



Komeko 2018



Instytut Techniki Górniczej

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

BEZPIECZEŃSTWO - JAKOŚĆ - EFEKTYWNOŚĆ



KOMEKO 2018



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. Adam Klich
Dr inż. Dariusz Prostański

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Adam Klich
Prof. dr hab. inż. Jan Sidor
Dr hab. inż. Tomasz Suponik
Prof. dr hab. inż. Barbara Tora
Prof. dr hab. inż. Piotr Wodziński

Redaktorzy techniczni:

Mgr Anna Okulińska
Mgr inż. Bogna Kolasińska

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

ISBN 978-83-65593-11-5

Copyright by Instytut Techniki Górniczej KOMAG

WPROWADZENIE

Szanowni Państwo,

Przedstawiamy Państwu kolejną monografię z cyklu „KOMEKO”, która zawiera przykłady prac badawczych, technicznych i wdrożeniowych, realizowanych przez jednostki naukowe i przemysłowe.

W pierwszym rozdziale monografii dokonano przeglądu kierunków rozwoju systemów przeróbczych surowców mineralnych z uwzględnieniem relacji człowiek – maszyna – środowisko oraz przedstawiono innowacyjne techniki i technologie w tej dziedzinie, ze szczególnym uwzględnieniem technologii procesów przeróbczych węgla. Zaprezentowano ponadto przykłady modernizacji zakładów przeróbczych w aspekcie uzyskanych korzyści technologicznych.

W drugim rozdziale przedstawiono m.in. takie zagadnienia jak: stan technologii zgazowania węgla oraz innych surowców energetycznych, przegląd dotychczas stosowanych i rozważanych technologii utylizacji roztworów zasolonych, czy rekultywacja terenów pogórnich.

Autorzy monografii podjęli trud zgromadzenia w niej wiedzy w zakresie prac analitycznych, modelowania, projektowania, badań laboratoryjnych i przemysłowych oraz wdrażania innowacyjnych rozwiązań z obszaru technologii przeróbki surowców mineralnych oraz ochrony środowiska.

Dziękując autorom oraz wszystkim tym, którzy przyczynili się do wydania monografii, wyrażamy nadzieję, że publikacja ta będzie kolejnym krokiem na drodze rozwoju innowacyjnych i przyjaznych dla środowiska systemów przeróbczych surowców mineralnych.

prof. dr hab. inż. Adam Klich

dr inż. Dariusz Prostański

Redaktorzy naukowci monografii

Gliwice, marzec 2018 r.

SPIS TREŚCI**ROZDZIAŁ I****NOWE ROZWIĄZANIA MASZYN I URZĄDZEŃ ZWIĘKSZAJĄCE
WYDAJNOŚĆ PROCESÓW PRZERÓBCZYCH**

1. Budowa i zastosowanie współczesnych układów kruszenia	5
2. Przesiewacze progress eco w zakładzie wzbogacania odpadów węglowych Heřmanicka haŭda w Ostrawie (Czechy)	21
3. Modernizacja węzła osadzarkowego w zakładzie mechanicznej przeróbki węgla JSW S.A. KWK "PNIÓWEK"	37
4. Modernizacja węzła odwadniania w KWK JANKOWICE poprzez zabudowę hydrocyklonów i wirówek	50
5. Odwadnianie koncentratu węgla na innowacyjnych filtrach parowo-ciśnieniowych	61

ROZDZIAŁ II**WYKORZYSTANIE ODPADÓW GÓRNICZYCH, UTYLIZACJA WÓD
KOPALNIANYCH ORAZ TECHNOLOGIE ZGAZOWYWANIA WĘGLA**

1. Promowanie zrekultywowanych terenów pogórnich	71
2. Metody klasyfikacji i sortowania odpadów mineralnych i komunalnych	90
3. Małoodpadowa utylizacja zasolonych wód kopalnianych w zintegrowanym systemie membranowo – wyparnym	107
4. Stan technologii naziemnego zgazowania węgla	116
Indeks autorów	135

Budowa i zastosowanie współczesnych układów kruszenia

Jan Sidor - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Streszczenie: Procesy wytwarzania uziarnionych surowców mineralnych oraz materiałów syntetycznych o wymiarach ziaren powyżej 1 mm przeprowadza się w maszynach rozdrabniających – kruszarkach. Każda kruszarka eksploatowana jest w węźle technologicznym zwanym układem, linią, węzłem, systemem, lub rozdrabniania (kruszenia), a jeśli w tym układzie występuje proces klasyfikacji ziarnowej, układ nazywany jest krusząco-przesiewającym lub krusząco-sortującym. Praca zawiera klasyfikacje użytkowanych obecnie układów kruszenia, przykłady ich budowy w wersji stacjonarnej i mobilnej w przemysłach: kruszyw, spoiw mineralnych, węgla kamiennego, rud oraz innych materiałów uziarnionych. Większość z nich stanowią układy jednomaszynowe pracujące w cyklu otwartym z dozowaniem nadawy bez odsiewania podziarna. Układy te cechuje najmniej skomplikowana budowa, ale też najmniejsza efektywność. Największą efektywnością cechują się układy pracujące w cyklu zamkniętym z klasyfikatorem ziarnowym – przesiewaczem i wstępnym odsiewaniem podziarna.

Construction and application of modern crushing systems

Abstract: Processes of producing grained mineral and synthetic raw materials with grain sizes above 1 mm are carried out in comminution machines - crushers. Each crusher is operated in a technological system, line, or node, and if there is a grain classification process in this system, it is called crushing-screening or crushing-sorting system. The work contains classifications of currently used crushing systems, examples of their construction in stationary and mobile versions. The application of these machines in the following industries was also described: aggregates, mineral binders, hard coal, ores and other grained materials. Most of them are stand-alone machine systems operating in an open cycle with the dosing of feed without sub grains pre-sieving. These systems are characterized by the least complicated construction, but also the lowest efficiency. The most effective systems operates in a closed cycle with grains classifier - a screen and a preliminary sub grains pre-sieving.

1. Wprowadzenie

Proces kruszenia zachodzi w maszynie technologicznej – kruszarce. Każda kruszarka do realizacji zadania procesowego wymaga wyposażenia w podstawowe urządzenia pomocnicze, z których najważniejszymi są dozownik nadawy oraz urządzenie odbioru produktu rozdrabniania. Niektórzy użytkownicy traktują wyżej wymienione urządzenia pomocnicze jako integralne zespoły tej maszyny, dotyczy to w szczególności agregatów mobilnych. Kruszarka wraz podstawowymi i dodatkowymi, często bardzo ważnymi urządzeniami pomocniczymi, nazywana jest często: układem technologicznym (lub krótko

układem i tę nazwę przyjęto w pracy), a także linią, węzłem, systemem, agregatem rozdrabniania (kruszenia), a jeśli równocześnie zachodzi w tym układzie klasyfikacja ziarnowa, również układem krusząco-przesiewającym, lub krusząco-sortującym. W każdym przypadku głównym wyposażeniem technologicznym układu jest kruszarka, a pomocniczymi (towarzyszącymi) urządzeniami: dozownik (podajnik) nadawy, urządzenie odbierające produkt kruszenia, układy: zasilania energetycznego, sterowania, kontroli podstawowych parametrów eksploatacyjnych oraz opcjonalnie: separator metali, układ odpylania, archiwizacji parametrów technologicznych, parametrów eksploatacyjnych – ruchowych kruszarki - smarowania, temperatury łożysk, stanu obciążenia silnika kruszarki oraz parametrów technologicznych i eksploatacyjnych urządzeń pomocniczych, wstępnej i finalnej klasyfikacji ziarnowej, układu odpylania i innych.

W układach wstępnego kruszenia o dużych wydajnościach, a zwłaszcza wyposażonych w kruszarki stożkowe, dozowanie nadawy może odbywać się bezpośrednio z wozidła, lub za pomocą ładowarki. Na rynku oferowane są również kruszarki, które w swoim ustroju mają wbudowany wstępny odsiewacz nadziarna, którym jest ruszt wyposażony w jedną lub dwie obrotowe rolki, lub utworzony z rusztowin, który oddziela z nadawy podawanej do kruszarki strumień materiału o uziarnieniu zbliżonym do uziarnienia produktu kruszenia.

W przypadku kruszarek, w których zachodzi jednoczesny proces suszenia rozdrabnianego materiału, w układzie kruszenia znajduje się również palenisko lub instalacja podawania gorących gazów z innego źródła.

Budowę układu kruszenia determinują następujące względy:

- wersja układu (stacjonarny, mobilny, semimobilny, kontenerowy),
- własności technologiczne kruszonego materiału: wytrzymałość na ściskanie, uziarnienie, abrazyjność – związana zwykle z udziałem krzemionki, wilgotność i inne, które znacząco wpływają na rodzaj zastosowanej kruszarki,
- wymagania technologiczne dotyczące produktu kruszenia: skład ziarnowy, maksymalny wymiar ziarna, parametry kształtu ziaren, udział klasy pylistej i inne,
- wydajność układu,
- rodzaj kruszarki (o dominacji obciążeń quasi statycznych, dynamicznych, lub inna),
- dostępność i warunki serwisu kruszarki,
- możliwości finansowe inwestora kruszarki,
- planowany okres eksploatacji kruszarki uwarunkowany: zasobnością złoża surowca, lub produkcją uziarnionego materiału syntetycznego, przewidywanym popytem na produkt kruszenia oraz prognozą kształtowania się kosztów eksploatacji kruszarki związanych z warunkami lokalnymi zakładu przeróbczego (cen energii, produktu kruszenia, pozostałych kosztów eksploatacji, w tym kosztów obsługi) [1],
- ewentualne dodatkowe zadanie technologiczne kruszarki, np. suszenie materiału.

W zależności od wymagań uziarnienia produktu rozdrabniania oraz nadawy, układ kruszenia może być jedno-, dwu- a nawet trójmaszynowy, utworzony z dobranych - odpowiednio do własności fizycznych rozdrabnianego materiału, kruszarek usytuowanych szeregowo.

Ze względu na wymagania technologiczne produktów rozdrabniania, najbardziej złożonymi układami kruszenia są układy technologiczne stosowane w przemyśle kruszyw naturalnych. Problematykę technologiczną układów kruszenia stosowanych w tym przemyśle podano w pracach [2, 3, 4, 5], a układów specjalnego rozdrabniania węgla [6]. Metody doboru kruszarek do układów kruszenia w aspekcie technologicznym podano w pracy [7].

Główne kryterium doboru układu kruszenia zawiera cel technologiczny, czyli wymagane uziarnienie produktu kruszenia, wydajność godzinowa, zmianowa, a w niektórych branżach również kształt ziaren. Cel ten powinien być uzyskany przy możliwie najmniejszych kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz możliwie najmniejszej szkodliwości oddziaływania na środowisko.

Przedmiotem pracy są zagadnienia układów kruszenia w aspekcie mechanicznym, czyli związane z ich budową oraz działaniem. Niewątpliwie budowa układu kruszenia ma również istotny wpływ na parametry technologiczne produktu kruszenia oraz techniczne i ekonomiczne zakładu przerobczego.

2. Klasyfikacja układów kruszenia

Podstawowy podział układów kruszenia uwzględnia możliwość przemieszczania się układu i wyróżnia układy [8, 9, 10, 11, 12]:

- stacjonarne – bez możliwości przemieszczania się (umieszczone na fundamentach),
- mobilne z własnym podwoziem gąsienicowym lub kołowym oraz zintegrowanym napędem do przemieszczania na terenie wyrobiska,
- semimobilne z podwoziem kołowym bez napędu, które do przemieszczania na terenie wyrobiska oraz po drogach publicznych wymaga ciągnika, lub samochodu,
- kontenerowe – przystosowane do transportu na specjalnych naczepach ciągnikowych.

Podział drugi klasyfikuje układy ze względu na liczbę stopni kruszenia, czyli kruszarek usytuowanych szeregowo w układzie. Są to układy: jedno-, dwu- a nawet trójstopniowe. Układy te nazywa się również odpowiednio: jedno-, dwu- oraz trójmaszynowe. Kolejny podział dotyczy sposobu dozowania nadawy do kruszarki i wyróżnia:

- dozowanie podajnikiem (przenośnikiem stalowo-członowym, lub taśmowym) bez wstępnego odsiewania podziarna,
- dozowanie podajnikiem z wstępnym odsiewaniem podziarna – wyposażonym w ruszt zewnętrzny lub wbudowany w ustrój kruszarki,
- dozowanie ładowarką lub wozidłem najczęściej bezpośrednio do paszczy kruszarki, a w niektórych przypadkach przez ruszt.

Ważny podział dotyczy sposobu pracy pojedynczej kruszarki i wyróżnia układy:

- pracujące w cyklu otwartym bez klasyfikatora ziarnowego (przesiewacza),
- pracujące w cyklu otwartym z klasyfikatorem ziarnowym produktu kruszenia – jedno- lub kilku pokładowym przesiewaczem,

- pracujące w cyklu zamkniętym z klasyfikatorem ziarnowym - najczęściej jednopokładowym przesiewaczem oraz układem transportowym zawrotu nadziarna do ponownego kruszenia w kruszarce,
- pracujące w cyklu zamkniętym wyposażone w ruszt odsiewający podziarno z nadawy.

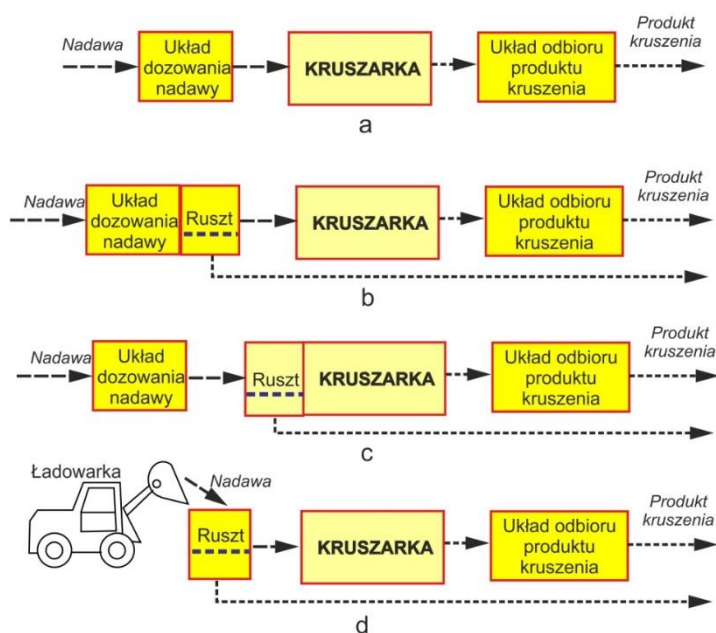
W praktyce wiele układów kruszenia użytkowanych jest jako dwu- i trójmaszynowe z różnymi wariantami pracy pojedynczej kruszarki, np. w układzie dwustopniowym pierwsza kruszarka może posiadać ruszt odsiewający i pracuje w cyklu otwartym, a kruszarka drugiego stopnia bez rusztu odsiewającego pracująca w cyklu zamkniętym.

Ze względu na środowisko i warunki technologiczne procesu kruszenia wyróżnia się układy kruszenia z procesem rozdrabniania zachodzącym w:

- powietrzu – dominująca ilość,
- gazach suszących, czyli z jednoczesnym suszeniem,
- w wodzie [13],
- z uszlachetnianiem - kubizacją ziaren produktu kruszenia [4, 7],
- z wstępnym wzbogacaniem kruszonego materiału przez wydzielenie z niego ziaren zanieczyszczeń o innym kolorze [14], zwanym też wzbogacaniem optycznym.

3. Budowa układów kruszenia

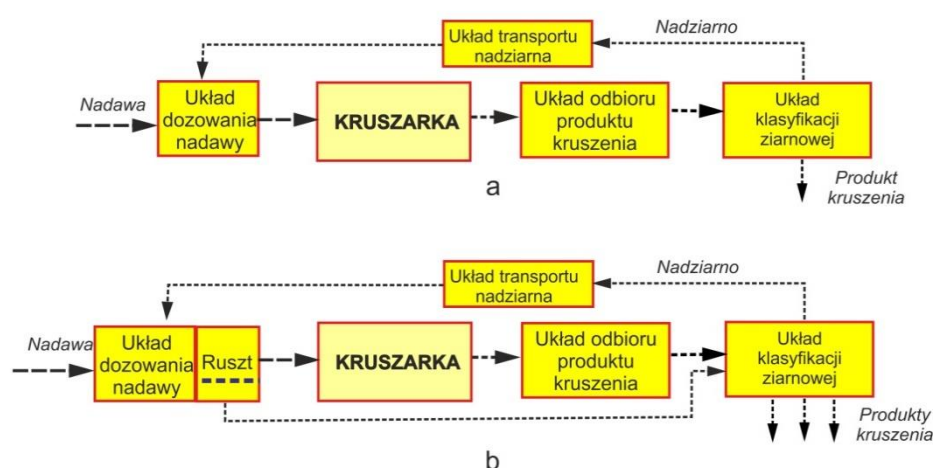
Na rysunku 1 zamieszczono cztery warianty budowy najmniej skomplikowanych, jednostopniowych układów kruszenia – kruszarek pracujących w cyklu otwartym.



Rys. 1. Układy kruszenia jednostopniowego z kruszarkami pracującymi w cyklu otwartym:
a – bez wstępnego klasyfikatora, b – z wstępnym klasyfikatorem – rusztem umieszczonym za podajnikiem nadawy lub z nim zintegrowanym, c – z rusztem wbudowanym w ustrój kruszarki,
d – z odrębnym rusztem umieszczonym nad wlotem kruszarki, na który nadawa podawana jest przez ładowarkę

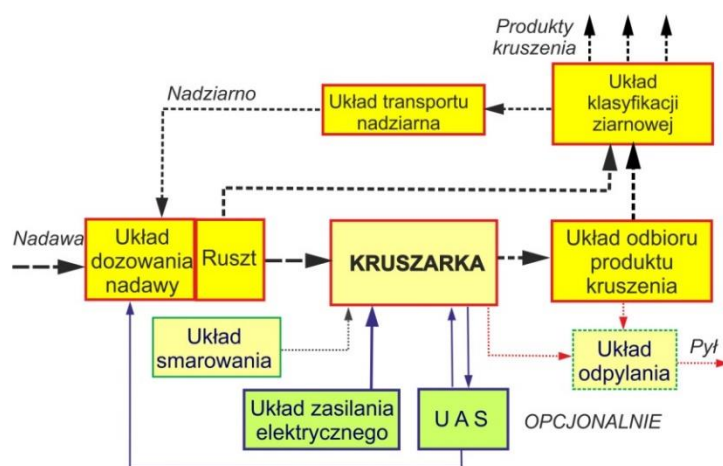
Rysunek 1 nie uwzględnia jeszcze dwóch wariantów układu kruszenia. Wariantu, w którym dozowanie nadawy odbywa się bezpośrednio z wozidła. Wariant ten stosowany jest w dozowaniu kruszarek stożkowych o dużej wydajności. Drugi wariant to układ, w którym oprócz procesu rozdrabniania występuje proces suszenia. Wówczas do strefy kruszenia podawane są gorące gazy z paleniska lub z innego źródła ciepła.

Na rysunku 2 zamieszczono dwa typowe układy kruszenia, w których kruszarki eksploatowane są w cyklu zamkniętym, czyli z klasyfikatorem ziarnowym – przesiewaczem. Podstawowa różnica pomiędzy tymi układami polega na zastosowaniu (rys. 2b) wstępnego odsiewania podziarna z nadawy odprowadzanego zwykle do przesiewacza.



Rys. 2. Układy kruszenia jednostopniowego z kruszarkami pracującymi w cyklu zamkniętym:
 a – bez wstępnego klasyfikatora z przesiewaczem jednopokładowym, b – z wstępnym klasyfikatorem oraz przesiewaczem kilku pokładowym

Na rysunku 3 zamieszczono układ jednostopniowego kruszenia zawierający najważniejsze układy pomocnicze kruszarki: zasilania energetycznego, automatycznego sterowania - UAS, smarowania oraz opcjonalnie odpylania i oczyszczania powietrza.



Rys. 3. Układ kompletnego kruszenia jednostopniowego z kruszarką pracującą w cyklu zamkniętym z pozostałymi układami pomocniczymi współpracującymi tylko z kruszarką

Na rysunku 3 pominięto system archiwizacji parametrów kruszarki oraz wszystkich urządzeń pomocniczych, a także układy sterowania pozostałymi układami pomocniczymi (dozowania nadawy, odbioru produktu kruszenia oraz transportu zawrotu – nadziarna).

Układ kruszenia przedstawiony na rysunku 3 stosowany jest głównie w układach stacjonarnych. Natomiast w układach mobilnych częściej stosowany jest układ kruszenia z odsiewem podziarna na odrębną hałdę.

Na przedstawionych wyżej rysunkach pominięto eksperymentalne układy kruszenia stosowane w technologiach: kruszenia na mokro [13], z młynami (prasami walcowymi HPGR), rozdrabniania SWE, ZSEE, odpadów komunalnych oraz z wstępnym wzbogacaniem materiału metodą optyczną [14].

Bardzo ważnym problemem jest zapewnienie dozowania nadawy do kruszarek o możliwie najmniejszych wahaniami wydajności – przy dozowaniu wolumetrycznym, co ma największe znaczenie w pracy kruszarek z dominacją obciążeń dynamicznych, czyli kruszarek młotkowych, bijakowych oraz odśrodkowych, a także kruszarek stożkowych, zwłaszcza przy rozdrabnianiu materiałów o wytrzymałości na ściskanie powyżej 150 MPa.

Na podstawie własnych doświadczeń firma Metso stwierdziła, że najlepsze parametry jakościowe produktu rozdrabniania można otrzymać dzięki przestrzeganiu pewnych reguł eksploatacyjnych zwanych „złotymi regułami” [15]. Zasady te są znane użytkownikom kruszarek stożkowych, a ich stosowanie zapewnia właściwe wykorzystanie tych urządzeń oraz otrzymywanie produktów kruszenia wysokiej jakości.

Najważniejsze „złote reguły” to:

- zapewnienie komory kruszenia wraz ze stabilnym i ciągłym podawaniem nadawy,
- stabilne utrzymywanie w nadawie podziarna - materiału o wymiarze ziaren poniżej wymiaru szczeliny,
- zachowanie odpowiedniego i stabilnego wymiaru ziaren materiału podawanego na trzeci stopień kruszenia,
- właściwe rozprowadzenie nadawy do kruszarki,
- racjonalne ustawienie szczeliny w celu uzyskiwania wymaganej klasy ziarnowej produktu kruszenia.

Znaczną poprawę parametrów technologicznych w układach kruszenia uzyskuje się przez zastosowanie układów automatycznego sterowania, zwłaszcza do dozowania nadawy. Jest to szczególnie ważne w przypadku kruszarek udarowych (młotkowych, bijakowych i odśrodkowych). Układy te zapewniają minimalizację kosztów procesu kruszenia, zwłaszcza jednostkowego poboru energii oraz zapewniają stabilną pracę kruszarek przez dostosowanie wydajności podajnika dozującego nadawę do stanu obciążenia silnika kruszarki, przy zmiennym uziarnieniu oraz zmiennych własnościach fizycznych nadawy. Stabilne warunki pracy kruszarki zapewniają jednocześnie stabilne uziarnienie produktu kruszenia, co stanowi dodatkowo korzystny rezultat technologiczny.

4. Stacjonarne układy kruszenia

Stacjonarne układy kruszenia znajdują się zwykle w zadaszonych halach, a kruszarka i urządzenia pomocnicze użytkowane są na stałych fundamentach. Budowa stacjonarnego układu kruszenia uwarunkowana jest jego wydajnością, własnościami fizycznymi rozdrabnianego materiału, stopniem rozdrabniania (wstępny, średni, drobny), wymaganiami technologicznymi produktu kruszenia, lokalizacją układu (teren płaski, zbocze góry i inne), jego wyposażeniem, a także możliwościami ekonomicznymi inwestora.

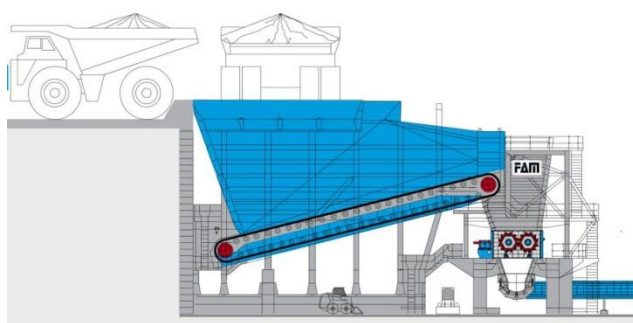
Układy stacjonarne stosowane są najczęściej w zakładach przeróbczych, do których nadawa sprowadzana jest z kilku kopalni lub złóż, a produkt kruszenia jest podawany do kolejnego procesu rozdrabniania – mielenia.

W układach stosowanych do wstępnego kruszenia wyróżnić można trzy rozwiązania różniące się sposobem dozowania nadawy do kruszarki, to jest:

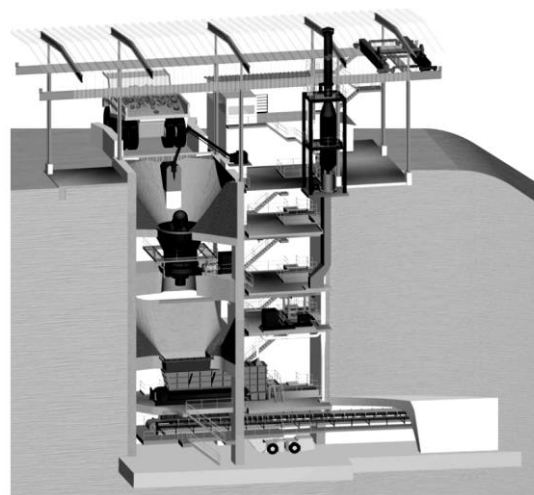
- dozowanie bezpośrednio do kruszarki (leja, paszczy) z samochodu, wozidła lub ładowarki – rozwiązanie stosowane przy kruszarkach szczękowych i stożkowych,
- dozowanie przez podajnik stalowo-członowy – stosowane w układach pierwszego stopnia kruszarek bijakowych i młotkowych,
- dozowanie z samochodu, wozidła lub ładowarki z wstępnym odsiewaniem nadziarna.

W układach kruszenia stosowanych na drugim lub trzecim stopniu rozdrabniania nadawa do kruszarki podawana jest najczęściej standardowym przenośnikiem taśmowym.

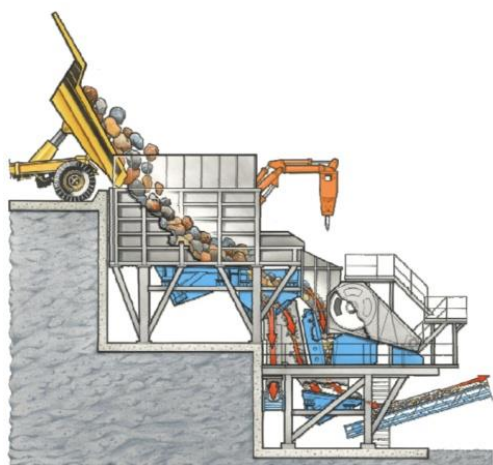
Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych typowych stacjonarnych układów kruszenia zamieszczono na rysunkach 4÷7.



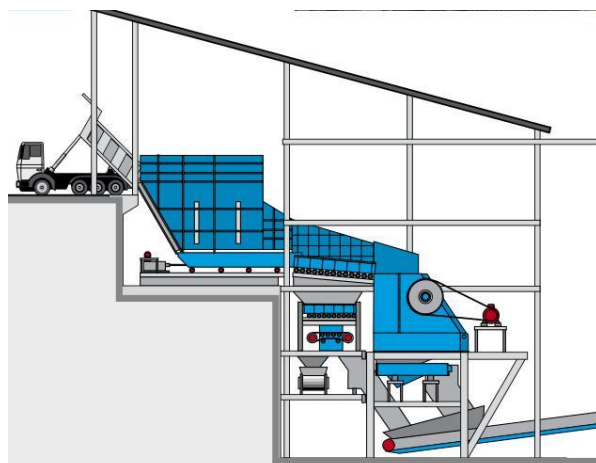
Rys. 4. Układ kruszenia bez wstępnego odsiewania z dozowaniem przenośnikiem stalowo-członowym firmy FAM [16]



Rys. 5. Układ kruszenia bez wstępnego odsiewania z dozowaniem wozidłem [17]



Rys. 6. Układ kruszenia z dozowaniem podajnikiem wibracyjnym i odsiewaniem nadziarna [18]



Rys. 7. Układ kruszenia z dozowaniem podajnikiem rynnowym i odsiewaniem nadziarna firmy FAM [16]

Dozowanie wolumetryczne nadawy przenośnikiem taśmowym nie jest dokładne, dlatego aby zapewnić stabilną pracę kruszarek, zwłaszcza kruszarek udarowych (młotkowych, bijakowych i odśrodkowych) zaleca się dozowanie nadawy podajnikiem wibracyjnym [8]. Zaletą tego podajnika jest łatwiejsza możliwość sterowania jego wydajnością do aktualnego obciążenia silnika kruszarki, dzięki temu można wykorzystywać bezpiecznie możliwości technologiczne kruszarki, w szczególności stabilne uziarnienie produktu kruszenia, przy zmiennych własnościach fizycznych nadawy.

W ostatnich latach coraz częściej stosowane są kruszarki odśrodkowe. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych stacjonarnych układów kruszenia z kruszarką odśrodkową przedstawiono na rysunkach 8÷9. Są to układy firmy BHS Sonthofen, z których tego rodzaju układ (rys. 8) [19] zastosowano do kruszenia materiałów generujących niewielkie ilości pyłu, natomiast układ zamieszczony na rysunku 9 do kruszenia materiałów o dużej zawartości pyłu. W tym układzie, ze względu na silny efekt wentylatorowy - występujący w kruszarkach wirnikowych (młotkowych, bijakowych i odśrodkowych), zamiast klasycznego układu odpylania, zastosowano system cyrkulacji powietrza, który odprowadza pył z nad strefy kruszenia do przesypu na przenośnik taśmowy odbierający produkt kruszenia z kruszarki. Rozwiązanie to znacząco upraszcza układ kruszenia, obniża jego koszty. Najbardziej złożone układy kruszenia występują w produkcji kruszyw przeznaczonych do betonów, budowy dróg, jako wsad do pieców szybowych wypalających wapno palone oraz innych technologii. Najmniej złożone układy kruszenia stosuje się w przypadku, gdy produkt kruszenia poddawany jest mieleniu. Wówczas nieistotny jest kształt ziaren, ale głównie otrzymanie produktu kruszenia o jak najdrobniejszym uziarnieniu.

