii produktowej.

Nowa strategia produktowa została oparta na sześciu głównych kierunkach działań. Każde z tych działań ma charakter zmienny odpowiadający potrzebom rynku i uwarunkowaniom formalno-prawnym w zakresie ochrony powietrza. Przyjęte kierunki są na bieżąco analizowane i mogą zostać skorygowane odpowiednio do bieżących potrzeb sprzedaży węgla [25].

Główne kierunki działań:

- a) wyodrębnienie grup kopalń ze względu na eksploatowany typ węgla, jego naturalne właściwości użytkowe oraz główne zastosowanie,
- b) przyjęcie planowania rodzaju i jakości produkcji węgla handlowego w ujęciu perspektywicznym w oparciu o dane geologiczne i wynikające z tego przewidywane właściwości użytkowe,
- c) doskonalenie technologii i stabilizacja jakości już produkowanych sortymentów oraz dostosowywanie ich parametrów użytkowych do potrzeb odbiorców i obowiązujących norm,
- d) wprowadzanie nowych rozwiązań organizacyjnych i technologicznych w posiadanych zakładach przerobczych w zakresie dostosowywania produkowanych sortymentów węglowych do potrzeb rynku paliw stałych,
- e) stały monitoring rynku paliw stałych w zakresie popytu i podaży z szczególnym uwzględnieniem paliw ekologicznych i uwarunkowań prawnych,
- f) współpraca z instytucjami naukowo-badawczymi w branży przeróbki węgla kamiennego w zakresie analiz i oceny perspektyw funkcjonowania zakładów przeróbki mechanicznej w odniesieniu do aktualnej i przewidywanej sytuacji rynku paliw stałych w Polsce i na świecie [25].

W wyniku stosowania nowej strategii produktowej w połowie 2018 roku oddano do użytku zmodernizowaną linię produkcyjną ekogroszku w zakładzie przerobczym KWK ROW Oddział Chwałowice. W wyniku wprowadzonych zmian, zakład przerobczy Chwałowice stał się wiodącym producentem ekogroszku Pieklorz. Docelowo zakład ten może wyprodukować około 1 mln ton ekogroszku rocznie. Jest to rozwiązanie unikatowe i innowacyjne, nie spotykane do tej pory nigdzie w kraju i na świecie. Technologia ta jest koncepcją opracowaną przez kadrę specjalistów Polskiej Grupy Górniczej S.A.

Od dnia 01 lipca 2018 r. w Woli (koło Bierunia) funkcjonuje Zakład Produkcji Ekopaliw. Inwestycja pozwoli na zwiększenie dostępnego wolumenu węgla ekologicznych i ich stabilizację jakościową, a także na dostosowanie tworzonych paliw do wymagań rynkowych i obowiązujących aktów prawnych w zakresie ochrony powietrza. ZPE Wola jest zakładem unikatowym w skali kraju. Podobnie jak koncepcja nowej technologii zakładu przerobczego Chwałowice, koncepcja ZPE WOLA została opracowana i wdrożona przez kadrę specjalistów PGG SA. Dokonane zmiany organizacyjne pozwoliły na wdrożenie do produkcji nowego ekopaliwa - ekogroszku Karlik, którego docelowa produkcja jest obecnie planowana na około 600 tys. ton rocznie oraz ekomiału Greenpal [2]. Planowane są dalsze zmiany rozwojowe ZPE WOLA. Zakład Produkcji Ekopaliw Wola będzie zakładem unikatowym w skali kraju ponieważ na jego terenie będzie można w płynny sposób dostosować ofertę produktową do dynamicznie zmieniających się potrzeb rynku. Dodatkowo, w sposób koncepcyjny będzie można prowadzić na jego terenie produkcję oraz badania nad najnowszymi rozwiązaniami w zakresie produkcji różnorodnych paliw stałych. Zakład Produkcji Ekopaliw Wola będzie miejscem strategicznym dla PGG w ramach zaspokajania potrzeb klientów indywidualnych, a także miejscem, w którym będzie można przeprowadzać testy i badania pozwalające na stworzenie bezpiecznych ekologicznie paliw stałych. Będzie to unikalny zakład wytwórczy ekopaliw z zaimplementowaną funkcjonalnością o charakterze ośrodka badawczo-rozwojowego. Takie rozwiązanie organizacyjne spowoduje zwiększenie efektywności produkcyjnej oraz szybkość reakcji na potrzeby rynku paliw stałych i potrzeby ochrony powietrza. W ofercie produkcyjnej węgla PGG SA ok 95 % stanowi węgiel energetyczny. Zakłady przerobcze oferują również produkowany węgiel w formie klasycznych sortymentów takich jak: kostka, orzech, groszek i miały (Tabela 1).

Podstawowe sortymenty [źródło: opracowanie własne]

Tabela 1.

Sortymenty podstawowe			Klasa zbytu Q^f_i [MJ/kg]
Grupa sortymentowa	Symbol	Opis	
Grube	Ko	Kostka (63 - 200mm)	25 - 30
	O I	Orzech I (40 - 80mm)	28 - 30
	O II	Orzech II (25 - 50mm)	28 - 30
	O	Orzech (25 - 80mm)	25 - 30
Średnie	Gk II	Groszek II (8 - 25mm)	28 - 30
	Gk	Groszek (8 - 31,5mm)	24 - 30
	Gk 5-25	Groszek 5-25 (5 - 25mm)	23 - 28
Miały	M I	Miał I (0 - 31,5mm)	19 - 30
	M II	Miał II (0 - 20mm)	18 - 30
	M III	Miał III (0 - 6mm)	18 - 19

W związku z potrzebą ochrony powietrza oraz stosowania wymagań jakościowych dla paliw węglowych określonych w rozporządzeniu w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych (Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 27 września 2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych, Dz.U. 2018 poz. 1890) [27] PGG SA przygotowała ofertę specjalną dla odbiorców dla gospodarstw domowych i instalacji o mocy cieplnej do 1MW. Poza tradycyjnym sposobem sprzedaży PGG SA oferuje niektóre produkty w ofercie internetowej. Obecnie są to ekogroszki Pieklorz i Karlik oraz ekomiął Greenpal (Tabela 2).

Sortymenty ekologiczne PGG SA zgodne z rozporządzeniem w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych [27] [źródło: opracowanie własne]

Tabela 2.

Sortymenty ekologiczne ⁵			Klasa zbytu Q _i [MJ/kg]
Grupa sortymentowa	Symbol/Nazwa	Opis/Konfekcjonowanie ⁶	
Grube	Ko	Kostka	25 - 30
	O I	Orzech I	28 - 30
	O II	Orzech II	28 - 30
	O	Orzech	25 - 30
	O-Sośnica	Orzech Sośnica	min. 29
Średnie	Gk	Groszek (8 - 31,5mm)	24 - 30
	Gk II	Groszek II (8 - 25mm)	28 - 30
	Gk 20-40	Groszek (20 - 40mm)	24 - 30
	Gk 5-25	Groszek 5-25 (5 - 25mm)	23 - 28
	Groszek II Wesoła	Gk II Wesoła	min. 28
	Wujek-Ekogroszek	Wujek Eko-Gk	min. 28
	Retopal-Ekogroszek	Retopal Eko-Gk	min. 24
	Retopal-Ekogroszek	Retopal Eko-Gk	min. 25
	Karlik-Ekogroszek	Karlik Eko-Gk	min. 26
	Karlik-Ekogroszek Worek	Karlik Eko-Gk W	min. 26
	Karlik-Ekogroszek Big-Bag	Karlik Eko-Gk BB	min. 26
	Retopal-Ekogroszek	Retopal Eko-Gk	min. 24
	Retopal-Ekogroszek Worek	Retopal Eko-Gk W	min. 24
	Retopal-Ekogroszek Big-Bag	Retopal Eko-Gk BB	min. 24
Pieklorz-Ekogroszek	Pieklorz-Gk	min. 26	

⁵ Oferta ekologicznych sortymentów spełniających wymagania Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 27 września 2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych, Dz.U. 2018 poz. 1890 Na podstawie art. 3a ust. 2 ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw (Dz.U. z 2018 r. poz. 427, 650, 1654 i 1669)

⁶ Oznaczenie „W” – sortyment pakowany w worki po 25 kg netto, „BB” sortyment pakowany w worki typu big-bag po 1000 kg netto, brak dodatkowego oznaczenia – sprzedaż sortymentu luzem.

Sortymenty ekologiczne ⁵			Klasa zbytu Q _f [MJ/kg]
Grupa sortymentowa	Symbol/Nazwa	Opis/Konfekcjonowanie ⁶	
Miały	M II	Greenpal-Ekomiął	min. 24
	M II	Greenpal-Ekomiął BB	min. 24
	M II	Miał II	min. 23

Wymienione w Tabeli 2 ekologiczne sortymenty spełniające wymagania w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych produkowane są w Oddziałach PGG SA [16]:

KWK Murcki-Staszic,

KWK Mysłowice-Wesoła,

KWK Piast-Ziemowit Ruch Piast-Bieruń,

KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit,

KWK ROW Ruch Chwałowice,

KWK ROW Ruch Jankowice,

KWK ROW Ruch Marcel,

KWK ROW Ruch Rydułtowy,

KWK Ruda Ruch Bielszowice,

KWK Ruda Ruch Halemba,

KWK Sośnica,

KWK Wujek,

Zakład Produkcji Ekopaliwa.

W zakresie sortymentów średnich produkowane są również sortymenty ekologiczne klasy premium. Są to specjalnie przygotowane paliwa węglowe do zastosowania w automatycznych kotłach podajnikowych. Połowa województw wprowadziła już uchwały antysmogowe określając między innymi rodzaje paliw węglowych jakie można stosować przede wszystkim w gospodarstwach domowych. Uchwały antysmogowe przewidują wymianę w określonym czasie indywidualnych kotłów CO na urządzenia odpowiednio nowszych typów. Od dnia 1 lipca 2018 w oparciu o Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 1 sierpnia 2017 r. w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe obowiązuje zakaz wprowadzania do obrotu kotłów CO w klasy niższej niż „5”. W konstrukcji kotłów zakazano stosowania rusztu awaryjnego.

Aby skutecznie wpłynąć na poprawę jakości powietrza szczególnie w większych skupiskach indywidualnych gospodarstw domowych PGG SA przygotowało ofertę sortymentów ekogroszku klasy premium dedykowanych specjalnie do indywidualnych automatycznych kotłów CO. Po roku 2028 zgodnie z obowiązującymi przepisami wszystkie indywidualne kotły CO powinny spełniać wymagania kotłów klasy min 5. Oznacza to, że jedynym paliwem węglowym dopuszczonym do indywidualnego spalania będą odpowiedniej jakości sortymenty średnie - ekogroszki. Od 30 czerwca 2020 roku zgodnie z rozporządzeniem Ministra Energii z dnia 27 września 2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych (§ 4) zostaną wycofane z sprzedaży dla odbiorców z rynku komunalno-bytowego (gospodarstwa domowe i instalacje spalania o nominalnej mocy cieplnej mniejszej niż 1 MW). Ekstensywna forma ochrony powietrza poprzez selekcjonowanie paliw węglowych ma ograniczone możliwości efektywności. Właściwości węgla kamiennego jako paliwa naturalnego zostały uwarunkowane długotrwałymi procesami geologicznymi trwającymi miliony lat. Biorąc pod uwagę aktualne wymagania ochrony środowiska, w tym szczególnie jakości powietrza, produkowane przez PGG SA sortymenty ekologiczne mogą być stosowane bez żadnych ograniczeń jako paliwo w indywidualnych kotłach CO i instalacjach ciepłowniczych do 1 MW. Są one dziś szczególnie polecane do automatycznych kotłów klasy 5 i pojawiających się już w ofercie rynkowej kotłów klasy ECODESIGN. Możliwość selekcji paliw węglowych pod kątem ochrony powietrza na drodze znanych dzisiaj metod przeróbki osiąga swoje maksimum. Oczekiwania w tym zakresie idą w kierunku coraz nowszych i doskonalszych konstrukcji kotłów, w których można stosować jako opał ekosortymenty. Biorąc pod uwagę możliwe do uzyskania parametry użytkowe paliw węglowych z względu na rodzime własności węgla w pokładach intensyfikacja ochrony powietrza i jej postęp jest obecnie możliwy na drodze doskonalenia technologii spalania paliw węglowych poprzez wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań w konstrukcjach kotłów CO. Zasoby węgla kamiennego w skali Europy, jak i Świata jako potencjalnego źródła energii są bardzo duże i ekonomicznie znaczące.

Wychodząc naprzeciw zmieniającej się sytuacji środowiskowej zostały wprowadzone wymogi klasy 5 według EN 303-5-2012 oraz Ekoprojektu zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w oparciu o dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE dotyczącą kotłów na paliwa stałe [26]. Od 2014 roku nowe kotły węglowe wprowadzane na polski rynek muszą spełniać kryteria normy PN-EN 303-5:2012 [21]. Kryteria te dotyczą emisji tlenku węgla, substancji smolistych, pyłów oraz ustalają minimalną wymaganą sprawność nie tylko przy pracy na pełnej mocy, ale także dla 30% mocy nominalnej. Uregulowania prawne w postaci norm klasy 5 w kotłach na paliwa stałe, a także wprowadzenie początkowo zakazu produkcji, a następnie sprzedaży kotłów zasypowych tzw. śmieciuchów, wpłynęły na poprawę jakości powietrza. Jednakże należy mieć świadomość, że sprawność kotła i jego klasa jest jedynie jedną ze składowych, które wpływają na niską emisję. Nierozzerwalnie z procesem spalania związane jest źródło ciepła i jego jakość. Jakość paliwa w postaci węgla w znaczącym stopniu wpływa na efektywność spalania, procesy zachodzące w kotle i emisję zanieczyszczeń do atmosfery.

6. Prezentacja materiału badawczego

Autorzy zdecydowali się na przeprowadzenie analizy procesu spalania w oparciu o dwa rodzaje węgla przeznaczonych do spalania w indywidualnych gospodarstwach domowych. Polska Grupa Górnicza SA dostarczyła węgiel: Karlik - Ekogroszek Worek oraz Retopal – Ekogroszek Worek. Parametry użytych paliw stałych przedstawia Tabela 3.

Zestawienie parametrów paliw stałych
[źródło: własne opracowanie na podstawie karty produktu]

Tabela 3.

Parametry	Karlik Ekogroszek	Retopal Ekogroszek
Zawartość popiołu	3,0% ÷ 9,0%	5% ÷ 10%
Zawartość części lotnych	32% ÷ 40%	38% ÷ 41%
Wartość opałowa MJ/kg	26,000 ÷ 27,999	24,000 ÷ 25,999
Wymiar ziarna	6,0 mm ÷ 25 mm	6,0 mm ÷ 25 mm
Zawartość wilgoci	5,0% ÷ 12%	9% ÷ 15%

W celu ujednoczenia warunków spalania, węgle zostały spalane w Laboratorium Rzeczywistego Spalania Paliw Stałych działającego w strukturze Badania + Rozwój, przy użyciu kotła Eko Budmet Nocoń o mocy 25 kW. Każda próba surowca w ilości około 700 kg. została spalona w kotle Eko Budmet Nocoń (rys. 4) Kocioł został przebadany przez akredytowaną jednostkę badawczą i spełnia wymogi klasy 5 według EN 303-5:2012 oraz ekoprojektu według Rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwa stałe [26]. Dane techniczne kotła zostały przedstawione w Tabeli 4.



Rys. 4. Kocioł Eko Budmet Nocoń

**Dane techniczne kotła Eko Budmet Nocoń
w odniesieniu do Rozporządzenia (UE) 2015/1189 [26]**

Tabela 4.

Parametr	Jednostka	Kryteria 2015/1189	Wyniki badań
Sezonowa efektywność	%	≥ 77	84
Emisja OGC	mg/m ³	≤ 20	2
Emisja CO	mg/m ³	≤ 500	422
Emisja NO _x	mg/m ³	≤ 350	319
Emisja pyłu	mg/m ³	≤ 40	17

7. Wyniki badań

W trakcie procesu spalania były prowadzone analizy przy użyciu analizatora spalin Testo 330LL. Każdorazowe pomiary wyników badań zostały zarejestrowane a ich zestawienie prezentują Tabele 5 i 6.