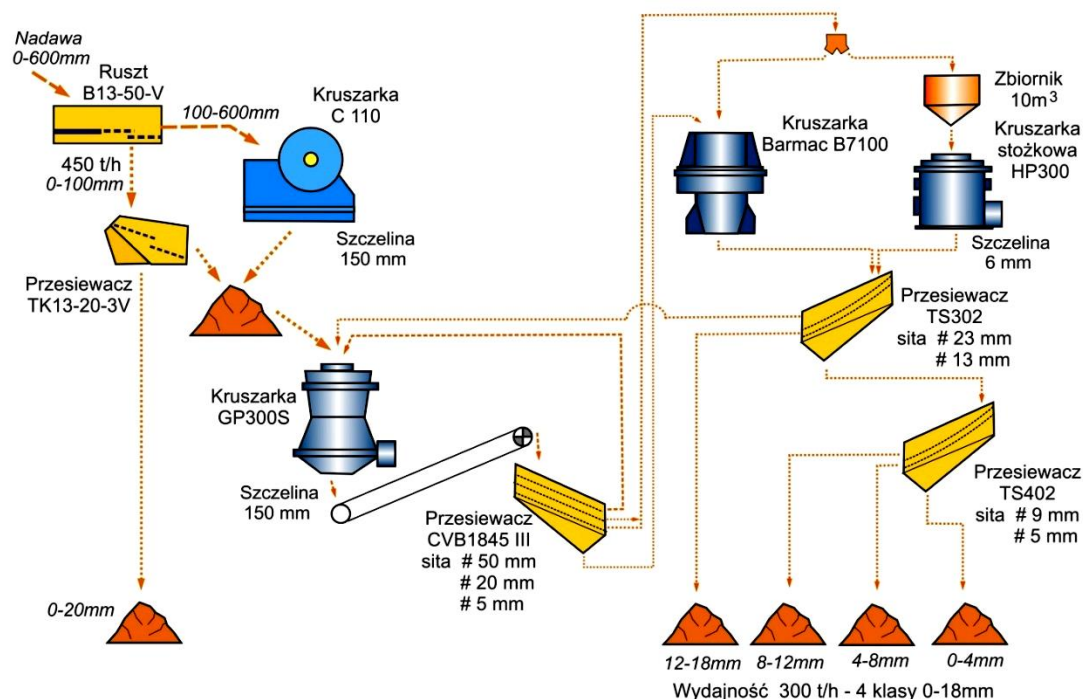


Rys. 8. Układ kruszenia kruszarki odśrodkowej z dozowaniem podajnikiem wibracyjnym bez odsiewania nadziarna [19]



Rys. 9. Układ kruszenia z dozowaniem przenośnikiem taśmowym i cyrkulacją zapyłonego powietrza [19]

Rysunek 10 przedstawia schemat układu przerobczego do produkcji wysokiej jakości kruszywa z surowca o dużej wytrzymałości mechanicznej (około 250 MPa), o specjalnych wymaganiach odnośnie kształtu ziaren, to jest kruszywa do produkcji betonów specjalnych.



Rys. 10. Schemat budowy stacjonarnego układu krusząco-przesiewającego do wytwarzania kruszywa do produkcji betonu. Schemat opracowano na podstawie materiałów firmowych firmy Metso Minerals [12]

5. Mobilne, semimobilne i kontenerowe układy kruszenia

W ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie, bardziej uniwersalnymi układami niestacjonarnymi. Są to w dominującej większości agregaty rozdrabniająco-klasyfikujące. Najczęściej nazywane są kruszarkami mobilnymi [9, 10], zestawami mobilnymi [7, 10, 11], sortująco-kruszącymi [11, 12], lub mobilnymi układami technologicznymi [13, 14]. Ich budowa wskazuje, że są to układy technologiczne tworzące jednolitą strukturę mechaniczną z wspólnym zasilaniem energetycznym, sterowaniem, przystosowane do przemieszczania w obrębie kopalni oraz pomiędzy kopalniami. Układy te nie mają fundamentów, a łatwą zmianę położenia umożliwia im własne podwozie, własny lub zewnętrzny napęd, lub tylko przystosowanie do transportu. W języku angielskim noszą nazwy: *mobile crushing plants*, lub *mobile crusher*, a w niemieckim: *Mobile Zerkleinerungsanlagen*.

Układy te dzięki korzystnym parametrom technologicznym, możliwości sterowania i regulacji parametrów technologicznych z kabiny operatora, łatwości automatyzacji, autonomicznemu układowi napędowemu (mobilne), który dodatkowo jest źródłem energii elektrycznej dla wszystkich zainstalowanych w nim maszyn, mobilności w obrębie wyrobiska oraz często możliwości eliminacji kosztownych wozideł, są w programach produkcyjnych niemal wszystkich producentów kruszarek. Ich wiodący producenci to: Metso (Lokotrack), firmy z grupy Metso: Sandvik i Nordberg, oraz Aubema, Amman, Atlas Copco, BHS Sonthofen, FLSmidth, Kleeman, MFL, McCloskey, PSP Engineering a.s., Terex, Thyssen-Krupp, a także firmy rosyjskie, chińskie, japońskie, koreańskie, hinduskie, z Republiki Południowej Afryki. W Polsce producentami tych agregatów są: KGHM Zanam, Makrum S.A., Makrusz S.A. oraz Goster.

W skład typowego układu rozdrabniająco-klasyfikującego wchodzi:

- kruszarka (szczękowa, stożkowa, bijakowa, odśrodkowa i inne) – jako podstawowa maszyna technologiczna,
- dozownik nadawy – podajnik wibracyjny z koszem zasypowym, opcjonalnie z rusztem odsiewającym podziarno z nadawy,
- przesiewacz produktu kruszenia,
- agregat napędowy,
- konstrukcja wsporcza – rama,
- podwozie – gąsienicowe, kołowe,
- układ elektryczny,
- układ sterowania, kontroli i archiwizacji,
- przesypy, zsypy,
- opcjonalnie: separator magnetyczny, układ odpylania i inne.

Układy rozdrabniająco-klasyfikujące produkowane są w trzech wariantach, to jest jako [3, 10]:

- mobilne - kompletne agregaty z własnym podwoziem kołowym – przy mniejszych wydajnościach lub gąsienicowym przy średnich i dużych oraz własnym autonomicznym napędem i sterowaniem,
- semimobilne - kompletne agregaty z własnym podwoziem najczęściej kołowym, ale nie posiadające własnego napędu. W tych agregatach do zmiany lokalizacji wymagany jest dodatkowy napęd zwykle z ciągnika, przy czym agregaty te mogą być również transportowane po drogach publicznych,
- kontenerowe (kompaktowe) – zestawiane z jednej, lub kilku maszyn przeróbczych, wspólnym zasilaniem i sterowaniem i usytuowane w naczepach ciągnikowych, przy czym do ich przemieszczania niezbędny jest ciągnik lub samochód.

Na rysunku 11 przedstawiono układ mobilny typ Lokotrack 1213S firmy Metso przystosowany do pracy kruszarki w zamkniętym cyklu kruszenia [16].



Rys. 11. Układ mobilny Lokotrack LT z kruszarką bijakową NP1213M [20]

Podstawowe parametry układu mobilnego Lokotrack LT: wydajność: 400 Mg/h, moc 310 kW, masa 40 Mg.

Największe wydajności, zainstalowane moce i masę mają układy mobilne produkowane na zamówienie do odkrywkowych kopalń węgla, rudy żelaza, rudy miedzi, piasków roponośnych osiągają wydajności od 3000 do 13 000 Mg/h, moce od 1000 do 3000 kW i masę od 250 do 800 Mg [9].

Na rysunku 12 zamieszczono mobilny układ do przeróbki węgla firmy Thyssen-Krupp Robins o wydajności około 10 000 Mg/h [21].



Rys. 12. Układ mobilny o dużej wydajności do przeróbki węgla [21]

Na rysunku 13 zamieszczono semimobilny zestaw firmy Metso NW 116 z kruszarką szczękową [22].

Podstawowe parametry zestawu semimobilnego firmy Metso NW 116 z kruszarką szczękową: wydajność: 520 Mg/h, moc 132 kW, masa 41,3 Mg.

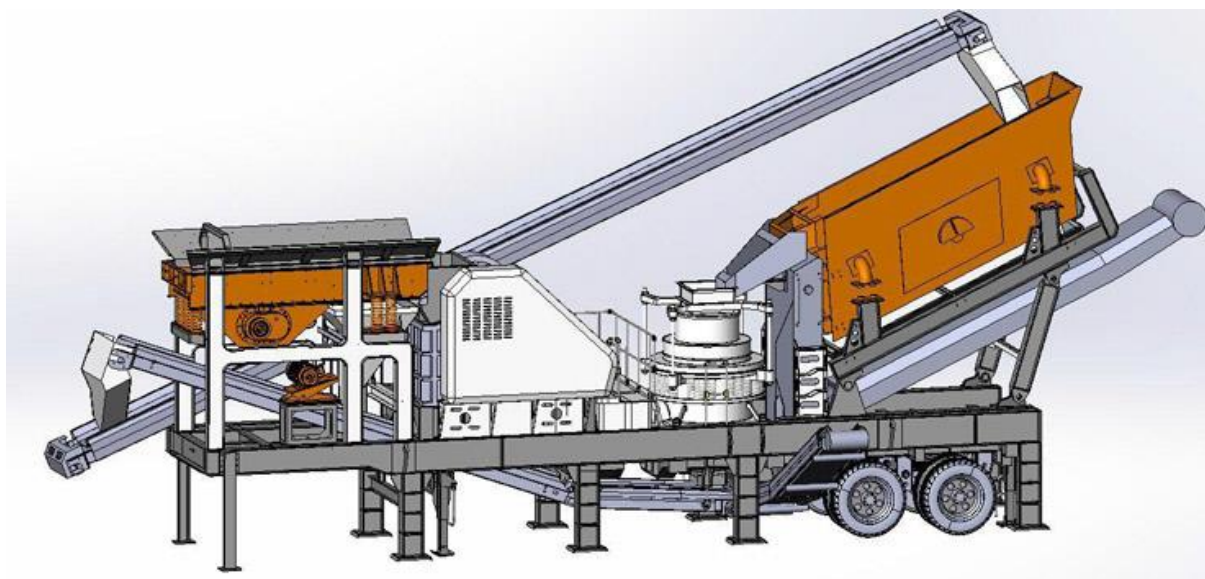


Rys. 13. Semimobilny układ kruszenia firmy Metso NW116 z kruszarką szczękową [22]

W wyżej wymienionych agregatach umieszcza się niemal wszystkie rodzaje kruszarek, to jest szczękowe, stożkowe, młotkowe, bijakowe i odśrodkowe (z wałem pionowym). Agregaty

te produkowane są jako kruszarki wstępne o szerokim zakresie wydajności od ponad 100 Mg/h do około 1500 Mg/h. Masa największych agregatów mobilnych produkowanych seryjnie dla potrzeb przemysłu kruszyw mineralnych wynosi 400 Mg, a zainstalowana moc 580 kW [22].

Na rysunku 14 zamieszczono oryginalne rozwiązanie zestawu dwóch kruszarek szczękowej i stożkowej w wersji semimobilnej przeznaczonych do kruszenia materiałów o wytrzymałości na ściskanie powyżej 200 MPa o niewielkiej wydajności 30-50 Mg/h, dużym stopniu rozdrobnienia z pracą w cyklu zamkniętym [24].



Rys. 14. Semimobilny układ kruszenia dwoma kruszarkami [24]

Najważniejszą zaletą tych agregatów jest mobilność, czyli możliwość stosunkowo szybkiego przemieszczania w obrębie wyrobiska, w szczególności możliwość przeróbki mechanicznej kruszywa w pobliżu ściany wydobywczej, bez kosztownego urządzenia transportu technologicznego, czyli wozideł. Agregaty mobilne można stosować na pierwszym, drugim i trzecim stopniu rozdrabniania. Dzięki łatwej i szybkiej możliwości zmian parametrów kruszarek można najkorzystniej zmieniać udziały poszczególnych klas ziarnowych kruszyw. Stosowane do napędu układów silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym i dużej mocy są przyjazne dla środowiska dzięki spełnieniu aktualnych norm emisji spalin, obowiązujących dla silników towarowego transportu publicznego.

Odrębną grupę, znacznie mniejszą ilościowo oraz o znacząco mniejszej wydajności od klasycznych układów mobilnych i semimobilnych, stanowią układy kontenerowe zwane również kompaktowymi. Produkowane są przez wiele firm, a w Polsce przez firmy: KGHM Zanam, Makrum, Goster, Lento. Układy te szczególnie przydatne dla zakładów przerobczych o wydajności nie przekraczającej 100 Mg/h.

Na rysunku 15 zamieszczono układ kontenerowy firmy KGHM ZANAM typ KKL50GE/KKL50E przeznaczony do przeróbki mechanicznej surowców mineralnych i gruzu budowlanego [25].



Rys. 15. Układ mobilny o dużej wydajności do przeróbki gruzu budowlanego i granitu [25]

Wydajność układu (rys. 15) wynosi do 34 m³/h – przy rozdrabnianiu gruzu budowlanego oraz do 24 m³/h – przy rozdrabnianiu granitu, przy zainstalowanej mocy 90 kW oraz masie 22 Mg [26].

6. Podsumowanie

W ostatnich latach można zaobserwować rozwój układów przeróbczych krusząco-przesiewających, przy czym najszybszy rozwój dotyczy układów mobilnych, semimobilnych i kontenerowych.

Najbardziej złożone są układy stacjonarne przeznaczone do produkcji kruszyw z materiałów o wytrzymałości na ściskanie powyżej 200 MPa przeznaczonych do produkcji betonu oraz budowli inżynierskich, dróg, lotnisk.

Szybszy rozwój układów mobilnych spowodowany jest możliwością obniżenia kosztów transportu przez łatwe i szybkie ich przemieszczanie pod eksploatowaną ścianę wydobywczą. Dzięki temu w kopalni można wyeliminować transport kołowy. Mobilna linia kruszenia może być zestawiana z dwóch, a nawet trzech niezależnych układów mobilnych o szerokim zakresie wydajności oraz szerokim zakresie możliwości technologicznych.

Podstawową zaletą układów mobilnych, semimobilnych i kontenerowych jest ich zwarta konstrukcja, jedna konsola operatora, do sterowania i monitorowania parametrów technologicznych i eksploatacyjnych układu, takich jak: wymiar szczeliny wylotowej kruszarki szczękowej lub stożkowej, chwilowa wydajność kruszarki, parametry eksploatacyjne silnika spalinowego i układu elektrycznego oraz sterowania generowane przez układ automatycznego sterowania. Rozwiązanie to zmniejsza liczebność, a tym samym koszty personelu obsługi.

W wielu przypadkach koszty inwestycji drogowych można obniżyć przez zmniejszenie kosztów transportu kruszyw z odległości powyżej kilkudziesięciu kilometrów. Można to

uzyskać przez wykorzystanie kruszyw z lokalnych złóż, dzięki szybkiemu przemieszczeniu układu mobilnego z innej, bardziej odległej kopalni i przystosowaniu go do eksploatacji w ciągu jednej lub dwóch zmian, a po zakończeniu inwestycji szybkie przemieszczenie na kolejną inwestycję drogową.

Układy semimobilne, a w szczególności zestawy kontenerowe, są mniej złożone od mobilnych, cechują się mniejszymi kosztami inwestycyjnymi i są bardzo przydatne dla mniejszych i małych firm, które mogą je eksploatować nie tylko jako właściciele, lecz także w leasingu, co ma szczególne znaczenie w mniejszych lokalnych inwestycjach, czy podczas przeróbki gruzu budowlanego.

Literatura

1. Kawalec P.: Podstawa doboru maszyn czyli kosztowa i technologiczna ocena układu produkcyjnego. Surowce i Maszyny Budowlane. Nr 4-5, 2017, s. 74-77
2. Nowak A., Gawenda T.: Analiza porównawcza kruszarek w wielostadialnych układach rozdrabniania skał bazaltowych. Górnictwo i Geoinżynieria. R. 30 Z. 3/1 2006, s. 267-278
3. Gawenda T.: Analiza porównawcza mobilnych i stacjonarnych układów technologicznych przesiewania i kruszenia. Annual Set The Environment Protection Rocznik Ochrona Środowiska. Vol. 15. 2013 s. 1318–1335
4. Gawenda T.: Innowacyjne technologie produkcji kruszyw o ziarnach foremnych. Mining Science – Mineral Aggregates, vol. 22(1), 2015, s. 45–59
5. Gawenda T.: Produkcja surowców mineralnych o wąskim zakresie uziarnienia w dwustadialnym zamkniętym układzie rozdrabniania i klasyfikacji. Górnictwo i Geologia T. 6 Z. 2 2011, s. 40-48
6. Malewski J.: Analiza kruszenia rudy w ZWR Lubin. Mining Science – Mineral Aggregates, vol. 22, 2015, s. 111–115
7. Gawenda T.: Zasady doboru kruszarek oraz układów technologicznych w produkcji kruszyw. Rozprawy Monografie Nr 304. Wydawnictwa AGH Kraków 2015
8. Wodziński P.: Przeróbka kopalin mineralnych w zestawach mobilnych. Surowce i Maszyny Budowlane. Nr 2. 2009, s. 49-53
9. Antoniuk J.: System kruszenia i odstawy przenośnikowej w kopalni odkrywkowej surowców związanych. Surowce i Maszyny Budowlane Nr 7 2009 s. 76-79
10. Mazur M.: Przegląd konstrukcji zestawów kruszących wykorzystywanych w produkcji surowców drogowych. Górnictwo Odkrywkowe 2010 Nr 1 s. 29-33
11. Feliks J., Mazur M.: Mobilne zestawy do produkcji surowców skalnych. Monografia „Problemy eksploatacji i zarządzania w górnictwie”. Red. K. Krauze. AGH Kraków 2017 s. 115-123
12. Crushing and Screening Handbook. Metso Minerals Brochure No. 2051-09-06-CSR/Tampere-English. 2009.
13. Water Flush Crushing: [mokrahttps://books.google.pl/books](https://books.google.pl/books)

14. Kołacz J.: Nowoczesne kompleksowe metody przeróbki surowców mineralnych. www.easyfairs.com/uploads/tx_ef/P-B-2013-comex.pdf
15. Mrowiec M.: Nowe podejście do optymalizacji pracy kruszarek stożkowych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 134, 2012, Studia i Materiały Nr 41 s. 201-208
16. FAM Mineral Processing Plants. FAM118_E_12_11_27_the-red-point.dw. www.fam.de
17. Boyd K.: Crushing Plant Design and Layout Considerations www.china-sand-maker.com/propdf2/20160118014727557.pdf
18. <https://www.911metallurgist.com/blog/primary-crusher-selection>
19. <http://www.directindustry.com/prod/bhs-sonthofen/product-61414-1143515.html>
20. Lokotrack Mobile crushing plants for contractors. Brochure No. 1127-03-09-CBL
21. <http://www.thyssenkrupp-industries-india.com/Products/Mhe/OCME/Mobile-Crushing-Plants.aspx>
22. Subject to alteration without prior notice, Brochure No. 3105-12-16-AGG/Tampere-English
23. Maszyny do Przetwarzania Surowców Skalnych i Recyklingu. Kleemann GmbH. Wersja 2015-7. <https://media.wirtgen-group.com>
24. <http://www.hsicrusher.com/30-50-tph-small-mobile-crusher-station/>
25. <http://www.kghmzanam.com/produkty/kruszarki/kruszarki-03/kkl50ge>

Przesiewacze Progress Eco w zakładzie wzbogacania odpadów węglowych Heřmanicka hałda w Ostrawie (Czechy)

Piotr Pasiowiec – Progress Eco Sp. z o.o. Sp. K.

Klaudia Bańczyk – Progress Eco Sp. z o.o. Sp. K.

Jerzy Wajs – Progress Eco Sp. z o.o. Sp. K.

Roman Orlik – Ostravská těžební a.s

Barbara Tora – AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza

Streszczenie: *Heřmanicka Hałda w Ostrawie jest składowiskiem odpadów węglowych, zajmuje powierzchnię 100 hektarów i ma wysokość 250 metrów. Na składowisku znajduje się około 21 mln ton odpadów. Budowa zakładu przeróbki odpadów węglowych miała na celu przetworzenie odpadów powstałych podczas wydobywania węgla kamiennego w okolicach Ostrawy w ubiegłym stuleciu, odzysk substancji węglowej, usunięcie negatywnego oddziaływania odpadów pogórnich na otoczenie. W procesie przeróbki odpadów powstają zarówno energetyczne mieszanki węglowe oraz kruszywa do celów budowlanych. Efektem końcowym będzie całkowita rekultywacja terenu hałdy.*

Linia technologiczna zaprojektowana jest w sposób pozwalający na produkcję kruszyw budowlanych bez palnych części organicznych z jednoczesnym uzyskaniem energetycznych mieszanek węglowych. Głównymi podzespołami linii technologicznej są maszyny i urządzenia do separacji i odwadniania, między innymi: przesiewacze wibracyjne, hydrocyklony, wirówka, prasy filtracyjne, przenośniki taśmowe, hydrosizer. Wynikiem procesu projektowania i konstruowania poprzez ścisłą współpracę i wymianę doświadczeń pracowników PROGRESS ECO i Ostravská těžební oraz RPS Ostrava było dostarczenie przesiewaczy wibracyjnych, które w pełni realizują stawiane im wymagania w zakresie klasyfikacji oraz odwadniania. W przesiewaczach zastosowano pokłady sitowe z sił szczelinowych zgrzewanych zabudowanych w ramach poliuretanowych w systemie klinowym PRO-CLIN.

Progress Eco screens in Heřmanicka heap coal wastes processing plant in Ostrava (the Czech Republic)

Abstract: *The post-mining waste in Ostrava covers an area of 100 hectares and a height of 250 meters, there are about 21 million tons of waste. The aim of the investment is to process waste generated during hard coal mining in the region of Ostrava in the last century. The project aims to remove the negative impact of post-mining waste on the environment. In the process energy mixes coal and aggregates for construction purposes will be processing. The additional benefit of this activity will be the complete reclamation of the heap site. The technological line is designed in such a way that it can produce building aggregates without flammable organic components while simultaneously producing energy-rich carbon blends. The main components of the waste treatment line are separating and dewatering machinery and equipment, including vibrating screens, hydrocyclones, centrifuges, filter presses, belt conveyors, hydraulic classifiers. Screens were used for screening seals from seamed welded joints built into the polyurethane system in the wedge system PRO-CLIN. The result of the design and construction process through close cooperation and exchange of experience between the employees of PROGRESS ECO and Ostravská těžební and RPS Ostrava was to provide vibrating screens that fully meet their classification and drainage requirements.*

1. Wprowadzenie

Najbardziej rozpowszechnioną metodą klasyfikacji surowców mineralnych jest przesiewanie. W procesie klasyfikacji mechanicznej stosowane są przede wszystkim przesiewacze wibracyjne, których częstotliwość drgań wynosi powyżej 10 Hz, a amplituda drgań mieści się w zakresie od 2 do 16 mm. Podstawowymi podzespołami konstrukcyjnymi przesiewaczy są: rzeszoto, napęd, elementy podparcia i sita. W przeróbce mechanicznej kopalin niektóre produkty wzbogacania podlegają procesowi odwadniania i odmulania. Odwadnianie produktów gruboziarnistych jest przeprowadzane na przesiewaczach wibracyjnych lub podnośnikach kubelkowych. Produkty wzbogacane w cieczach ciężkich odwadnia się na przesiewaczach dwupokładowych lub jednopokładowych przy zastosowaniu profili ochronnych sit szczelinowych. Koncentraty miałowe odwadnia się na sitach łukowych, odśrodkowych sitach odwadniających, przesiewaczach i wirówkach odwadniających oraz zbiornikach odciekowych. Muły i koncentraty flotacyjne odwadnia się w filtrach próżniowych i prasach mechanicznych.

W procesie odwadniania na sitach łukowych, odśrodkowych sitach odwadniających, przesiewaczach i wirówkach odwadniających stosuje się sita szczelinowe zgrzewane, których konstrukcja pozwala na skuteczne oddzielenie wody od materiału stałego.

2. Heřmanická hałda w Ostrawie

Hałda odpadów pogórnich w Ostrawie zajmuje obszar o łącznej powierzchni 100 hektarów i wysokości 250 metrów. Składowanych jest tam około 21 mln ton odpadów.

Zbudowany na przełomie lat 2016 i 2017 zakład przeróbki odpadów znajduje się na hałdzie w Ostrawie – Heřmanice jest własnością firmy Ostravská těžební a.s.

Celem inwestycji jest przetworzenie odpadów powstałych podczas wydobycia węgla kamiennego w okolicach Ostrawy w ubiegłym stuleciu. Projekt ma na celu usunięcie negatywnego oddziaływania odpadów pogórnich na otoczenie. W procesie przerobu powstaną energetyczne mieszanki węglowe oraz kruszywa do celów budowlanych. Dodatkową korzyścią z tej działalności będzie całkowita rekultywacja terenu hałdy.

W wyniku wykorzystania wiedzy i doświadczenia w budowie zakładów tego typu na świecie, zakład przeróbki w Ostrawie cechuje się nowoczesną technologią i może służyć jako wzór linii technologicznej do rekultywacji składowisk odpadów pogórnich, będących skutkiem działalności górniczej w Europie.

Linia technologiczna zaprojektowana jest w sposób pozwalający na produkowanie kruszyw budowlanych bez organicznych części palnych z jednoczesnym uzyskaniem energetycznych mieszanek węglowych.

W zakładzie znalazło zatrudnienie około 30 doświadczonych specjalistów przeróbki, zwalnianych w ramach restrukturyzacji z kopalń spółki OKD.

3. Technologia przeróbki odpadów

Głównymi podzespołami linii technologicznej do przetwarzania odpadów są maszyny i urządzenia do separacji i odwadniania, między innymi: przesiewacze wibracyjne, hydrocyklony, wirówka, prasy filtracyjne, przenośniki taśmowe, klasyfikator hydrauliczny. Proces technologiczny rozdzielania węgla od kamienia prowadzony jest grawitacyjnie na mokro w zakresie od 1 do 22 mm w hydrocyklonach cieczy ciężkiej. Istotnym rozwiązaniem technologicznym jest wprowadzenie rozdziłu drobnych ziaren w przedziale 0 - 0,3 mm i 0,3 - 1 mm w klasyfikatorze hydraulicznym, w którym ziarna są rozdzielane według gęstości w strumieniu wody. Dzięki temu skuteczność procesu odzysku węgla może osiągnąć maksymalną wartość w zakresie 90 - 93%. Płukane produkty dostarczane są do zbiorników magazynowych. W celu zmniejszenia zapylenia samochody przed wyjazdem z produktem są czyszczone w myjce ciśnieniowej. Skąła płonna (całkowicie pozbawiona niepożądanych części palnych) transportowana jest ponownie na hałdę, jako materiał do rekultywacji terenu, w zależności od tego, jakie będą plany dotyczące wykorzystania obszaru w przyszłości (np. pole golfowe, las lub nawet strefa komercyjna).

Dodatkowym atutem zakładu jest zamknięty obieg wodno-mułowy oraz zamiana transportu kołowego na rzecz przenośników taśmowych. Elementy te zdecydowanie wpływają na jakość środowiska wokół hałdy. Na rysunku 1 przedstawiono widok zakładu przeróbki odpadów.



Rys. 1. Zakład przeróbki odpadów pogórnich Heřmanicka Hałda Ostrawa

4. Charakterystyka materiału zdeponowanego na hałdzie

W tabeli 1 przedstawiono skład ziarnowy materiału zdeponowanego na hałdzie, w tabeli 2 skład ziarnowy nadawy do wzbogacania mułów (klasa ziarnowa 0-20 mm). W tabeli 3 zamieszczono bilans produktów zakładu wzbogacania.

Ogólna charakterystyka materiału:

Uziarnienie 0-300 mm

Skład: odpady węglowe z domieszką frakcji organicznej (palnej)

Abrazyjność: wysoka, skład piaskowiec, iłowiec,

Gęstość : 1,7 – 2,1 kg/m³

Wilgotność materiału na hałdzie 7-10%

Uziarnienie materiału na hałdzie

Tabela 1.

Frakcja mm	Klasa ziarnowa mm	Wychód %	Wydajność ton/godz.
Kamień +300	+300	1	4
Kamień 125/300	125/300	7	28
Kamień 63/125	63/125	12	48
Kamień 20/63	20/63	20	80
Kruszywo 0/20	0/20	60	240
Suma			400

Uziarnienie nadawy do wzbogacania klasy 0-20 mm

Tabela 2.

Frakcja mm	Wychód %
0 - 0,3	4-12
0,3 – 1,0	12-20
1,0 - 4,0	25=50
4,0 - 8,0	18-30
8,0 - 16,0	5-20
16,0 - 20,0	5-20

Bilans produktów wzbogacania materiału z Hałdy Heřmanice

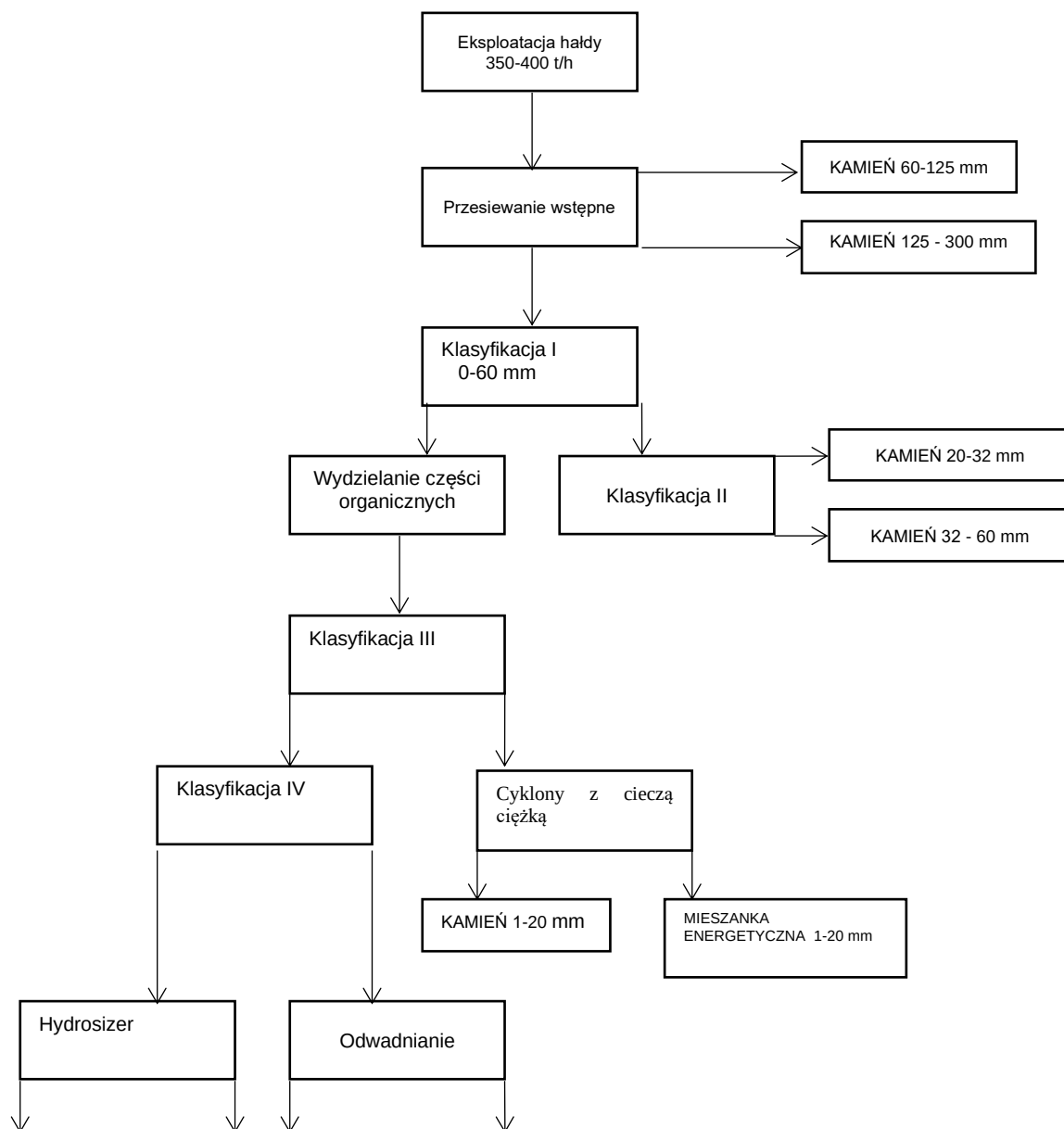
Tabela 3.

Produkt	Uziarnienie mm	wydajność ton/godz.
Nadawa	0-400	350-400
Kamień	+300	20-50
Kamień	125-300	5 - 10
Kamień	60-125	10-20
Kamień	20-32	40
Kamień	32-60	60
Kamień	1-20	200
Mieszanka drobnoziarnowa kamienna	0-0,1	28
Mieszanka niskoenergetyczna węglowa	1-20	15-20
Muł	0-1	2

5. Schemat blokowy zakładu przeróbki odpadów pogórnich

Inwestor: Ostravská těžební,
Generalny realizator Inwestycji: SE-MI Technology,
Projekt technologiczny: RPS Ostrava.

Schemat technologiczny przerobu odpadów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat technologiczny przerobu odpadów

6. Charakterystyka przesiewaczy do klasyfikacji i odwadniania odpadów z hałdy

Korzystając z bogatego doświadczenia w zakresie odwadniania i klasyfikacji węgla, firma PROGRESS ECO zaproponowała swoje rozwiązania konstrukcyjne maszyn do tworzonego projektu zakładu przeróbki odpadów pogórnich w zakresie doboru przesiewaczy wibracyjnych wyposażonych w nowoczesne pokłady sitowe w systemie PRO-CLIN.

Wykaz maszyn dostarczonych przez Progress Eco

Tabela 4.

Symbol przesiewacza	Powierzchnia pokładu sitowego
Przesiewacz wibracyjny WK2-2,4x6,0	2 x 14,4 m ²
Przesiewacz wibracyjny PWP1-3,0x8,0	24,0 m ²
Przesiewacz wibracyjny PWK1-2,4x7,0	16,8 m ²
Przesiewacz wibracyjny PWP1-2,4x6,0	14,4 m ²
Przesiewacz wibracyjny PWP1-1,8x6,0	10,8 m ²
Przesiewacz wibracyjny PWP1-1,5x4,0	6,0 m ²
Przesiewacz wibracyjny PWP1-1,5x4,0	6,0 m ²
Przesiewacz wibracyjny PWP1-1,6x4,5	7,2 m ²
Łączna powierzchnia pokładów sitowych	114 m²



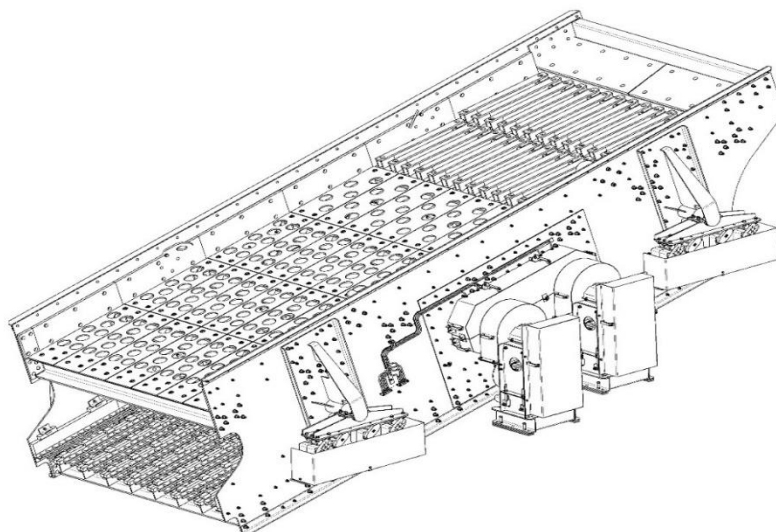
Rys. 3. Sita szczelinowe zgrzewane zabudowane w systemie PRO-CLIN na przesiewaczu PWP1-2Z-2,4x6,0

6.1. Przesiewacz wibracyjny WK2-2,4x6,0 wraz konstrukcją wsporczą

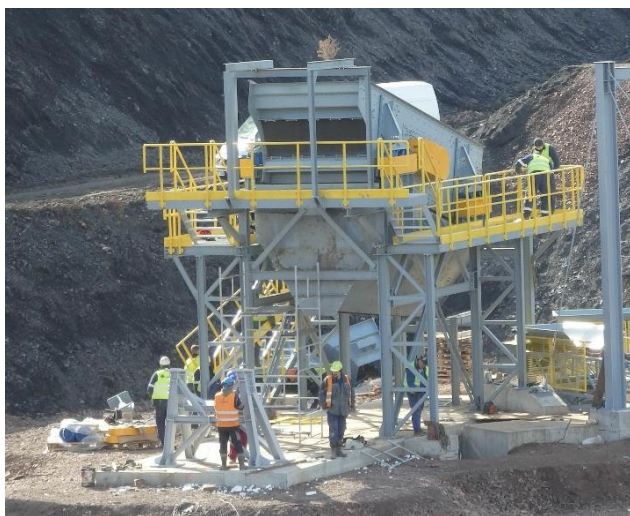
zadanie: klasyfikacja wstępna

materiał wejściowy: 0-300 mm

wydajność: 400 Mg/h



Rys. 4. Schemat przesiewacza wibracyjnego WK2-2,4x6,0



Rys. 5. Przesiewacz wibracyjny WK2-2,4x6,0 wraz konstrukcją wsporczą

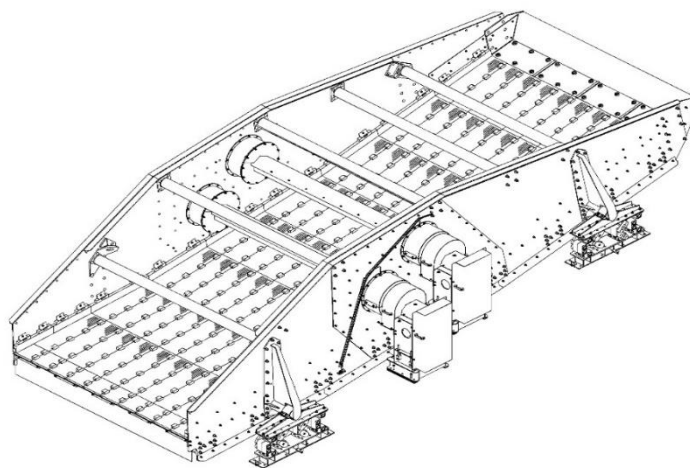
Powierzchnia sit	2x14,4 m ²
Sita PRO-CLIN	#120 mm #60 mm
Częstotliwość drgań	14,5 Hz
Skok rzeszota	9 ± 1 mm
Kąt pochylenia	15 °
Moc silników	2 x 18,5 kW
Masa	15,4 Mg

6.2. Przesiewacz wibracyjny PWP1-3,0x8,0

zadanie: odwadnianie wstępne materiału

materiał wejściowy: 0-20 mm

wydajność: 250 Mg/h



Rys. 6. Schemat przesiewacza wibracyjnego PWP1-3,0x8,0



Powierzchnia sit	24,8 m ²
Sita PRO-CLIN	//1 mm
Częstotliwość drgań	14,6 Hz
Skok rzeszota	9 ± 1 mm
Kąt pochylenia	12/7/2 °
Moc silników	2 x 22 kW
Masa	14,5 Mg

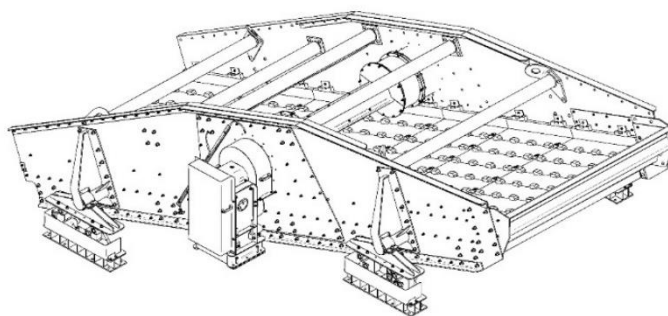
Rys. 7. Przesiewacz wibracyjny PWP1-3,0x8,0

6.3. Przesiewacz wibracyjny PWK1-2,4x7,0

zadanie: klasyfikacja średniego ziarna

materiał wejściowy: 20-60 mm

wydajność: 350 Mg/h



Rys. 8. Schemat przesiewacza wibracyjnego PWK1-2,4x7,0



Powierzchnia sit	17,5 m ²
Sita PRO-CLIN	#20 mm
Częstotliwość drgań	14,6 Hz
Skok rzeszota	9 ± 1 mm
Kąt pochylenia	20 °
Moc silników	1 x 22 kW
Masa	8,35 Mg

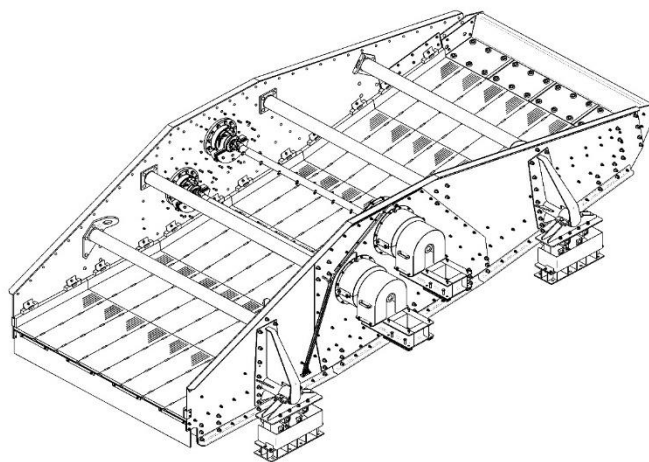
Rys. 9. Przesiewacz wibracyjny PWK1-2,4x7,0

6.4. Przesiewacz wibracyjny PWP1-2Z-2,4x6,0

zadanie: odwadnianie materiału

materiał wejściowy: 0-20 mm

wydajność: 200 Mg/h



Rys. 10. Schemat przesiewacza wibracyjnego PWP1-2Z-2,4x6,0



Powierzchnia sit	14,4 m ²
Sita PRO-CLIN	//1 mm
Częstotliwość drgań	16,6 Hz
Skok rzeszota	8 ± 1 mm
Kąt pochylenia	10/5/0 °
Moc silników	2 x 15 kW
Masa	8,0 Mg

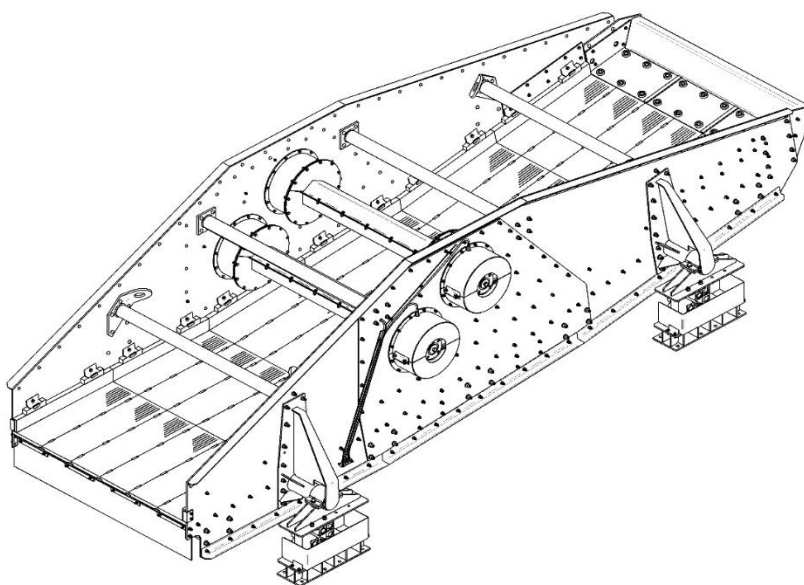
Rys. 11. Przesiewacz wibracyjny PWP1-2Z-2,4x6,0

6.5. Przesiewacz wibracyjny PWP1-2Z-1,8x6,0

zadanie: odwadnianie materiału

materiał wejściowy: 0-20 mm

wydajność: 30 Mg/h



Rys. 12. Schemat przesiewacza wibracyjnego PWP1-2Z-1,8x6,0



Powierzchnia sit	10,8 m ²
Sita PRO-CLIN	//1 mm
Częstotliwość drgań	16,6 Hz
Skok rzeszota	8 ± 1 mm
Kąt pochylenia	10/5/0 °
Moc silników	2 x 11 kW
Masa	6,8 Mg

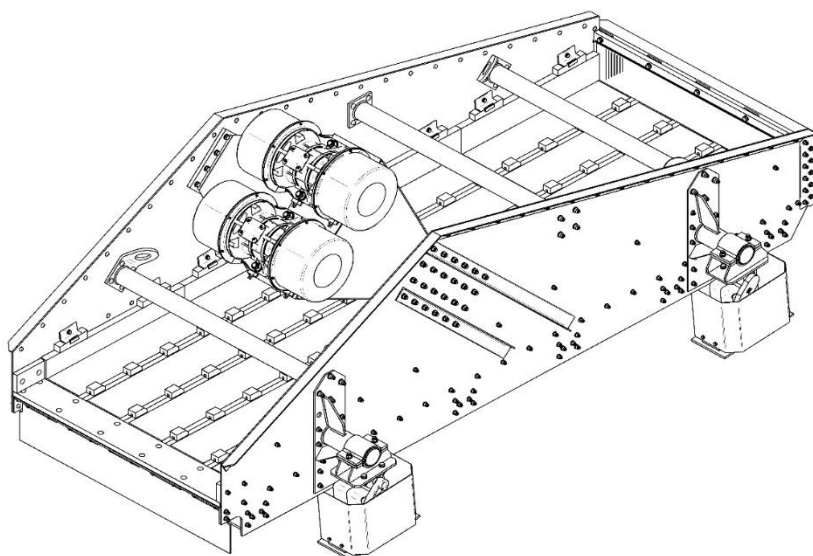
Rys. 13. Przesiewacz wibracyjny PWP1-2Z-1,8x6,0

6.6. Przesiewacze wibracyjne PWP1-1,5x4,0 – 2 sztuki

zadanie: odwadnianie węgla

materiał wejściowy: 0-20 mm

wydajność: 120 Mg/h



Rys. 14. Schemat przesiewacza wibracyjnego PWP1-1,5x4,0



Powierzchnia sit	6,0 m ²
Sita PRO-CLIN	//0,3 mm
Częstotliwość drgań	16,6 Hz
Skok rzeszota	8 ± 1 mm
Kąt pochylenia	-5 -0 °
Moc silników	2 x 7,5 kW
Masa	3,4 Mg

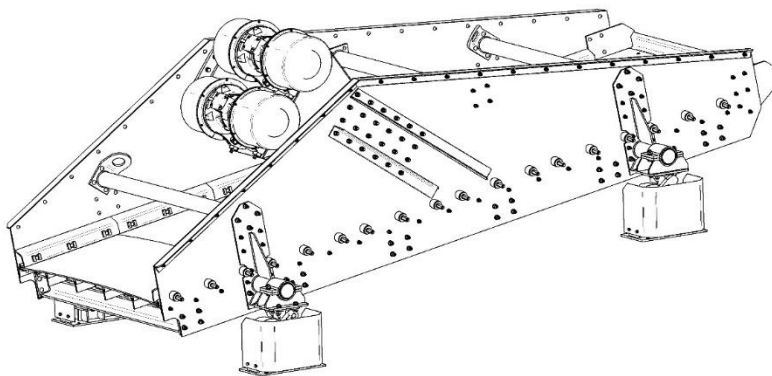
Rys. 15. Przesiewacz wibracyjny PWP1-1,5x4,0

6.7. Przesiewacz wibracyjny PWP1-1,6x4,5

zadanie: klasyfikacja kruszywa

materiał wejściowy: 20-60 mm

wydajność: 120 Mg/h



Rys. 16. Schemat przesiewacza wibracyjnego PWP1-1,6x4,5



Powierzchnia sit	7,2 m ²
Sita	# 32mm
Częstotliwość drgań	16,6 Hz
Skok rzeszota	8 ± 1 mm
Kąt pochylenia	10 °
Moc silników	2 x 7,5 kW
Masa	3,4 Mg

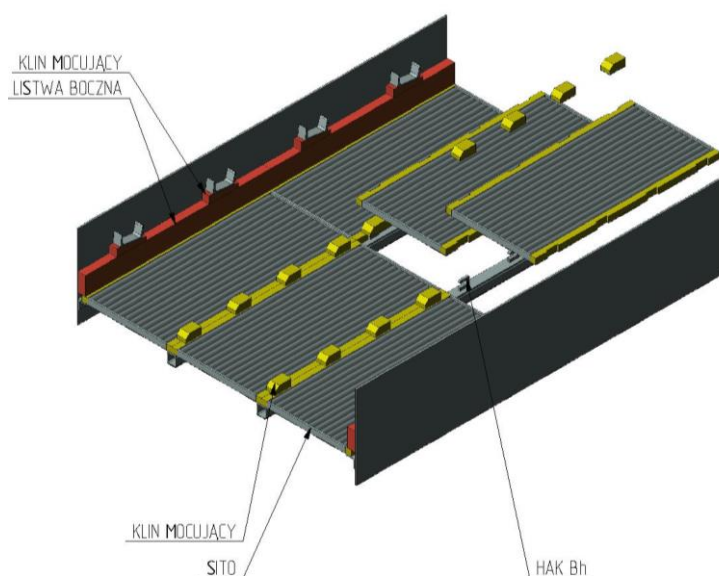
Rys. 17. Przesiewacz wibracyjny PWP1-1,6x4,5

7. Sita szczelinowe zgrzewane PRO-CLIN produkcji Progress Eco

W przesiewaczach zastosowano sita szczelinowe zgrzewane, wyprodukowane metodą zgrzewania elektro-oporowego, która polega na zgrzewaniu profilowanych drutów roboczych do układu nośnych prętów. W wyniku tego powstają mocne sita zdolne do przenoszenia dużych obciążeń. 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. Technologia zgrzewania sit szczelinowych pozwala na: stosowanie różnych profili roboczych i drutów nośnych, uzyskanie różnych szczelin oraz różnych odległości między drutami nośnymi w jednym sicie, jak również dokładną kontrolę jakości wykonanych zgrzein. Sita płaskie przeznaczone do zabudowy na przesiewaczach wibracyjnych wykonuje się w segmentach (modułach), pozwalających na ich szybką wymianę. W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego mogą być okute płaskownikami, wykonane w ramie z poliuretanu lub ramie ze specjalnie wyprofilowanego kształtownika.

Nowoczesną i bardzo funkcjonalną konstrukcją sit szczelinowych jest ich zabudowa w ramach poliuretanowych w systemie klinowym PRO-CLIN, który pokazano na rysunku 4. 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 ograniczonej odległości między pokładami.



Rys. 18. Schemat mocowania sit szczelinowych zgrzewanych w systemie PRO-CLIN

8. Podsumowanie

Efektem budowy zakładu przeróbki odpadów pogórnich jest jednoczesna produkcja kruszyw budowlanych pozbawionych części palnych oraz równolegle energetycznych mieszanek węglowych. Optymalne działanie poszczególnych dostarczonych urządzeń wpłynęło pozytywnie na aspekty ekonomiczne całego przedsięwzięcia. Wynikiem procesu projektowania i konstruowania poprzez ścisłą współpracę i wymianę doświadczeń pracowników PROGRESS ECO i Ostravská těžební oraz RPS Ostrava było dostarczenie przesiewaczy wibracyjnych, które w pełni realizują stawiane im wymagania w zakresie klasyfikacji oraz odwadniania. Biorąc pod uwagę wydajność całego zakładu oraz jego godzinowy charakter pracy hałda w Ostrawie powinna zostać zrekultywowana w przeciągu maksymalnie 15 lat.

Literatura

1. Banaszewski T.: Przesiewacze, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1990.
2. Sztaba K.: Przesiewanie, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1993
3. Blaschke S., Blaschke W.: Maszyny i urządzenia w przeróbce kopalin. Sita. Skrypt uczelniany nr 1145. Wydawnictwo AGH, Kraków 1989.
4. Jonczak P., Pasiowiec P., Śmiejek Z.: Technologiczne i ekonomiczne racje istnienia nowych rozwiązań w obszarze stosowania sit produkcji Progress Eco S.A.; Nowoczesne systemy przeróbcze surowców mineralnych z uwzględnieniem problemów ochrony środowiska; KOMEKO 2004 Ustroń.
5. 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.
6. 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.
7. Hyncar 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.
8. 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.
9. Laskowski J., Łuszczkiewicz A.: Przeróbka kopalin, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1989
10. Materiały reklamowe, prace badawcze i dokumentacje firmy Progress Eco Sp. z o. o. Sp. K.
11. www.progresseco.pl
12. Bańczyk K., Wajs J., Pasiowiec P., Orlik R., Tora B., 2017- Charakterystyka przesiewaczy produkcji Progress Eco zastosowanych do klasyfikacji i odwadniania odpadów górniczych w Zakładzie Przeróbki Hermanicka Hałda w Ostrawie, Materiały XXXI Konferencji z cyklu „zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Zakopane, 2017, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s.103-119

Modernizacja węzła osadzarkowego w zakładzie mechanicznej przeróbki węgla JSW S.A. KWK "Pniówek"

Marek Kryca - Centrum Transferu Technologii EMAG Sp. z o.o.,

Adam Mura - Wrębowia Sp. z o.o.

Streszczenie: W rozdziale opisano modernizację osadzarki miałowej wraz z urządzeniami towarzyszącymi oraz wdrożenie systemu sterowania i wizualizacji, które miało miejsce w zakładzie wzbogacania węgla KWK „Pniówek”. Przedstawiono opis układu technologicznego i elementów układu sterowania związany z pierwszym etapem realizacji inwestycji. Przedstawiona została struktura komunikacyjna systemu BOSS2010 umożliwiającą integrację czujników pomiarowych i elementów wykonawczych wewnątrz systemu i wizualizację pracy osadzarki. W drugiej części artykułu przedstawiono rozwiązania przeznaczone do wykrywania nieprawidłowości pracy osadzarki oraz uzyskane parametry wzbogacania węgla.

The modernization of jigs' section at JSW S.A. KWK "Pniówek" preparation plant

Abstract: The chapter describes the modernization of the fine coal jig including auxiliary equipment and the implementation of the control and visualization system at KWK "Pniówek" preparation plant. The technological system and elements of the control system related to the first stage of investment implementation are described in detail. The communication structure of the BOSS2010 system enabling the integration of measurement sensors and actuators inside the system and the visualization of the jig's work is presented. The second part of the article presents solutions designed to detect abnormalities and obtained results of the coal cleaning process.

1. Wprowadzenie

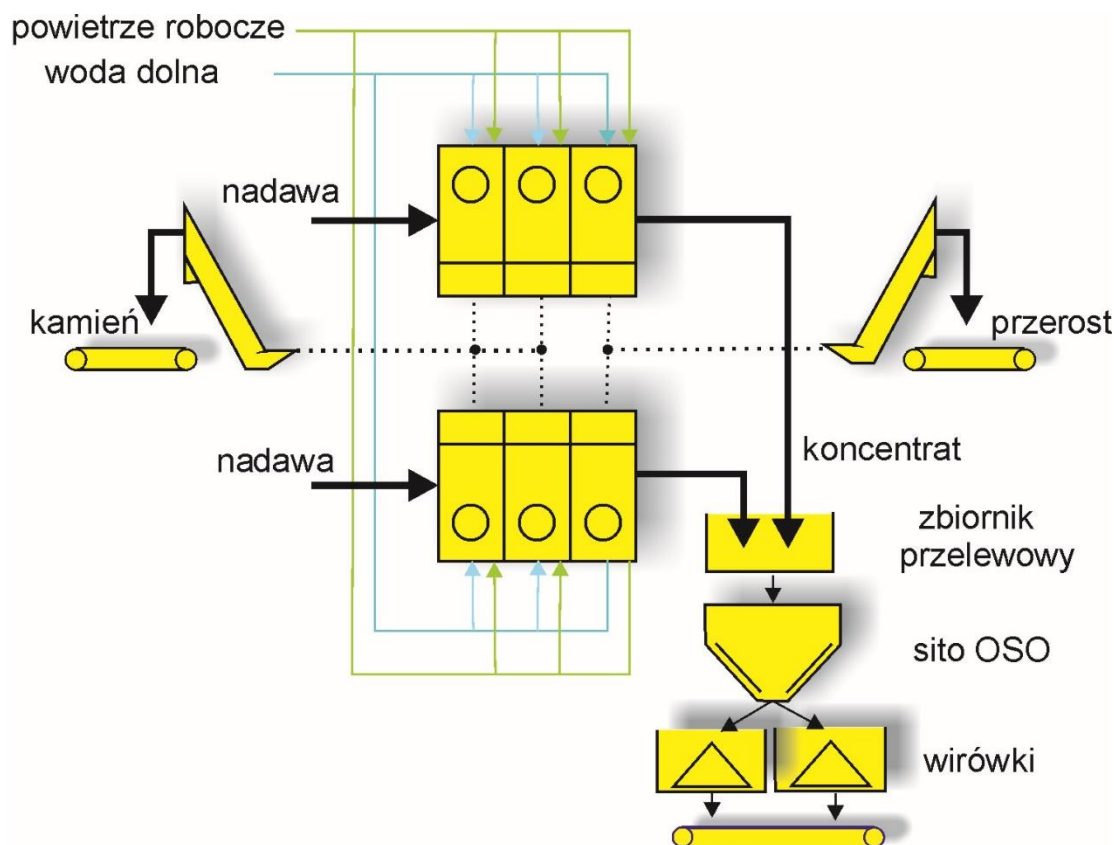
Celem realizowanej inwestycji jest modernizacja technologiczno-maszynowa węzła wzbogacania surowego miału węglowego, składającego się z czterech linii technologicznych, w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej KWK „Pniówek”. Modernizacja węzła wzbogacania surowego miału węglowego polega na wymianie starych, zużytych maszyn na urządzenia nowej generacji, charakteryzujących się lepszymi parametrami techniczno-technologicznymi, w tym mniejszą energochłonnością. Opisana w rozdziale zrealizowana część inwestycji dotyczy modernizacji jednej z osadzarek i zabudowie systemu informatycznego do obsługi całego węzła osadzarkowego. Zakładana zdolność produkcyjna zmodernizowanej, jednej linii technologicznej wzbogacania surowego miału węglowego o uziarnieniu 0 - 20 mm wynosi 600 Mg nadawy/godzinę.

2. Zakres prac modernizacyjnych

Prace demontażowe zostały rozpoczęte w I kwartale 2017 r. Przeprowadzono modernizację jednego z systemów, wykonując całkowicie jego demontaż, wymieniając ustrój budowlany nośny w obrębie modernizowanego węzła i zabudowując całkowicie nowe urządzenia wraz z instalacjami. W połowie grudnia rozpoczęto rozruch i w chwili obecnej węzeł wzbogacania pracuje i osiągnął założone parametry.

3. Struktura modernizowanego węzła osadzarkowego

Do realizacji procesu wzbogacania mialu węglowego (klasa 0,0 - 20 mm) na jednym ciągu technologicznym zastosowano dwie osadzarki mialowe OM 15 (2x7,5) jednokorytowe, trójprzedziałowe. Wyposażenie linii technologicznej pozwala realizować w osadzarce trójproduktowe wzbogacanie. Uproszczony schemat blokowy modernizowanego systemu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy modernizowanego węzła technologicznego

[źródło: opracowanie własne]

Do każdego koryta osadzarki doprowadzono oddzielnie nadawę jednym przenośnikiem taśmowym z regulowaną prędkością, wyposażonym w wagę i odbierającym węgiel ze zbiornika miału poprzez dwa wyloty. Węgiel na osadzarkę podawany jest za pomocą zsuwni, do której podawana jest również woda górna w celu zwilżenia i rozluźnienia nadawy. Do każdego przedziału oddzielnie doprowadzono powietrze robocze oraz wodę dolną.

Z pierwszych dwóch przedziałów obu osadzarek kamień odbierany jest jednym wspólnym podnośnikiem kubelkowym. Podobnie jednym podnośnikiem kubelkowym odbierany jest z trzecich przedziałów obu osadzarek przerost do wtórnego wzbogacania.

Koncentrat z obu osadzarek kierowany jest do wspólnej rynny spławnej a następnie kierowany jest zsuwnią rurową na sito OSO 3200, wykonane ze stali nierdzewnej, na której zabudowana jest zasuwa nożowa z szybkim napędem elektrycznym.

Zasuwa umożliwia odcięcie nadawy na wirówkę w przypadku zatrzymania przenośnika taśmowego odbierającego odwodniony koncentrat miałowy. Zasuwa pracuje w układzie automatyki osadzarki i jej zamknięcie skutkuje zablokowaniem nadawy na osadzarkę i wstrzymaniem pulsacji.

Sito OSO współpracuje z wirówką WOW-1.3, gdzie odbywa się główny proces odwadniania. Istnieje też możliwość skierowania nadawy na rezerwową wirówkę, wspólną dla dwóch ciągów technologicznych.

Odpady i przerosty z osadzarek odbierane są podnośnikami kubelkowymi. Każda para osadzarek wyposażona jest w jeden podnośnik kubelkowy $B = 1000$ o regulowanej falownikiem prędkości łańcucha (regulowana wydajność). Podnośnik kubelkowy odpadów obsługuje dwa przednie przedziały robocze obu osadzarek. Odpady z podnośnika kubelkowego kierowane są do zsuwni i dalej na przenośnik taśmowy odpadów, wspólny dla wszystkich czterech linii technologicznych.

Podnośnik kubelkowy przerostu obsługuje trzecie przedziały robocze obu osadzarek. Przerosty do wtórnego wzbogacania z podnośnika kubelkowego kierowane są do zsuwni i dalej na przenośnik taśmowy przerostu, wspólny dla wszystkich czterech linii technologicznych.