Parametry podczas spalania ekogroszku Retopal [źródło: opracowanie własne]

Tabela 5.

PARAMETRY	PRÓBA I	PRÓBA II	PRÓBA III
Czas podawania	12 s	12 s	12 s
Czas przerwy	40 s	40 s	40 s
Moc dmuchu	10%	30%	50%
Temp. spalin	~108°C	~150°C	~200°C
Sprawność	~ 92%	~ 89%	~ 83%
Ciąg kominowy	~15 Pa	~15 Pa	~15 Pa
Temp. otoczenia	20°C	20°C	20°C
ppm CO	786	356	495

Ekogroszek Retopal jest ekologicznym węglem powszechnie dostępnym na składach opału. Podczas badań podjęto i zarejestrowano trzy próby analizy procesu spalania. Parametry w postaci: czasu podawania paliwa, przerwy w podawaniu niniejszego paliwa,

ciągu kominowego oraz temperatury otoczenia pozostawały bez zmian. W obrębie sterownika kontrolowanej zmianie ulegał jedynie parametr – moc dmuchu. Jest to wielkość mówiąca o procentowej wydajności wentylatora – 10% (próba I), 30% (próba II), 50% (próba III). Wraz ze wzrostem mocy dmuchu, czyli ilości dostarczonego do procesu spalania powietrza, zmieniała się sprawność kotła, czyli efektywność procesu spalania. Sprawność kotła wynosiła kolejno 92% dla próby I, 89% dla próby II i 83% dla próby III.

Analizator spalin zarejestrował także zmieniającą się emisję ppm CO. Wyniki I i III próby ukazują bardzo duże przekroczenia dopuszczalnej emisji ppm CO, dając kolejno wyniki 786 przy I próbie i 495 przy próbie III. Najbardziej korzystnie wypada analiza opisana w II próbie. Wysoka sprawność kotła na poziomie 89% przy jednoczesnej temperaturze spalin około 150°C i wartości ppm CO 356. Stałość parametrów w postaci czasu podawania i czasu przerwy gwarantuje wiarygodność każdorazowej próby. Badaniu podlegał wpływ powietrza i tlenu na efektywność procesu spalania a stałość pozostałych parametrów tylko potwierdził istotność czynnika jakim jest moc dmuchu.

**Parametry podczas spalania ekogroszku Karlik
[źródło: opracowanie własne]**

Tabela 6.

PARAMETRY	PRÓBA I	PRÓBA II	PRÓBA III
Czas podawania	10 s	10 s	10 s
Czas przerwy	45 s	45 s	45 s
Moc dmuchu	10%	23%	45%
Temp. spalin	~ 95°C	~128°C	~175°C
Sprawność	~ 91%	~ 88%	~ 84%
Ciąg kominowy	~14 Pa	~14 Pa	~15 Pa
Temp. otoczenia	21°C	20°C	20°C
ppm CO	384	270	470

Ekogroszek Karlik jest produktem dedykowanym do spalania w kotłach 5 klasy i w kotłach z certyfikatem Ecodesign. Podobnie jak w przypadku węgla Retopal również zarejestrowano trzy próby analizy procesu spalania. Każdorazowo kilka parametrów pozostawało bez zmian. Czas podawania paliwa na pokład rusztu wynosił 10 sekund a przerwa w podawaniu paliwa wynosiła 45 sekund. Podobnie wyglądała sytuacja w odniesieniu do ciągu kominowego

(pomiar wahał się pomiędzy 14 Pa a 15 Pa) oraz temperatury otoczenia tj. temperatury w pomieszczeniu, w którym znajdował się kocioł Eko Budmet Nocoń.

W procesie spalania węgla Karlik moc dmuch wynosiła kolejno 10% dla próby I, 23% dla próby II oraz 45% dla próby III. Wraz ze wzrostem ilości dostarczonego powietrza wzrastał także temperatura spalin wynosząc kolejno 95°C dla próby I, 128°C dla próby II oraz 175°C dla próby III. Sprawność kotła, a także wartość ppm CO stały się parametrami zmiennymi i uzależnionymi od procentowego udziału dostarczonego powietrza do paleniska. Wysoka sprawność kotła w I próbie (91%) dała jednocześnie stosunkowo wysoki pomiar niekorzystnych emisji ppm CO – 384. Najniższa sprawność kotła podczas próby III dała jednocześnie pomiar ppm CO na poziomie 470. Najbardziej korzystne pomiary procesu spalania miały miejsce podczas II próby. Przy zastosowaniu 23% mocy dmuchu, sprawność kotła osiągnęła wynik 88% przy jednoczesnej emisji ppm CO w ilości 270.

8. Dyskusje

Czynnikiem warunkującym wysoką efektywność i ekologiczność procesów spalania są zmienne zastosowane podczas samego procesu spalania. Niewątpliwie, niezwykle ważnym czynnikiem jest tlen. Tlen jest niezbędny w każdym procesie spalania. Nawet niewielkie zwiększenie stężenia tlenu może wywrzeć ogromny wpływ na kontrolę strefy spalania i pracę pieca. Odpowiednie dobrane parametry, jak podawanie powietrza a co za tym idzie tlenu, w znaczącym stopniu usprawnia proces spalania w piecach wszystkich typów. Tlen usprawnia również spalanie wszystkich paliw, zapewniając lepsze kontrolowanie stref spalania, wyższą stabilność pieca i niższy poziom emisji. Zwiększanie stężenia tlenu w komorze spalania poprzez dodawanie względnie czystego tlenu powoduje wzrost temperatury płomienia, poprawę transferu ciepła i ogólne zwiększenie wydajności spalania. Rysunek 5 obrazuje wielkość i kolor płomieni przy zbyt dużej ilości powietrza (A), przy zbyt małej ilości powietrza (B), oraz optymalnej ilości tlenu (C).

Podjęte badania dotyczące wpływu ilości tlenu na proces spalania pozwalają wyodrębnić najbardziej optymalny poziom powietrza (tlenu), który w znaczący sposób usprawnia proces spalania przy jednoczesnym zachowaniu najniższej emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Poznanie takich parametrów umożliwia efektywniejsze wykorzystanie źródła paliwa i znacząco przyczynia się do ograniczenia niskiej emisji.



Rys. 5. Obraz płomieni podczas spalania ekogroszku (źródło: opracowanie na podstawie [7])
A – Zbyt duża ilość tlenu, B – Zbyt mała ilość tlenu, C – Optymalna ilość tlenu

Wyniki z przeprowadzonych badań dotyczących procesu spalania dwóch paliw węglowych, potwierdzają lepsze parametry ekogroszku Karlik. Węgiel ten ma wyższą kaloryczność, mniejszą zawartość popiołu oraz części lotnych, co w znaczącym stopniu wpłynęło na lepsze wyniki w procesie spalania. Próba II, która jest próbą optymalną, ograniczyła emisję ppm CO do ilości 270 przy zachowaniu jednoczesnej sprawności kotła na poziomie 88%. Praca wentylatora dostarczającego dmuch (powietrze) w ilości 23% spowodowała, że temperatura spalin osiągnęła 128°C. Taka wysokość temperatury spalin jest korzystna dla kanału dymnego szczególnie w tradycyjnym budownictwie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych. Konstrukcja kanałów dymnych w ówczesnych budynkach uniemożliwia zainstalowanie wkładu kominowego, który znacząco zawęziłby średnicę komina. Obecnie konieczne jest dostosowanie przewodu dymnego do przewidywanego źródła ciepła już na etapie projektowania budynku. Przy zastosowaniu paliw stałych wymagany jest przekrój od $\phi 160$ do $\phi 200$. Wybór kanału dymnego ma bardzo duży wpływ na stężenie pyłów w spalinach. Nieprawidłowo dobrana średnica przewodu kominowego (za mała lub zbyt duża) powoduje wzrost sadzy niezależnie od zastosowanego kotła [4].

Zarówno ekogroszek Retopal, jak i ekogroszek Karlik dostosowane są do spalania w kotłach na paliwa stałe z zestawem podającym. Pomimo przystosowania pod względem wielkości ziarna (6,0 mm ÷ 25 mm) zaobserwowano różnicę w procesie spalania pomiędzy tymi ekogroszkami.

Badania procesu spalania, węgla ogólnie dostępnego na składach opałowych (Retopal) oraz węgla dedykowanego do kotłów 5 klasy i Ecodesign, prezentowane w niniejszym rozdziale, potwierdzają wpływ wartości kalorycznej, zawartości części lotnych oraz popiołu na efektywność procesu spalania. Innymi czynnikami, które mają olbrzymie znaczenie dla spalania są czas dmuchu, temperatura spalin oraz sprawność kotła. Przeprowadzone badania dowodzą, że prawidłowo dobrane parametry spalania gwarantują wysokoefektywne i niskoemisyjne spalanie ekogroszku.

9. Podsumowanie

Proponowanie rozwiązań pozyskiwania energii z źródeł odnawialnych jest jak najbardziej słuszne. Podstawową wadą źródeł energii odnawialnej jest ich zależność od warunków naturalnych oraz brak możliwości taniego jej magazynowania na dużą skalę. Zmienny klimat panujący w naszym kraju powoduje niestabilność w wytwarzaniu tego rodzaju energii. Główne gałęzie gospodarki każdego kraju wymagają stałych, stabilnych i ciągłych dostaw odpowiedniej ilości energii. Energetyka jądrowa poza swoimi oczywistymi zaletami posiada również szereg wad. Między innymi reaktory jądrowe wymagają intensywnego chłodzenia, co przy obserwowanych tendencjach wzrostu temperatury otoczenia, szczególnie w okresie letnim, może być utrudnione lub nawet pochłaniać dodatkowo energię. Ponadto, w przypadku awarii może dojść do silnego negatywnego oddziaływania na środowisko (Three Mile Island, Czarnobyl, Fukushima). Chociaż prawdopodobieństwo takiego zdarzenia w przypadku

elektrowni atomowych jest małe, skutki wystąpienia awarii jądrowej i jej oddziaływania na środowisko mogą być bardzo intensywne i trudne do oszacowania. W USA, 28 marca 1979 r. doszło do jednej z najgroźniejszych awarii elektrowni jądrowej. Na skutek wypadku w elektrowni atomowej Three Mile Island w hrabstwie Dauphin w Pensylwanii, niedaleko Harrisburga doszło do częściowego stopienia reaktora nr 2. Na skutek zdarzenia nastąpiło skażenie promieniotwórcze. Nastąpiło uwolnienie do środowiska radioaktywnych gazów i jodu radioaktywnego. Był to najbardziej znaczący wypadek w historii amerykańskich komercyjnych elektrowni jądrowych [2]. Incydent został oceniony na pięć punktów w siedmiopunktowej Międzynarodowej Skali Nuklearnej: wypadek z szerszymi konsekwencjami [30,15].

Prace porządkowe po awarii rozpoczęły się w sierpniu 1979 r., a oficjalnie zakończyły się w grudniu 1993 r. Całkowity koszt dekontaminacji wyniósł około 1 miliarda dolarów [34]. Od czasu tego zdarzenia w USA nie podjęto budowy nowych elektrowni jądrowych o zastosowaniach komercyjnych. Energetykę zdominowały elektrownie węglowe. Węgiel jako paliwo i technologie jego stosowania są obecnie jednym z najstabilniejszych źródeł energii, a zarazem jednym z najtańszych. Zastosowane nowoczesne technologie zminimalizowały uciążliwość wielkiej energetyki węglowej dla środowiska, jednocześnie pozwalając na rozwój sieciowych źródeł ciepła. Pomimo tego, nie jest możliwe dostarczenie tego typu ciepła wszystkim odbiorcom, szczególnie w sektorze komunalno-bytowym.

Problem powszechności dostępu dotyczy również odnawialnych źródeł energii. Stąd też wynika uzasadniona potrzeba stałego udoskonalania konstrukcji indywidualnych kotłów CO, mając na uwadze wzrost ich efektywności energetycznej i ograniczenia szkodliwej emisji.

Węgiel kamienny z swej natury jest paliwem pochodzenia naturalnego. Jego skład i właściwości zostały zdeteminowane przez materiał z którego powstał. Tak węgiel, jak i w najogólniejszym pojęciu drewno są naturalnymi materiałami opałowymi. W stosunku do drewna, węgiel jest dużo efektywniejszym energetycznie paliwem stałym. Produkowane paliwa węglowe, a szczególnie ekologiczne sortymenty posiadają wilgoć roboczą nie przekraczającą 12-15 % i charakteryzuje się bardzo dużą stabilnością parametrów użytkowych, podczas gdy preferowane w ostatnich latach drewno jako ekologiczny materiał opałowy zalecane do spalania posiada wilgotność całkowitą 12% - 20% przy stosunkowo niskiej stabilności i dużej wrażliwości na otoczenie (drewno ze swej natury podatne jest na wchłanianie wilgoci). Aby osiągnąć dla drewna żądaną wilgotność roboczą, musi być ono sezonowane (naturalnie suszone) przez okres 1,5 – 2 lat. Wilgoć zawarta w drewnie opałowym jest zjawiskiem niekorzystnym. Nadmierna zawartość wilgoci wpływa na obniżenie wartości opałowej spalnego paliwa i znaczne zwiększenie szkodliwej emisji. Zawartość wilgoci w paliwie węglowym na poziomie 2-14% ma bardzo korzystny wpływ na proces jego spalania. Wiąże się to z katalitycznym działaniem pary wodnej przy spalaniu nadmiernej ilości części lotnych oraz spulchniającym jej oddziaływaniem na warstwę węgla (szczególnie dla węgla typów 31 i 32). Zawartość popiołu w paliwie jest postrzegana jako czynnik pogarszający własności użytkowe, lecz jego nieduża ilość w spalonym paliwie węglowym ma korzystne znaczenie dla trwałości retort i stanowi naturalną warstwę ochronną miejsca spalania [29].

W przekazanych do badań ekopaliwach Karlik i Retopal specjaliści PGG SA optymalnie dobrali parametry użytkowe wykorzystując naturalne własności wydobywanych i przetwarzanych węgla. Zostały one zoptymalizowane pod kątem efektywności energetycznej i ekologicznej w trakcie ich stosowania w kotłach automatycznych klasy 5 i Ecodesign. Przeprowadzone badania przedstawionych paliw ekologicznych w innowacyjnym kotle Eko Budmet Nocoń wykazały, że ekogroszki produkowane w ZPE Wola PGG SA mogą być użytkowane jako paliwo ekologiczne na równi z preferowanym do automatycznych kotłów peletem drzewnym. Biorąc pod uwagę naturalne własności węgla, nie ma już większych technologicznych możliwości w zakresie regulowania parametrów jakościowych produkowanych paliw stałych. Bariery w tym zakresie są rodzime parametry węgla w pokładach będących wynikiem metamorfizmu geologicznego. Badania wykazały jednak, że istnieje bardzo duży potencjał w zakresie modyfikacji parametrów kotłów służących do jego spalania. Wyniki wykonanych prób wskazały, że zastosowanie odpowiednich rozwiązań w zakresie konstrukcji i oprogramowania może spowodować znaczne obniżenie szkodliwej emisji. Stwierdzone parametry emisji były zdecydowanie niższe od dopuszczalnych. Wykazano przy tym, że niezwykle istotne dla efektywnej pracy kotła jest zapewnienie właściwych, stabilnych parametrów procesu spalania, w tym właściwą ilość powietrza i zawartość tlenu w spalinach. Ekosortymenty PGG SA: Karlik i Retopal, wyprodukowane z wydobywanego przez Spółkę węgla kamiennego, jako paliwo stałe pochodzenia naturalnego jest w pełni wartościowym paliwem ekologicznym. Jest to niezaprzeczalny dowód, że producent paliw węglowych dba o środowisko naturalne i jakość powietrza. Dzięki innowacyjnej konstrukcji kotła Eko Budmet Nocoń zastosowanie paliwa węglowego, jako w pełni ekologicznego, stało się technicznie możliwe, co wykazały przeprowadzone testy.

Literatura

1. Backgrounder on the Three Mile Island Accident. Nuclear Regulatory Commission. Retrieved March 6, 2018
2. Cebo W.: Aktualny stan oraz główne kierunki rozwoju przeróbki węgla kamiennego w Polskiej Grupie Górniczej sp. z o.o., Inżynieria Mineralna z. 2(40), Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalni, Kraków; 2017, s. 47
3. Chybiorz R., Krawczyński W., Szeleg E., Tyc A., Włodyka R.: Dziedzictwo geologiczne i geomorfologiczne województwa śląskiego, 2015
4. Drożdżol K., Jarzyński P.: Impact of chimney on low emission, [dostęp online: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2018/33/mateconf_ecce2018_01023/mateconf_ecce2018_01023.html], 2018
5. Dybalski J.: Skąd się bierze smog i jak bardzo winne są auta? [dostęp online: <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/skad-sie-bierze-smog-i-jak-bardzo-winne-sa-auta-53970.html>], 2017
6. Hibszer A., Kubica A.: Historia zapisana w skalach i krajobrazie, w: Platforma Edukacji Regionalnej "Eduś", Instytut Badań Regionalnej Biblioteki Śląskiej [dostęp online: <http://edus.ibrbs.pl/historia-zapisana-w-skalach-i-krajobrazie/>] 2015

7. Jach – Nocoń M., Jelonek I.: Wpływ tlenu na efektywność procesu spalania w kotłach 5 klasy na paliwa stałe, XXVIII Konferencja Aktualia i Perspektywy Gospodarki Surowcami Mineralnymi, Ryto 2018, poster
8. Jureczka J. i inni: Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, Państwowy Instytut Geologiczny i Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2005
9. Kassenberg A., Wilczyński M.: redakcja polskiego przekładu ATLAS WĘGLA, [dostęp online: https://pl.boell.org/sites/default/files/atlas_wegla_boell.pdf], 2015
10. Kaźmierczak M.: Identyfikacja bezpieczeństwa energetycznego, w: Zarys ekonomiki bezpieczeństwa, Płaczka J. (red.), AON, Warszawa 2008
11. King L., Hall K., Magnier M.: In Japan, workers struggling to hook up power to Fukushima reactor. Los Angeles Times. Retrieved March 19, 2011
12. Krajowy Program Ochrony Powietrza do 2020 (z perspektywą do 2030), 2015
13. Malon A., Tyimiński M.: Węgiel kamienny, w: Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce, Szufflicki M., Malon A., Tyimiński M. (red) Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2013
14. Mazurkiewicz J.: Polityka energetyczna Polskie – wyzwania i problemy, w Szkice o współczesnej polityce gospodarczej, Pająk K., Mazurkiewicz J., Błaszczuk P. (red) Adam Marszałek, Toruń 2012
15. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami - Informacja o wynikach kontroli - Nr ewid. 177/2014/P/14/086/LKR [dostęp online <https://www.nik.gov.pl/plik/id,7764,vp,9732.pdf>] 2014
16. Oferta produktowa PGG SA [dostęp online <https://www.pgg.pl/sprzedaz-wegla/>], 2019
17. Oto napęd trwalszy od diesla. Jest tańszy w eksploatacji i przejedzie milion kilometrów bez awarii Forsal.pl portal ekonomiczny [dostęp online: <https://forsal.pl/transport/aktualnosci/artykuly/1398377,oto-naped-trwalszy-od-diesla-jest-tanszy-w-eksploatacji-i-przejedzie-milion-kilometrow-bez-awarii.html>], 2019
18. Pawlak S.; Smog – przyczyny, skutki, sposoby walki, stan powietrza w regionie leszczyńskim, Wielkopolska Agencja Zarządzania Energią [dostęp online: <http://www.wfosgw.poznan.pl/wp-content/uploads/2017/11/SMOG-przyczyny-skutki-sposoby-walki-stan-powietrza-w-regionie-leszczyńskim.pdf>], 2017
19. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2008
20. Portal Samorządu Województwa Śląskiego, Śląskie. Czyste powietrze [dostęp online: <https://powietrze.slaskie.pl/content/moge-zatrzymac-smog>]
21. PN-EN 303-5:2012 Kotły grzewcze - Część 5: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW - Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie - wersja polska. [dostęp online: <http://sklep.pkn.pl/pn-en-303-5-2012p.html>]
22. Prawo ochrony środowiska Dz.U. 2001 Nr 62, poz. 627 t.j. Dz.U. z 2018 r. poz. 799 [dostęp online <http://sip.legalis.pl/>]
23. Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce [dostęp online: <http://poznan.wios.gov.pl/monitoring-srodowiska/publikacje/raport2002/powietrze.pdf>]

24. Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2006–2007 [dostęp online: http://www.wios.szczecin.pl/bip/files/88534EC063384360A91E11C074407A6D/VII_Ochrona_powietrza.pdf]
25. Rogala T., Hochał A.: Aktualny stan oraz główne kierunki zmian produkcji węgla handlowego PGG, Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, rok 2018, nr 105, s. 173–186
26. Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe. [dostęp online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A32015R1189>]
27. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 27 września 2018 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych, Dz.U. 2018 poz. 1890 [dostęp online <http://sip.legalis.pl/>]
28. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe Dz.U. z 2017 r. poz. 1690 [dostęp online <http://sip.legalis.pl/>]
29. Róg L.: (GIG), INSTAL nr 1 str. 10-15, Znaczenie badań parametrów petrograficznych i fizykochemicznych węgla kamiennego dla oceny jego przydatności w technologiach spalania, Warszawa, 2017
30. Spiegelberg-Planer, Rejane: "A Matter of Degree: A revised International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) extends its reac". International Atomic Energy Agency. Retrieved March 19, 2011
31. Ustawa o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw Dz.U. 2006 Nr 169, poz. 1200 tj. Dz.U. z 2018 r. poz. 427[dostęp online <http://sip.legalis.pl/>]
32. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, tekst jedn. Dz. U. 2012 r., poz. 1057 z późn. zm.(art. 3 p. 16)
33. Wolniewicz P.: Polska 325 milionów lat temu (karbon) [dostęp online: <http://zywaplaneta.pl/polska-w-przeszlosci-geologicznej/polska-karbon/>], 2011
34. 14-Year Cleanup at Three Mile Island Concludes. The New York Times. August 15, 1993. Retrieved March 28, 2011.

Gospodarcze wykorzystanie wskaźnika śladu wodnego

Michał Olejnik - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: Rozdział przedstawia nowe podejście do tematu gospodarowania słodką wodą [1]. Omówiono metodykę obliczania wskaźnika śladu wodnego, jak i możliwości jego praktycznego zastosowania. Analiza bezpośredniego, jak i znacznie trudniejszego do określenia – pośredniego wskaźnika wykorzystania zasobów wodnych, zużywanych w trakcie procesów i produkcji, może pozwolić na zoptymalizowanie gospodarki wodnej w aspekcie zasobów regionalnych i globalnych, a także pomóc określić wpływ działalności człowieka na środowisko, przy jednoczesnym odniesieniu do specyfiki obszaru wynikającej z położenia geograficznego.

Economic use of the water footprint indicator

Summary: The chapter presents a new approach to the topic of freshwater management [1]. The methodology of calculating the water footprint indicator and the possibilities of its practical application are discussed. The analysis of direct and much more difficult to determine - an indirect indicator of the use of water resources consumed during processes and production, may allow to optimize water management in the aspect of regional and global resources, and help determine the impact of human activities on the environment, taking into account the specificity of the area resulting from the geographical location.

1. Wprowadzenie

Woda słodka stanowi zaledwie 2,5% wody zgromadzonej na kuli ziemskiej i jest bardzo nierównomiernie rozłożona. Jej zasoby są w sposób sztuczny zwiększane poprzez odsalanie wody morskiej. W niektórych miejscach ma to istotne znaczenie społeczne oraz gospodarcze, jednak w skali globalnej są to marginalne ilości i ze względu na trudności związane z transportem odgrywają rolę tylko w nadmorskich lokalizacjach.

Ślad wodny (ang. Water Footprint, skrótowo WF) jest narzędziem określającym kompleksowo jak wiele wody zużywamy do zaspokojenia naszych potrzeb. Wszystkie dotychczasowe metody opierały się głównie na bezpośrednim pomiarze ilości zużywanej wody (np. za pomocą wodomierza). W celu oceny wielkości konsumpcji, należy zmienić perspektywę na bardziej globalną tzn. na taką, która w pełni zobrazuje jak woda związana z określonym produktem przyczynia się do zubożenia jej zasobów.

W ciągu roku na świecie rodzi się około 131 mln dzieci, w tym samym czasie umiera 55 mln osób, co daje średni przyrost 76 mln osób rocznie [2]. ONZ przewiduje, że do 2030 roku na Ziemi będzie żyć 8,6 miliarda ludzi, do 2050 – 9,8 miliarda, a pod koniec wieku 11,2 miliarda [3]. Obecnie ślad wodny stanowi uzupełnienie publikowanego przez ONZ

wskaźnika rozwoju społecznego, jednak XXI wieku o stopniu rozwoju danego kraju świadczy nie tylko sukces makroekonomiczny, ale rozwój zrównoważony. Należy zatem się spodziewać, że jego status znacznie wzrośnie. Ślad wodny umożliwia wyliczenie, jaka część udziału światowych zasobów przypada na każdego człowieka, a z jakiej w rzeczywistości korzysta. Możliwe będzie monitorowanie podziału dóbr środowiskowych na świecie, a także ocena, jak konsumpcyjny styl życia jednostki wpływa na istnienie całej planety [4].

Woda, staje się towarem coraz bardziej deficytowym w aspekcie jej zapotrzebowania w globalnej gospodarce. Wiele międzynarodowych firm, posiada szeroko rozgałęzione łańcuchy dostaw, przez co ich ślady wodne rozsiane są na całym świecie i narażają lokalne społeczności na niedobór wody.

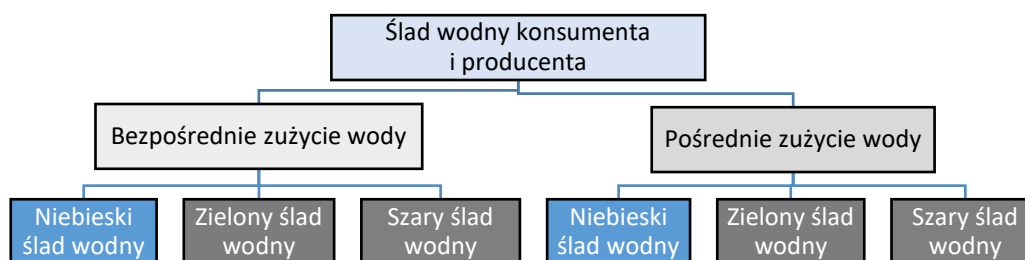
Zwiększająca się liczba ludności wymusza zwiększone zapotrzebowanie na wodę w sektorze rolnym i przemysłowym. Przeważająca część użytkowników posiada dane dotyczące zużycia wody w swoich działaniach, jednak to w zaopatrzeniu i łańcuchu dostaw wielu z nich przyczynia się do nadmiernego wykorzystywania zasobów wodnych. Podstawowym zabiegiem w zarządzaniu zasobami wody jest zebranie informacji dotyczących śladów wodnych jednostek pobocznych i zbadanie czy tereny, na których się znajdują posiadają wystarczające zasoby wodne. Istnieje bowiem możliwość, że kosztowna poprawa wydajności we własnej produkcji, okaże się mniej efektywna niż skutecznie zastosowane formy motywacji lub nacisku na dostawców [5].

Badania prowadzone w sektorze energetyki i ciepłownictwa wykazały, że redukcja śladu wodnego nastąpić może w wyniku zwiększenia udziału energii wiatru, energii z ogniw fotowoltaicznych oraz energii geotermalnej. Jeszcze większe korzyści uzyskać można dzięki postępowi technologicznemu, dążącemu do powtórnego wykorzystania surowców i pracy w obiegu zamkniętym.

Konsumpcję zasobów wodnych zużywaną z energią elektryczną opartą na paliwach kopalnych można zredukować zwiększając efektywność elektrowni, np. poprzez zmniejszenie wykorzystania ropy z piasków bitumicznych, a także łupków ropy i gazu oraz stosowanie suchych wież chłodniczych. Spalanie biomasy w elektrowniach prowadzi do znacznego wzrostu śladu wodnego energii, gdyż uprawiana w tym celu biomasa (drewno opałowe lub rośliny uprawne) generuje zewnętrzne zużycie wody (nawadnianie upraw). Stąd taka forma pozyskiwania energii na terenach ubogich w wodę nie jest zalecana. Alternatywą może być stosowanie odpadów organicznych [6].

2. Rodzaje śladu wodnego

Ślad wodny jest wskaźnikiem zużycia słodkiej wody, wyrażonym w metrach sześciennych na rok, na osobę, proces lub produkt. Obejmuje on zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie zużycie wody przez konsumenta lub producenta (rys. 1). W przypadku produktu jest to objętość wody użytej do wyprodukowania tego produktu, mierzona w całym **łańcuchu dostaw**. Jest to wielowymiarowy wskaźnik, określający wielkość zużycia wody w ujęciu źródłowym oraz w zanieczyszczonych objętościach, według rodzaju zanieczyszczenia.



Rys. 1. Elementy śladu wodnego [1]

Gdzie:



Niebieski ślad wodny, to woda pozyskana z zasobów wód powierzchniowych lub podziemnych, która jest: odparowywana, włączana do produktu, albo pobierana z jednej części wody i zwracana do innej lub zwracana w innym czasie. Nawadnianie, rolnictwo, przemysł i użytkowanie wody w gospodarstwie domowym mogą posiadać niebieski ślad wodny.



Zielony ślad wodny, to woda z opadów, która jest przechowywana w strefie korzeniowej gleby i odparowywana, przetwarzana lub wchłaniana przez rośliny. Jest to szczególnie istotne w przypadku produktów rolnych, ogrodniczych i leśnych.



Szary ślad wodny, to ilość świeżej wody potrzebnej do asymilacji zanieczyszczeń, w celu spełnienia określonych norm jakości wody. Szary ślad wodny uwzględnia zanieczyszczenie punktowe, zrzucane do zasobów wodnych bezpośrednio (np. przez rurę) lub pośrednio poprzez spływanie lub wymywanie z gleby, nieprzepuszczalnych powierzchni lub innych źródeł rozproszonych [7].

Rodzaje śladu wodnego ze względu na sposób użycia i pochodzenia wody są następujące:

- **Zużycie bezpośrednie** dotyczy poboru wody z zasobów na potrzeby człowieka, danego produktu czy procesu.
- **Zużycie pośrednie** dotyczy wszystkich etapów życia produktu (lub procesu), w których była potrzebna woda. Od pozyskania surowców na jego stworzenie, poprzez eksploatację, aż do jego utylizacji lub recyklingu [1].

Jako wskaźnik "zużycia wody" ślad wodny różni się od klasycznej miary "poboru wody" pod trzema względami:

- nie obejmuje zużycia niebieskiej wody, jeśli woda ta powraca do miejsca, z którego pochodziła,
- nie ogranicza się do używania niebieskiej wody, ale obejmuje także zieloną i szarą,
- nie ogranicza się do bezpośredniego wykorzystania wody, ale obejmuje również pośrednie zużycie wody.

3. Ślad wodny etapu procesu (WF)

Niebieski ślad wodny ($WF_{proc, niebieski}$) procesu jest wskaźnikiem konsumpcyjnego wykorzystania tzw. wody niebieskiej, czyli słodkiej wody powierzchniowej lub z wód gruntowych i jest definiowany:

$$WF_{proc, niebieski} = \text{Odparowanie Niebieskiej Wody} + \text{Włączenie Niebieskiej Wody} + \text{Utracony Przepływ} \quad [\text{objętość/czas}] \quad (1)$$

Włączenie niebieskiej wody określa tę część wody niebieskiej, która została zawarta w produkcie (np. w produkowanym płynie do naczyń czy w uprawianym owocu). Ostatni składnik odnosi się do tej części przepływu wody, która na skutek zawłaszczenia jej na potrzeby procesu, nie jest dostępna do ponownego wykorzystania w tej samej zlewni i w tym samym okresie, w którym została pobrana.