Osadzarka, podnośniki kubelkowe oraz wszystkie zsuwnie zabezpieczone zostały wewnętrznie kompozytem trudnościeralnym.

Dodatkowo w ramach inwestycji zabudowano jedną dmuchawę powietrza roboczego osadzarek o nadciśnieniu 0,3 - 0,35 bar z dwoma zaworami upustowymi zabudowanymi na kolektorze głównym. Powietrze sterownicze do osadzarek o nadciśnieniu 6,0 - 8,0 bar zapewniają dwie nowo zabudowane sprężarki pracujące naprzemiennie.

4. System sterowania pracą osadzarek

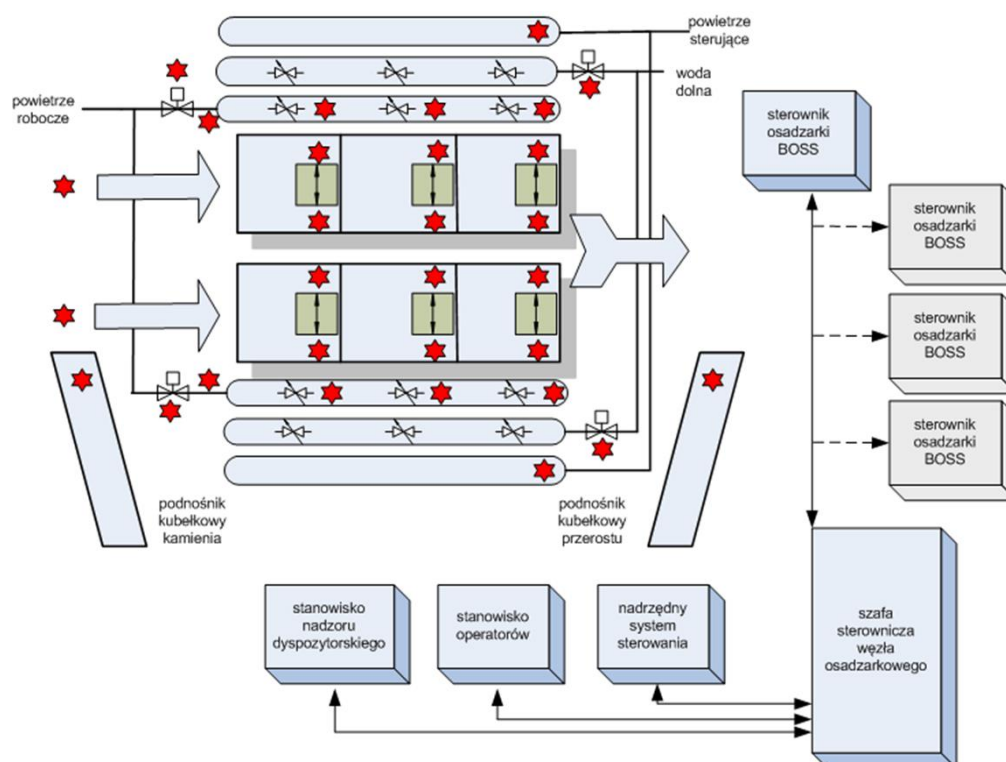
System sterowania pracą węzła technologicznego składa się z szafy sterowniczej wspólnej dla wszystkich osadzarek, sterowników osadzarkowych i grupy urządzeń związanych z wizualizacją pracy węzła. Każda osadzarka będzie posiadała autonomiczny sterownik pozwalający na samodzielną pracę, wykorzystujący jedynie dwa sygnały dwustanowe do połączenia z nadrzędnym systemem sterowania.

Szafa sterownicza węzła osadzarkowego pełni rolę komunikacyjną oraz dostarcza bezpieczne napięcie zasilające dla części obiektowej. Sterowanie pracą wzbogacalnika polega na zapewnieniu współpracy pomiędzy hydraulicznymi i pneumatycznymi elementami wykonawczymi a sygnałami dostarczonymi przez czujniki obiektowe. Pulsacja materiału w osadzarce jest wynikiem sterowania pneumatycznymi zaworami talerzowymi.

Zastosowanie pneumatyki daje dużą szybkość i powtarzalność czasu zadziałania siłowników. Odprowadzanie produktu ciężkiego we wszystkich przedziałach jest możliwe dzięki siłownikom hydraulicznym, które pomimo niewielkich rozmiarów posiadają dużą siłę działania. Prędkość działania nie jest kluczowym parametrem z punktu widzenia poprawności procesu wzbogacania, a może być regulowana poprzez korektę tłumienia wypływu oleju w obiegu powrotnym.

Poprawna praca osadzarki wymaga kontroli ilości wody dolnej i ciśnienia roboczego w każdym z przedziałów. Kolejne stopnie wzbogacania posiadają coraz bardziej wzbogacony materiał i wymagają innych ilości wody i powietrza roboczego. Sposób sterowania poszczególnych elementów wykonawczych polega na doborze parametrów regulatorów zaimplementowanych w oprogramowaniu sterownika, uwzględniających uzyskane sygnały pomiarowe. Ze względu na różne stałe czasowe poszczególnych obiektów, wymagany jest doświadczalny dobór parametrów regulacji [2].

Schemat blokowy połączeń elementów układu sterowania wraz z zabudowanymi czujnikami przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu sterowania osadzarką [źródło: opracowanie własne]

4.1. Elementy składowe systemu sterowania

Sterownik osadzarki, zlokalizowany bezpośrednio przy maszynie, jest zasilany napięciem stałym 24V. Zainstalowany sterownik WAGO posiada wszystkie niezbędne moduły wejść i wyjść dwustanowych i analogowych aby móc samodzielnie realizować algorytm sterowania pracą osadzarki. Zastosowano w nim specjalizowane moduły o wysokiej obciążalności prądowej do sterowania rozdzielaczami elektrohydraulicznymi.

Moduły te wykrywają zarówno przerwę w sterowanym obwodzie, jak i zwarcie lub przeciążenie. Wykryte stany alarmowe są sygnalizowane na wszystkich ekranach urządzeń wizualizacji procesu. Struktura systemu BOSS2010 jest zbliżona na wszystkich działających instalacjach, chociaż platformy sprzętowe są różne i wynikają z konieczności dostosowania się do istniejącej infrastruktury [3]. Zainstalowany przy maszynie sterownik osadzarki przedstawiono na rysunku 3.

Zabudowany tuż przy osadzarce sterownik z ekranem graficznym umożliwia szybką ocenę poprawności działania poszczególnych elementów układu sterowania. Dodatkowo, przy każdym z siłowników szczelin upustowych zainstalowano przyciski sterowania ręcznego typu otwórz/zamknij, wymuszające przestawienie siłownika niezależnie od wartości wypracowanych przez algorytm sterowania odbiorem produktu ciężkiego.



Rys. 3. Zabudowany sterownik osadzarki [źródło: opracowanie własne]

Szafa sterownicza węzła osadzarkowego pełni rolę węzła komunikacyjnego, zapewniając wymianę informacji pomiędzy nadrzędnym systemem sterowania, sterownikami, dyspozytornią i pomieszczeniem operatorów. Integracja różnych sterowników w ramach jednego systemu pociąga za sobą konieczność obsługi różnych protokołów komunikacyjnych. Łączność z nadrzędnym systemem sterowania oparta jest o protokół PROFIBUS DP, który jest używany do komunikacji z innymi urządzeniami zakładu przerobczego. Łączność wewnątrz systemu BOSS2010 wykorzystuje protokół MODBUS RTU, lub w przypadku połączeń sieciowych MODBUS TCP.

Zastosowany w szafie węzła osadzarkowego sterownik posiada wszystkie niezbędne interfejsy komunikacyjne. Sygnały blokad, istotne ze względu na bezpieczeństwo funkcjonalne, doprowadzono do szafy sterowniczej i sterowników osadzarkowych z wykorzystaniem niezależnych par przewodów.

Rozwiązanie takie pozwala na łatwe sprawdzenie stanów logicznych sygnałów, bez konieczności stosowania skomplikowanych urządzeń do dekodowania transmisji cyfrowej. Sygnały blokad znajdują odzwierciedlenie w postaci załączonych lampek kontrolnych na drzwiach frontowych szafy sterowniczej (rys. 4).



Rys. 4. Szafa sterownicza BOSS2010 [źródło: opracowanie własne]

Zastosowane zasilacze posiadają wewnętrzne obwody kontroli napięcia wyjściowego. Jego zanik wynikający z przeciążenia lub uszkodzenia jest sygnalizowany sterownikowi, a informacja o awarii jest przekazywana do nadrzędnego systemu sterowania.

4.2. Czujniki procesowe

Realizacja algorytmu sterowania osadzką wymaga informacji pochodzącej z czujników zabudowanych w kilku punktach węzła technologicznego. Lokalizacja czujników jest przedstawiona na rysunku 2.

Podstawową informacją dla działania układów regulacji sterownika osadzarki jest położenie pływaka w każdym z przedziałów. Zabudowane czujniki ultradźwiękowe firmy BANNER mierzą aktualne położenie pływaka oraz jego skok w czasie cyklu pulsacji. Zmiana położenia pływaka przekłada się na regulację otwarcia szczeliny upustowej, której stopień otwarcia jest mierzony przez sterownik. Sygnał pomiarowy pochodzi z przetwornika zabudowanego wewnątrz siłownika hydraulicznego.

Powietrze robocze doprowadzone jest do każdego z koryt poprzez sterowaną elektrycznie przepustnicę pozwalającą na regulację przepływu. Jej zmierzone położenie jest przekazywane do sterownika i weryfikowane ze wskazaniem przetwornika ciśnienia roboczego w kolektorze. Dodatkowo zbiornik buforowy każdego przedziału ma ręczną przepustnicę przeznaczoną do niezależnego ustawienia ciśnień roboczych w poszczególnych przedziałach. Ciśnienia te są mierzone przetwornikami zbudowanymi w każdym ze zbiorników buforowych.

Konfiguracja toru pomiarowego wody dolnej jest podobna. Przepływ w kolektorze każdego koryta może być regulowany przepustnicą z napędem elektrycznym i pomiarem położenia, a każdy z przedziałów ma przepustnicę ręczną i przepływomierz w celu precyzyjnego ustalenia ilości dostarczanej wody dolnej.

Obciążenie osadzarki nadawą jest mierzone wagami przenośnikowymi a informacja o prędkości podnośników kubelkowych pochodzi z falowników.

W systemie zainstalowano dodatkowe czujniki ułatwiające obsługę osadzarki – czujnik przepełniania sita OSO oraz przetworniki ciśnienia, temperatury i poziomu oleju w stacji hydraulicznej.

5. Wizualizacja procesu

W systemie BOSS2010 zainstalowanym na kopalni „Pniówek” przewidziano cztery punkty udostępniania informacji. Podstawowym miejscem, w którym można skontrolować pracę osadzarki i ewentualnie wprowadzić korekty nastaw, jest panel operatorski zabudowany w sterowniku. Wskazania czujników i ewentualne informacje o alarmach są dostępne również w pomieszczeniu obsługi osadzarek i na dyspozytorni. Zainstalowane monitory i przypisane im oprogramowanie przygotowane są do wizualizacji pracy czterech osadzarek. Związane z tym jest zmniejszenie poziomu szczegółowości przekazywanych informacji. Przełączanie pomiędzy ekranem zbiorczym a szczegółowym dla każdej maszyny wymagało zróżnicowania. Na dyspozytorni, gdzie odległość pomiędzy dyspozytorem a monitorem jest znacząca, zastosowano mysz bezprzewodową. W pomieszczeniu obsługi, gdzie wykorzystanie myszy jest kłopotliwe ale jest łatwy dostęp do monitora, zabudowano monitor dotykowy. Na rysunku 5 przedstawiono monitor w dyspozytorni z planszą zbiorczą 4 osadzarek i monitor w pomieszczeniu operatorów.



Rys. 5. Monitory wizualizacji systemu BOSS2010 [źródło: opracowanie własne]

Ekran konsoli operatorskiej jest przeznaczony zarówno do wprowadzania nastaw, jak i wyświetlania aktualnych wskazań na ekranie. Dostępne w systemie BOSS2010 informacje zostały pogrupowane ze względu na przeznaczenie i przedstawione na oddzielnych ekranach. Dane kalibracyjne i progi alarmowe, ustawiane podczas instalacji systemu, są dostępne dopiero po podaniu hasła i uaktywnieniu menu konfiguracji.

Karta przeglądu zdarzeń wywoływana jest z ekranu głównego i pozwala na prześledzenie komunikatów systemowych z ostatniej doby. Na ekranie głównym, przedstawionym na rysunku 6 przedstawiono wszystkie niezbędne dane umożliwiające poprawną obsługę i diagnostykę osadzarki.



Rys. 6. Ekran główny panelu operatorskiego BOSS2010 [źródło: opracowanie własne]

Znaczenie poszczególnych pól jest następujące:

- 1 Wysokość warstwy surowca przedziałów 1 do 6, zmierzona przez położenie czujnika pływakowego w %: pasek graficzny – wartość chwilowa; żółty kolor – wartość uśredniona; zielony kolor – amplituda pulsacji.
- 2 **PR1** do **6** – zmierzone i zadane (niżej) otwarcie przepustów produktu ciężkiego (klapy) przedziałów 1 do 6. Czerwone podświetlenie oznacza awarię (problem z zamknięciem albo otwarciem). Czerwone kontrolki C i O sygnalizują awarię modułu sterującego zamykaniem i otwieraniem klap PR. Żółte strzałki sygnalizują ręczne wymuszenie zamknięcia albo otwarcia klap PR.
- 3 **URZ ODB** – gotowości urządzeń odbioru produktu; **NADAWA** – obecność nadawy oraz wartość w t/h.
- 4 Tryb pracy koryta osadzarki: **PULSACJA**, **AUTOPULS**, **ZATRZYMANIE**.
- 5 **BOSS** – gotowość systemu BOSS2010; **OSO** – awaria sit OSO.
- 6 **1**, **2** – sygnalizacja pracy przenośników kubelkowych oraz prędkość pracy przenośników kubelkowych w [%].
- 7 **PLC** – sygnalizacja łączności pulpitu ze sterownikiem osadzarki; **WF** – sygnalizacja łączności sterownika osadzarki z przepływomierzami; **ETH** – sygnalizacja łączności sterownika osadzarki ze sterownikiem szafy.
- 8 Przyciski przełączania ekranów: „**PULSACJA**” – parametry pracy zaworów talerzowych; „**USTAWIENIA**” – parametry pracy klap **PR**, pływaków **h**;

„**PODGLĄD**” - ekran podglądu graficznego pracy osadzarki; „**LOG**” – podgląd zarejestrowanych zdarzeń, alarmów, zmian parametrów.

- 9 **Delta** (korekta PR) dla przedziałów 1 do 6.
- 10 **Pulsatory** – stan pracy pulsatorów: 1X – praca z podrzutem pojedynczym; 2X – praca z podrzutem podwójnym. Puste pole oznacza niepracujący pulsator albo praca w trybie jednoczesnego wlotu i wylotu powietrza.
- 11 **CSA, CSB** – ciśnienie powietrza sterującego w korytach A, B;
- 12 **CRA, CRB** – ciśnienie powietrza roboczego w korytach A, B;
- 13 Ustawienia napędów przepustnic: **PWA, PWB** - zadanie otwarcia i zmierzone otwarcie (niżej) przepustu wody w %; **PPA, PPB** – zadane otwarcie przepustnic powietrza roboczego w korytach A i B. **R/L** – wybrano sterowanie zdalne/lokalne.
- 14 Podgląd przepływu wody i ciśnienia roboczego dla każdego przedziału.
- 15 Wyłączenie automatycznej regulacji i przejście na ustawianie ręczne. Dotyczy klap **PR1** do **6**, przepustów wody **PWA, PWB** przepustów powietrza **PPA, PPB**.

6. Detekcja stanów awaryjnych

Wyrwanie nieprawidłowości pracy osadzarki jest bardzo istotnym aspektem jej eksploatacji. Duże masy węgla wzbogacane tą technologią wiążą się z dużymi zyskami lub stratami będącymi następstwem niestabilności parametrów wzbogacania. Użytkownik osadzarki musi mieć możliwość szybkiego wykrycia nieprawidłowości. Dotyczy to zarówno stanów awaryjnych, jak i niewłaściwych parametrów wzbogacania, które mogą być pierwszym objawem zbliżającej się awarii. Najwrażliwsze punkty ciągu technologicznego są znane operatorom maszyny. Zastosowanie wielu czujników i pokazanie ich wskazań w systemie wizualizacji miało na celu minimalizację czasu reakcji na nieprawidłowości. Właściwa wizualizacja wskazań na pulpicie technologicznym pozwala na szybką reakcję i tym samym minimalizuje skutki potencjalnych awarii. System BOSS2010 przewiduje cztery miejsca sygnalizacji stanów awaryjnych. Pierwszym, najistotniejszym z nich jest ekran sterownika osadzarki. Na ekranie tym można zdiagnozować brak łączności z innymi sterownikami systemu, niewystarczające ciśnienia robocze czy sterujące, a także zbyt małe przepływy wody dolnej. Sygnalizowane są również zaburzenia w pracy czujnika pływakowego oraz błędy ustawień siłowników (przekroczenie dopuszczalnej różnicy pomiędzy wartością zadaną i zmierzoną). Zatrzymanie pracy osadzarki poprzez wstrzymanie pulsacji i żądanie zatrzymania nadawy, może być efektem jednego z powyższych zdarzeń, ale może być również następstwem sygnału zewnętrznego takiego jak brak gotowości ciągu technologicznego. Kolejne miejsca sygnalizacji stanów awaryjnych to pomieszczenie operatorów, komputer nadzoru dyspozytorskiego i nadrzędny system sterowania. Brak nadawy nie jest stanem awaryjnym, chociaż również skutkuje zatrzymaniem pulsacji. Każdą z tych sytuacji można łatwo zdiagnozować poprzez obserwację głównego ekranu sterownika. Informacje o wskazaniach czujników i stanie pracy osadzarki, pochodzące z sterownika osadzarki przesłano zarówno do dyspozytorni, jak i do pomieszczenia operatorów. Stany

alarmowe są sygnalizowane graficznie poprzez podświetlenie na czerwono niesprawnych elementów wykonawczych oraz w postaci tekstowej informacji umożliwiającej lokalizację uszkodzenia. Niesprawność któregośkolwiek z elementów systemu skutkuje zatrzymaniem maszyny i wymaga interwencji operatora. Po wstępnym zdiagnozowaniu przyczyny zatrzymania i usunięciu usterki układ sterowania automatycznie wystawia sygnał gotowości do pracy. Identyfikacja przyczyny zatrzymania osadzarki przebiega dwustopniowo:

- poprzez sprawdzenie czy jest sygnał gotowości ciągu technologicznego (lampa kontrolna na szafie sterującej lub dowolny z ekranów wizualizacyjnych systemu BOSS2010);
- w przypadku gdy ciąg technologiczny jest uruchomiony ale brak jest gotowości systemu BOSS2010 należy ustalić który z czujników spowodował brak gotowości (czerwone, migające podświetlenie wskaźników czujnika).

Znacznie trudniejsza jest identyfikacja nieprawidłowości pracy maszyny objawiająca się pogorszeniem parametrów wzbogacania. Zadanie to mogą ułatwić popiołomierze zainstalowane na przenośnikach transportujących produkty wzbogacania. W przypadku przenośników zbiorczych transportujących materiał z kilku osadzarek, a takie rozwiązanie istnieje na omawianym obiekcie, możliwe jest wykrycie tylko dużych odchyłek parametrów. Przyczyną braku satysfakcjonujących efektów wzbogacania mogą być na przykład opory mechaniczne układu pływakowego, uszkodzenia pływaka skutkujące zmianą jego gęstości, uszkodzenia pokładów sitowych itp. Identyfikacja i lokalizacja tego typu uszkodzeń bazuje głównie na doświadczeniu operatorów. System BOSS2010 dostarcza jedynie danych pomiarowych pozwalających na ocenę działania poszczególnych elementów. Sterownik osadzarki zainstalowany blisko układów pływakowych, siłowników układu odbioru i zaworów talerzowych, umożliwia regulację ręczną poszczególnych parametrów pracy z możliwością obserwacji efektów tej regulacji. Doświadczony pracownik potrafi w ten sposób wykryć uszkodzenia mechaniczne maszyny. Historia komunikatów awaryjnych z ostatniej doby jest wyświetlana na ekranie sterownika, a dane z ostatnich 14 dni są zarchiwizowane w pamięci wewnętrznej sterownika.

7. Uzyskane parametry

Ocena działania osadzarki może być przeprowadzone jedynie przez użytkownika po dłuższym czasie eksploatacji. Opisywana instalacja pracuje od kilku miesięcy i jej ocena może być jedynie fragmentaryczna. Na kompleksową ocenę składają się następujące aspekty działania:

- niezawodność;
- stabilność pracy;
- parametry wzbogacania (koncentrat, odpady, wydajność);
- łatwość obsługi (eksploatacja, przeglądy);
- dostępność serwisu.

Ocena jakości wzbogacania była podstawowym kryterium zakończenia tego etapu inwestycji. Wynika to z faktu, że poprawne działanie osadzarki ma bardzo duży wpływ na bilans ekonomiczny działania kopalni [1].

Od wielu lat ocena dokładności wzbogacania w osadzarkach opiera się na współczynniku rozproszenia prawdopodobnego E_p będącego wskaźnikiem zdolności maszyny i jej układu sterowania do rozwarstwiania określonego rodzaju węgla. Wskaźnik ten został zmodyfikowany tak, aby uwzględnić wpływ gęstości rozdziału i został nazwany imperfekcją. Zależność pomiędzy rozproszeniem prawdopodobnym a imperfekcją przedstawia wzór (1).

$$I = \frac{E_p}{\rho_r - 1} \quad (1)$$

gdzie: I to imperfekcja, E_p to rozproszenie prawdopodobne a ρ_r to gęstość rozdziału.

Wyznaczenie współczynnika imperfekcji jest zadaniem czasochłonnym i kosztownym, które jest realizowane przez zewnętrzne firmy. Sposób jego wyznaczenia opisany jest normą PN-G-07020:1997P. Zmiana parametrów technologicznych procesu wzbogacania, jak np. zmiana ciśnienia roboczego lub zmiana parametrów nadawy wymaga korekt nastaw wprowadzanych przez układ sterowania bądź przez operatora.

Układ sterowania może zapewnić stabilizację parametrów procesowych, ale zmiana gęstości rozdziału poprzez dodanie lub odjęcie ciężarków z układów pływaków będzie modyfikowała wskaźnik imperfekcji. Sposób przeprowadzenia obliczeń wymaga przeprowadzenia czasochłonných analiz densymetrycznych [4]. Opisany obiekt charakteryzuje się wspólnym kolektorem powietrza roboczego dla wszystkich osadzarek co oznacza, że istnieje współzależność pomiędzy działającymi maszynami – zmniejszenie zapotrzebowania na powietrze robocze w jednej osadzance spowoduje wzrost ciśnienia w pozostałych i konieczność ograniczenia jego przepływu.

Drugą alternatywną metodą oceny pracy osadzarki jest analiza produktów wzbogacania. Zawartość węgla i przerostu w odpadach oraz jakość koncentratu jest kontrolowana kilkakrotnie w trakcie każdej zmiany przez służby kopalniane. Przerost jest zawracany do dalszego wzbogacania, w związku z czym jest rzadziej sprawdzany. Rutynowo wykonywane pomiary umożliwiają zebranie wielu wyników i wykonanie oceny długookresowej. Uzyskana jakość produktów wzbogacania jest zmienna i zależy od wielu czynników, ale odzwierciedla potrzeby użytkownika.

Oddana do eksploatacji osadzarka uzyskała w pierwszym tygodniu działania, kiedy to zostały pobrane próby kontrolne, wskaźniki imperfekcji 0,14 dla odpadów i 0,16 dla przerostu. Pobierane próbki odpadów i koncentratu były oznaczane w kopalnianym laboratorium ruchowym.

Średnie wartości z wyników laboratoryjnych były następujące:

- | | |
|------------------------------------|------|
| – zawartość węgla w odpadach | 0,8% |
| – zawartość przerostu w odpadach | 5,6% |
| – zawartość popiołu w koncentracie | 5,2% |

Próbki były pobierane na wszystkich zmianach roboczych i obejmowały również działania związane ze szkoleniem obsługi maszyny.

8. Podsumowanie

Zabudowana osadzarka w krótkim czasie od uruchomienia uzyskała wymagane parametry technologiczne. Szczegółnej uwagi podczas procesu regulacji wymagał dobór parametrów pulsacji, tak aby nie zakłócić pracy pozostałych osadzarek połączonych wspólnym kolektorem ciśnienia roboczego. Zastosowane rozwiązania będą oceniane przez użytkownika, a ewentualne wnioski posłużą do dalszego udoskonalania systemu BOSS2010.

Literatura

1. Blaschke W., Blaschke S., Aleksa H., Wierzchowski K.: Analiza wpływu dokładności wzbogacania (imperfekcja) na wartość produkcji węgla energetycznego. Polityka Energetyczna, tom11, zeszyt 1, 2008
2. Cierpisz S., Kaula R.: Dobór parametrów regulatora dla obiektu inercyjnego z opóźnieniem na przykładzie osadzarki pulsacyjnej. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 3, 2014
3. Kryca M., Bieńko W., Sobierajski W., Myszak W., Kozłowski A.: Rozproszony system sterowania pracą osadzarki i jego integracja z kopalnianą siecią technologiczną na przykładzie wdrożenia w Zakładzie Mechanicznej Przeróbki Węgla LW „Bogdanka”. Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2015, Materiały Konferencyjne.
4. PN-G-07020:1997P Przeróbka mechaniczna węgla kamiennego - Określanie skuteczności procesów wzbogacania grawitacyjnego

Modernizacja węzła odwadniania w KWK Jankowice poprzez zabudowę hydrocyklonów i wirówek

Tomasz Kaletka - Polska Grupa Górnicza, Oddział KWK ROW, Ruch Jankowice

Barbara Tora - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Stanisław Budzyń - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Streszczenie: *Tematem rozdziału jest opis efektów synergii jakie można osiągnąć prowadząc planowo i konsekwentnie modernizację zakładu wzbogacania węgla.*

W 2017 roku zrealizowano w ZP KWK ROW ruch Jankowice inwestycję polegającą na zabudowie hydrocyklonów klasyfikujących wraz z węzłem odwadniania w wirówkach. W rozdziale przedstawiono oczekiwane korzyści technologiczne oraz wyniki pracy uzyskane w pierwszym kwartale od zakończenia modernizacji i uruchomienia urządzeń.

Modernization of the Jankowice coal mine dewatering circuit by installing centrifuges and hydrocyclones

Abstract: *The subject of the chapter is a description of the synergy effects that can be achieved by carrying out a planned and consequent modernization of the coal processing plant.*

In 2017, an investment was implemented at ZP KWK ROW Ruch Jankowice consisting in the construction of hydrocyclones classifying along with the drainage node in centrifuges. The chapter presents the expected technological benefits and the results obtained in the first quarter from the completion of modernization and commissioning of equipment.

1. Wprowadzenie

Tematem rozdziału jest opis efektów synergii jakie można osiągnąć prowadząc planowo i konsekwentnie modernizację zakładu przeróbczego.

W 2017 roku w Zakładzie Przeróbczym KWK ROW ruch Jankowice zrealizowano inwestycję polegającą na zabudowie hydrocyklonów klasyfikujących wraz z węzłem odwadniania w wirówkach. W monografii przedstawiono oczekiwane korzyści technologiczne oraz wyniki pracy uzyskane w pierwszym kwartale od zakończenia modernizacji i uruchomienia urządzeń.

Wykonana w ubiegłych latach przebudowa płuczki miałowej polegająca na modernizacji węzła wzbogacania w osadzarkach i odwadniania produktów wzbogacania pozwoliła na wygospodarowanie wolnej przestrzeni w budynku, co umożliwiło z kolei zabudowę dwóch baterii hydrocyklonów klasyfikujących wraz z węzłem odwadniania w wirówkach EBW-42 firmy CMI. Spodziewano się, że taki układ pozwoli na wydzielenie znacznej ilości ziaren węglowych powyżej +0,2 mm i odwodnienie ich do wilgoci całkowitej 18%.

Stosowanie hydrocyklonów klasyfikujących do klasyfikacji ziaren drobnych jest powszechne w technologii wzbogacania i obiegów wodnych przeróbki kopalin stałych tak przy przeróbce rud miedziowych, cynkowo-ołowiowych, jak i przeróbce mechanicznej węgla kamiennego. Zaletą jest prostota urządzenia, jego bezawaryjność, niski koszt urządzenia i jego eksploatacji, duża dokładność rozdziału i łatwość regulacji parametrów pracy. Wymienione zalety powodują, że urządzenia te są chętnie stosowane w nowoczesnych zakładach przeróbczych lub stanowią przedmiot ich modernizacji. Szczególnie dobrze realizują swoje funkcje w powiązaniu ze współpracą z węzłami flotacji, gdzie są doskonałym klasyfikatorem ziarna w przygotowaniu nadawy do tego procesu we wszystkich głównych rodzajach przeróbki tj.: przeróbki rud miedzi, cynku i ołowiu oraz węgla. Zapewniają one uzyskanie optymalnej pod względem uziarnienia i zagęszczenia nadawy do procesu flotacji gwarantując przez to dużą jej wydajność oraz skuteczność.

Głównym celem zabudowy układu hydrocyklonów ZP KWK ROW ruch Jankowice jest uzyskanie odpowiedniej granulacji ziaren trafiających do węzła flotacji kolumnowej, która jest niezwykle istotna ze względu na specyficzną budowę tego typu flotowników (ziarna mineralne o uziarnieniu powyżej 0,2 mm przeważnie trafiają do odpadów). Dotychczasowy sposób przygotowania nadawy polegający na wykorzystaniu dużego rząpia i klasyfikacji hydraulicznej ziaren był mało efektywny.

Dodatkowo na każdym zakładzie układy klasyfikacji hydraulicznej obciążone są różnego rodzaju ziarnami związanymi z niedoskonałościami w pracy urządzeń odwadniających.

2. Analiza wyników modernizacji układu technologicznego w ZP KWK Jankowice

Analiza granulometryczna wylewów z poszczególnych stożków rząpia klasyfikującego w KWK Jankowice przedstawiona w tabeli 1 pokazała, iż można wydzielić i odwodnić za pomocą hydrocyklonów i wirówek część ziaren, które niepotrzebnie krążą w obiegu wodno-mułowym.