Najbardziej miarodajnymi źródłami danych, dotyczących zużycia niebieskiej wody w procesach produkcyjnych są producenci lub regionalne czy globalne organizacje branżowe. W przypadku obszaru związanego z rolnictwem istnieje możliwość wykorzystania strony internetowej Water Footprint Network – www.waterfootprint.org, gdzie zamieszczane są informacje dotyczące śladu wodnego wszystkich głównych upraw roślin na świecie.

Zielony ślad wodny etapu procesu, to ilość wody deszczowej zużytej podczas procesu produkcji odniesiona do całkowitego parowania deszczówki (np. z pól) oraz wody włączonej do upraw rolnych lub drewna. Zielony ślad wodny procesu jest równy:

$$WF_{proc.zielony} = \text{Zielona woda odparowana} + \text{Zielona woda włączona w produkt} \quad (2)$$

[objętość/czas]

Rozróżnienie pomiędzy niebieskim i zielonym śladem wodnym jest istotne, ponieważ wpływ hydrologiczny, środowiskowy i społeczny, a także ekonomiczne koszty zużycia powierzchni i wód podziemnych do produkcji, różnią się wyraźnie od skutków i kosztów zużycia wody deszczowej.

Szary ślad wodny etapu procesu jest wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia i jest określony jako ilość wody, która jest wymagana do neutralizacji ładunku zanieczyszczeń, w oparciu o naturalne stężenia tła i istniejące normy jakości wody w otoczeniu. Jest obliczany poprzez podzielenie obciążenia substancją zanieczyszczającą **L [masa/czas]** przez różnicę między normą jakości wody w otoczeniu dla tego zanieczyszczenia (**maksymalne dopuszczalne stężenie c_{max} masa/objętość**) i jego naturalnym stężeniem w odbierającym zbiorniku wodnym (**c_{nat} masa/objętość**).

$$WF_{proc.szary} = L / (c_{max} - c_{nat}) \quad [\text{objętość/czas}] \quad (3)$$

Naturalne stężenie w wodzie (np. zbiorniku wodnym) to takie, jakie wystąpiłoby, gdyby nie było żadnych zakłóceń w zlewni, spowodowanych działalnością człowieka. W przypadku substancji wytwarzanych przez ludzi, które naturalnie nie występują w wodzie $c_{nat} = 0$. Jeśli naturalne stężenia nie są znane, ale szacuje się, że są niskie, dla uproszczenia można również założyć, że $C_{nat} = 0$.

W przypadku tej samej substancji, standard jakości wody może różnić się w zależności od akwenu, tak jak naturalna koncentracja może różnić się w zależności od miejsca. W wyniku tego pewne obciążenie zanieczyszczeniem może spowodować, że ten sam ślad wody szarej w jednym miejscu powoduje przekroczenia, a w drugim nie. Szary ślad wodny większy niż zero nie oznacza automatycznie, że naruszone są normy jakości wody; pokazuje tylko, że część zdolności asymilacyjnej została już zużyta.

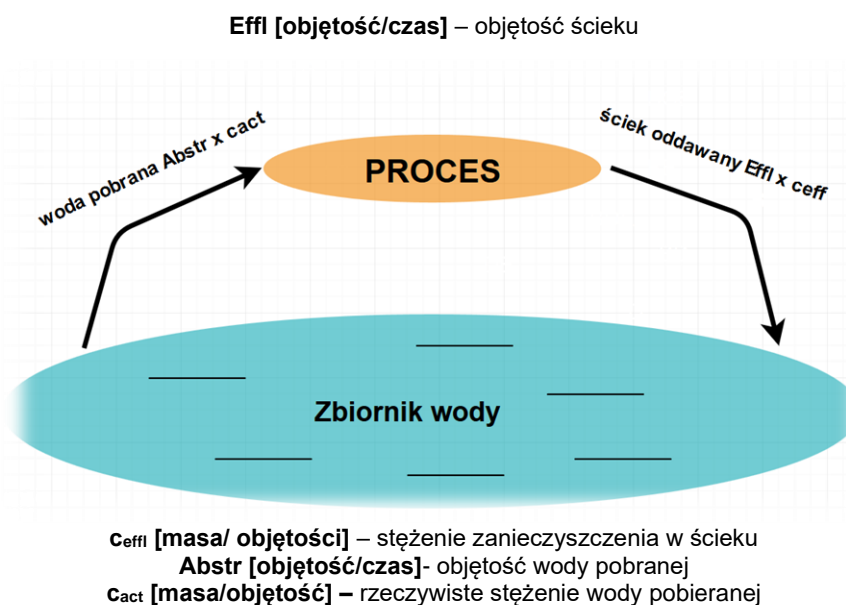
Szary ślad wodny określa ilość wody potrzebną do neutralizacji ścieków. Zaletą pomiaru zanieczyszczenia wody pod względem ilości jej zawłaszczenia jest to, że różne rodzaje zanieczyszczeń są sprowadzane do wspólnego mianownika, tzn. do ilości wody przeznaczonej na rozcieńczenie substancji zanieczyszczającej. W przypadku, gdy zanieczyszczenie wody wyraża się w takich samych jednostkach, jak jej zużycie, można porównać wykorzystanie źródła wody (niebieski ślad wodny) do ich odpływu (szary ślad wodny). Z kolei, gdy przepływ odpadów dotyczy więcej niż jednej formy zanieczyszczenia, jak ma to miejsce w większości przypadków, szary ślad wodny jest określony przez najbardziej krytyczne zanieczyszczenie (najbardziej szkodliwe).

Punktowe źródła zanieczyszczenia wody:

W przypadku punktowych źródeł zanieczyszczenia wody, np. gdy chemikalia są bezpośrednio uwalniane do wód powierzchniowych w formie ścieków, ich ładunek można

oszacować poprzez pomiar objętości ścieków i stężenia substancji chemicznej w ścieku (rys. 2). Szary ślad wodny można następnie obliczyć w następujący sposób:

$$WF_{proc,szary} = \frac{L}{c_{max}-c_{nat}} = \frac{Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}}{c_{max}-c_{nat}} \left[\frac{\text{objętość}}{\text{czas}} \right] \quad (4)$$



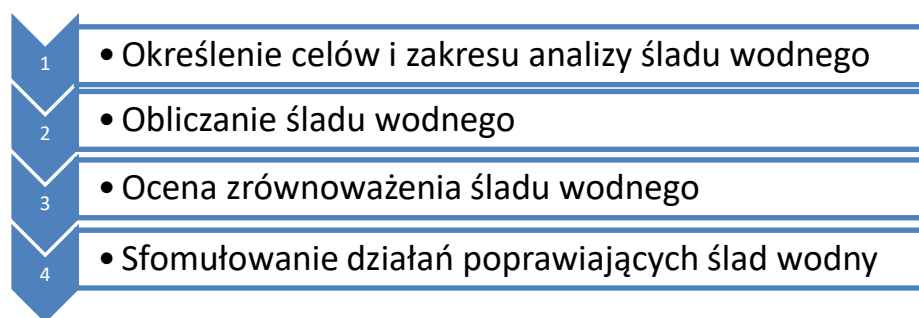
Rys. 2. Schematyczne ukazanie punkтового zanieczyszczenia [8]

Wpływ parowania na jakość wody

Specyficzna forma "zanieczyszczenia" może wystąpić, gdy jakość wody pogarsza się w wyniku parowania. Jeśli ze zbiornika wyparuje pewna ilość czystej wody, stężenie substancji chemicznych wzrośnie, gdyż pozostały ładunek zanieczyszczeń będzie musiał być przyswojony przez mniejszą objętość wody. Szary ślad wodny związany z tym "równoważnym ładunkiem" można obliczyć za pomocą równania standardowego. Zwiększenie stężenia chemicznego w zbiorniku wodnym poprzez parowanie, przy jednoczesnym pozostaniu tej samej ilości chemikaliów jest równoważne z dodaniem pewnego dodatkowego ładunku (zanieczyszczeń).

4. Analiza śladu wodnego

Pełen zakres działań "analizy śladu wodnego" składa się z czterech charakterystycznych etapów wyszczególnionych na rysunku 3.



Rys. 3. Cztery etapy analizy śladu wodnego [8]

4.1. Określenie celów i zakresu analizy śladu wodnego

Analiza śladu wodnego może być podejmowane z wielu różnych powodów. Na przykład: rząd chce poznać skalę zależności od zagranicznych zasobów wodnych lub może być zainteresowany zrównoważonym wykorzystaniem wody na obszarach, gdzie importowane produkty pochłaniają wodę. Władze dorzeczy mogą być zainteresowane informacją, czy połączony ślad wodny działalności człowieka w zlewni, w dowolnym momencie, narusza wymogi w zakresie przepływów nienaruszalnych lub normy jakości wody. Firma może być natomiast zainteresowana poznaniem zależności niedoboru zasobów wodnych w łańcuchu dostaw lub sposobu, w jaki może przyczynić się do zmniejszenia wpływu na systemy wodne w całym łańcuchu dostaw i wewnątrz własnej działalności.

Uwzględnienie wszystkich etapów analizy w jednym badaniu nie jest konieczne. Dla przykładu w pierwszej kolejności firma może być zainteresowana badaniem wszystkich faz, aby zidentyfikować krytyczne elementy w śladzie wodnym i ustalić priorytety reakcji, a dopiero w fazach kolejnych może chcieć uzyskać więcej szczegółowych informacji w konkretnych obszarach rachunków i ocenach zrównoważenia.

Dodatkowymi kwestiami jakie należy rozważać podczas obierania celu i zakresu analizy śladu wodnego są:

- udział śladu wodnego danego procesu, produktu, konsumenta lub producenta w globalnym śladzie wodnym ludzkości,
- udział śladu wodnego w określonych punktach newralgicznych i na określonych obszarach geograficznych.

4.2. Obliczanie śladu wodnego

Ślad wodny produktu

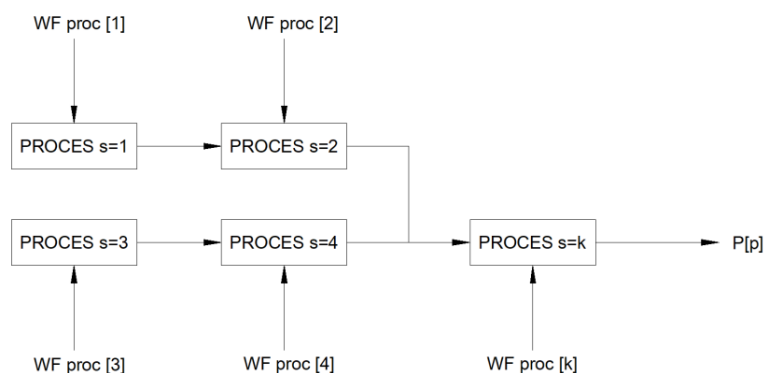
Ślad wodny produktu określa się jako całkowitą objętość wody wykorzystaną bezpośrednio lub pośrednio do wytworzenia produktu z wyszczególnieniem składnika zielonego, niebieskiego i szarego. Procedura obliczeniowa jest taka sama dla wszystkich rodzajów produktów, zarówno pochodzących z sektora rolnego, przemysłowego, usługowego i należy ją rozpocząć od identyfikacji systemu produkcyjnego i zapoznania się z jego etapami. Alternatywnym terminem dla śladu wodnego produktu jest "zawartość wody wirtualnej". Jego znaczenie jest jednak znacznie węższe i odnosi się jedynie do objętości wody zawartej w samym produkcie. Termin ten jest wykorzystywany w kontekście międzynarodowych (lub międzyregionalnych) przepływów.

Istnieją dwie metody obliczania śladu wodnego produktu:

- sumowanie łańcuchów,
- krokowe podejście akumulacyjne.

Sumowanie łańcuchów

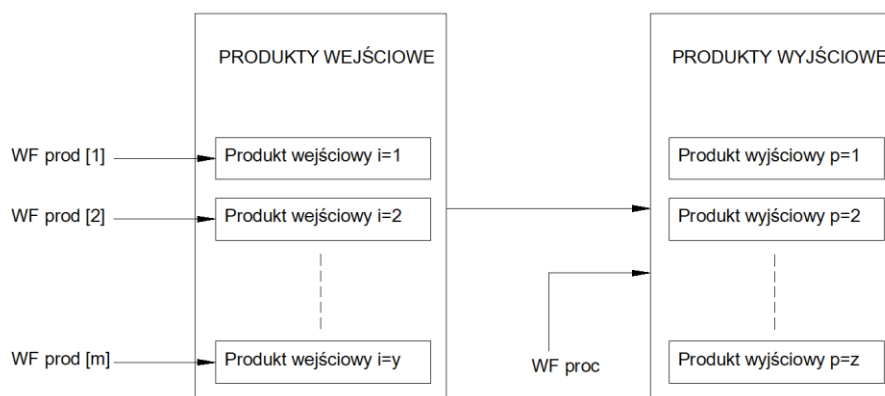
Podejście to może być stosowane tylko w sytuacji, gdy system produkcyjny wytwarza jeden produkt wyjściowy (rys. 4). W tym szczególnym przypadku wszystkie ślady wodne, które można powiązać z etapami procesu w systemie produkcyjnym są w całości przypisane jednemu produktowi. Ślad wodny produktu „ p ” jest zatem równy sumie śladów wodnych procesu, podzielonych przez wielkość produkcji, w którym $WF_{proc}[s]$ jest śladem wodnym etapu procesu, a $P[p]$ wielkością produkcji produktu. W praktyce rzadko istnieją proste systemy produkcyjne z jednym produktem wyjściowym. Stąd konieczny jest bardziej ogólny sposób obliczania, w którym można dystrybuować użytą wodę w całym systemie produkcyjnym do wytworzenia różnych produktów wyjściowych, bez podwójnego naliczania.



Rys. 4. Schemat systemu produkcyjnego wytwarzania jednego produktu „ p ” w „ k ” etapach procesu [1]

Krokowe podejście akumulacyjne

Jest to ogólny sposób obliczania śladu wodnego produktu, składający się ze śladów wodnych produktów wejściowych „i”, które były niezbędne do wytworzenia produktu finalnego „p” w ostatnim etapie przetwarzania oraz śladów wodnych procesów etapów przetwarzania przy założeniu, że przetwarzanie „y” produktów wejściowych powoduje „z” produktów wyjściowych (rys. 5).



Rys. 5. System wytwarzania „z” produktów wyjściowych z „y” produktów wejściowych z uwzględnieniem śladów wodnych produktów wejściowych oraz śladu wodnego procesu [1]

Ślad wodny na obszarze geograficznym

Obliczany jest jako suma śladów wodnych wszystkich procesów wykorzystujących wodę na danym obszarze i określa jej całkowite zużycie oraz powstałe zanieczyszczenia w danym obrębie. Należy podkreślić, że bardzo ważne jest jasne sprecyzowanie granice badanego terytorium, które mogą być obszarem zlewni, dorzeczem rzeki, prowincją, państwem lub dowolnym innym ośrodkiem hydrologicznym lub administracyjną jednostką przestrzenną.