**Wyniki analizy granulometrycznej wylewów z poszczególnych stożków
rząpia klasyfikującego w KWK Jankowice**

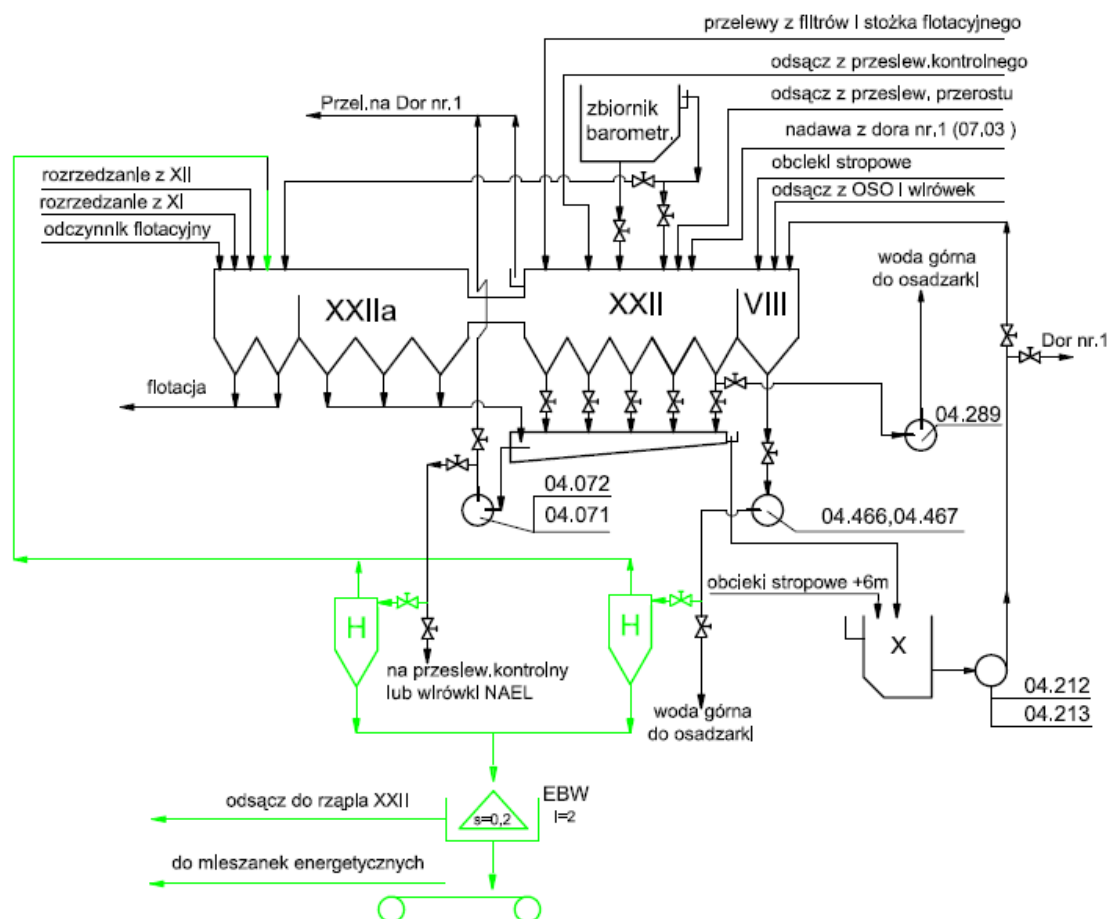
Tabela 1.

klasa ziarnowa [mm]	rząpie VIII	rząpie XXII					rząpie XXIIA			nadawa na sito łukowe	odsącz z sita łukowego	produkt odw. z sita łukowego
		Stożek I	stożek II	stożek III	stożek IV	stożek V	stożek I	stożek II	stożek III			
		udział [%]	udział [%]	udział [%]	udział [%]	udział [%]	udział [%]	udział [%]	udział [%]			
>1	1,69		3,13	0,17	1,1	0				0	0,48	7,2
1-0,5	3,34	3,06	13,45	11,21	3,95	1,6	1,89	1,94	2,14	9,64	3,14	17,21
0,5-0,2	39,44	24,62	56,29	32,67	58,62	26,39	40,64	43,37	42,98	47,71	19,11	50,63
0,2-0,08	29,48	29,59	17,43	16,3	20,69	18,59	32,15	27,87	28,89	18,52	13,2	18,2
0,08-0,063	3,34	6,76	2,5	3,09	4,31	5,02	5,81	3,56	2,85	3,12	1,76	0,43
<0,063	22,71	35,97	7,2	36,56	11,33	48,4	19,51	23,26	23,14	21,01	62,31	6,33
suma	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
zagęszczenie	218,8	156,8	351,6	349,6	392	187,2	375,6	320	336,4	358,8	196,2	
zaw. popiołu Aa [%]	27,46	27,04	36,13	36,62	23,2	27,9	30,44	23,3	24,2	38,56	36,69	7,6

klasa ziarnowa	OSO		wirówki		Nadawa na Dorr I	Nadawa na Dorr I	wylew Dorr I
mm	wychód %	Aa	wychód %	Aa	udział [%]	udział [%]	udział [%]
pow.1,0	0		1,02	6,00			0,02
1-0,5	2,40	13,50	3,84	6,02		0,01	2,05
0,5-0,2	25,30	17,64	25,03	12,23	4,19	1,31	9,82
0,2-0,08	23,12	31,63	16,20	29,60	16,63	2,87	6,93
0,08-0,063	3,27	32,40	2,46	33,33	6,16	0,54	6,4
pon.0,063	45,91	48,31	51,45	49,90	73,02	95,27	74,78
całość	100	35,12	100,00	39,18	100	100	100
zagęszczenie 183,4			zagęszczenie 158,60		86	49	348
zagęszczenie 122,8			zagęszczenie 142				
zaw. popiołu Aa [%]						25,98	32,57

Na rysunku 1 przedstawiono schemat technologiczno-maszynowy układu technologicznego po modernizacji.

SCHEMAT TECHNOLOGICZNO-MASZYNOWY
WĘZŁA KLASYFIKACJI MUŁÓW
- ZABUDOWA HYDROCYKLONÓW



Rys. 1. Schemat technologiczno-maszynowy nowego układu

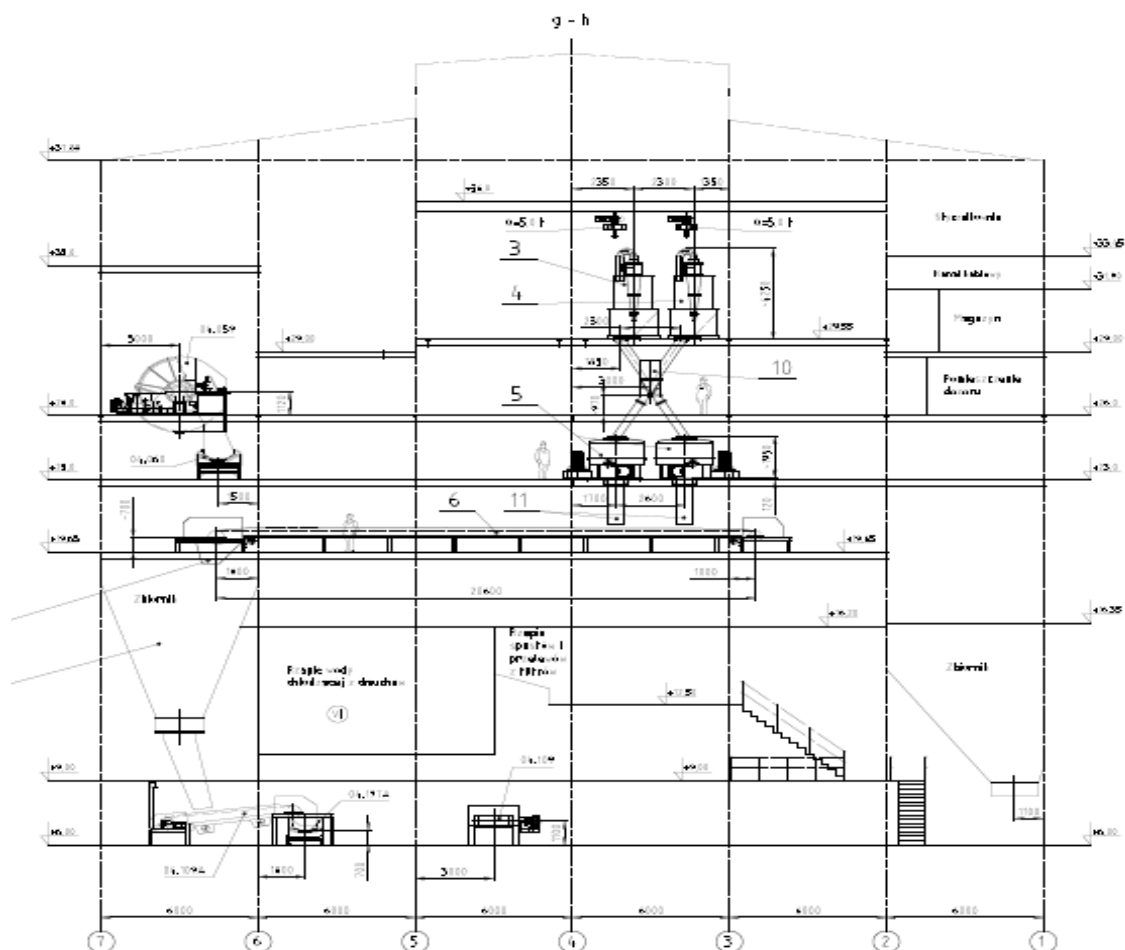
3. Założenia realizowanego projektu

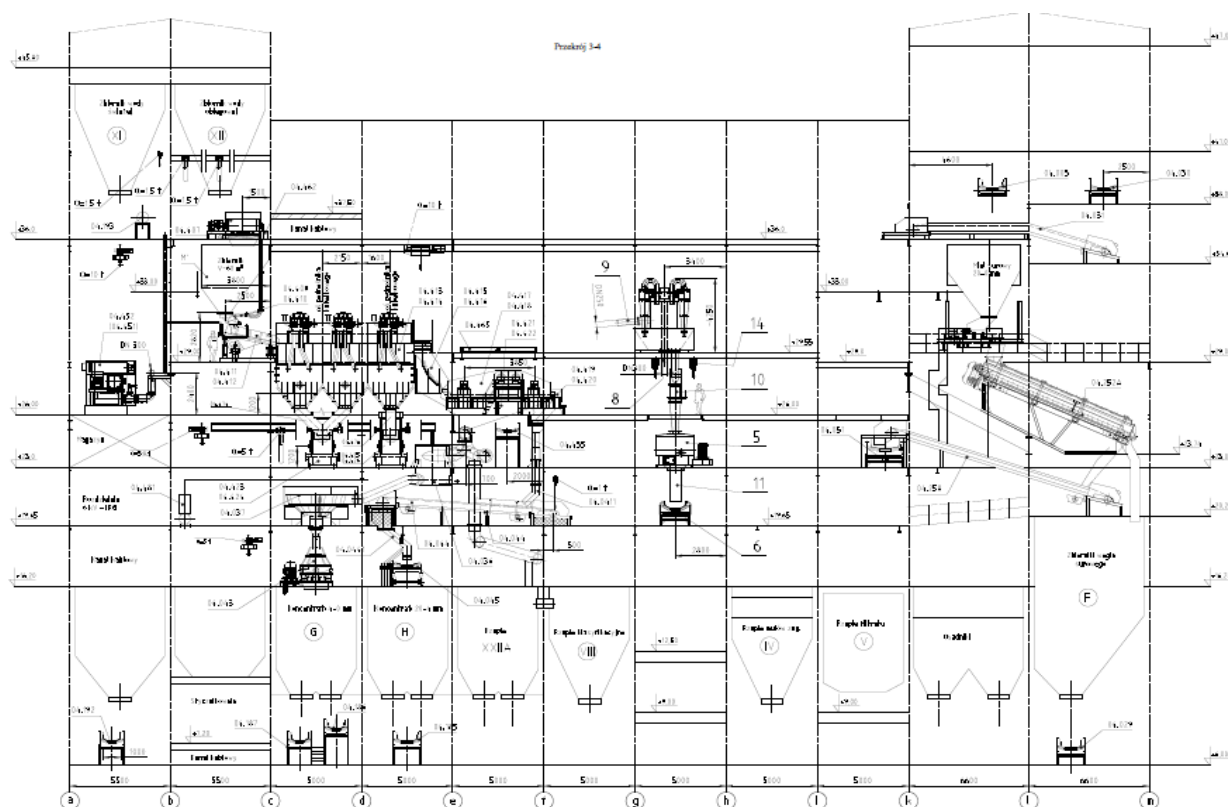
Główne założenia technologiczno-maszynowe realizowanego projektu:

- zabudowa pomp nadawy na hydrocyklony wraz z rurociągami,
- zabudowa baterii hydrocyklonów wraz z rurociągami,
- zabudowa wirówek,
- zabudowa przenośnika taśmowego,

- osiągnięcie pełnej kompatybilności z istniejącymi urządzeniami i ciągami transportowymi.

Na rysunku 2 przedstawiono przekrój instalacji wzbogacania w KWK Jankowice.





Rys. 2. Zakład wzbogacania węgla w KWK Jankowice

4. Analiza wyników modernizacji

Spodziewane efekty związane z pracą nowego węzła technologicznego:

- wydzielenie materiału przed flotacją w ilości 19 ton/godz. (wielkość ta została przyjęta na podstawie przeprowadzonych analiz granulometrycznych najdrobniejszych klas ziarnowych i założeniu iż nominalnie pracować będą dwie nowo zabudowane osadzarki. Wyliczona w ten sposób ilość materiału wynosi 19 t/h. Ze względu na niedoskonałości w pracy hydrocyklonów i możliwości techniczne wirówki EBW do wyliczeń przyjęto ilość 9 t/h odzyskanych ziaren),
- zwiększenie ilości produkowanych mieszanek energetycznych w ilości 49698 ton (całość odzyskanego materiału tj.: $9 \text{ ton} \times 22 \text{ h} \times 251 \text{ dni} = 49698 \text{ ton}$ mieszamy z miałami węglowymi i sprzedajemy w mieszankach energetycznych). Będzie to możliwe ze względu na wilgoć całkowitą poniżej 18%,

- zmniejszenie ilości odpadów poflotacyjnych w ilości 27610 ton (5 t*22 h*251 dni - ponieważ ziarna mineralne > 0,2 mm wydzielamy przed procesem flotacji, w związku z tym nie są produkowane z nich odpady, tylko całość tego materiału trafia bezpośrednio do mieszanek energetycznych),
- zmniejszenie zużycia odczynnika flotacyjnego w ilości 29 807 kg (całość odzyskanego materiału tj. 9 ton*22 h*251 dni = 49698 ton - wydzielone w tej ilości ziarna mineralne nie będą trafiały do procesu flotacji, w związku z tym nie będzie zużycia odczynnika potrzebnego do prowadzenia tego procesu),
- poprawa „jakości” odpadów poflotacyjnych - spodziewamy się wzrostu zapopielenia odpadów spowodowane wydzieleniem ziaren węglowych przed procesem flotacji.

W przypadku modernizacji przewidzianej w ZMPW Jankowice okres zwrotu poniesionych kosztów będzie bardzo krótki, ponieważ dochodzi także efekt odilania mułu (wzbogacanie poprzez klasyfikację w hydrocyklonach) który będzie uzupełniony drugim stopniem wzbogacania – flotacją, która poza dodatkowym efektem w postaci technologicznie użytecznego flotokoncentratu obniży do minimum straty węgla w odpadach flotacyjnych zmniejszając przy tym ich ilość i koszty zagospodarowania.

5. Podsumowanie

Zakończenie inwestycji i uruchomienie węzła nastąpiło w październiku 2017 roku. Podczas wstępnej eksploatacji (pierwsze dwa tygodnie) uzyskano wyniki pracy przedstawione w tabeli 2.

Wyniki analizy sitowej i jakościowej 2017 r. - węzeł hydrocyklonów – pierwsze dwa tygodnie

Tabela 2.

Nadawa

data pobrania	bateria I	bateria II
klasa ziarnowa [mm]	udział [%]	udział [%]
>1	3,92	0,52
1-0,5	8,56	2,15
0,5-0,2	26,04	13,98
0,2-0,08	23,52	30,47
0,08-0,063	4,01	5,97
<0,063	33,96	46,91
suma	100	100
zagęszczenie g/l	101,7	98,95

Przelew

data pobrania	bateria I	bateria II
klasa ziarnowa [mm]	udział [%]	udział [%]
>1	0,00	0,00
1-0,5	0,02	0,00
0,5-0,2	3,27	1,16
0,2-0,08	16,39	15,04
0,08-0,063	4,78	3,13
<0,063	75,53	80,67
suma	100	100
zagęszczenie g/l	62,9	57,68

Wylew

data pobrania	bateria I	bateria II
klasa ziarnowa [mm]	udział [%]	udział [%]
>1	19,74	2,32
1-0,5	14,68	5,22
0,5-0,2	35,92	45,07
0,2-0,08	20,59	23,89
0,08-0,063	1,70	3,67
<0,063	7,37	19,83
suma	100,00	100,00
zagęszczenie g/l	639,35	651,06

Produkt wirowany

09.10--23.10 / 2017	średnia
klasa ziarnowa [mm]	udział [%]
>1	13,57
1-0,5	23,16
0,2-0,08	12,24
0,08-0,063	1,11
<0,063	16,89
zawartość wilgoci Wtr [%]	15,79
zawartość popiołu Ar [%]	11,17
wartość opałowa Qr [kJ/kg]	23 173

< 18 %

Podczas dalszej pełnej eksploatacji ruchowej w I kwartale stosowania hydrocyklonów i wirówek EBW uzyskano wyniki pracy przedstawione w tabeli 3.

**Wyniki analizy sitowej i jakościowej 2017 r.- węzeł hydrocyklonów -
I kwartał stosowania**

Tabela 3.

Bateria I				
zagęszczenia		ziarna <0,2mm w wylewie	zagęszczenie przelewu g/l	ziarna >0,2mm w przelewie
nadawy g/l	wylewu g/l			
122,0	588,7	40,0	95,2	4,2

Bateria II				
zagęszczenia		ziarna <0,2mm w wylewie	zagęszczenie przelewu g/l	ziarna >0,2mm w przelewie
nadawy g/l	wylewu g/l			
160,6	644,2	44,1	121,0	4,5

Produkt wirowany		
wilgoć Wtr	popiół Ar	wartość opałowa
15,4	16,6	21789,3

W wyniku pracy nowego węzła klasyfikacji przed flotacją nastąpiła zmiana składu ziarnowego nadawy do flotacji. Różnice przedstawiono w tabeli 4.

**Porównanie składu ziarnowego nadawy do flotacji
przed wdrożeniem i po wdrożeniu**

Tabela 4.

klasa ziarnowa [mm]	śr I-IX	śr X-XII	różnica
1-0,5	0,66	0,17	-0,48
0,5-0,2	7,39	3,80	-3,59
0,2-0,08	19,55	18,35	-1,20
0,08-0,063	5,27	4,28	-0,99
<0,063	67,12	73,39	

Porównując wyniki analizy granulometrycznej nadawy na flotację przed i po modernizacji można stwierdzić:

- spodziewano się wydzielenia materiału przed flotacją w ilości 19 ton/godz. w pierwszym kwartale eksploatacji osiągnęto stałą wielkość powyżej 9 t/h, przy czym w wielu wypadkach masa ta wynosiła około 20 t/h. Za pierwszy kwartał użytkowania wydzielono około 14000 ton materiału,
- uzyskano średnią zawartość wilgoci w wydzielonym materiale 15,4% (oczekiwana poniżej 18%),
- zwiększono ilości produkowanych mieszanek energetycznych - odpowiednio o wielkości wymienione w pkt. 1, przy jednoczesnym zmniejszeniu o tę ilość nadawy do flotacji,
- zmniejszenie ilości odpadów poflotacyjnych o wielkość minimum 6 t/h (oczekiwana ilość wynosiła 5 t/h),
- zmniejszenie zużycia odczynnika flotacyjnego (oczekiwana ilość wynosiła 29 807 kg - przy założeniu zmniejszenia ilości nadawy o 9 t/h) w ilości odpowiedniej do ilości wydzielonego materiału tj. od 9-20 t/h,
- zmniejszenie obciążenia obiegu wodno-mułowego spowodowane wydzieleniem drobnych ziaren węglowych przed procesem flotacji stworzyło możliwości zwiększenia ilości wzbogacania miazgi surowego, bądź skrócenia czasu pracy urządzeń powiązanych z wydzielaniem najdrobniejszych ziaren węglowych i odpadowych.

6. Wnioski

Na podstawie obserwacji i wyników pracy z pierwszego kwartału eksploatacji wężła hydrocyklony-wirówki EBW można stwierdzić, że przeprowadzona modernizacja wprowadziła pozytywne zmiany w układzie technologicznym Zakładu Przeróbczego, wyraźnie poprawiając pracę obiegu wodno-mułowego, a uzyskane efekty są znacznie lepsze od oczekiwań sprzed realizacji inwestycji. Uruchomienie wężła doskonale wkomponowało się w układ wzbogacania i klasyfikacji najdrobniejszych ziaren i zagospodarowania ich w mieszanek energetycznych. Należy uznać, że realizacja tego zadania spełniła oczekiwania związane z modernizacją zakładu prowadzoną planowo i konsekwentnie od wielu lat.

Literatura

1. Kaletka T., Tora B., Budzyń S. (2017): Zabudowa hydrocyklonów klasyfikujących wraz z wężłem odwadniania w wirówkach. W: KOMEKO 2017 Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych: bezpieczeństwo – jakość – efektywność, monografia, red. nauk. Adam Klich, Antoni Kozieł. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 2017. e-ISBN: 978-83-65593-02-3. - S. 63–68.

2. Projekt modernizacji układu odwadniania zakładu wzbogacania węgla w KWK Jankowice – materiały własne KWK Jankowice, 2016
3. Battaglia A. (1958): Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek, Katowice, Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze
4. Giemza H., Gruszka G., Hycnar J.J, Józefiak T., Kiermaszek K., Pyc A.: (2008) Innowacyjne kierunki optymalizacji obiegów wodnych dla wydzielania i wykorzystania „sedymentów” w ZMPW Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. KOMEKO 2008, s. 171– 182.
5. Hycnar J. J.: (2015) – Metody podwyższenia kaloryczności drobnoziarnistych odpadów węglowych, Inżynieria Mineralna z. 1(35), Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalin, Kraków, s. 33–55

Odwadnianie koncentratu węgla na innowacyjnych filtrach parowo-ciśnieniowych

Piotr Myszkowski – Pro-Industry Sp. z o.o. Sp.k.

Roman Wenglorz – JWS S.A.

Marcin Czapek – Pro-Industry Sp. z o.o. Sp.k.

Streszczenie: Filtracja HiBar jest najnowocześniejszą technologią rozwoju ciągłej filtracji ciśnieniowej, zwaną również jako filtracja hiperbaryczna. W przypadku materiałów, które są uważane jako trudne w procesach filtracji, filtry HiBar umożliwiają uzyskanie niskiej zawartości wilgoci w produkcie, wysoką wydajność jednostkową oraz efektywne płukanie placka filtracyjnego, nawet w przypadku najdrobniejszych ziaren. Najniższe zawartości wilgoci w placku filtracyjnym są osiągnięte na filtrach HiBar przy jednoczesnym zastosowaniu pary wodnej i wysokiego ciśnienia. W takim hybrydowym procesie separacji do placka filtracyjnego jest podawana para wodna bezpośrednio po jego uformowaniu z zawiesiny. Proces ten zachodzi w specjalnie zaprojektowanej i opatentowanej kabinie parowej obejmującej niewielką część powierzchni filtracji, dlatego tylko taka część placka filtracyjnego podlega parowaniu, które przyspiesza i intensyfikuje proces odwadniania. W efekcie, w przypadku wielu odwadnianych materiałów uzyskiwana niska wilgoć placka filtracyjnego znacznie zwiększa jakość oraz właściwości transportowe produktu odwodnionego. Należy stwierdzić, że w przypadku filtracji materiałów masowych, takich jak węgiel, powyższe kryteria są decydujące.

Filtracja parowo - ciśnieniowa HiBar umożliwia produkcję najdrobniejszych klas ziarnowych o niezwykle niskiej wilgoci, poniżej 10% wagowo, pozwalając na znaczne korekty w schemacie technologicznym zakładu.

W październiku 2017 roku, jednostka pilotowa Bokela Steam HiBar była eksploatowana w warunkach kopalni KWK Pniówek do odwadniania flotokoncentratu, przy obecności kilkudziesięciu ekspertów przeróbki węgla z Polski oraz z zagranicy. To była ogólnopolska premiera produkcji w skali półprzemysłowej, podczas której osiągnięto wilgoć produktu poniżej 7% ww. Okazało się, że tak niską wilgoć uzyskano przy zużyciu pary wodnej w ilości zaledwie 50 kilogramów na tonę suchej masy. Należy zaznaczyć, że produkcja najdrobniejszych klas węgla przy wilgoci poniżej 10%, eliminuje wcześniejsze ograniczenia i zapewnia nowe możliwości dalszych operacji technologicznych, takich jak:

- mieszanie grubych i drobnych klas ziarnowych w dowolnym stosunku,
- przekształcenie odpadów w produkt, tzn. umożliwienie jego sprzedaży zamiast wysyłanie na składowisko odpadów,
- zmniejszenie kosztów transportowych w wyniku zmniejszania zawartości wody,
- polepszenie zachowania produktu przy rozładunku wagonów kolejowych,
- niższe koszty energii lub nawet całkowite wyeliminowanie suszenia termicznego,
- większa zyskowność z każdej tony wydobywanego węgla.

Niniejszy rozdział wyjaśnia działanie oraz opisuje zastosowanie filtracji parowo-ciśnieniowej, a także podaje rezultaty uzyskane w czasie eksploatacji pilotowej jednostki HiBar przy odwadnianiu flotokoncentratu w zakładzie przeróbczym KWK Pniówek oraz przedstawia wyniki uzyskane podczas testów laboratoryjnych najdrobniejszych klas ziarnowych zarówno z KWK Pniówek, jak i z kilku innych polskich kopalni węglowych.

Dewatering of coal concentrate on steam-pressure filters

Abstract: *HiBar Filtration is the most modern technology of continuous pressure filtration also known as hyperbaric filtration. HiBar Filtration enables low moisture contents, high specific solids performance and efficient filter cake wash if fine grained, difficult to filter products have to be processed. Lowest cake moisture contents are achieved with HiBar Steam Pressure Filtration. With this hybrid separation process the filter cake is treated with steam immediately after emerging from the slurry. In a specially designed and patented steam cabin covering only part of the filtration area, the filter cake is only partially exposed to steam, which accelerates and intensifies the dewatering process. For many products the dryness of the filter cakes significantly improves quality, handling and transport of the product. For filtration of bulk materials such as coal ultrafines these are decisive criteria.*

Hi-Bar steam pressure filtration is capable to produce extremely dry ultrafines below 10% w/w free moisture which now offers new options in coal ultrafines treatment.

In October 2017 the BOKELA HiBar pilot plant was operated at the coal washery Pniówek Mine, for Steam Pressure Filtration of coal flotation concentrate in front of coal processing experts from Poland and other countries. It was a Polish premiere and for the first time filter cakes of dry coal ultrafines below 7% w/w free moisture were produced in a semi-industrial scale. It turned out that such a low moisture was obtained when using steam in the amount of only 50 kilograms per ton of dry matter.

It should be noted that the production of the coal ultrafines with moisture below 10%, eliminates earlier restrictions and provides new opportunities for further technological operations, such as:

- allowing mixtures of coarse and fine fractions in any given amount;*
- waste-to-product ie marketing as a saleable product instead of disposal;*
- reduced transport costs through reduced water content;*
- improved bulk flow behaviour for discharge of railway wagons;*
- lower or even no energy cost for thermal drying; and*
- more profit per ton run-of-mine.*

The paper explains the function and technical application of steam pressure filtration and reports results of the HiBar pilot plant operation for ultrafines dewatering at the coal washery Auguste Victoria (RAG).

This paper explains the operation and describes the use of HiBar Steam filtration, as well as the results obtained during the operation of the pilot HiBar unit for dewatering of the flotation concentrate in the Pniówek Mine processing plant and presents the results obtained during laboratory tests of ultrafines from both KWK Pniówek and several other Polish coal mines.

1. Wprowadzenie

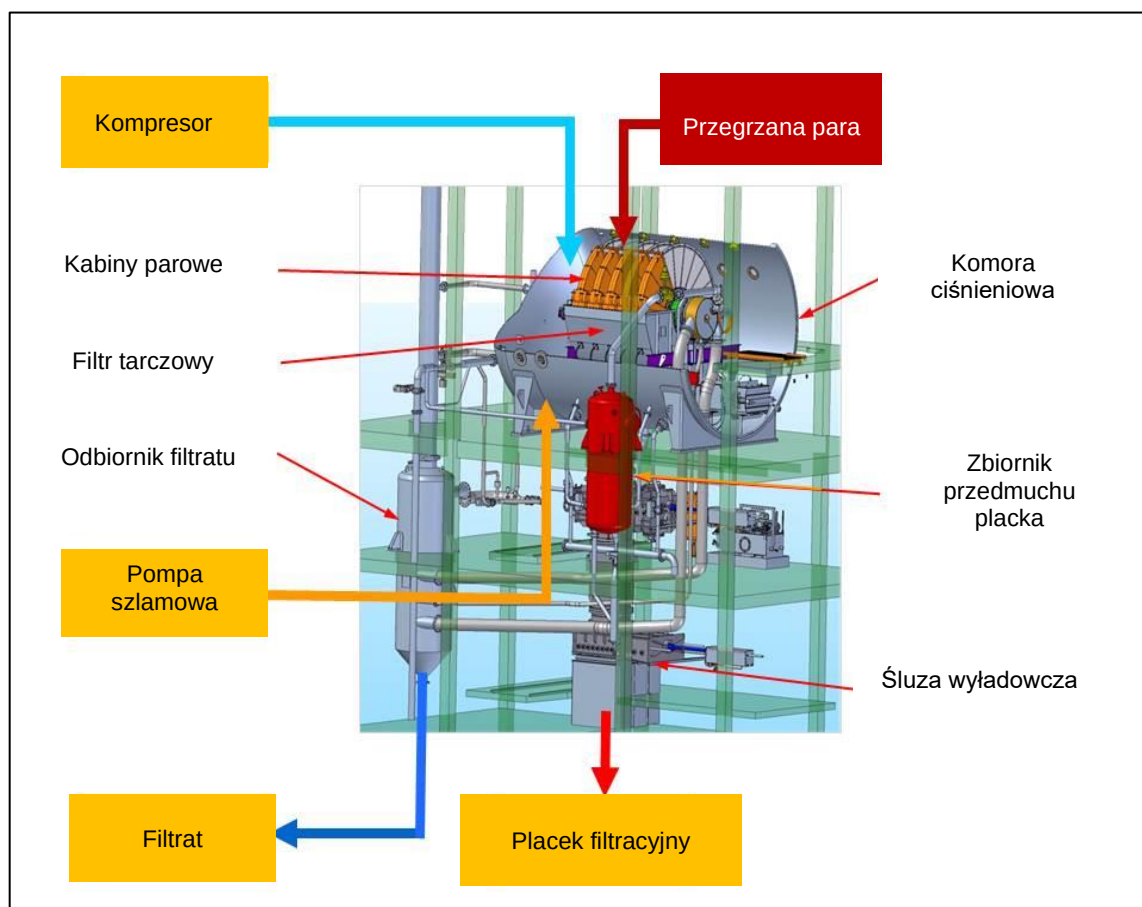
W zależności od przerabianego złoża węgla, udział najdrobniejszych ziaren (definiowanych tutaj jako $-0,25$ mm) może wynosić około 10% - 40% wagowo. Jeśli zawartość wilgoci powierzchniowej w mieszaninie frakcji grubych i drobnych wynosi poniżej 10% w/w., wtedy filtracja najdrobniejszych ziaren przy wykorzystaniu nowoczesnych, obrotowych, próżniowych filtrów tarczowych jest najbardziej ekonomicznym sposobem uzyskiwania materiału o zawartości wilgoci powierzchniowej 20-30% w/w, co pozwala na domieszanie znacznych ilości frakcji najdrobniejszych do produktu końcowego. Jeżeli zawartość wilgoci powierzchniowej w mieszaninie grubych i drobnych frakcji węglowych jest bliska 10% lub więcej, wtedy poprzez zastosowanie filtrów parowo-ciśnieniowych HiBar można produkować bardzo suche ziarna o wilgoci powierzchniowej poniżej 10% w/w. Możliwe jest wówczas handlowe wykorzystanie tych frakcji. Frakcje najdrobniejsze, odwodnione przy wykorzystaniu filtracji parowo-ciśnieniowej, mogą być sprzedawane jako produkt sam w sobie lub jako domieszka do drobnych i grubych ziaren w dowolnym stosunku.