Woda eksportowana poza obszar pochodzenia, liczona jest jako ślad wodny procesu w obszarze, z którego się wywodzi. Z punktu widzenia ochrony zasobów wodnych na określonym obszarze, szczególnie gdy obszar ten jest ubogi w wodę, istotne są informacje o ilości zużywanej wody do produkcji produktów eksportowych, a także ile wody jest importowane w formie wirtualnej (tzn. w formie produktów zużywających duże ilości wody). Bilans wody wirtualnej geograficznie wyznaczonego obszaru w określonym czasie jest definiowany jako import netto wody wirtualnej $V_{i,netto}$ w tym okresie, równy importowi brutto wody wirtualnej V_i minus eksport brutto V_e :

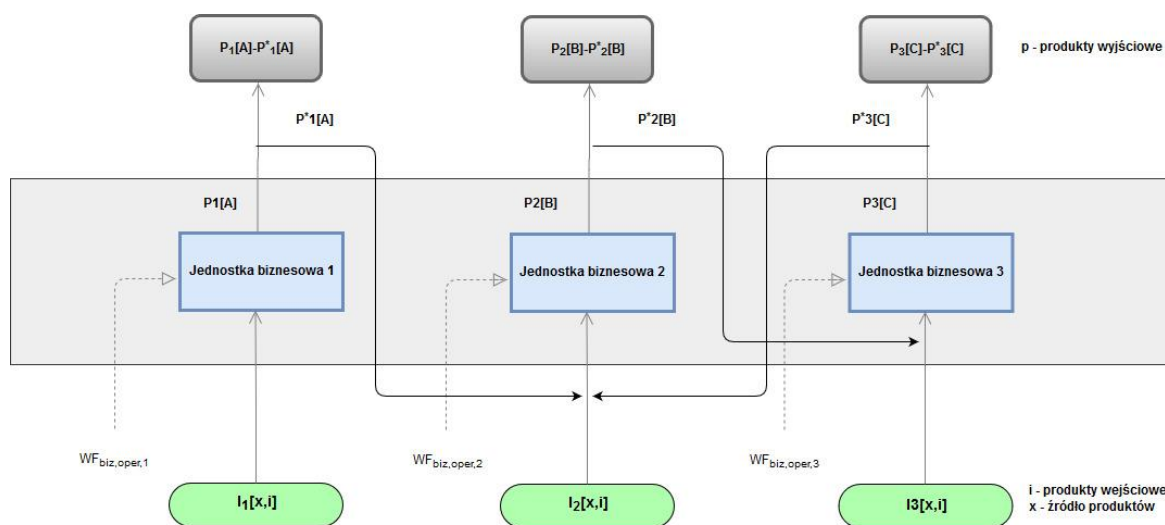
$$V_{i,net} = V_i - V_e \quad \left[\frac{\text{objętość}}{\text{czas}} \right] \quad (5)$$

Dodatni bilans wirtualnej wody $V_{i,netto}$ oznacza napływ netto wirtualnej wody do rozpatrywanego obszaru z innych terenów, który przewyższa odpływ netto.

Ślad wodny przedsiębiorstwa (biznesu lub organizacji) określa się jako całkowitą objętość wody używaną bezpośrednio lub pośrednio do prowadzenia i wspierania działalności gospodarczej. W jego skład wchodzi dwa główne komponenty:

- Ślad operacyjny (bezpośredni) tj. ilość słodkiej wody zużytej lub zanieczyszczonej w wyniku działalności własnej firmy.
- Łańcuch wodny (pośredni) czyli ilość słodkiej wody zużytej lub zanieczyszczonej w celu wytworzenia wszystkich towarów i usług, które stanowią wkład w produkcję danej firmy.

W przypadku, gdy firmy składają się z wielu jednostek lub posiadają oddzielne działy w różnych lokalizacjach albo działają w różnych warunkach i czerpią swoje nakłady z różnych miejsc, wskazane jest obliczanie śladu wodnego w przeliczeniu na jednostkę biznesową, a następnie zsumowanie kont jednostek biznesowych dla całej firmy. Jednostka biznesowa odnosi się do części całkowitej firmy, która wytwarza jeden konkretny produkt, w jednym konkretnym miejscu. Najbardziej wskazane jest przedstawienie działalności przedsiębiorstwa w oparciu o różne podstawowe produkty dostarczane przez firmę.



Rys. 6. Schemat obiegu wody w przykładowym przedsiębiorstwie składającym się z trzech jednostek biznesowych wytwarzających trzy produkty [8]

Na rysunku 6 schematycznie przedstawiono firmę wytwarzającą produkty wyjściowe A, B i C. Przedsiębiorstwo składa się z trzech jednostek biznesowych. Jednostka 1 produkuje produkt A. Część produkcji A jest dostarczana do jednostki biznesowej 2, ale większość jest sprzedawana innym przedsiębiorstwom. Jednostka 2 produkuje produkt B, który jest częściowo sprzedawany innej firmie, a częściowo dostarczany do jednostki 3. Jednostka 3

produkuje produkt C, przeznaczony zarówno na dostawy do jednostki 2, jak i do sprzedaży na zewnątrz. Każda jednostka ma wiele produktów wejściowych, pochodzących od firm w poprzednim ogniwie łańcucha produkcyjnego, a także powiązany pośredni dopływ wody słodkiej oraz bezpośrednie ujęcie wody.

Ślad wodny jednostki biznesowej „WF_{biz}” oblicza się, sumując operacyjny ślad wodny jednostki biznesowej, czyli ilość słodkiej wody zużytej lub zanieczyszczonej w wyniku działalności własnej oraz ślad wodny łańcucha dostaw.

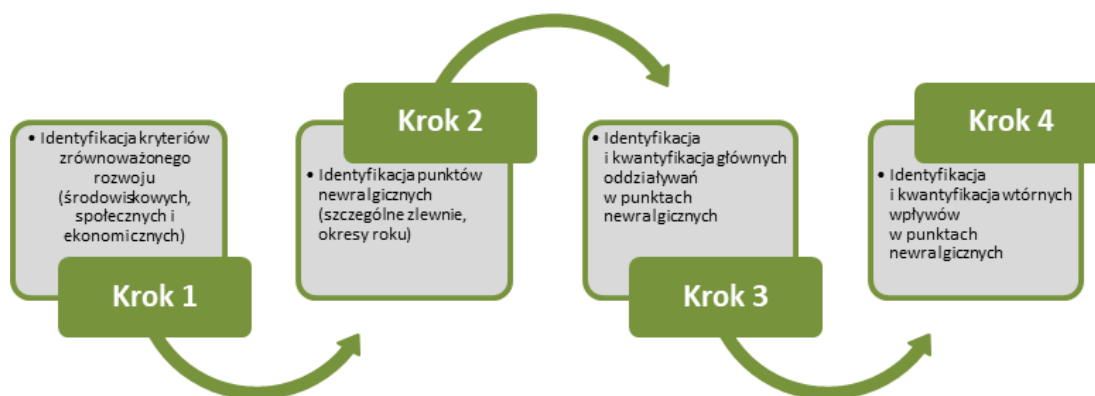
4.3. Ocena zrównoważenia śladu wodnego

Ślad wodny został opracowany jako odpowiednik śladu ekologicznego, który jest wskaźnikiem wykorzystania biologicznie produktywnej przestrzeni. Aby dokonać oceny należy porównać ślad wodny z dostępnymi zasobami słodkiej wody, podobnie jak porównuje to ślad ekologiczny z dostępną biologicznie wydajną przestrzenią. Ocena zrównoważenia śladu wodnego dotyczy przede wszystkim porównania śladu wodnego człowieka z tym, co Ziemia może w sposób zrównoważony przyswajać (asymilować). Zrównoważony rozwój może posiadać różne wymiary oddziaływania (środowiskowy, społeczny, ekonomiczny), które można formułować na różnych poziomach, analizując ich wpływ pierwotny oraz wtórny.

- Z geograficznego punktu widzenia, ślad wodny w danym obszarze geograficznym nie jest zrównoważony, w przypadku, gdy naruszone zostaną wymogi dotyczące przepływu minimalnego lub normy jakości wody bądź gdy dystrybucja wody w tym obszarze zostanie uznana za nieuczciwą lub nieefektywną. O tym, czy konkretny proces wykorzystania wody posiada niezrównoważony ślad wodny decydują dwa kryteria:
 - czy proces ma miejsce w pewnym okresie roku, w pewnej zlewni lub dorzeczu, w którym całkowity ślad wodny jest niezrównoważony,
 - czy proces sam w sobie jest niezrównoważony - niezależnie od kontekstu geograficznego - kiedy zielony, niebieski lub szary ślad wodny procesu może zostać zredukowany lub możliwy do całkowitego uniknięcia (przy akceptowalnych kosztach społecznych).
- Zrównoważenie śladu wodnego produktu może zależeć od śladów wodnych w procesach, które są częścią systemu produkcyjnego.
- Ślad wodny producenta jest równy sumie śladów wodnych wytwarzanych przez niego produktów. Jego zrównoważenie będzie zatem ściśle od nich zależne.
- Ślad wodny konsumenta jest równy sumie śladów wodnych konsumowanych produktów. Stąd jego zrównoważenie będzie zależne od zrównoważenia śladów wodnych zużytych produktów. Konieczne jest jednak zastosowanie dodatkowego kryterium, gdyż zrównoważenie zależy również od tego, czy ślad wodny konsumenta jest mniejszy, czy większy niż sprawiedliwy udział jednostki, uwzględniające ograniczenia śladu wodnego ludzkości.

Kryteria zrównoważonego rozwoju określają, kiedy ślad wodny w zlewni lub dorzeczu nie może być dłużej uważany za zrównoważony. Uzgadnianie i kwantyfikacja kryteriów to pierwszy krok do oceny zrównoważenia śladu wodnego w zlewni lub dorzeczu (rys. 7). Drugim

crokiem jest identyfikacja punktów newralgicznych tzn. określenie zlewni i okresów w roku, w których ślad wodny jest uważany za niezrównoważony. W trzecim i czwartym kroku, szacuje się pierwotny i wtórny wpływ w punktach krytycznych.



Rys. 7. Etapy zrównoważenia śladu wodnego [8]

Punktem newralgicznym (okresem niestabilności) jest konkretny okres w roku (np. okres suchy) w określonym zlewisku, w którym ślad wodny jest:

- niezrównoważony,
- zagraża środowiskowemu zapotrzebowaniu na wodę,
- nie spełnia norm jakości wody,
- przydział i wykorzystanie wody w zlewni uważa się za nieuczciwy i/lub ekonomicznie nieefektywny.

W celu zachowania równowagi ślad wodny w zlewni powinien spełniać kryteria środowiskowe, społeczne i gospodarcze:

- **Zrównoważonego rozwoju środowiska.** Jakość wody powinna spełniać normy scharakteryzowane przez „standardy jakości wody w środowisku” i zaakceptowane przez ludzi. Ponadto, przepływy rzek i wód podziemnych nie powinny odbiegać zanadto od ich naturalnego spływu, aby nie wpływać na naturalne ekosystemy oraz źródła utrzymania ludzi zależnych od tych ekosystemów. W przypadku rzek "wymogi dotyczące przepływów nienaruszalnych" wyznaczają granice dla przekształceń spływowych.
- **Zrównoważonego rozwoju społecznego.** Minimalna ilość słodkiej wody dostępnej na Ziemi musi zostać przydzielona na "podstawowe potrzeby ludzkie", w szczególności zaopatrzenie w wodę pitną oraz do produkcji żywności. Kryterium to oznacza, że tylko część dostępnych zasobów wody, która pozostaje po odjęciu potrzeb środowiskowych i zapotrzebowania w celu zaspokojenia podstawowych potrzeb ludzkich, może zostać przydzielona towarom "luksusowym". Na poziomie zlewni lub dorzecza należy zagwarantować minimalny zapas wody pitnej. Minimalny przydział wody do produkcji żywności musi być zapewniony na poziomie

globalnym, ponieważ zbiorniki dorzecza nie są całkowicie samowystarczalne i należy zapewnić niezbędną ilość żywności poprzez jej import.

- **Zrównoważonego rozwoju gospodarczego.** Woda powinna być przydzielana i wykorzystywana w sposób efektywny ekonomicznie. Korzyści płynące ze śladu wodnego, które wynikają z wykorzystania wody do określonego celu, powinny przewyższać pełne koszty z nim związane, w tym koszty zewnętrzne, koszty alternatywne i koszty związane z wyczerpaniem zasobów. Jeśli tak nie jest, ślad wodny jest niezrównoważony.

Jeżeli ślad wodny w zlewni nie spełnia jednego z kryteriów nie może być uznany za zrównoważony.

Wpływ "pierwotny" i "wtórny". Pierwotne oddziaływania dotyczą zmienionych przepływów i jakości wody (w porównaniu do warunków naturalnych). Oddziaływanie wtórne to pokłosie wpływów pierwotnych i może się objawiać poprzez: utratę gatunków zwierząt, zmniejszanie bezpieczeństwa żywnościowego, pogarszające się zdrowie ludzi.

Dobrym przykładem oceny śladu wodnego jest projekt dla trzech obiektów Grupy Tata z Indii, zlokalizowanych w dorzeczu Subarnarekha. Uwidocznili to potencjał Grupy Tata do wejścia na ścieżkę kooperacyjnego zarządzania zlewniami. Szczegółowe badania śladu wodnego procesów, surowców, energii, opakowań, produktów i obiektu jako całości, które wykroczyły poza tradycyjne podejście do pomiaru poboru wody i spełnienie wymagań, stanowi podstawę do opracowania kompleksowej strategii zrównoważonej gospodarki wodnej w bezpośredniej działalności, jak i w całym łańcuchu dostaw. Projekt pomógł opracować odpowiednie strategie reakcji na ślad wodny, z wyszczególnieniem jego rodzaju (szary, niebieski, zielony). Dwa badane obiekty Tata Power również podkreśliły potencjał redukcji śladu wodnego poprzez wykorzystywanie wody morskiej, a ponadto podkreśliły różnice w śladach wodnych różnych źródeł energii. Informacje zebrane w ramach ww. projektu mogą być dalej rozwijane dzięki ulepszonym pomiarom, monitorowaniu i raportowaniu oraz śledzeniu śladu wodnego w czasie, a następnie umożliwią stworzenie podstaw dla zapewnienia długoterminowego bezpieczeństwa wodnego [9].

4.4. Działania poprawiające ślad wodny

Większość form zanieczyszczenia wody jest możliwa do uniknięcia. Prawie wszystkie procesy powodujące szary ślad wodny są niezrównoważone. Jedynym rodzajem szarego śladu wodnego, który nie zawsze może być zredukowany do zera, jest szary ślad wodny związany z zanieczyszczeniem cieplnym. Ciepło można jednak częściowo odzyskać z nagranych ścieków i z układów chłodzenia, a następnie zastosować do innych celów zanim ścieki zostaną zutylizowane w środowisku.

Wiele procesów z niebieskim śladem wodnym jest także niezrównoważonych. W przemyśle, gdy występuje włączenie słodkiej wody do produktu nie da się uniknąć powiększenia niebieskiego śladu wodnego. Innym przypadkiem jest sytuacja, gdy woda z konieczności jest stosowana na wolnym powietrzu. Kwestia odparowania w procesach

przemysłowych może zostać jednak poprawiona poprzez recykling. Niezrównoważonym procesem jest chłodzenie cieczą, bez wychwytywania odparowanej wody do ponownego użycia.

Zielony oraz niebieski ślad wody w rolnictwie można znacznie zmniejszyć poprzez optymalizację procesu nawadniania, w celu uzyskania większej wydajności na metr sześcienny wody odparowanej. Szacuje się, że z biegiem czasu, na przestrzeni kilku dekad, całkowity niebieski ślad wodny na świecie może zostać zmniejszony o połowę, częściowo poprzez zwiększenie wydajności wykorzystania niebieskiej wody do nawadniania w rolnictwie (poprzez stosowanie oszczędnych w wodę technik nawadniania i stosowanie zasady "deficytu" zamiast "pełnego" nawadniania), oraz częściowo poprzez zwiększenie udziału produkcji z wykorzystaniem wody zielonej zamiast niebieskiej.

W przypadku większości przedsiębiorstw osiągnięcie poprawy pośredniego śladu wodnego może być trudne, ponieważ łańcuch dostaw nie znajduje się pod bezpośrednią kontrolą przedsiębiorcy. Działania w tym obszarze mogą być jednak znacznie bardziej skuteczne poprzez zawarcie umów na dostawy zawierające zapisy o dotrzymywaniu określonych standardów lub poprzez zmianę dostawcy. W wielu przypadkach może to być dość kłopotliwe, ponieważ wymaga przekształcenia całego modelu biznesowego oraz uczynienie łańcuchów dostaw w pełni przejrzystymi dla konsumentów. Uzupełniające narzędzia, które mogą poprawić przejrzystość korzystania z zasobów wodnych to: dostosowanie do wspólnych wymagań i metod, raportowanie śladu wodnego i zamieszczanie odpowiednich danych na etykietach, a także analiza porównawcza.