2. Odwadnianie drobnych ziaren przy wykorzystaniu ciągłej parowo-ciśnieniowej filtracji typu HiBar

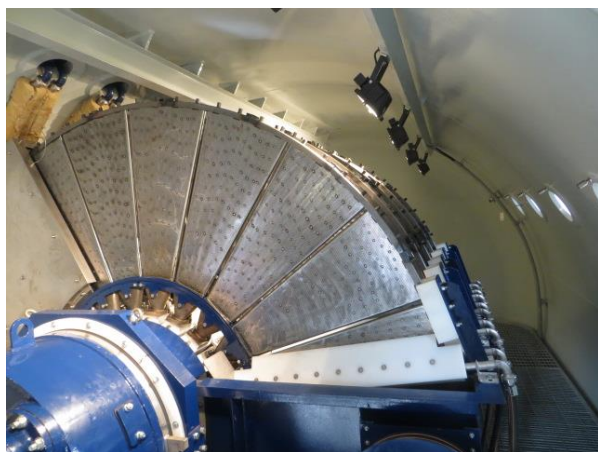
2.1. Model techniczno-technologiczny węzła filtracji typu HiBar

Technologia filtracji HiBar wykorzystuje filtry obrotowe, w przypadku odwadniania węgla są to filtry tarczowe, które są zabudowane w zbiorniku ciśnieniowym (rys. 1.) i pracują pod ciśnieniem sprężonego powietrza (7 bar). Zawiesina ciał stałych jest pompowana do zbiornika ciśnieniowego, a filtrat jest odprowadzany rurociągiem do otwartego zbiornika. Placek filtracyjny jest odspajany od tkaniny filtracyjnej za pomocą mocnego impulsu/przedmuchu wstecznego sprężonym powietrzem i jest transportowany na zewnątrz komory ciśnieniowej poprzez system śluz. Pompy próżniowe wykorzystywane przy konwencjonalnej filtracji próżniowej zostały zastąpione kompresorem, który dostarcza odpowiednią ilość sprężonego powietrza do komory ciśnieniowej oraz do przedmuchu placka. Sprężone powietrze z przedmuchu placka, służy również do utrzymywania odpowiedniego nadciśnienia w komorze przy procesie filtracji. Wewnątrz komory filtr pracuje przy różnicy ciśnień do $\Delta p = 6$ bar.

Na rysunku 2 pokazano zespół filtra HiBar z filtrami tarczowymi o powierzchni 70 m^2 w skali przemysłowej.



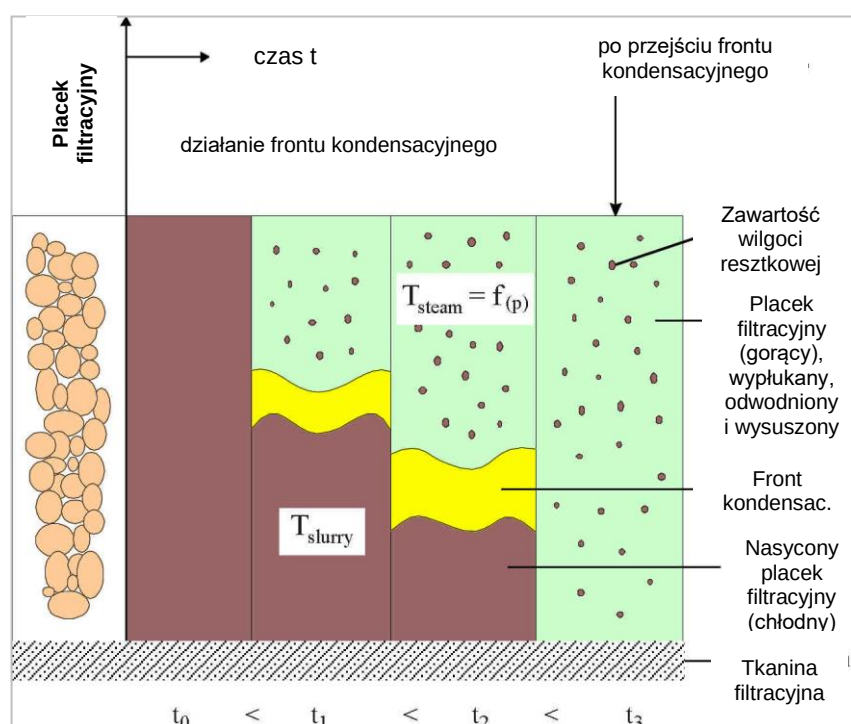
Rys. 1. Model jednostki filtracyjnej HiBar

Rys. 2. Filtry tarczowe HiBar (70 m² każdy) z kabinami parowymi do filtracji parowo-ciśnieniowej (po lewej); budynek filtrów z dwoma filtrami tarczowymi HiBar o pow. 70 m² każdy (po prawej)

2.2. Filtracja parowo-ciśnieniowa HiBar

W przypadku filtracji parowo-ciśnieniowej tarcze filtra są dodatkowo wyposażone w kabiny parowe oraz orurowane doprowadzające parę. Wykorzystanie pary wodnej w procesie odwodniania placka filtracyjnego powoduje wystąpienie jednocześnie zjawisk oddziaływania termalnego i mechanicznego, po których następuje dosuszanie konwekcyjnym sprężonym gazem (Gerl 1996).

Podczas filtracji parowo-ciśnieniowej placki filtracyjne są tylko częściowo wystawione na działanie pary wodnej, co przyspiesza i intensyfikuje proces odwodnienia. Proces ten można wyjaśnić w następujący sposób:



Rys. 3. Filtracja parowo-ciśnieniowa: model „frontu kondensacyjnego”

Placki filtracyjne uformowane z nadawy o niskiej temperaturze wprowadzane są do specjalnie zaprojektowanej kabiny parowej zaraz po wynurzeniu z koryta filtra wypełnionego zawiesiną. W kabinie parowej, w atmosferze z przegrzaną parą wodną, występuje zjawisko, które można przedstawić za pomocą modelu „frontu kondensacyjnego” (rys. 3):

- Para wodna skrapla się na zimnej powierzchni placka filtracyjnego tworząc homogeniczną warstwę kondensatu, która przechodząc przez placek filtracyjny działa jak tłok („front kondensatu”).
- Przemieszczający się „front kondensacyjny” usuwa blisko 100% filtratu pierwotnego.

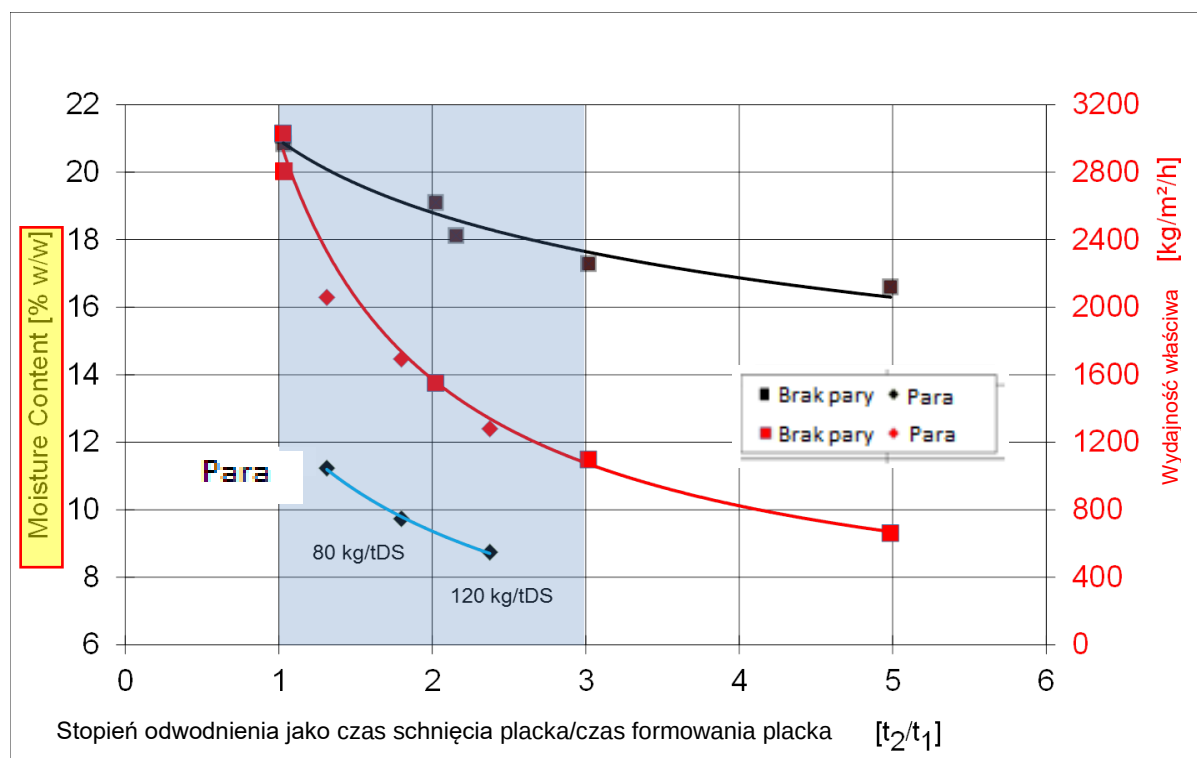
- Gdy „front kondensacyjny” dotrze do tkaniny filtracyjnej, placek ogrzewa się całkowicie do temperatury pary wodnej. W tym momencie placek opuszcza kabinę parową.
- Sprężone powietrze przepływa przez wstępnie odwodniony i gorący placek filtracyjny powodując bardzo skuteczne osuszanie termiczne, co prowadzi do osiągnięcia bardzo niskiej wilgotności placka filtracyjnego.

Połączenie procesów termicznych i mechanicznych wewnątrz placka zapewnia niemal homogeniczne i bardzo intensywne odwodnienie placka bez strat ciśnienia i energii, które występują gdy odwadnianie nie zachodzi w sposób homogeniczny.

2.3. Wyniki odwadniania drobnych frakcji ciał stałych przy użyciu filtracji parowo-ciśnieniowej HiBar

Zastosowanie filtracji parowo-ciśnieniowej umożliwia produkcję bardzo suchej najdrobniejszej frakcji ziaren, co eliminuje dawne ograniczenia występujące przy wzbogacaniu drobnych ziaren.

Typowe wartości dla drobnego węgla dla danej wydajności i zawartości wilgoci poniżej 10%, pokazano na rysunku 4 oraz w tabeli 1.



Rys. 4. Zawartość wilgoci powierzchniowej oraz wydajności właściwej dla flotokonzentratu węgla przy filtracji ciśnieniowej i parowo-ciśnieniowej w zależności od stopnia odwodnienia (stopień odwodnienia na filtrach obrotowych w zakresie 1-3)

Na rysunku 4 zawartość wilgoci dla filtracji ciśnieniowej (oznaczona linią czarną) oraz dla filtracji parowo-ciśnieniowej (oznaczona linią niebieską) flotokoncentratu ($x_{50} < 45 \mu\text{m}$) została zestawiona z tak zwanym współczynnikiem odwodnienia czasu suchego t_2 do czasu formowania t_1 , który odpowiada współczynnikowi α_2/α_1 (α_2 = kąt odwodnienia, α_1 = kąt formowania placka). Przedstawione rezultaty zostały uzyskane w wyniku badań laboratoryjnych przy różnicy ciśnień wynoszącej 5,5 bar, zawartości ciał stałych 350 g/l oraz przy dozowaniu flokulantów 13 g na 1000 kg. Linia czerwona przedstawia odpowiednią wydajność właściwą. Typowe współczynniki odwodnienia występujące przy filtracji na filtrach obrotowych wynoszą 1 - 3 jak pokazano na rysunku 4. W tym zakresie przy filtracji ciśnieniowej osiąga się zawartość wilgoci na poziomie od 21% do ok. 17,5%, podczas gdy przy filtracji parowo-ciśnieniowej osiąga się wilgoć na poziomie od 11% do 9% wagowo, w zależności od współczynnika odwodnienia i ilości pary wodnej. Przyjmuje się, że potrzeba około 10 kg pary/t aby zmniejszyć wilgoć o 1 punkt procentowy w stosunku do filtracji ciśnieniowej.

Typowa zawartość wilgoci dla drobnych ziaren węgla przy filtracji próżniowej, ciśnieniowej oraz parowo-ciśnieniowej HiBar dla frakcji -250 μm

Tabela 1

Metoda	Wilgoć powierzchniowa [% w/w]
Próżniowa	23 – 28
Ciśnieniowa, ciągła	16 – 19
Parowo-ciśnieniowa HiBar	8 – 12

Ponieważ filtracja parowo ciśnieniowa przyspiesza i intensyfikuje odwadnianie, nie tylko osiąga się niższą zawartość wilgoci ale również wyższą wydajność właściwą, wynikającą z faktu, że filtr może pracować przy większym kącie formowania α_1 oraz przy wyższej prędkości obrotowej.

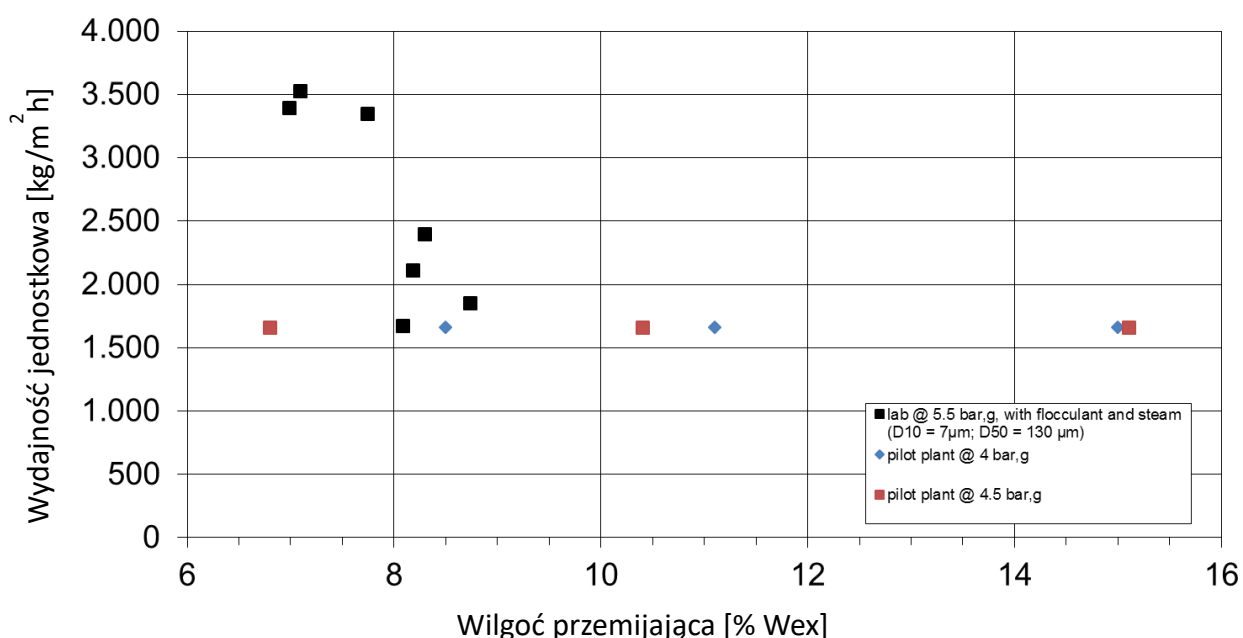
3. Jednostka pilotowa Steam HiBar – filtracja parowo-ciśnieniowa najdrobniejszych frakcji węgla

W październiku 2017 roku, jednostka pilotowa Bokela Steam HiBar była eksploatowana w warunkach kopalni KWK Pniówek do odwadniania flotokoncentratu (rys. 6.). Eksperti branży węglowej udali się do KWK Pniówek aby uczestniczyć w tym przedsięwzięciu. To była ogólnopolska premiera produkcji w skali półprzemysłowej, podczas której osiągnięto wilgoć produktu poniżej 7% w/w.

Rysunek 5 obrazuje wilgotności placka uzyskane podczas testu filtra pilotowego oraz podczas testów laboratoryjnych względem jednostkowej wydajności filtra przy różnicach ciśnień $\Delta p = 4 - 5,5$ bar oraz przy różnym zużyciu pary wodnej 20-200 kg/t sm.

Jak widać, wilgotność placka znacznie poniżej 10% była osiągnięta przy zużyciu pary wodnej na poziomie 120 kg/t. W zawiązku z powyższym można uznać zasadę, że przy najdrobniejszych frakcjach węgla, 10 kg pary wodnej na kilogram suchej masy powoduje zmniejszenie wilgoci o około 1% w/w – twierdzenie to ma zastosowanie w zakresie wilgoci 20 do 8%.

Niewielkie odchylenia od tej zależności widoczne na rysunku 5, są wynikiem efektu krawędziowania, fałszującego zużycie pary wodnej, spowodowanej niewielką powierzchnią filtracji filtra pilotowego, która wynosiła tylko 1 m².



Rys. 5. Wyniki pracy jednostki pilotowej HiBar (1m² filtr tarczowy) w kopalni węgla Pniówek



Rys. 6. Jednostka pilotowa HiBar (1m² filtr tarczowy) na płuczce węglowej KWK Pniówek zawartość wilgoci niezwiązanej płacka filtracyjnego poniżej 7% w/w

4. Od odpadu do produktu – zalety odwadniania frakcji najdrobniejszych

Filtry parowo-ciśnieniowe HiBar mogą pracować ciągle przy niezwykle wysokich wydajnościach oraz osiągać wilgotność płacka poniżej 10% w/w, co eliminuje wcześniejsze ograniczenia i daje nowe możliwości w przeróbce najdrobniejszych frakcji węgla – są to:

- Możliwość mieszania drobnych i grubych frakcji w dowolnych ilościach;
- Możliwość uzyskania odrębnego produktu;
- Niższe koszty transportu z powodu niższej zawartości wody;
- Łatwiejszy rozładunek wagonów kolejowych;
- Łatwiejszy transport w regionach gdzie występują długotrwałe mrozy (nie zamarza);
- Niższe lub brak kosztów związanych z suszeniem termicznym.

Aby zamienić najdrobniejsze frakcje węgla z odpadu w produkt, zawartość wilgoci w płacku nie może przekroczyć 9-10% w/w. Filtry parowo-ciśnieniowe BOKELA HiBar umożliwiają produkowanie najdrobniejszych ziaren w tym zakresie wilgoci. W tym celu potrzebne jest około 10 kg pary/t, aby zmniejszyć zawartość wilgoci o 1 procent. W odniesieniu do płacka filtracyjnego, który po filtracji ciśnieniowej osiąga wilgoć na poziomie 17% w/w, filtracja parowo-ciśnieniowa wymaga użycia ok 80 kg pary/t aby zredukować wilgoć do 9% ww. ($\Delta mc = 8\% \text{ ww.}$).

Całkowity koszt operacyjny to około US\$5 na 1000 kg suchej masy. Biorąc pod uwagę aktualne ceny rynkowe, stanowi to wzrost dochodów o około US\$50 na 1,000 kg suchej masy, jeżeli odpad staje się produktem. W rezultacie zwrot inwestycji w duży zakład (pod klucz) z filtrami parowo-ciśnieniowymi HiBar o wydajności 300 000 t/rok, wynosi zaledwie 1 rok.

5. Wnioski

Technologia HiBar do ciągłej filtracji ciśnieniowej i parowo-ciśnieniowej daje nowe możliwości opłacalnej ekonomicznie filtracji i wykorzystania najdrobniejszych ziaren węgla oraz rud żelaza. Filtracja parowo-ciśnieniowa HiBar umożliwia produkowanie bardzo suchych najdrobniejszych frakcji węgla (np. poniżej 10% w/w wilgoci niezwiązanej) oferując nowe możliwości wzbogacania tych ziaren np. może zmienić odpad w produkt. Frakcje najdrobniejsze, odwodnione przy wykorzystaniu parowo-ciśnieniowej filtracji mogą być sprzedawane jako produkt sam w sobie lub jako domieszka do drobnych i grubych ziaren w dowolnym stosunku. Dla przykładu, koncentraty rudy żelaza mogą być odwodnione osiągając najniższą możliwą wilgoć 3% w/w. Podobnie jak w przypadku węgla, poprawia to znacznie transport w regionach gdzie występują długotrwałe mrozy lub sprawia, że transport jest w ogóle możliwy.

Literatura

1. Gerl, S. and Stahl, W., 1996 "Improved Dewatering of Coal by Steam Pressure Filtration", Coal Preparation, Volume 17, Issue 1-2, 137 – 146
2. Ehrfeld, E., Bott, R. and Langeloh, Th., 2008, "Layout of Rotary Filters on the basis of laboratory results", 10th World Filtration Congress, Leipzig, Germany, 14 – 18 April.
3. Hahn, J. and Essack, H., 2011, "Performance, operation and maintenance experience of coal ultrafines filtration with modern High Speed Disc Filters", South African Coal Preparation Society Conference, Secunda.
4. Materiały własne - PRO-INDUSTRY Sp. z o.o. Sp.k.
5. Materiały własne – Bokela GmbH

Promowanie zrehabilitowanych terenów pogórnich

Jolanta Biegańska - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Streszczenie: W działalności pogórnich, można zaobserwować wszystkie możliwe formy degradacji środowiska a także wszystkie typy i próby jego rehabilitacji. Rehabilitacja terenów pogórnich jest bardzo trudnym zadaniem, ponieważ nie ma unikalnego schematu planowania. Dlatego udana i zrównoważona rehabilitacja wymaga podejścia interdyscyplinarnego prowadzącego do zintegrowanej i skutecznej propozycji przywrócenia funkcji ekologicznych, hydrologicznych, estetycznych, rekreacyjnych i innych funkcji krajobrazu pogórnich. Na koniec można zastosować różne formy reklamy takich zrehabilitowanych terenów.

Promotion of reclaimed post-mining areas

Abstract: The post-mining activities can be observed in all possible forms of environmental degradation as well as all the types and attempts of theirs remediation. Reclamation of post-mining landscapes is a very challenging task since there is no unique reclamation planning scheme. Therefore, successful and sustainable reclamation requires interdisciplinary approach leading to an integrated and effective proposal to restore ecological, hydrological, aesthetic, recreational and other functions of the post-mining landscape. Finally, you can use various forms of advertising for such reclaimed areas.

1. Wprowadzenie

Pozyskiwanie surowców jest bardzo ważnym aspektem dla lokalnej i globalnej gospodarki, ale w większości przypadków prowadzi do znacznych szkód środowiskowych. Taki rodzaj działalności powoduje ogromne zmiany w pierwotnym krajobrazie. Z kolei zaniedbany krajobraz poeksploatacyjny lub zdewastowany wymaga działań o charakterze naprawczym, ale daje też możliwości dalszego jego kształtowania, np. przez adaptację w celu dostosowania do pełnienia nowych funkcji.

Koszty środowiskowe nie powinny być wyższe od zysków osiąganych przez przedsiębiorstwa – taka jest zasada zrównoważonego rozwoju i jednocześnie nasz obowiązek prawny wynikający z zapisów Konstytucji Rzeczypospolitej [1]. Zakład górniczy ma również obowiązek prawny ochrony środowiska. Rehabilitacja terenów pogórnich jest wpisana w prawo – nowelizacja Prawa geologicznego i górniczego [2] spowodowała poszerzenie zapisów dotyczących rehabilitacji terenów po działalności górniczej. Zgodnie z treścią art. 80

ust.1 pkt. 5 Prawa geologicznego i górniczego: „w razie likwidacji zakładu górniczego przedsiębiorca jest zobowiązany podjąć niezbędne środki w celu ochrony środowiska oraz rekultywacji gruntów i zagospodarowania terenów po działalności górniczej”. Z kolei zgodnie z artykułem 41 ust. 3 tego prawa, wskazanie możliwości i kierunków rekultywacji terenów poeksploatacyjnych powinno nastąpić już na etapie sporządzania dokumentacji geologicznej, jeśli stanowi ona podstawę do ubiegania się przez przedsiębiorcę o udzielenie koncesji na wydobywanie kopaliny.

Rekultywacja terenów pogórnich zwykle związana jest z wyrównywaniem strat wywołanych działalnością górniczą, ale w sporej liczbie przypadków może być to również szansa na zwiększenie atrakcyjności terenu po byłej kopalni.

Często podejmowane prace związane z rekultywacją zmierzają do efektywnego wykorzystania terenów pogórnich i tworzenia atrakcyjnych miejsc w danym regionie. Z uwagi na fakt, że w ostatnich latach wzrasta ruch turystyczny wydaje się możliwe zainteresowanie ogółu społeczeństwa miejscami zrehabilitowanymi przez stosowanie różnych zachęt. Jedną z możliwości promowania zagospodarowanych terenów pogórnich może być połączenie geoturystyki z geocachingiem.

2. Negatywny wpływ górnictwa na środowisko

Działalność górnicza kojarzona jest z negatywnym wpływem na otaczające środowisko. Szczególnie widoczne jest to w przypadku odkrywkowego sposobu wydobywania. Zmianie ulega nie tylko pole eksploatacyjne ale również przestrzeń wyrobiska, zwały zewnętrzne oraz cały przylegający teren. Każdy element środowiska może ulegać przekształceniu [3]:

- litosfera – zmieniona rzeźba terenu, wysokość nad poziomem morza, charakter budowy geologicznej,
- atmosfera – zmiana czynników klimatycznych i wpływ na jakość powietrza,
- hydrosfera – negatywne zmiany w stosunkach hydrologicznych,
- pedosfera – degradacja gleby (odwodnienie, zanieczyszczenie wody lub powietrza), zniszczenia gleby zajęciem na obszarze wyrobiska oraz pod zewnętrznymi zwalami,
- biosfera – degradacja lub całkowite zniszczenia żywych elementów ekologicznego systemu (fitocenozy, zoocenozy, mikrocenozy).

Do atmosfery emitowane są pyły i gazy, jako wynik wiercenia otworów strzałowych oraz przeróbki i obróbki kamienia. Ocenia się [4, 5], że w kopalniach surowców skalnych, w ciągu jednego dnia pracy (przy stosowaniu ręcznych urządzeń wiertniczych), powstaje około 250 kg pyłu, a przy wykorzystaniu wozu wiertniczego na gąsienicach, około 1200-1500 kg pyłu.

Gazy emitowane są przez silniki parowe i spalinowe maszyn pracujących na terenie kopalni. Na ich emisję mają również wpływ kotłownie zakładowe.

Istotnym źródłem szkodliwych gazów mogą być stosowane materiały wybuchowe. W większości kopalń odkrywkowych używa się nowoczesnych materiałów wybuchowych a podczas opracowywania ich kompozycji zakłada się zerowy bilans tlenowy. Równowaga tlenowa ma zapewnić maksymalną energetyczność oraz występowanie w produktach wybuchu minimalnych stężeń tlenku węgla i tlenków azotu. Jednak wieloletnie doświadczenia wykazały, że stopień emisji toksycznych gazów uzależniony jest nie tylko od bilansu tlenowego materiału wybuchowego. W niesprzyjających warunkach mogą być zatem emitowane do atmosfery toksyczne gazy.

Sprawa emisji pyłów i gazów nie jest przedmiotem systematycznych badań, gdyż jest to emisja niska rozproszona.

Stosowanie środków strzałowych również powoduje krótkotrwałe zapylenie oraz skutki uboczne dla środowiska:

- uderzeniową falę powietrzną,
- rozrzut odłamków skalnych,
- drgania sejsmiczne.

Zasięg oddziaływania poszczególnych czynników określa się przy pomocy metod i wzorów. Podstawą obliczeń w przypadku fali powietrznej i sejsmicznej jest stopień zagrożenia obiektów budowlanych, a w przypadku rozrzutu odłamków skalnych ocenia się niebezpieczeństwo dla ludzi i zwierząt.

Opracowuje się globalny wpływ zakładu górniczego na środowisko i nie ocenia się w szczególności skutków prowadzonych prac strzałowych.

3. Cel i znaczenie rekultywacji

Rekultywacja stanowi najważniejszy i najistotniejszy problem środowiskowy, społeczny a także gospodarczy. Celem racjonalnym zabiegów rekultywacyjnych jest nie tylko stworzenie stabilnego krajobrazu, zgodnego z estetyką i otaczającym środowiskiem, ale również uwzględnienie zamierzonego wykorzystania dla przyszłych pokoleń. Spełnienie takiego celu wymaga uwzględnienia, jako minimum, pierwotnej koncepcji planów rekultywacyjnych [6, 7].

Zdarza się, że w trakcie prowadzenia prac wydobywczych skażeniu ulegnie teren przyległy do kopalni lub powierzchnia, na której prowadzone są prace kopalniane.

W przypadku skażonego terenu, głównym celem będzie minimalizacja zagrożenia dla środowiska lub zmniejszenie ryzyka, co w konsekwencji prowadzi się do uzyskania akceptowalnego poziomu zanieczyszczenia. W tym celu stosuje się [8, 9]:

- eliminację zagrożenia poprzez usunięcie lub przekształcenie/modyfikację zanieczyszczenia,
- kontrolę zagrożenia poprzez izolację lub separację zanieczyszczeń,
- przerwanie drogi narażania i przenoszenia zanieczyszczeń.

Dopiero po tych zabiegach przystąpić można do zagospodarowania terenu. Zmianie ulegnie czas rekultywacji i jego przebieg.