Stworzenie systemu certyfikacji wodnej przedsiębiorstw skutecznie wpłynęłoby na zwiększenie wysiłków sektora biznesowego do poszukiwania sposobów zmniejszenia wielkości śladu wodnego. W przeciwnym wypadku firma wystawiałaby się na ryzyko utraty renomy jako przyczyniająca się do zubożania zasobów wodnych na świecie lub nadmiernie korzystająca z niej na obszarach ubogich w jej zasoby. Liderzy, którzy tworzą przejrzystość produktu oraz formułują konkretne i mierzalne cele związane z redukcją śladu wodnego, mogą w ten odznaczyć się na tle innych przedsiębiorstw i poprzez proekologiczną politykę zdobyć uznanie wśród konsumentów.

Aby wdrażanie mechanizmów ograniczających ślad wodny było skuteczne, konieczne są konsultacje międzynarodowe i wprowadzanie wspólnych zasad w zakresie wytwarzania produktów. W przeciwnym wypadku starania o ochronę zasobów wodnych mogą spowodować podwyższenie kosztów i spadek konkurencyjności wytwarzanych produktów w konfrontacji z przedsiębiorstwami, które nie są zobligowane do przestrzegania tych samych przepisów [1].

Wskaźnik dostępności wody

Jednym ze sposobów poprawy śladu wodnego danego obszaru jest poprawa wskaźnika dostępności wody. Wskaźnik ten określa się jako ilość wody odpływającą z danego terenu w ciągu roku rzekami do mórz, podzielona przez liczbę mieszkańców żyjących na tym terenie. W Polsce wskaźnik dostępności wody utrzymuje się od wielu lat na zbliżonym poziomie, gdyż

liczba ludności nie wzrasta, aczkolwiek pod względem ilościowym znajdujemy się na jednym z ostatnich miejsc w Europie. Pomimo niskich, średnich zasobów wodnych, wynoszących około 1600 m³ na mieszkańca rocznie, stan zaopatrzenia w wodę przemysłu, rolnictwa i gospodarki komunalnej jest wystarczający w średnich warunkach przepływów. Wynika to z faktu, że polskie rolnictwo pobiera bardzo mało wody do nawadniania upraw. Ilość ta nie przekracza 10% całkowitego poboru, podczas gdy w wielu krajach Europy jest on znacznie wyższy i przekracza nawet 50% [10].

5. Podsumowanie

Analiza wskaźnika śladu wodnego obrazuje nam ile wody w rzeczywistości zostało zużyte przez człowieka, proces lub do wyprodukowania produktu. Dotychczasowe metody koncentrowały się zawsze na konkretnych aspektach prosperowania przedsiębiorstw lub człowieka i nie dawały pełnego obrazu tego ile wody tak naprawdę jest potrzebne aby osiągnąć zamierzony cel. Dopiero w ujęciu holistycznym jesteśmy w stanie w pełni określić przyczyny w ciągle kurczących się zasobów naturalnych i zaplanować strategię reakcji.

Podstawowym krokiem jaki należy wykonać w kierunku gospodarowania ryzykiem związanym z niedostatecznymi zasobami wody słodkiej jest kwantyfikacja. Proces należy rozpocząć od utworzenia **mapy śladu wodnego**, z wyszczególnieniem obszarów ubogich w wodę i wyeksponowania punktów newralgicznych. Mapa śladu wodnego powinna uwzględniać aktualną i przyszłą intensywność zużycia wody w produkcji i uprawach, z uwzględnieniem pochodzenia czynników wejściowych, charakterystyki geograficznej i klimatycznej oraz dostępności zasobów wodnych. Bardzo ważnym czynnikiem na drodze do poprawy śladu wodnego jest współpraca z innymi użytkownikami oraz agencjami rządowymi. Pozwala to określić, które elementy mogą zostać poprawione natychmiast, w ramach własnych środków, a które wymagają inwestycji zewnętrznych lub konieczności przewyższenia barier międzynarodowych [5].

Metoda rozliczania śladu wodnego jest obecnie, ugruntowana i powszechnie przyjęta, zarówno w środowisku naukowym, jak i w praktyce. Głównym wyzwaniem jest utrzymanie wspólnego języka w dziedzinie oceny śladu wodnego, ponieważ tworzenie systemów reakcji mających na celu zrównoważenie wykorzystania zasobów wodnych może być przejrzyste i skuteczne, jedynie wtedy gdy zostanie sformułowane we wspólnej terminologii i oparte na wspólnej metodzie obliczeniowej. Dzięki zaangażowaniu wielu organizacji z całego świata, które do tej pory pracowały nad koncepcją śladu wodnego, metoda ta staje się wspólnym standardem obowiązującym na całym globie. Niemniej jednak nadal istnieje szereg wyzwań, w tym np. opracowanie kryteriów dla poszczególnych kategorii produktów, wytycznych dla sektora biznesowego oraz dotyczących miejsca ujęcia analizy (określających gdzie zakończyć obliczenia i nie brnąć dalej wzdłuż łańcucha dostaw) oraz problemów związanych z sezonową zmiennością zasobów wodnych w zlewniach.

Niezmiernie ważnym czynnikiem do jak najefektywniejszego wykorzystania obliczeń wskaźnika śladu wodnego jest stworzenie jak największej bazy danych, która poza oczywistą

zaletą tj. uzyskaniem informacji na temat tego ile wody jest pobierane do naszych celów, będzie miała charakter punktu odniesienia. Ułatwi to użytkownikom przeprowadzanie własnych rachunków, pozwoli ocenić w odniesieniu do innych porównywalnych eksploatatorów, sprawność wykorzystania zasobów wodnych oraz może posłużyć do znalezienia odpowiedniej dla siebie formy reakcji. Poprzez porównywanie śladów wodnych możliwe będzie zoptymalizowanie wykorzystania wody co przełoży się na poprawę warunków bytowych człowieka i jakości środowiska [8].

Literatura

1. Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya, and Mesfin M. Mekonnen: The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London-Washington, 2011. ISBN 978-1-84971-279-8.
2. Ecology [online]. Dostęp: 02.10.2018. Dostępny w World Wide Web: <http://www.ecology.com/birth-death-rates/>.
3. *World Population Prospects: The 2017 Revision W: United Nations Department of Economic and Social Affairs* [online]. Dostęp: 02.10.2018. Dostępny w World Wide Web: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>.
4. Ślad wodny. W: PWiK Gliwice [online]. Dostęp: 02.10.2018. Dostępny w World Wide Web: <http://pwik.gliwice.pl/aktualnosci/316-slاد-wody.html>.
5. The global corporate water footprint: risk, opportunities, and management options. W: McKinsey & Company 2009 [online]. Dostęp: 2018-07-24. Dostępny w World Wide Web: https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/Sustainability/PDFs/Report_Large_Water_Users.aspx.
6. Mesfin M., Mekonnen P., W. Gerbens-Leenes and Arjen Y. Hoekstra: The consumptive water footprint of electricity and heat: a global Assessment. W: Environmental Science Water Research & Technology [online] 2015. Nr 3, Vol. 2, s. 285-297. DOI: 10.1039/c5ew00026b.
7. What is water footprint? W: Water Foot Print Network [online]. Dostęp. 02.10.2018. Dostępny w World Wide Web: <http://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/>.
8. Olejnik M. i inni: Analiza metodyki obliczania oraz możliwości praktycznego zastosowania wskaźnika śladu wodnego, praca statutowa ITG KOMAG 2018 (materiały niepublikowane).
9. WFN_2013.Tata_Industrial_Water_Footprint_Assessment <http://waterfootprint.org/en/standard/global-water-footprint-standard/>
10. Majewski W.: World Water Day 2014 – Water & Energy. Acta Energetica” 2014, nr 2 (19), s. 91–97. DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014209.

Bezpieczeństwo użytkowania odzieży ochronnej pracowników sektora górniczego pod kątem narażenia na substancje chemiczne

Bibianna Bartoszek – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Streszczenie: W rozdziale przedstawiono problematykę związaną z bezpieczeństwem użytkowania odzieży ochronnej przez pracowników sektora górniczego, w aspekcie spełnienia wymagań aktów prawnych, z zakresu toksyczności materiałów. Z uwagi na brak usystematyzowania prawnego w odniesieniu do szeregu substancji chemicznych występujących w wyrobach, wyspecyfikowano listę niebezpiecznych substancji chemicznych wraz z podaniem limitów ich występowania w odzieży ochronnej. Sporządzono zakres badań odzieży ochronnej, skierowany do organów odpowiedzialnych za wyposażenie pracowników sektora górniczego w bezpieczną, nietoksyczną odzież. Przedstawiono możliwości badawcze Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska z zakresu badań odzieży ochronnej.

Testing the safety of using protective clothing for workers of the mining industry - exposure to chemical substances

Abstract: The issues related to the safety of using protective clothing by workers of the mining industry, in terms of meeting requirements of legal acts which are in force in the field of materials toxicity, are presented. Due to the lack of legal classification for a variety of chemical substances, which may appear in the clothing, a list of hazardous chemical substances was specified along with the limits of their occurrence. A suggested scope of tests for protective clothing, addressed to the authorities responsible for equipping workers of mining industry with safe, non-toxic clothing, is presented. Testing the abilities of the Laboratory of Material Engineering and Environment in the field of testing protective clothing are presented.

1. Wprowadzenie

W produkcji odzieży, w tym ochronnej i roboczej, stosowane są, oprócz włókien tekstylnych, różnego rodzaju dodatki i substancje, do których zalicza się m.in.: barwniki, konserwanty, uniepalniacze, rozpuszczalniki, dodatki antyelektrostatyczne [1, 2]. Wśród nich występują substancje szkodliwe, mogące działać drażniąco na skórę, śluzówkę, drogi oddechowe i powodować uczulenia, zakłócenia gospodarki hormonalnej, redukcję płodności, a także przyczyniać się do powstawania nowotworów [3].

Stan prawny określa wymagania ograniczające ich wpływ na zdrowie i bezpieczeństwo użytkowników. Akty wykonawcze są jednak nieusystematyzowane. Przepisy są dokumentami obszernymi, stale aktualizowanymi. Występują zatem braki w jednoznacznym zestawieniu

wszystkich szkodliwych substancji, mogących występować w odzieży oraz brak jest jednoznacznego wskazania, w jakich materiałach należy je kontrolować [4, 5].

Wyniki kontroli odzieży przeprowadzone przez UOKiK [6], dane publikowane w systemie RAPEX [7], prace badawcze w zakresie toksyczności materiałów używanych w wyrobach tekstylnych [8], w tym wyniki badań produktów tekstylnych wykonywanych w Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska ITG KOMAG [9], potwierdzają obecność szkodliwych substancji w odzieży roboczej i ochronnej. Przykładowo, w laboratorium kilkakrotnie wykryto w produktach skórzanych rakotwórczy Cr (VI), a w produktach tekstylnych formaldehyd i pierwszorzędowe aminy aromatyczne.

Bardzo trudne warunki pracy górników, na które składają się: wysoka wilgotność, temperatura, zapylenie oraz charakter wykonywanej pracy, przyczyniają się do zwiększonego stopnia migracji szkodliwych substancji z odzieży i wchłaniania ich przez użytkowników. Wymagania dotyczące wyposażenia górników w ubrania robocze, w aspekcie bezpieczeństwa użytkownika odzieży, w pierwszej kolejności uwzględniają wytrzymałość mechaniczną, komfort i wygodę pracy oraz iskrobezpieczeństwo użytych materiałów. Aspekt toksyczności produktów użytych do produkcji odzieży ochronnej sprowadzony jest do minimalnych wymagań, m.in. wartości pH, zawartości Cr (VI), zawartości niklu czy obecności pierwszorzędowych amin aromatycznych [10]. Uwzględniając powyższe, należy poświęcić znacznie większą uwagę na wyniki badań dotyczące toksyczności materiałów stosowanych do produkcji odzieży ochronnej.

2. Wymagania prawne

Przepisem prawnym Unii Europejskiej dotyczącym bezpieczeństwa stosowania środków ochrony indywidualnej (ŚOI), w tym odzieży ochronnej, jest Rozporządzenie (UE) Parlamentu Europejskiego i Rady 2016/425 [11] (od 21 kwietnia 2018 r. zastępuje ono Dyrektywę 89/686/EWG [12]). Zawarte w nim wymagania zasadnicze określają, że materiały użyte do wytworzenia ŚOI, nie mogą niekorzystnie wpływać na zdrowie lub bezpieczeństwo użytkowników. Zgodnie z nim na rynek mogą być wprowadzone ŚOI, dla których wykonano badania na podstawie norm zharmonizowanych z Dyrektywą 89/686/EWG, wydanych przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN). W świetle postanowień Rozporządzenia 2016/425, normy zharmonizowane z Dyrektywą 89/686/EWG, obowiązują do dnia 20 kwietnia 2019 r. [13]. Certyfikaty badania typu WE wydane dla odzieży ochronnej i decyzje o zatwierdzeniu, wydane na podstawie dyrektywy 89/686/EWG, zachowują ważność do dnia 21 kwietnia 2023 r.

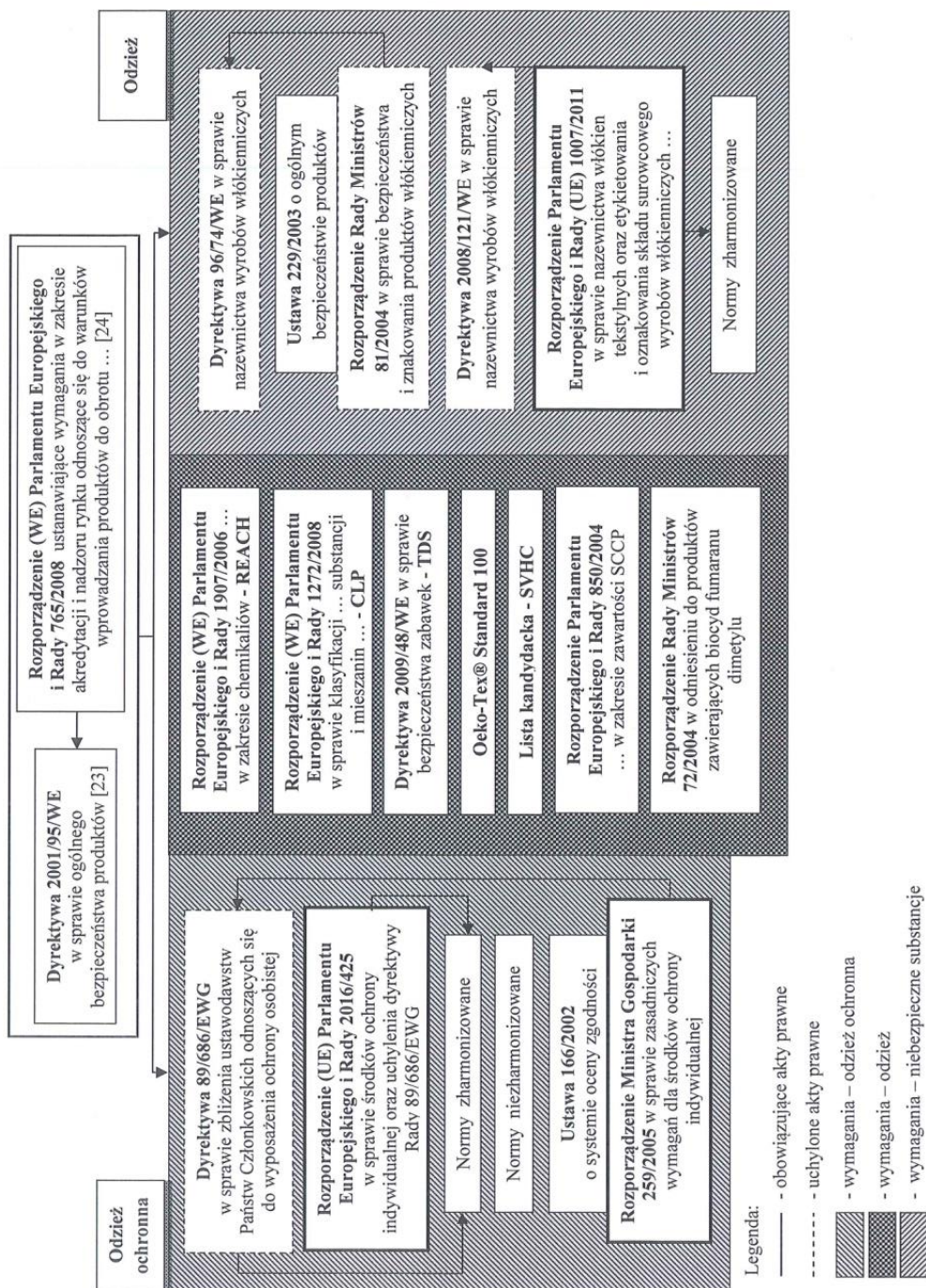
Obowiązującym w Polsce aktem prawnym dotyczącym ŚOI jest Rozporządzenie Ministra Gospodarki 259/2005 [14]. Oparte jest ono na uchylonej Dyrektywie 89/686/EWG. Znajdują się w nim zasadnicze wymagania dla ŚOI, procedury oceny zgodności, sposób oznakowania ŚOI, a także wzór znaku CE.

Zarówno unijne Rozporządzenie 2016/425, jak i krajowe Rozporządzenie 259/2005, podają jedynie wymagania zasadnicze dla odzieży ochronnej. Wymagania szczegółowe określone w normach zharmonizowanych z Rozporządzeniem 2016/425, nie zawierają natomiast pełnego zestawienia szkodliwych substancji chemicznych mogących występować w ŚOI. Producenci odzieży ochronnej, których obowiązkiem jest wprowadzanie na rynek wyrobów bezpiecznych, korzystają z dodatkowych źródeł prawnych. Są to głównie akty prawne dotyczące wyrobów tekstylnych i odzieży.

Przykładem aktu prawnego w Polsce traktującym o bezpieczeństwie użytkowania produktów włókienniczych było, uchylone 8 maja 2012 r. Rozporządzenie 81/2004 [15]. Podawało ono dopuszczalne zawartości substancji rakotwórczych i szkodliwych, a także zawierało wykaz substancji i mieszanin, których stosowanie jest zabronione. Obecnie podstawowym aktem prawnym jest unijne Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 1007/2011 w sprawie nazewnictwa włókien tekstylnych oraz etykietowania i oznakowania składu surowcowego wyrobów włókienniczych [16]. Nie zawiera ono jednak jednoznacznego stwierdzenia o konieczności zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania produktów, związanego z toksycznością.

Uchylenie, bez zastąpienia Rozporządzenia 81/2004 oraz brak wytypowania w obowiązującym Rozporządzeniu 1007/2011 listy substancji niebezpiecznych, których stosowanie w produktach tekstylnych podlega ograniczeniom, narzuca korzystanie przez producentów wyrobów włókienniczych z innych dokumentów, takich jak: Rozporządzenie 1907/2006 (REACH) [17], Rozporządzenie 1272/2008 (CLP) [18], Lista kandydacka [19], Dyrektywa 2009/48/WE (TDS) [20] oraz norm zharmonizowanych z dyrektywą TDS [21]. Producenci odzieży wykorzystują również do oceny bezpieczeństwa swoich produktów dokument Oeko-Tex® Standard 100 [22], który nie jest objęty prawnie.

Zestawienie aktów prawnych związanych z bezpieczeństwem użytkowania odzieży przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zestawienie aktów prawnych określających wymagania bezpieczeństwa dla odzieży [opracowanie własne]

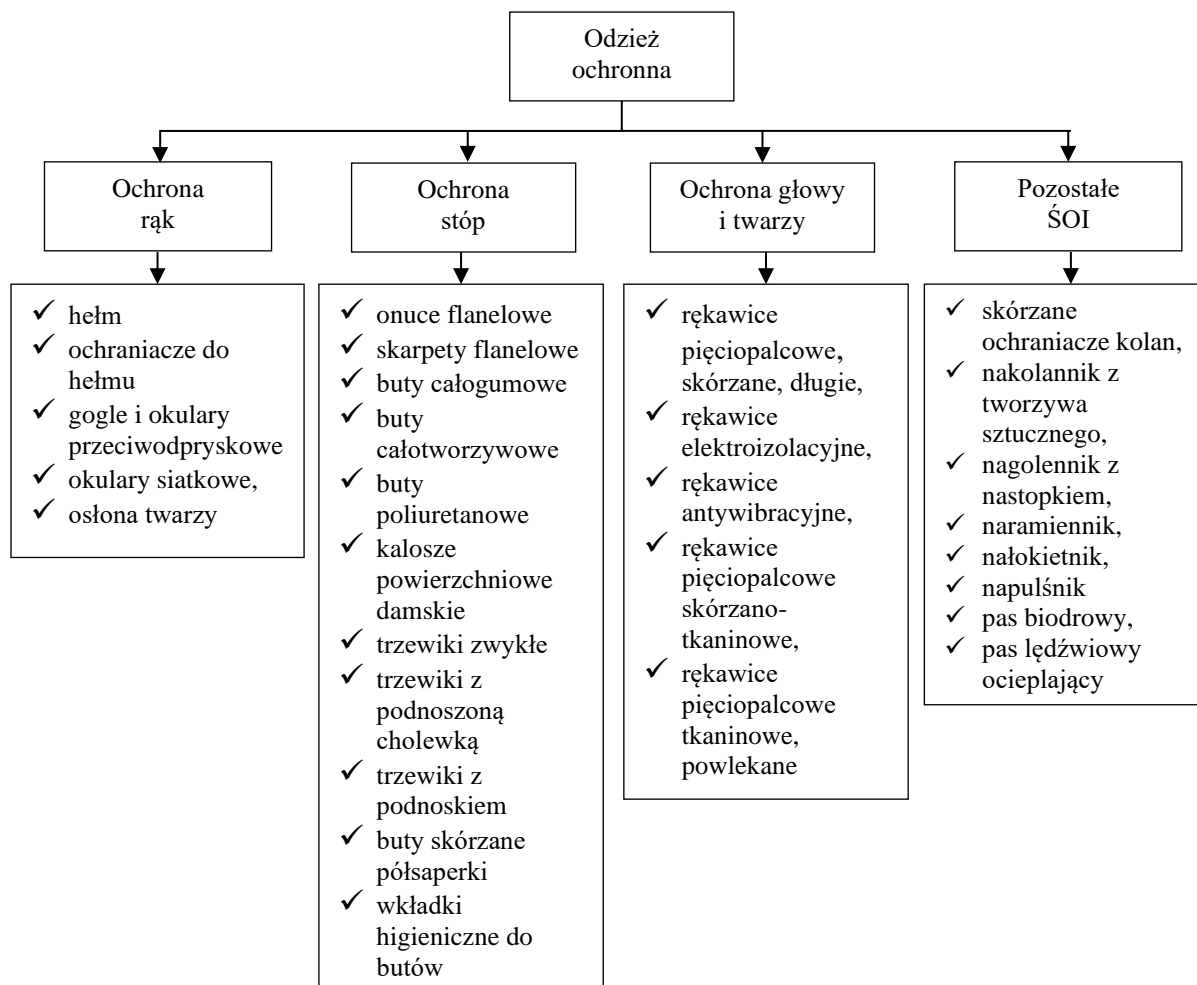
3. Charakterystyka i podział odzieży ochronnej stosowanej w górnictwie

Odzież używana w zakładach górniczych spełnia funkcje ochronną przed zabrudzeniami, jak również przed zagrożeniami, takimi jak: wybuch metanu i pyłu węglowego, urazy i zranienia elementami pracujących maszyn, czy stosowanymi narzędziami. Z tego powodu zaliczana jest ona do odzieży ochronnej i podlega wymaganiom prawnym określonym dla ŚOI. Zdarza się, że jednostki odpowiedzialne za wyposażenie pracowników sektora górnictwa w odzież, mylnie ją kategoryzują do odzieży roboczej. Zgodnie z definicją, odzież robocza stanowi zabezpieczenie wyłącznie przed zabrudzeniami substancjami nieszkodliwymi dla zdrowia [25], natomiast odzież ochronna powinna spełnić funkcję ochronną przed różnego rodzaju zagrożeniami [26].

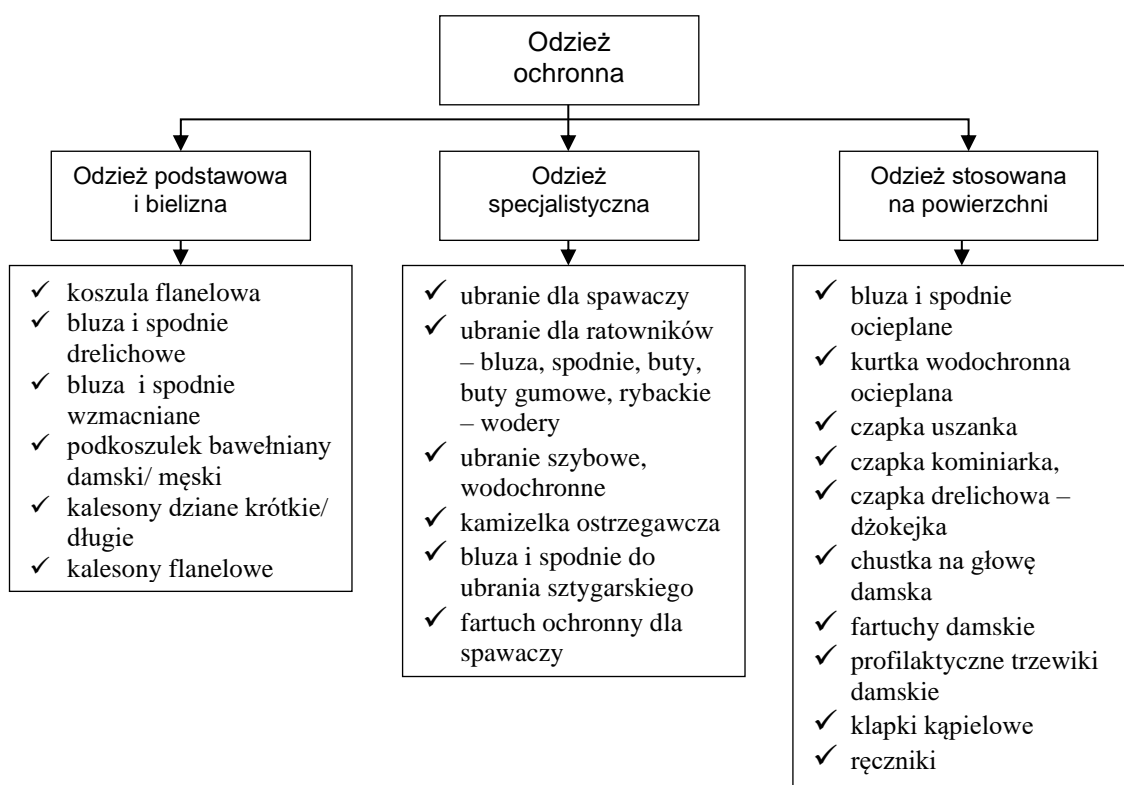
W zakładach górniczych rozróżniamy odzież stanowiącą podstawowe wyposażenie górników, dostosowaną do warunków, w których występuje ryzyko zagrożenia wybuchem metanu, specjalistyczną, a także używaną do prac wykonywanych na powierzchni. Pozostałe ŚOI obejmują wyroby stanowiące ochronę rąk, stóp, głowy i twarzy, a także skórzane elementy chroniące części ciała, tj.: ramiona, łokcie, nadgarstki, kolana. Podział odzieży ochronnej ze względu na funkcje, które spełnia, przedstawiono na rysunku 2.

Właściwości ochronne i użytkowe odzieży są zdeterminowane, przede wszystkim, przez właściwości materiałów, z których ją wykonano. Używane do produkcji odzieży ochronnej tkaniny i inne materiały powinny być nieszkodliwe dla zdrowia [27, 28]. Przy doborze materiałów należy uwzględnić charakter wykonywanej pracy, zagrożenie wybuchem metanu, warunki temperaturowe, występowanie silnych przeciągów oraz czynników fizycznych i biologicznych [29, 30]. Dla tych celów stosowane są materiały antyelektrostatyczne: bawełna 100%, flanela, drelich, wodoodporne - tkanina poliestrowa powlekana wodoodpornym PCV, materiały olejoodporne, trudnopalne, impregnowane, kwasoodporne, fluorescencyjne, włókniny ocieplające, dzianiny futerkowe, sztuczna skóra – skaj, sprzączki rymarskie ze stali odpornej na korozję, filc, guma antyelektrostatyczna, tworzywa poliamidowe ochraniaczy, tworzywa poliuretanowe obuwia, naturalne, wodoodporne skóry bydlęce obuwia, szkło poliwęglanowe (PC) okularów, szkło z octanu celulozy (CA) okularów, siatki okularów ze stali chromoniklowej. Podział odzieży ochronnej pracowników sektora górnictwa ze względu na jej zastosowanie przedstawiono na rysunku 3.

Każdy z zastosowanych w odzieży ochronnej materiał wymaga indywidualnego doboru zakresu badań chemicznych, określających bezpieczeństwo produktów, użytych w produkcji finalnego wyrobu.



Rys. 2. Podział odzieży ochronnej pracowników kopalni węglowych ze względu na zastosowanie
[źródło: opracowanie własne]



Rys. 3. Podział odzieży ochronnej pracowników kopalni węglowych ze względu na funkcje
[źródło: opracowanie własne]

4. Szkodliwe substancje w odzieży ochronnej dla górnictwa

Uwzględniając różnorodność materiałów stosowanych do produkcji odzieży ochronnej, wyspecyfikowano listę substancji szkodliwych mogących w nich występować. Zestawienie opracowano na podstawie wymagań prawnych, określających limity substancji szkodliwych (tabela 1).

Toksyczne substancje chemiczne w odzieży, pochodzą z różnych źródeł. Jednym z nich mogą być substancje wykorzystywane do produkcji tekstyliów, z których szkodliwe substancje mogą się wydzielać w wyniku przemian chemicznych, np. uwalnianie metali ciężkich ze związków kompleksowych metali czy wydzielanie rakotwórczych amin z barwników azowych, w wyniku ich redukcyjnego rozpadu [31]. Inne szkodliwe substancje są stosowane jako składniki zapewniające oczekiwane właściwości produktów, np. ftalany - utrwalające nadruki na tkaninach, nikiel - zapewniający wytrzymałość i plastyczność produktów stalowych. Wiele substancji szkodliwych przenika do produktów na etapie ich produkcji, jak na przykład: formaldehyd, aminy aromatyczne, metale ciężkie, pochodne TBT (tributylocyny), pochodne chloroalkanów, rakotwórczy chrom (VI) wydzielający się w procesie garbarstwa skóry [32]. Dodatki stosowane w odzieży ochronnej zapewniające takie właściwości jak: wodoodporność,

antyelektrostatyczność, ognioodporność, to różnego rodzaju apretury, w tym szkodliwe: żywice mocznikowo-formaldehadowe i melaminowo-formaldehadowe, organiczne związki krzemu, środki fluorowęglanowe, związki fosforowe, tlenki metali, związki chlorowane.

Substancje szkodliwe mogące występować w odzieży ochronnej [opracowanie własne]

Tabela 1.