Rekultywacja rozpatrywana w perspektywie powinna uwzględniać podstawowe cele, które według Cao [10] polegają na:

- wyeliminowaniu zagrożeń dla zdrowia i bezpieczeństwa (usunięcie wszelkich obiektów i struktur zagrażających zdrowiu i bezpieczeństwu ludzi),
- przywracaniu stosunków lądowych i wodnych (ponowna roślinność i stabilizacja pozostałości w celu zmniejszenia drenażu kopalnianego lub zanieczyszczenia wody),
- wyeliminowaniu wpływu na środowisko również poza terenem kopalni,
- dbałości o realną, samowystarczającą przyszłość terenów po kopalni, zarówno jeśli chodzi o korzyści środowiskowe, jak i społeczno-ekonomiczne (rozwój terenów publicznych przeznaczonych do rekreacji, celów historycznych, celów związanych z ochroną lub korzyściami w przestrzeni otwartej lub do budowy obiektów publicznych),
- zachęcaniu do lepszego wykorzystania zasobów naturalnych.

Górnictwo i zagospodarowanie terenu są ściśle powiązane z dynamicznym i integracyjnym procesem, którym zajmuje się szereg aspektów środowiskowych, produkcyjnych, estetycznych, użytkowania gruntów i ekonomicznych związanych z celami planowania rekultywacji. Proces ten rozpoczyna się wraz z otwarciem kopalni i kończy się wraz z jej zamknięciem.

4. Metody i techniki rekultywacji

Sposób docelowego zagospodarowania terenu – kierunek rekultywacji nakreśla zakres prac, jakie należy przeprowadzić (działania techniczne związane z likwidacją zanieczyszczeń, zabezpieczeniem infrastruktury technicznej, budową systemu komunikacji i odwodnienia, budową urządzeń hydrotechnicznych oraz zabiegami biologicznymi).

Proces wyboru najbardziej odpowiedniej techniki rekultywacji jest często trudnym zadaniem. Należy uwzględnić wiele parametrów ekonomicznych i operacyjnych (skuteczność i koszty, stan rozwoju procesu oraz dostępność i wymogi operacyjne), a także kilka dodatkowych czynników, takich jak ograniczenia procesu, potrzeby monitorowania, potencjalny wpływ na środowisko, potrzeby w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa oraz wymagania dotyczące zarządzania po rekultywacji [8]. Również złożoność prac rekultywacyjnych ogranicza możliwości wyboru odpowiedniej metody [11].

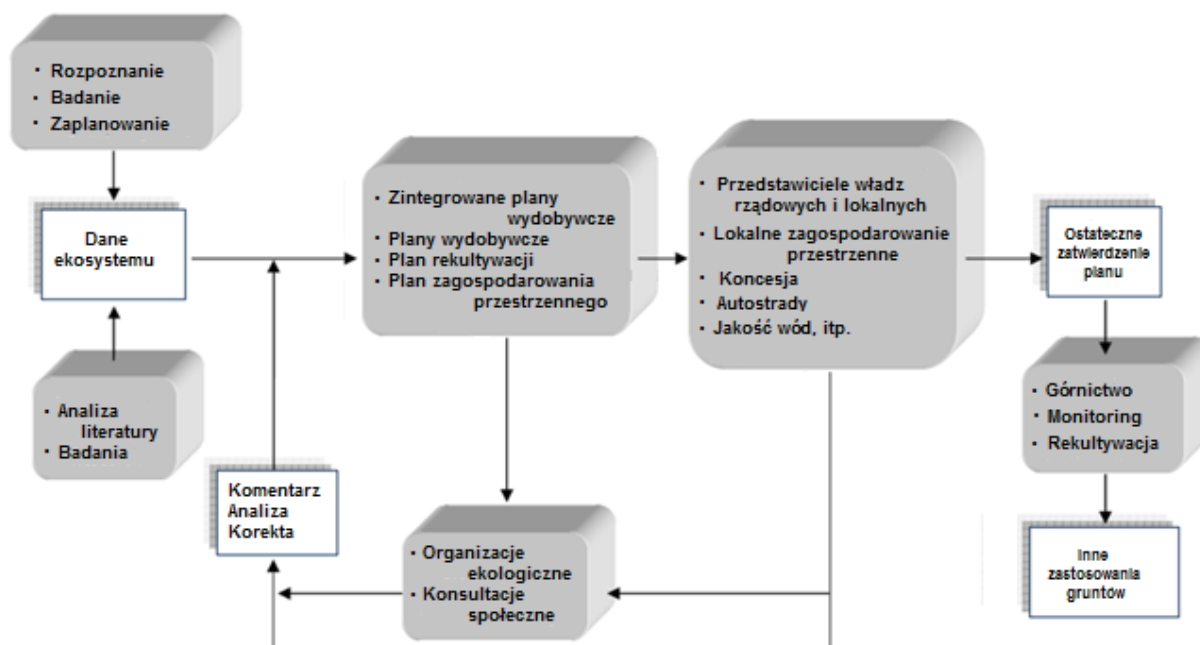
Zrekultywowany obszar to otwarty ekosystem, który wchodzi w interakcje z otaczającym środowiskiem. Składowe tego systemu klasyfikuje się jako naturalne i kulturowe (tabela 1).

Wymagane informacje dotyczące rekultywacji i planowania przestrzennego [12]

Tabela 1

I CZYNNIKI NATURALNE A. Topografia 1. Rzeźba terenu 2. Nachylenie terenu B. Klimat 1. Opady 2. Intensywność wiatru 3. Wilgotność 4. Temperatura 5. Typ klimatu 6. Pora roku 7. Charakterystyka mikroklimatu C. Wysokość (nad poziomem morza) D. Naświetlenie E. Hydrologia 1. Hydrologia powierzchni a. zarys rozlewisk, b. schemat odwodnienia, c. ilość i jakość spływów 2. Hydrologia wód podziemnych a. poziom wód gruntowych, b. warstwy wodonośne, c. ilość i jakość wód gruntowych F. Geologia 1. Stratygrafia 2. Budowa 3. Geomorfologia 4. Charakter chemiczny nadkładu 5. Charakterystyka węgla G. Gleba 1. Charakterystyka rolna a. struktura, b. budowa, c. zawartość substancji organicznej, d. zawartość wilgoci, e. przepuszczalność, f. pH, g. głębokość podłoża, h. barwa 2. Charakterystyka techniczna a. zdolność kurczenia się, b. wilgotność, c. głębokość do podłoża, d. elastyczność, e. pochyłość, f. przepuszczalność, g. warstwy organiczne	H. Ekologia 1. Roślinność naturalna, charakterystyka, identyfikacja wymagań 2. Uprawy 3. Rezerваты zwierząt 4. Ptaki zamieszkujące i wędrowne 5. Gatunki rzadkie i zagrożone I. Ekologia wodna 1. Zwierzęta wodne (ryby, ptaki wodne – zamieszkujące, wędrowne) 2. Rośliny wodne 3. Charakterystyka, potrzeby i możliwości przetrwania systemu wodnego II CZYNNIKI KULTUROWE A. Lokalizacja B. Możliwość dojazdu 1. Odległość 2. Czas przejazdu 3. Sieci transportowe C. Budowa i ukształtowanie terenu D. Wykorzystanie i zagospodarowanie gruntów 1. Obecne 2. Historyczne 3. Plan wykorzystania gruntu 4. Plany zagospodarowania przestrzennego E. Własność ziemską 1. Państwowa 2. Sektor przemysłowy 3. Prywatna F. Typ, wartość użytkowa 1. Rolnictwo 2. Leśnictwo 3. Rekreacja 4. Osiedla mieszkaniowe 5. Działalność komercyjna 6. Przemysł 7. Instytucje 8. Transport / Usługi 9. Woda G. Charakterystyka ludności 1. Ludność 2. Migracja ludności 3. Gęstość zaludnienia 4. Przedział wiekowy 5. Liczba gospodarstw domowych 6. Wielkość gospodarstw domowych 7. Średni dochód 8. Zatrudnienie 9. Poziom wykształcenia
---	---

Planowanie rekultywacji i zagospodarowania terenu po eksploatacji górniczej wymaga zintegrowanego działania różnych kontrahentów (są to firmy, przedstawiciele władz lokalnych, społeczeństwo). Postępowanie w ramach takiego współdziałania zilustrowano na rysunku 1 [12].



Rys. 1. Proces powiązania rekultywacji górnictwa odkrywkowego i planowania przestrzennego [12]

Według Akpinar i in. [13], prace rekultywacyjne na terenach zdegradowanych działalnością górniczą, realizowane są w czterech głównych etapach:

1. Planowanie zagospodarowania terenu po wydobywaniu.
2. Przegrupowanie w ramach istniejącego planu zagospodarowania terenu (wykopy, kontrola stanu wodnego, usuwanie i ułożenie górnych warstw gleby itp.).
3. Rekultywacja (biologiczna).
4. Monitorowanie i konserwacja.

Zgodnie z tzw. „dobrą praktyką” działalność związana z rekultywacją terenów pokopalnianych powinna obejmować trzy fazy [14]:

1. Rekultywacja przygotowawcza – dotyczy opracowania dokumentacji technicznej i kosztorysowej, szczegółowe rozpoznanie nieużytku, ustalenie kierunku rekultywacji i zagospodarowania.
2. Rekultywacja techniczna – (podstawowa) dotyczy najczęściej terenów po eksploatacji odkrywkowej, składowania odpadów przemysłowych i komunalnych. Ten etap obejmuje następujące prace:
 - odbudowę sieci niezbędnych dróg dojazdowych,

- właściwe ukształtowanie rzeźby terenu – polega na niwelowaniu powierzchni wierzchołków zwałów, łagodzeniu stromych skarp, zboczy, uporządkowaniu rzeźby spągu wyrobisk; celem jest zmniejszenie erozji wodnej,
- właściwe uregulowanie stosunków wodnych – regulacja cieków wodnych, budowa kanałów, rowów odwadniających oraz budowa zbiorników wodnych,
- odtworzenie gleb metodami technicznymi,
- niwelacja terenu – wymaga przemieszczeń olbrzymich mas ziemnych,
- kształtowanie stromych urwistych zboczy i skarp – ma na celu zapewnienie im należytej stateczności,
- całkowite lub częściowe odkwaszenie gleb, oraz tam gdzie zachodzi konieczność – izolacja gruntów toksycznych lub jałowych.

Izolacja polega na przykryciu gruntu warstwą materiału użyźniającego, której grubość zależy od zamierzonego kierunku zagospodarowanego obszaru. Do tak przygotowanego podłoża wprowadza się rośliny przez siew lub zasadzanie.

3. Rekultywacja biologiczna, która obejmuje:

- obudowę biologiczną zboczy zwałów i skarp wyrobisk w celu zabezpieczenia ich stateczności oraz zapobiegania procesom erozji,
- regulację lokalnych stosunków wodnych przez budowę niezbędnych urządzeń melioracyjnych i ochronę wód przed zanieczyszczeniem,
- odtworzenie gleb metodami agrotechnicznymi.

Rekultywacja biologiczna obejmuje również zabiegi agrotechniczne: uprawa mechaniczna gruntu, nawożenie mineralne, wprowadzenie mieszanek próchnicznych, głównie motylkowych i traw.

W celu przywrócenia funkcji ekologicznej, hydrologicznej, estetycznej, produkcyjnej, rekreacyjnej i innej obszaru pogórniczego, opracowuje się plan zrównoważonego użytkowania gruntów za pomocą holistycznego podejścia [15]. Oznacza to całościowe, dogłębne, gruntowne i kompleksowe opracowanie. Pochodzi [16] od słowa holizm (z gr. hólos – całość).

5. Przykłady zagospodarowania terenów pogórnicznych w Polsce

Rekultywacja terenów pogórnicznych rekompensuje niekorzystne zmiany powodowane działalnością wydobywczą i zapoczątkowuje, często bardziej atrakcyjny sposób zagospodarowania terenu.

Podstawowe kierunki działań w tym zakresie wymienione są w Ustawie [17] oraz Polskiej Normie [18]. Są to odpowiednio kierunki:

- rolny, leśny i inny – według ustawy,
- rolny, leśny, komunalny, wodny i specjalny – według normy.

Wydaje się, że w obydwu przypadkach możliwości przyjęcia kierunku rekultywacji są ściśle zdefiniowane i ograniczone. Wprowadzenie pojęcia kierunku „inny”, w przypadku ustawy i „specjalny”, w przypadku normy, pozwalają na nieograniczone działania. Przykładem mogą być: bazy turystyczno-hotelowe, place zabaw, instalacje fotowoltaiczne, obiekty sportowe – stoki narciarskie, tory saneczkowe i wiele innych.

Park pamięci

Kamieniołom granitu „Gross-Rosen” w Rogoźnicy upamiętnia tragiczną historię eksploatacji złóż kopalni, związaną z istnieniem w tamtym miejscu obozu pracy, podczas II Wojny Światowej.

Na terenie wyrobiska utworzono muzeum (rys. 2) w celu złożenia hołdu ofiarom przemocy.



Rys. 2. Kamieniołom granitu „Gross-Rosen” w Rogoźnicy (fot. Karolina Zęba):

a) Historyczne, skalne wyrobisko, b) Pomnik

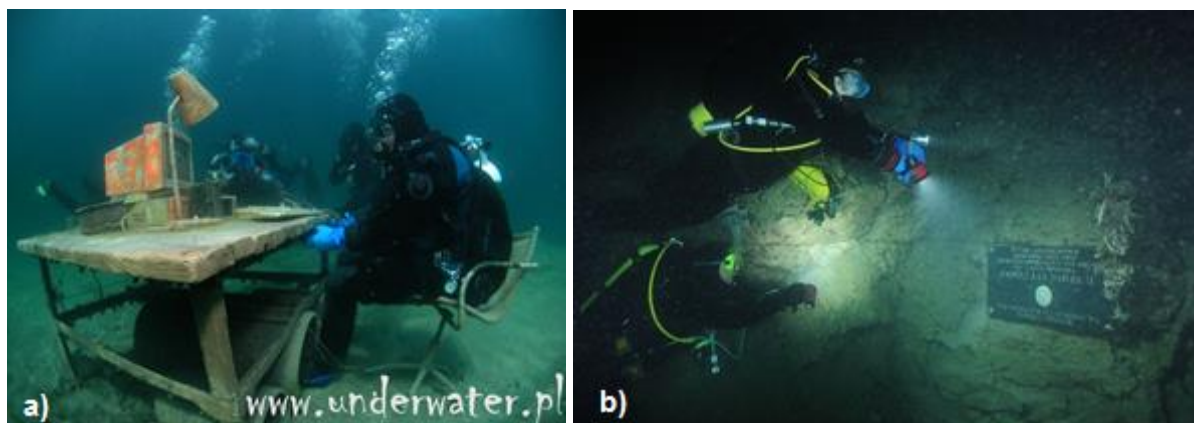
Kamieniołom, jako baza nurkowa

W nieczynnym kamieniołomie Zakrzówek utworzono bazę nurkową. W granicach Parku Krajobrazowego „Skałki Twardowskiego” pod Krakowem znajduje się zbiornik wodny (rys. 3) z pierwszą klasą czystości wody, przez co wykorzystywany jest do nurkowania.



Rys. 3. Zbiornik wodny Zakrzówek (fot. Adam Brzoza)

W wodach zbiornika zatopione są (rys. 4) m.in.: fiat 125p, autobus marki Ikarus, samochód ciężarowy Star, nysa, trabant, łodzie, pomosty, stalowy smok, dwa duże lustra, szatnia i stół. Pod wodą znajduje się także granitowa tablica upamiętniająca Karola Wojtyłę, który pracował na terenie kamieniołomu podczas II Wojny Światowej.



Rys. 4. Zatopione akcesoria w zbiorniku wodnym Zakrzówek: a) stół (fot. Robert Borzymek),
b) granitowa tablica upamiętniająca Karola Wojtyłę (fot. arturro/www.hotdive.com)

JuraPark w wyrobisku złoża ilów i glin

Dzięki badaniom paleontologicznym, na terenie dawnej kopalni, znaleziono w wyrobisku interesujące okazy skamieniałości płazów i gadów. Odkryto najstarszą na świecie formę dinozaura *Solesaurus opolenis* – gatunek znany jedynie z wykopalisk w Krasiejowie. Utworzono JuraPark „Krasiejów” (rys. 5), w tym Pawilon Paleontologiczny oraz park rozrywki.



Rys. 5. JuraPark „Krasiejów” (fot. Anna Piernikarczyk)

Oprócz części muzealnej poświęconej wykopaliskom, na terenie JurraParku znajduje się również Prehistoryczne Oceanarium, ścieżki edukacyjne z naturalnej wielkości figurami dinozaurów oraz liczne atrakcje dla dzieci, m.in.: plac zabaw, „małpi gaj” oraz kino 5D. Od niedawna park poszerzył swoją ofertę o cyfrowy Park Nauki i Ewolucji Człowieka.

Wzgórze Kadzielnia

Amfiteatr Kadzielnia w Kielcach (rys. 6) stanowi unikalny, na skalę europejską obiekt wpisany w krajobraz dawnego wyrobiska wapieni.



Rys. 6. Wzgórze Kadzielnia - widok na Rezerwat geologiczny wapieni dewońskich i amfiteatr. KAW.

http://pl.wikipedia.org/wiki/Rezerwat_przyrody_Kadzielnia

Centralna część (w postaci malowniczego ostańca skalnego), objęta jest ochroną, jako Rezerwat Kadzielnia. Zamontowane zostało zadaszenie: stałe – nad sceną, a nad widownią – rozsuwany dach. Wybudowana została scena z garderobami i pomieszczeniami technicznymi. Amfiteatr pomieścić może 5,5 tys. osób.

6. Przykłady zagospodarowania terenów pogórnich w Europie oraz na Świecie

Parki pamięci

Przedsiębiorstwo SS DEST zakładało obozy zagłady przy kamieniołomach granitu:

- w Austrii – „Mauthausen-Gusen”,
- w Niemczech – „Flossenbürg”,
- we Francji – „Natzweiler-Struthof”.

Obóz w **Mauthausen** został wybudowany w pobliżu kamieniołomu Wiener Graben. Osadzeni w nim niemieccy i austriaccy socjaliści, komuniści i homoseksualiści mieli przechodzić resocjalizację przez pracę. Z czasem charakter obozu zaczął się zmieniać, podobnie jak pozostałych, wybudowanych przez Niemców.

Muzeum KL Mauthausen-Gusen, obecnie znane jest jako Miejsce Pamięci Mauthausen. Teren byłego KL Gusen popadł z czasem w całkowite zapomnienie. Po wojnie obóz został częściowo zdemontowany i zniszczony przez wojska radzieckie, a w latach 1961-1965 dzięki inicjatywie byłych więźniów stworzono tu muzeum

W maju 1938 roku Niemcy założyli w Bawarii, w pobliżu granicy z Czechosłowacją, obóz koncentracyjny **Flossenbürg**. Został założony obok kamieniołomów granitu (Fred und Steinwerke GmbH), w których niewolniczo wykorzystywano więźniów. Miejsce zostało upamiętnione nagrobkami (rys. 7) i nazwane Doliną śmierci.



Rys. 7. Dolina śmierci – zdjęcie udostępniono do publikacji przez KZ Gedenkstätte Flossenbürg

Obóz **Stutthoff** miał zachowane po wojnie wszystkie baraki i budynki, aż do 1953 roku, kiedy władze francuskie zdecydowały się na kontrowersyjną rozbiórkę i spalenie pozostałości zabudowań. 27 czerwca 1963 zostało otwarte muzeum – niektóre zabudowania odtworzone. Duża część została zniszczona w 1976 roku, po kryminalnym podpaleniu przez grupę negacionistów. Po pożarze zabudowania odtworzono i wybudowano monument (rys. 8).



Rys. 8. Miejsce byłego obozu koncentracyjnego Natzweiler-Struthof

<http://visite-virtuelle.struthof.fr/visite.php>

Eden Projekt

Ciekawym przykładem zagospodarowania na skalę światową jest Eden Project – hrabstwo Kornwalia w Anglii. Obiekt o powierzchni 15 ha funkcjonuje od 2001 roku; znajduje się na terenie dawnej kopalni kaolinu. Eden Project (rys. 9) pełni funkcję ogrodu botanicznego oraz instytucji ekologicznej. Punktem centralny jest budowla o oryginalnym kształcie, zbudowana z heksagonalnych (sześciokątnych) i pentagonalnych (pięciokątnych) plastrów, mających właściwości przepuszczania światła, wilgoci i powietrza. Uznana jest za największą szklarnię świata z bogatą kolekcją roślin.



Rys. 9. Eden Projekt (fot. Eden Projekt): a) Kompleks szklarni, b) Biom suchy tropikalny

Charakterystyczną częścią ogrodu botanicznego są kopuły biomów z różnorodną roślinnością dostosowaną do odzwierciedlanego klimatu.

Skansen maszyn pogórnich – Ferropolis

Ciekawym przykładem (rys. 10), położonym na półwyspie na terenie Kopalni Węgla Brunatnego Golpa Nord w Grafenhainichen w Niemczech, jest Ferropolis – skansen maszyn pogórnich. Obiekt ten pełni również funkcje kulturalne i jest miejscem organizowania koncertów. Na terenie skansenu znajduje się m.in.: interaktywne muzeum przemysłowe oraz arena, która może pomieścić do 25 tysięcy widzów.



Rys. 10. Ferropolis – miasto z żelaza [19]

Amfiteatr Star Lake

W Zachodniej Wirginii, na terenie dawnej kopalni odkrywkowej powstał Amfiteatr (rys. 11). Firma Starvaggi Industries przeprowadziła rekultywację tego terenu przekształcając go w atrakcyjne miejsce rozrywki.



Rys. 11. Amfiteatr Star Lake: a) krajobraz pogórnichy, b) widok po rekultywacji [20]

Kompleks Shimao Wonderland Intercontinental

W Chinach planowana jest realizacja projektu zagospodarowania wyrobiska, na skalę światową – „Kompleks Shimao Wonderland Intercontinental”, według projektu brytyjskich inżynierów firmy Atkins. Głównym założeniem projektu, zlokalizowanego 30 km od Szanghaju, ma być budynek hotelu (rys. 12), liczący 19 pięter, wpasowany w jedną ze ścian kamieniołomu. Tylko dwa piętra znajdą się nad poziomem gruntu. Atrakcją ma być piętro zlokalizowane pod wodą, na którym znajdzie się restauracja.



Rys. 12. Hotel – Kompleks Shimao Wonderland Intercontinental (fot. Atkins)

Projekt przewiduje 380 pokoi hotelowych w budynku, salony SPA, baseny oraz sale konferencyjne. W zapleczu rozrywkowym przewidziane są skoki na bungee, siłownia oraz ścianka wspinaczkowa.

7. Geocaching – możliwość promowania terenów pogórnich

Kopalnie zabytkowe i otaczający je krajobraz pogórnicy stanowią ogromną atrakcję turystyczną, ale po rekultywacji i odpowiednim przekształceniu. W ostatnich latach odnotowuje się ogólnoswiatowy trend w turystyce – wzrasta liczba grup wycieczkowych i turystów indywidualnych zainteresowanych zabytkami techniki. Turyści zainteresowani dziedzictwem przemysłowym pochodzą zazwyczaj z krajów Europy Zachodniej zwłaszcza

z Niemiec, Anglii, Belgii oraz krajów skandynawskich. Głównymi powodami, które motywują turystów do poszukiwania obiektów przemysłowych i poprzemysłowych są: chęć poznania historii, edukacja techniczna, aktywne odkrywanie, zdobywanie nowych doświadczeń, przeżywanie kontaktu z przeszłością, utrwalanie za pomocą fotografowania, filmowania oraz przeżycie przygody a także rozwój sprawności fizycznej (sporty ekstremalne) [21].

Podobne trendy zainteresowania obserwuje się w dziale turystyki – geoturystyce związanej z poznaniem obiektów i procesów geologicznych. Geoturystyka ma ścisły związek z ochroną przyrody, zwłaszcza nieożywionej. Obiekt geoturystyczny jest obiektem geologicznym, który może stać się, po odpowiednim wypromowaniu, przedmiotem zainteresowania turystycznego (np. wulkany, kaniony, skałki, jaskinie itp.). Obiekty geoturystyczne są grupą niezwykle różnorodną i można je sklasyfikować [22] uwzględniając kryteria:

- geologiczno-geomorfologiczne (np. góry, morza, wulkany, skałki, kaniony, przełomy, wodospady, pustynie, lodowce, jeziora, jaskinie i inne),
- sposób udostępnienia: w naturalnym środowisku przyrodniczym, w środowisku przekształconym (kopalnie, kamieniołomy, przekopy), w wytworach kultury materialnej człowieka (budowle i elementy ich wyposażenia), w ekspozycjach muzealnych,
- miejsce występowania: na powierzchni Ziemi, pod powierzchnią, pod wodą,
- liczbę obiektów: indywidualne, zespołowe (grupowe),
- wielkość (skala): globalne, wyraźnie wyodrębnione w skali Ziemi (oceany, lądy, lądolody); regionalne – wyraźnie wyodrębnione w skali kontynentu (wielkie łańcuchy górskie, wyżyny, duże jeziora, rzeki, doliny, kaniony, pustynie); lokalne – wyodrębnione w skali rejonu fizjograficznego (stożki wulkaniczne, pojedyncze szczyty górskie, mniejsze rzeki, jaskinie) i inne.

Druga grupa kryterium (sposób udostępniania w środowisku przekształconym – kopalnie, kamieniołomy) wpisuje się w obszary zrekultywowane i stanowi istotny element omawianych zagadnień turystyki. Aby taka turystyka mogła się szybko rozwijać potrzebne są odpowiednie oferty skierowane zarówno do turystów indywidualnych, jak i organizatorów turystyki. Istotnym zagadnieniem jest więc sposób promowania miejsc, które otworzą nowe możliwości poznawcze i nie będą kojarzyć się negatywnie np. z terenem po byłej kopalni.

Takie możliwości stwarza „geocaching” – świetny sposób na spędzanie wolnego czasu. Jest to zabawa w poszukiwanie skarbów za pomocą odbiornika GPS. Ideą przewodnią jest znalezienie ukrytego wcześniej w terenie pojemnika (nazywanego „geocache”) oraz odnotowanie tego faktu na specjalnej stronie internetowej.

Geocaching powstał wraz z popularyzacją ręcznych odbiorników sygnału GPS. Użycie współrzędnych geograficznych jest niezbędne (odczyt z satelitów GPS ma dokładność kilku metrów).

Ukryta przez innych uczestników zabawy skrzynka (tzw. kesz) to zabezpieczony przed wilgocią pojemnik, w którym zamknięty jest dziennik odwiedzin.

Geocaching w Polsce ma dobrze zorganizowaną społeczność skupioną wokół kilku serwisów internetowych. Ich użytkownicy zgłosili położenie łącznie ponad 60 tys. skrzynek, z czego blisko 50 tys. jest aktywnych, tzn. dających się odnaleźć. Twórcy skrzynek dbają o to, aby ich lokalizacja była atrakcyjna dla szukających.

Aktualnie geocaching [23] skupia na całym świecie ponad 5 milionów użytkowników [www.geocaching.com], w tym niemal 17 tysięcy aktywnych użytkowników w Polsce [www.opencaching.pl, dane na 20.12.2012]. W grudniu 2012 w ponad 200 krajach było zarejestrowanych łącznie 1,95 miliona aktywnych skrytek, z czego około 15 500 w Polsce. Naczelnym celem geocachingu jest zachęcenie użytkowników do odwiedzania ciekawych miejsc i próby odnalezienia skrytki. Docierając do takiego miejsca można poznać jego historię i osobliwości.

Z uwagi na praktycznie „bezobsługowość” skrytek, które poza założeniem wymagają jedynie okresowego serwisowania (np. wymiana dziennika odwiedzin) w przyszłości geocaching może być wykorzystywany jako stosunkowo tanie narzędzie promocji regionu przez lokalną społeczność.

Taki sposób promowania został już zastosowany na terenie byłego kamieniołomu Sadowa Góra – Geosfera w Jaworznie. Jest to centrum edukacji geologiczno-ekologicznej, które jako wyjątkowy i unikatowy w skali kraju park tematyczny jest miejscem wypoczynku, rozrywki, edukacji i rekreacji, a zarazem stanowi jeden z najciekawszych punktów na turystycznej mapie Jaworzna.

Podobny sposób promowania odnotowano na terenie Geoparku Przedgórze Sudeckie [24]. Istnieją tam liczne skrytki geocachingowe, przygotowane w obrębie geostanowisk Geoparku. Prezentują najważniejsze zagadnienia związane z historią geologiczną tego obszaru.

8. Podsumowanie

Górnictwo postrzegane jest przez społeczeństwo jako źródło negatywnych oddziaływań na wszystkie elementy środowiska. Zasada zrównoważonego rozwoju i wymóg prawny obligują zakłady górnicze do rekultywacji terenów po zakończonej eksploatacji. W ten sposób wyrównywane są straty wywołane działalnością górniczą. Zrekultywowany teren jest wówczas szansą na zwiększenie jego atrakcyjności.

Z uwagi na fakt, że w ostatnich latach wzrasta ruch turystyczny wydaje się możliwe zainteresowanie ogółu społeczeństwa miejscami zrekultywowanymi przez stosowanie różnych zachęt. Jedną z możliwości promowania zagospodarowanych terenów pogórnich może być połączenie geoturystyki z geocachingiem.

Równie ważny jest fakt, że uprawiając geocaching turyści mają możliwość dotarcia do miejsc i obiektów nieobecnych w klasycznych przewodnikach turystycznych i ofercie biur podróży. Odkrywanie dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego z wykorzystaniem wspomnianych metod aktywizujących, takich jak geocaching, oprócz atrakcyjnego sposobu

spędzania wolnego czasu ma również istotny wymiar edukacyjny. Jest odpowiedzią na współczesne trendy w turystyce, postrzeganej jako wypoczynek z jednoczesnym zdobywaniem wiedzy przez doświadczenie.