Substancja chemiczna/ parametr	Materiał/produkt	Wartości graniczne (kryterium oceny)	Dokumenty prawne
Pierwszorzędowe aminy aromatyczne uwalniane z barwników azowych	wyroby włókiennicze, skórzane, skóropodobne	30 mg/kg	Rozporządzenie REACH
		nd (nie wykrywalne)	PN-EN ISO 13688:2013-12 [10]
		30 mg/kg	Rozporządzenie 81/2004 ^b
Formaldehyd	wyroby włókiennicze	16 mg/kg	PN-EN ISO 14184-1:2011 [33]
		300 mg/kg	PN-P-84525:1998 [34]
		< 75 mg/kg (wyroby mające kontakt ze skórą)	Oeko-Tex® Standard 100
		< 150 mg/kg (bielizna, ręczniki)	Rozporządzenie 81/2004 ^b
Nikiel i jego związki	elementy metalowe	0,5 µg/cm ² na tydzień (limit migracji) (0,2 µg/cm ² przekuwane części ciała)	Rozporządzenie REACH
		1 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
		0,5 µg/cm ² na tydzień (limit migracji)	PN-EN ISO 13688:2013-12
		nie może być stosowany	Rozporządzenie 81/2004 ^b
Kadm i jego związki	tworzywa, żywice	0,01 %/ 0,1 % PCW	Rozporządzenie REACH
	farby	0,01 %/ 0,1 %	
	elementy metalowe	0,01 %	
	wyroby tekstylne	40 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
	wszystkie materiały odzieży	nie może być stosowany	Rozporządzenie 81/2004 ^b
Ołów i jego związki	elementy metalowe	0,05 %	Rozporządzenie REACH
	wyroby tekstylne	90 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
	wszystkie materiały odzieży	nie może być stosowany	Rozporządzenie 81/2004 ^b
Rtęć i jego związki	urządzenia pomiarowe	nie może być stosowana	Rozporządzenie REACH
	wyroby tekstylne	0,02 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
	wszystkie materiały odzieży	nie może być stosowana	Rozporządzenie 81/2004 ^b

Substancja chemiczna/ parametr	Materiał/produkt	Wartości graniczne (kryterium oceny)	Dokumenty prawne
Arsen i jego związki	wszystkie materiały odzieży	nie może być stosowany	Rozporządzenie 81/2004 ^b
	wyroby tekstylne	90 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
Antymon	wyroby tekstylne	30 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
Miedź		50 mg/kg	
Kobalt		4 mg/kg	
Organiczne związki cyny	wyroby włókiennicze, skórzane, farby	0,1 %	Rozporządzenie REACH
	wyroby tekstylne	2 mg/kg/ 1 mg/kg (TBT, TPhT)	Oeko-Tex® Standard 100
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne WWA	wszystkie materiały odzieży i obuwia	1 mg/kg	Rozporządzenie REACH
Ftalany	tworzywa, materiały z dodatkiem plastyfikatorów	0,1 %	Rozporządzenie REACH (Lista kandydacka) Oeko-Tex® Standard 100
Chlorofenole –w tym pentachlorofenol PCP, ortofenylofenol OPP	wyroby skórzane, papiernicze	0,1 %	Rozporządzenie REACH
	wyroby tekstylne	0,5 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
Pentachlorofenol PCP	wszystkie produkty	nie może być stosowany	Rozporządzenie 81/2004 ^b
Cr (VI)	wyroby skórzane, skóropodobne	3 mg/kg (0,0003 % masowo)	Rozporządzenie REACH
		3 mg/kg	Normy zharmonizowane z dyrektywą 89/686/EWG, w tym: PN-EN ISO 13688:2013-12 PN-EN 420+A1:2012 [35] PN-EN ISO 20345:2012 [36]
	wyroby tekstylne	0,5 mg/kg	Oeko-Tex® Standard 100
Fumaran dimetylu	wszystkie materiały	0,1 mg/kg	Rozporządzenie REACH
			Rozporządzenie 72/ 2009 nr 72 poz. 621 [37]
Polichlorowane terfenyle PCT		nie mogą być stosowane	Rozporządzenie REACH
Polichlorowane bifenyly PCB			Rozporządzenie 81/2004 ^b
Fosforan tri(2,3-dibromopropyloxy) TEPA	wyroby włókiennicze	nie mogą być stosowane	Rozporządzenie REACH Rozporządzenie 81/2004 ^b

Substancja chemiczna/ parametr	Materiał/produkt	Wartości graniczne (kryterium oceny)	Dokumenty prawne
Tlenek tris(azirydynowy) fosfiny TRIS			
Polibromobifenyle, polibromowane bifenyle (PBB)			
Oksyetylenowane nonylofenole	wyroby włókiennicze, skórzane, skóropodobne	0,01 % masowo	Rozporządzenie REACH
nonylofenol		0,1 % masowo	Rozporządzenie REACH
pH		od 3,5 do 9,5	Normy zharmonizowane z dyrektywą 89/686/EWG, w tym: PN-EN ISO 13688:2013 PN-EN 420+A1:2012 PN-EN ISO 20345:2012
		od 4 do 7,5	PN-P-84525:1998
Odporność wybarwień na działanie potu:	wyroby tekstylne	stopień: nie mniej niż: 3-4	PN-P-84525:1998
kwaśnego – stopień zabrudzenia bieli			
alkalicznego – stopień zabrudzenia bieli			
kwaśnego – stopień zmiany barwy			
alkalicznego – stopień zmiany barwy			
Bisfenol-A	tworzywa, powłoki	0,1 mg/l (limit migracji)	Dyrektywa 2009/48/WE
Fenol		5 mg/l (limit migracji)	z późn. zm.
Chloroalkany – krótkołańcuchowe chlorowane parafiny SCCP	tworzywa, tkaniny	0,15 %	Rozporządzenie 850/2004
Pestycydy	wyroby tekstylne	1 mg/kg (suma)	Oeko-Tex® Standard 100
Formamid		0,02 %	

/b – uchylone akty prawne

5. Metody badawcze Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska dotyczące oznaczania substancji szkodliwych

Obecność substancji toksycznych w produktach składających się na odzież ochronną należy potwierdzić poprzez przeprowadzenie badań laboratoryjnych, a następnie ocenę bezpieczeństwa użytkowania produktów, w świetle granicznych wartości dopuszczalnych, stanowiących kryteria oceny. Przed przystąpieniem do badań laboratoryjnych należy dobrać odpowiedni zakres badań dla produktów, mając na uwadze ich zróżnicowanie materiałowe. Zakres ten stanowi indywidualną dla danego rodzaju wyrobu, listę substancji, które należy poddać badaniom.

Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska ITG KOMAG prowadzi akredytowane badania odzieży ochronnej, w tym badania pierwszorzędowych amin aromatycznych metodą chromatografii cieczowej, zawartości chromu (VI) i formaldehydu metodą spektrofotometryczną, uwalniania niklu za pomocą spektrometru jonizacji atomowej (ICP-MS), zawartości ftalanów, fumaranu dimetylu oraz WWA metodą chromatografii gazowej, badania pH, a także badania odporności wybarwień na wodę i pot.

O konieczności prowadzenia badań stanowią dotychczasowe wyniki. W przebadanych w 2018 r. skórzanych rękawicach ochronnych w 10% z nich wykrywano Cr (VI), w ilościach przekraczających dopuszczalny limit: 3 mg/kg. W wyrobach z tkanin, w 4 % znajdowały się pierwszorzędowe aminy aromatyczne oraz formaldehyd. Występowały również przypadki wykrywania ftalanów w wyrobach foliowych – 7% oraz WWA w próbkach gumowych – 18% spośród przebadanych.

6. Podsumowanie

Odzież ochronna pracowników sektora górniczego zaliczana jest do środków ochrony indywidualnej. Zróżnicowanie materiałowe odzieży dostosowujące do rodzaju wykonywanej pracy, podyktowane jest szeroką gamą produktów włókienniczych, skórzanych, tworzyw sztucznych i elementów metalowych. W materiałach tych mogą występować substancje szkodliwe, które w konsekwencji są uwalniane z odzieży ochronnej, przykładowo: z wyrobów włókienniczych – rakotwórcze aminy aromatyczne, skórzanych – rakotwórczy Cr (VI), z elementów metalowych – uczulający nikiel.

Wprowadzenie na rynek powyższych wyrobów powinno być poprzedzone procesem certyfikacji, opartym na wynikach badań, wykonanych w akredytowanym laboratorium badawczym. Każdorazowo zakres badawczy dostosowany jest do zastosowanych materiałów. Kryteriami oceny bezpieczeństwa użytkowania materiałów zastosowanych do wytwarzania odzieży ochronnej są wartości graniczne substancji niebezpiecznych, wynikające z aktów prawnych i dokumentów związanych.

Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska ITG KOMAG dysponuje zapleczem badawczym, umożliwiającym oznaczanie substancji chemicznych, które należy poddawać kontroli w odzieży ochronnej. Opracowany w laboratorium zakres badań substancji szkodliwych, stanowi źródło informacji dla organów odpowiedzialnych za wyposażanie pracowników sektora górniczego w odzież ochronną.

Literatura

1. Rybicki E., Kluka A., Parysiewicz W., Zegarlińska B.: Odzież robocza z tkanin wykończonych antyelektrostatycznie, przeznaczona do stosowania w podziemnych wyrobiskach górniczych. *Wiad. Gór.* 2001, nr 1 s. 34-38, il., bibliogr. 6 poz.
2. Andrzejewska A.: Możliwość występowania szkodliwych substancji chemicznych w materiałach stosowanych w rękawicach i obuwiu ochronnym. „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka” 2006, nr 5, s. 25-28
3. Bartoszek B.: Identyfikacja substancji szkodliwych w wyrobach – metody analityczne. Analiza literaturowa oraz badania wstępne wpływu elementów procesu analitycznego na wynik oznaczania substancji szkodliwych w wyrobach. ITG KOMAG Gliwice 2008 (materiały niepublikowane)
4. Lipowczan A.: Ocena systemu doboru i stosowania środków ochrony indywidualnej w polskim górnictwie. *Bezp. Pr. Ochr. Śr. Gór.* 2009, nr 7, s. 3-6.
5. Strobin G.: Obecny stan prawny w obszarze bezpieczeństwa tekstyliów i odzieży w Polsce oraz najczęściej występujące nieprawidłowości w świetle badań zleczanych do Laboratorium UOKiK w Łodzi, Seminarium Naukowe Łódź, 15 czerwca 2016 (6 sierpnia 2018)
http://www.ptt.uek.krakow.pl/edc_media/Lite/Item-0074/TinyFiles/G-strobin-pl.pdf
6. Raport – produkty włókiennicze w świetle kontroli Inspekcji Handlowej [2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014], UOKiK, Warszawa.
https://www.uokik.gov.pl/raporty_z_kontroli_inspekcji_handlowej.php (20 sierpnia 2018)
7. https://ec.europa.eu/consumers/consumers_safety/safety_products/rapex/alerts/?event=main.listNotifications&lng=pl (20 sierpnia 2018)
8. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.ekon-element-0001711199099> Salerno-Kochan R.: Nowe elementy towaroznawczej oceny

- bezpieczeństwa wyrobów włókienniczych, Kraków, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, 2011
9. Sprawozdania z lat 2008-2018, Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska, ITG KOMAG
 10. PN-EN ISO 13688:2013-12 Odzież ochronna – Wymagania ogólne
 11. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylenia dyrektywy Rady 89/686/EWG (OJ L 81, 31.3.2016, p. 51–98)
 12. Dyrektywa Rady z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do wyposażenia ochrony osobistej (OJ L 399, 30.12.1989, p. 18–38)
 13. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018XC0327\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018XC0327(01)&from=EN) (13 sierpnia 2018)
 14. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (Dz.U. 2005 nr 259 poz. 2173)
 15. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 kwietnia 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i znakowania produktów włókienniczych (Dz.U. 2004 nr 81 poz. 743)
 16. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1007/2011 z dnia 27 września 2011 r. w sprawie nazewnictwa włókien tekstylnych oraz etykietowania i oznakowywania składu surowcowego wyrobów włókienniczych, a także uchylenia dyrektywy Rady 73/44/EWG oraz dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady 96/73/WE i 2008/121/WE Tekst mający znaczenie dla EOG (OJ L 272, 18.10.2011, p. 1–64)
 17. Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE z późn. zm. (Dz.U. L 396, 30.12.2006, p.1)
 18. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i

- mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (OJ L 353, 31.12.2008, p. 1–1355)
19. <https://echa.europa.eu/pl/candidate-list-table> (17 września 2018)
 20. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/48/WE z dnia 18 czerwca 2009 r. w sprawie bezpieczeństwa zabawek (OJ L 170, 30.6.2009, p. 1–37)
 21. <http://ce-poradnik.pl/tag/aktualne-normy-zharmonizowane-dla-zabawek-dyrektywa-200948we/> (18 lutego 2019)
 22. https://www.oeko-tex.com/en/business/certifications_and_services/ots_100/ots_100_start.xhtml (3 września 2018)
 23. Dyrektywa 2001/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 grudnia 2001 r. w sprawie ogólnego bezpieczeństwa produktów (OJ L 11, 15.1.2002, p. 4–17)
 24. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 765/2008 z dnia 9 lipca 2008 r. ustanawiające wymagania w zakresie akredytacji i nadzoru rynku odnoszące się do warunków wprowadzania produktów do obrotu i uchylające rozporządzenie (EWG) nr 339/93
 25. <http://archiwum.ciop.pl/1471.html> (29 sierpnia 2018)
 26. https://pl.wikipedia.org/wiki/Odzie%C5%BC_ochronna (29 sierpnia 2018)
 27. Bartkowiak G., Dąbrowska A.: Ergonomia środków ochrony indywidualnej. *Bezp. Pr.* 2016, nr 1, s. 27-29, il., bibliogr. 9 poz.
 28. Drenda J.: Odzież ochronna górników pracujących w gorącym środowisku podziemnym. *Wiad. Gór.* 2014, nr 12, s. 624-628, il., bibliogr. 7 poz
 29. Sobolewski A.: Dobór odzieży ochronnej do przebywania i pracy w środowisku zimnym (1). *Bezp. Pr.* 2013, nr 8, s. 26-30, il., bibliogr. 10 poz
 30. Żabicki D.: Odzież antyelektrostatyczna w strefach zagrożonych wybuchem. *Powd. Bulk* 2014, nr 2, s. 59-60, il.
 31. Brzeziński S.: Problematyka bezpieczeństwa użytkowania wyrobów włókienniczych. *Materiały III Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej: Badania analityczne we włókiennictwie. Bezpieczeństwo użytkowania wyrobów włókienniczych; Łódź, listopad 2000*

32. Śmiechowski K., Woźniak B., Grzesiak, E.: Możliwości redukcji ilości substancji niebezpiecznych w procesach garbarskich. Przegląd Włókienniczy - Włókno, Odzież, Skóra, 2017, nr 12, s. 35-40
33. PN-EN ISO 14184-1:2011 Tekstylnia - Oznaczanie formaldehydu - Część 1: Formaldehyd wolny i zhydrolizowany (metoda ekstrakcji wodnej)
34. PN-P-84525:1998 Odzież robocza - Ubrania robocze
35. PN-EN 420+A1:2012 Rękawice ochronne - Wymagania ogólne i metody badań
36. PN-EN ISO 20345:2012 Środki ochrony indywidualnej - Obuwie bezpieczne
37. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2009 r. w sprawie wprowadzenia środków przewidzianych przepisami o ogólnym bezpieczeństwie produktów w odniesieniu do produktów zawierających biocyd fumaran dimetylu (Dz.U. 2009 nr 72 poz. 621)
38. PN-EN 71-9+A1:2008 Bezpieczeństwo zabawek - Część 9: Organiczne związki chemiczne - Wymagania

INDEKS AUTORÓW

[Janusz Babczyński](#)

[Klaudia Bańczyk](#)

[Rafał Baron](#)

[Bibianna Bartoszek](#)

[Wiesław Blaschke](#)

[Wojciech Cebo](#)

[Paweł Friebe](#)

[Marta Jach-Nocoń](#)

[Aleksander Lutyński](#)

[Katarzyna Ławińska](#)

[Renata Maczuga](#)

[Remigiusz Modrzewski](#)

[Michał Olejnik](#)

[Piotr Pasiowiec](#)

[Jan Sidor](#)

[Barbara Tora](#)

[Jerzy Wajs](#)

[Piotr Wodziński](#)