Literatura

1. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz. U. Nr 78 poz. 483).
2. Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. Nr 27, poz. 96 z późn. zm.).
3. Lapčík V., Lapčíková M.: Ocena wpływu górnictwa odkrywkowego na środowisko. Inżynieria Mineralna, R. 12, nr 1, s. 1-10, 2011.
4. Atlas Copco: Wyposażenie do zwalczania zapylenia przy wierceniach w kamieniu, Szwedzkie Biuro Techniczne, Warszawa 1980.
5. Szlagowski A.: Zmiany środowiska przyrodniczego spowodowane działalnością górniczą w monitoringu regionalnym i lokalnym. Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego Nr 1, s. 39-46. Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce 1993.
6. Jansen, I. J., Melsted S. W.: Land Shaping and Soil Construction. Reclamation of Surface-Mined Lands. Hossner L. R. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc. 1: 125-136, 1-988.
7. Sengupta M.: Environmental Impacts of Mining Monitoring. Restoration and Control. Lewis Publishers USA, 1993.
8. Wood P.: Remediation Methods for Contaminated Sites. In: Hester R.E., Harrison R.M. (ed.) Contaminated Land and its Reclamation. Cambridge: Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House. s. 47-71, 1997.
9. Wood P.: Remediation Methods for Contaminated Sites. In: Hester R.E., Harrison R.M. (ed.) Assessment and Reclamation of Contaminated Land. Cambridge: Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House. s. 115-139, 2001.
10. Cao X.: Regulating Mine Land Reclamation in Developing Countries: The Case of China. Land Use Policy, 24, s. 472-483, 2007.
11. Prikryl I., Svoboda I., Sklenicka P.: Restoration of Landscape Functions at Area Devastated by Opencast Brown Coal Mining in the Northwest Bohemia. In: Ciccu R. (ed.) SWEMP 2002: Proceedings of the 7-th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, SWEMP 2002: 7-10 October 2002, Cagliari, Italy. University of Cagliari, 2002.
12. Ramani R. V., Sweigard R. J. Clar M. L.: Reclamation (Reclamation Planning). In: Kennedy B. A. (ed.) Surface Mining. 2nd Edition. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., s. 750-769, 1990.
13. Akpinar N., Kara D., Ünal E.: Post Surface Mining Land use Planning. Turkey XIII. Mining Congress, 10-14 May 1993 Stanbul: Chamber of Mining Engineers of Turkey, 1993.
14. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Rekultywacja. <http://www.pgi.gov.pl/>, [dostęp 6 lutego 2018].

15. Sklenicka P., Kasparova I.: Restoration of Visual Values in a Post-Mining Landscape. *Journal of Landscape Studies*, s. 1-10, 2008.
16. Kopaliński W.: Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych, dostępny na: <http://www.slownik-online.pl/index.php>, [dostęp lipiec 2014].
17. Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. 2004, Nr 121, poz. 1266 ze zm.).
18. Polska Norma PN-G-07800:2002 Górnictwo odkrywkowe. Rekultywacja. Ogólne wytyczne projektowania.
19. Ferropolis City of Steel (broszura) Stiftung Bauhause, Dessau, 1997.
20. Mineral Information Institute. Mining Reclamation Success – Coal Mining Reclamation. <http://www.mii.org/Rec/coal/coal.html>, [dostęp 18.12.2012].
21. Jędrysiak T.: Turystyka kulturowa w obiektach przemysłowych – zagadnienia ogólne. *Turystyka Kulturowa*, www.turystykakulturowa.org, Nr 6, s. 17-35, czerwiec 2011.
22. Słomka T., Kicińska-Świdorska A.: Geoturystyka – podstawowe pojęcia. *Geoturystyka* tom 1, nr 1, s. 5-7, 2004.
23. Samołyk M.: Geocaching – nowa forma turystyki kulturowej. *Turystyka Kulturowa*, www.turystykakulturowa.org, Nr 11, s. 17-31, listopad 2013.
24. Szadkowski M., Zboińska K., Tarka R.: Nowe trendy w promowaniu Nauk o Ziemi – aktywna zabawa kluczem do przekazania wiedzy geologicznej, s. 110-119. *GEO-PRODUKT od geoedukacji do innowacji*, red. Bartosz Jawecki, Robert Tarka, Geopark Przedgórze Sudeckie, Piława Górna 2017.

Praca została zrealizowana z pracy statutowej AGH Nr 11.11.100.597

Metody klasyfikacji i sortowania odpadów mineralnych i komunalnych

Remigiusz Modrzewski – Politechnika Łódzka

Piotr Wodziński – Politechnika Łódzka

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

Streszczenie: Praca przedstawia urządzenia do klasyfikacji i sortowania odpadów różnego pochodzenia i o różnych właściwościach, w tym odpadów mineralnych lub komunalnych. Materiały mineralne przydatne do powtórnego użytku pozyskać można nie tylko z odpadów z przemysłu wydobywczego, ale także hutniczego, chemicznego, a nawet ze szczególnie trudnych do utylizacji pozostałości budowlanych. Do przetwarzania tego rodzaju odpadów zaproponowano konkretne linie technologiczne wraz z ich schematami blokowymi i opisem.

Methods of classification and sorting of mineral and municipal waste

Abstract: The work presents equipment for classification and sorting of waste of various origins and of various properties, including mineral or municipal waste. Mineral materials useful for repeated use can be obtained not only from waste from the mining industry, but also from metallurgical, chemical, and even from particularly difficult to utilize construction residues. Specific technological lines with their block diagrams and description have been proposed for the processing of this type of waste.

1. Wprowadzenie

Zagospodarowanie (recykling i utylizacja) odpadów przemysłowych mineralnych oraz komunalnych, jest zagadnieniem mającym swoje istotne znaczenie w szeroko rozumianej inżynierii środowiska. Odzyskiwanie materiałów użytecznych z odpadów mineralnych jest zwykle rozumiane jako przetwarzanie odpadów pozostałych po działalności górniczej i wydobywczej [1]. Nie wyczerpuje to jednak całości problemu. Oprócz odpadów po górniczych istnieją przecież pozostałości po innych rodzajach działalności człowieka, takie jak np. odpady po budowlane, pochodzące z przemysłu chemicznego, energetycznego i inne. Również hutnictwo produkuje szereg materiałów odpadowych, a wiele z nich jest materiałami uziarnionymi [2]. Materiały takie powinny zostać poddane dalszej przeróbce, a nie składowane, ponieważ możliwe jest ich dalsze wykorzystanie.

Odpady te chociaż formalnie są zaliczane do grupy odpadów mineralnych, to swoim składem, różnorodnością i zawartością przypominają często odpady komunalne. W pozostałościach po

budowlanych spotykamy przecież tak różnorodne materiały jak szkło, tworzywa sztuczne czy drewno. Z tego też powodu wiele urządzeń i linii technologicznych znanych i użytkowanych w przeróbce odpadów komunalnych może znaleźć swoje zastosowanie również przy segregacji odpadów mineralnych. Jest to o tyle korzystne, że odpady mineralne są coraz częściej stosowane w budowie składowisk odpadów komunalnych, np. do uszczelniania tych składowisk, towarzyszą więc niejako odpadom komunalnym w sposób naturalny i mogły by być razem z nimi przetwarzane [3].

Problem odpadów produkowanych przez człowieka jest ciągle aktualny i jest problemem globalnym. Z odpadami można postępować w różnorodny sposób, można je składować, spalać w specjalnych instalacjach, poddawać - po przetworzeniu innemu zagospodarowaniu lub utylizacji.

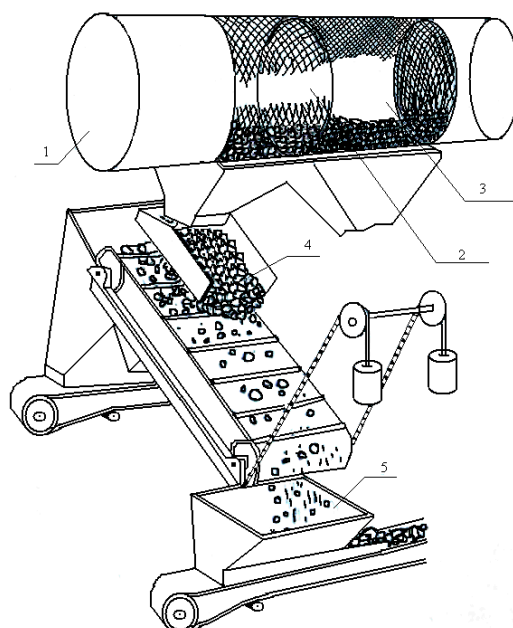
W praktyce istnieją różne linie technologiczne służące do segregacji odpadów [4]. Jednak wszystkie one rozpoczynają się od rozładunku ze środków transportu oraz włączają do procesu technologicznego klasyfikację i sortowanie.

2. Klasyfikacja sitowa

Klasyfikacja to rozdzielenie materiału na wymagane klasy o różnej wielkości ziaren. Przy przesiewaniu mieszaniny odpadów, obok klasyfikacji pod względem uziarnienia, może występować segregacja według rodzaju surowca, dzięki temu przesiewacze mogą być używane również do sortowania. W klasyfikacji sitowej na powierzchni rozdziału (sita) znajdują się otwory na których następuje rozdział materiału zależny od wielkości ziarna.

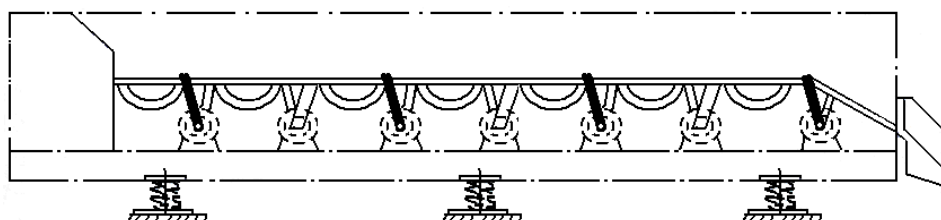
Sito bębnowe (rys.1) jest sprawdzonym i bardzo często stosowanym w zakładach przeróbki odpadów klasyfikatorem, zarówno podczas pierwszego stopnia przetwarzania, jak i na etapie końcowym po rozdrobnieniu. Wydajność i zdolność rozdzielczą sita bębnowego zależy od: szerokości otworów, średnicy sita, liczby obrotów oraz kąta pochylenia bębna.

W sicie bębnowym efektywna powierzchnia robocza jest stosunkowo mała, dlatego aby zwiększyć efektywność przesiewania na ściankach bębna zastosowano biegnące spiralnie zbieraki do transportu materiału, aby bęben mógł być montowany bez pochylenia. Należy uważać aby obciążenie bębna nie przekroczyło 100 kg/m^2 . Aby zwiększyć skuteczność przesiewania można zastosować sito podwójne, czyli jedno sito wewnątrz drugiego, z oddzielnymi napędami z doбором najkorzystniejszej prędkości obrotowej każdego bębna. Innym sposobem zwiększenia efektywności pracy sita bębnowego, jest łączenie przesiewaczy (układ kaskadowy). Praca sit bębnowych może odbywać się na sucho i na mokro.



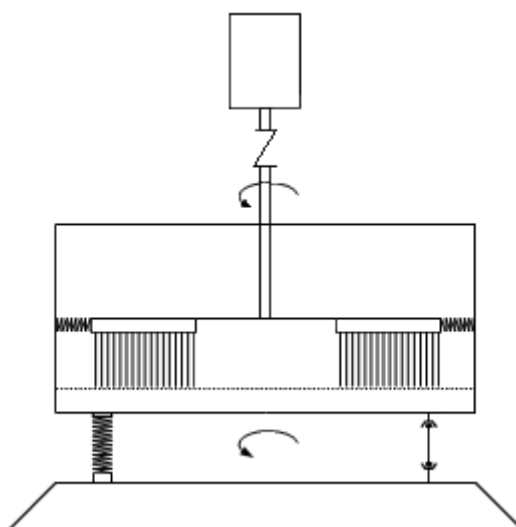
Rys.1. Przesiewacz bębnowy: 1 - sito obrotowe, 2, 3, 4 - frakcje materiału uziarnionego, 5 - zasobnik na przesiany materiał

Przesiewacz z falującymi pokładami (rys. 2) należy do grupy przesiewaczy dynamicznych. Przesiewacz taki zbudowany jest z dna sitowego o zmiennym kształcie, wykonanego z gumy lub tworzywa polimerowego i opierających się na dwóch poruszających się przeciwbieżnie wahliwych zastawach podpór. Ruch wymuszający napęd tego systemu prowadzi do przesuwania się powierzchni sitowej ruchem falowym o dość dużej amplitudzie (30 - 50 mm) przy częstotliwości wahań 600 - 800 min⁻¹ i tym samym względnie wysokich przyspieszeniach oddziałujących na poszczególne ziarna odpadu. Urządzenie to ma zastosowanie przy przesiewaniu kompostu, ziemi itp., jako rozwiązanie o dużej wydajności oraz odporne na zatykanie otworów w dnie sitowym.



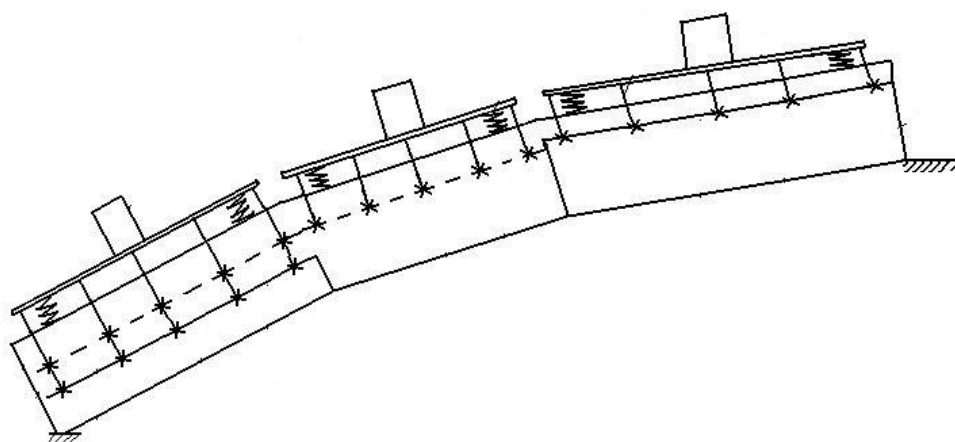
Rys. 2. Przesiewacz z falującymi pokładami

Przesiewacz o ruchu płaskim (rys. 3) składa się z okrągłego sita, wykonującego drgania zataczające w płaszczyźnie poziomej i szczotki oczyszczającej sito umieszczonej nad nim. Urządzenia te są przesiewaczami przeznaczonymi do przesiewania materiałów drobnych o uziarnieniu poniżej 5 mm. Przesiewacz ten jest wprawiany w ruch za pomocą wibratorów elektromagnetycznych. Wibratory te są produkowane w dwóch podstawowych wersjach, ze sprężynami śrubowymi i ze sprężynami płaskimi. Można bardzo łatwo sterować amplitudą drgań poprzez regulację napięcia zasilania. Wibratory elektromagnetyczne są zazwyczaj sprzedawane przez producenta razem z zasilaczem, będącym jednocześnie blokiem sterowania pracą wibratora.



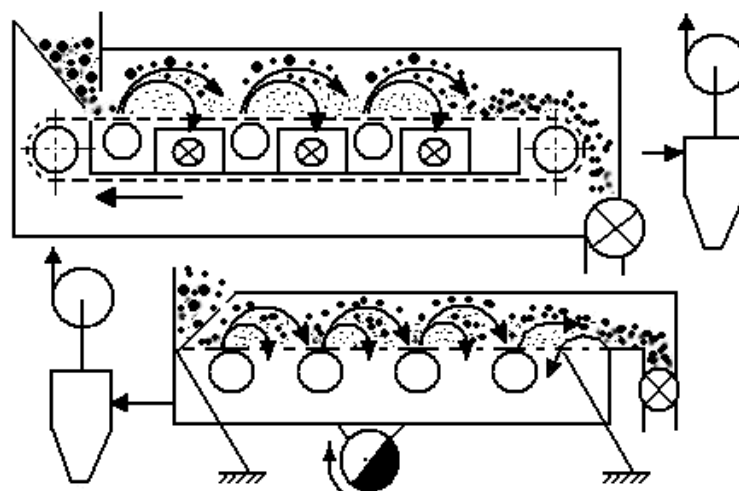
Rys. 3. Przesiewacz o ruchu płaskim

Układ zwany „ulicą sitową” (rys. 4) składa się z trzech przesiewaczy, w których sita poszczególnych maszyn są nachylone pod coraz to większym kątem do poziomu. Przesiewacze z sitami drgającymi są napędzane najczęściej wibratorami elektromagnetycznymi. Maszyny te mają duży kąt nachylenia do poziomu od 30° do 45°. Urządzenie to ma bardzo wysoką sprawność przesiewania od 0,9 do 1,0 i przeznaczone jest do przesiewania odpadów drobnych.



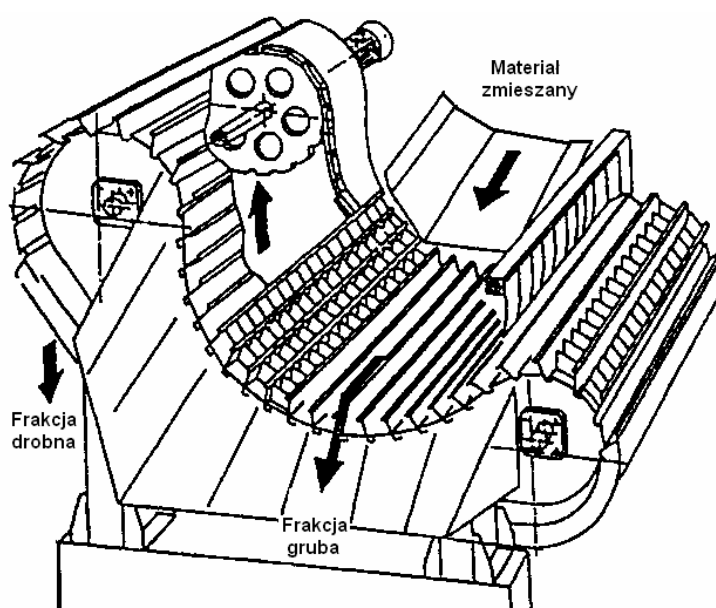
Rys. 4. Schemat "ulicy sitowej"

Przesiewcze przepływowe (rys. 5) są to urządzenia, w których transport może odbywać się na dwa sposoby. Pierwszy sposób to transport za pomocą przenośników cięgnowych lub członowych (przesiewacz górny). Drugi sposób to transport za pomocą ruchu drgającego maszyny. Bardzo istotną cechą tych przesiewaczy jest to że pracują w układzie zamkniętym, bo stanowią komorę pneumatyczną. Urządzenie to jest w szczególności używane do przesiewania drobnych (1 - 5 mm) i bardzo drobnych odpadów (poniżej 1 mm).



Rys. 5. Przesiewacze przepływowe

Do klasyfikacji odpadów składających się z elementów wielkogabarytowych i drobnych np. odpady mieszane budowlane, odpady rzemiosła [5] powstało sito czerpakowe (rys. 6). Zaletą tego urządzenia jest jego prosta i niezakłócona eksploatacja. Odpady o małych wymiarach, które podlegają oddzieleniu, spadają do czerpaków i po wyniesieniu na najwyższy punkt maszyny opuszczają taśmę. Sito czerpakowe jest urządzeniem otwartym na górze, a w strefie czynnej powierzchni przesiewu ukształtowane jest w postaci fali. Wielkogabarytowe odpady, które nie trafiły do czerpaków (prostokątne skrzynki) zsuwają się po pochyłej powierzchni urządzenia. Sito czerpakowe ma szczególne zastosowanie przy klasyfikacji odpadów komunalnych, w których znajdują się odpady budowlane lub inne o dużych rozmiarach.

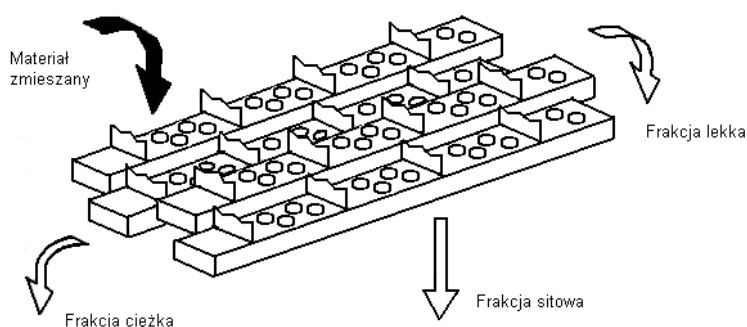


Rys. 6. Sito czerpakowe

Separator balistyczny (rys. 7) powstał z myślą o rozdzieleniu rozdrobnionych odpadów na trzy frakcje: ciężką, lekką i drobną. Urządzenie to składa się z elementu zasilającego i ruchomej, pochylonej, perforowanej płaszczyzny, która podzielona jest na elementy wibracyjne. Materiał trafiający na taki separator w zależności od ciężaru właściwego i kształtu jest transportowany na tej płaszczyźnie w górę i w dół. Składniki o większej gęstości i ciężarze rozdrobnionego materiału zsuwają się pod wpływem ruchów wahadłowych w kierunku niżej położonych krawędzi płaszczyzny i powstaje frakcja ciężka. Składniki lekkie, takie jak: papier czy tektura i folia pod wpływem ruchu rynny zsykowej i intensywnego przesypywania, transportowane są w kierunku przeciwnym do wyższej krawędzi płaszczyzny i powstaje

frakcja lekka. Trzecią frakcją jest frakcja sitowa, która powstaje w wyniku przenikania odpadów przez perforowaną płaszczyznę.

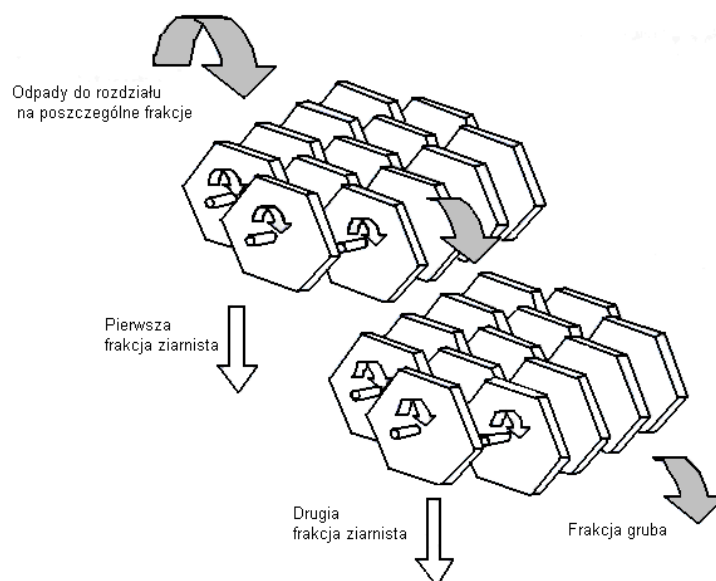
Elementy wibracyjne zasilane są silnikiem elektrycznym, który poprzez wał korbowy wprawia w ruch przeciwbieżny elementy powierzchni. Udział frakcji sitowej określa się poprzez odpowiedni dobór średnic otworów w perforacji dna. Istnieje również możliwość sterowania stosunkiem frakcji lekkiej do frakcji ciężkiej poprzez odpowiednie dopasowanie kąta pochylenia płaszczyzny, zazwyczaj pochylenie elementów wynosi 15° . Separatory produkują się najczęściej o wydajności 10 t/h lub 90 m³/h. Silnik ma moc 5 kW.



Rys. 7. Zasada działania separatora balistycznego

Klasyfikator rusztowy z ruchomymi rusztowinami (rys. 8) to klasyfikator kaskadowy, który składa się z rusztu klasyfikacyjnego ułożonego w kilka stopni przesiewania, które składają się z przebiegających równolegle wałów zachowujących między sobą stały odstęp. Na wałach znajdują się sześciokątne rusztowiny podające. Rusztowiny podają odpady do szczelin o określonych odstępach utworzonych pomiędzy sąsiadującymi rusztowinami. Odstęp pomiędzy rusztowinami decyduje o wielkości frakcji pod sitowej.

Urządzenie to jest stosowane najczęściej do klasyfikacji odpadów budowlanych, które są wstępnie sklasyfikowane i trafiają na pierwszy stopień klasyfikatora, gdzie są przesiewane przez rozmieszczone na wale rusztowiny obrotowe, a następnie na skutek wzrastającej liczby obrotów wału odpady są przyspieszane i przemieszczane zgodnie z kierunkiem obrotów rusztowin i w ten sposób rozdzielane. Zaoblenia wałów pomiędzy transportującymi rusztowinami obrotowymi i wysklepione narożniki zapobiegają klinowaniu się materiału.



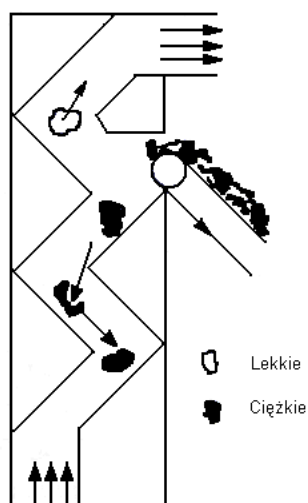
Rys. 8. Zasada działania klasyfikatora rusztowego z ruchomymi rusztowinami

3. Klasyfikatory pneumatyczne

Inną metodą klasyfikacji surowca jest klasyfikacja powietrzna, zwana także pneumatyczną. Jest to klasyfikacja, w której wykorzystuje się strumień przepływającego powietrza. Przykładem takiego klasyfikatora może być wialnia, która rozdziela ziarna zależnie od prędkości opadania, a prędkość ta jest zależna od kształtu ziarna i od ciężaru właściwego materiału.

Klasyfikator zygzakowaty o przemiennym przepływie powietrza (rys. 9) - to urządzenie należące do klasyfikatorów pneumatycznych. W tym przypadku powietrze przepływa z dołu do góry przez mający zygzakowaty kształt kanał klasyfikacyjny, czyli w przeciwnym kierunku do opadających ziaren odpadu.

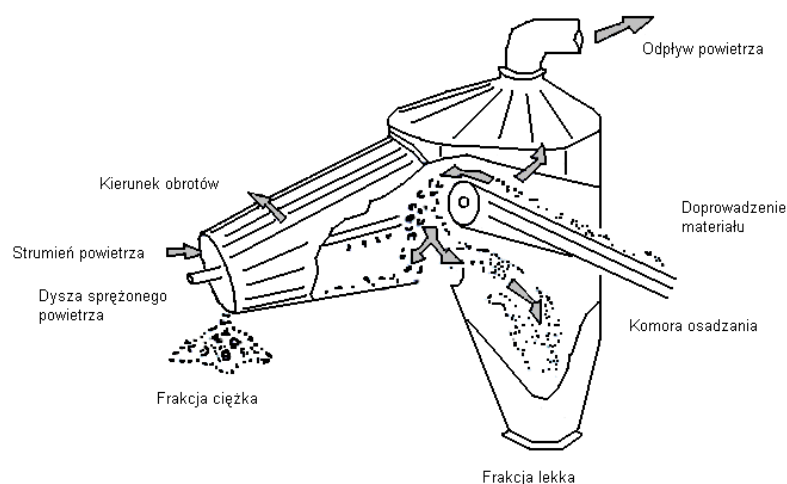
Klasyfikator charakteryzuje się tym, że następuje powtarzanie się zjawiska segregacji na każdym załamaniu w wyniku zmiany kierunku strugi powietrza, dzięki czemu mogą być skorygowane błędy, które wystąpiły w poprzedniej strefie. Rozdział odpadów jest zależny od liczby segmentów, wymiarów geometrycznych, miejsca wprowadzenia odpadów, ich ilości i prędkości przepływu powietrza. Szczególną skuteczność urządzenia można zauważyć przy segregacji papieru, tekstyliów i folii.



Rys. 9. Klasyfikator o przemiennym przepływie powietrza

Klasyfikator obrotowy (rys. 10.) składa się z trzech podstawowych elementów: obrotowego bębna, komory klasyfikacji i osadzania oraz układu sprężonego powietrza. Rozdrobnione i przesiane odpady podaje się transporterem taśmowym do górnego końca bębna, który rozszerza się stożkowo ku górze.

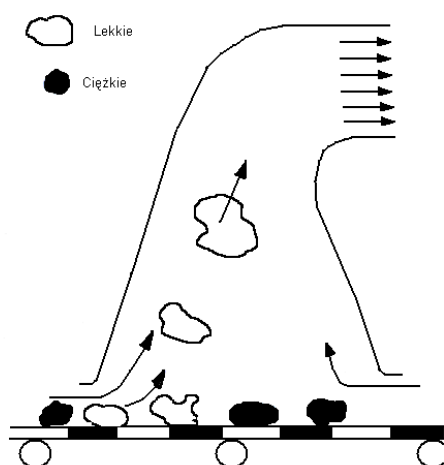
Dysze sprężonego powietrza wtłaczają je równoległe do osi bębna i są skierowane zgodnie z kierunkiem poruszania się bębna. Pod wpływem powietrza części lekkie są porywane i transportowane do góry, do komory osadzania. Natomiast frakcje ciężkie poruszają się wewnątrz bębna i wydostają się z niego w jego mniejszej średnicy.



Rys. 10. Obrotowy klasyfikator powietrzny

Na wielkość rozdzielanych cząstek i dokładność separacji można wpływać poprzez zmianę objętości powietrza, zmianę jego ciśnienia, zmianę kąta pochylenia bębna obrotowego (zazwyczaj 15° do poziomu) oraz zmianę ilości dostarczanego rozdrobnionego materiału.

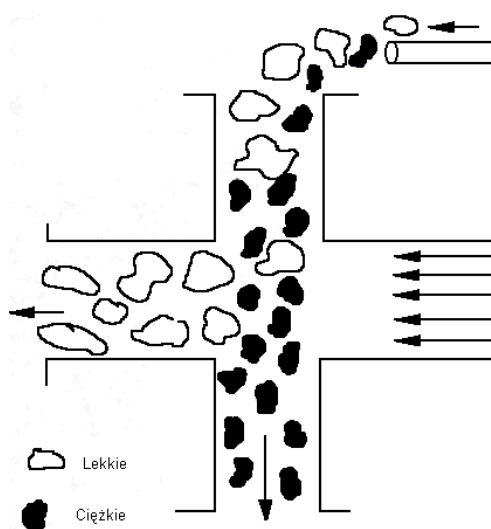
Dzwon odsysający (rys. 11) to kolejny klasyfikator należący do grupy klasyfikatorów pneumatycznych. Tutaj lekkie składniki odpadów są odsysane z przenośnika taśmowego, podajnika wibracyjnego lub z bębna do przesiewania. Urządzenie to ma niewielką skuteczność ponieważ odpady często są posklejane, mokre czyli takie, które nie dają się wciągnąć do cyklonu pod wpływem strumienia powietrza.



Rys. 11. Dzwon odsysający

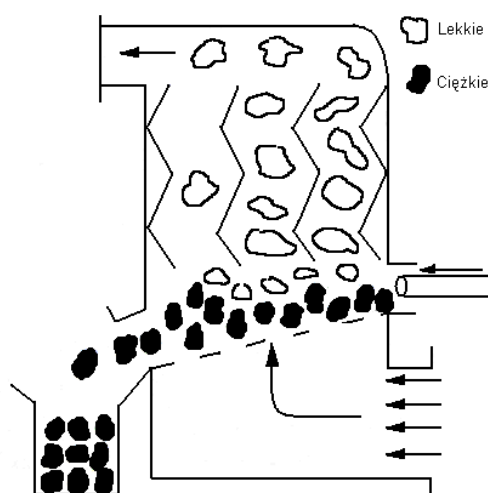
W klasyfikatorze powietrznym poziomym poprzeczno-prądowym (rys. 12) tego typu strumień powietrza jest poprowadzony prostopadłe do kierunku opadania składników odpadów. Klasyfikator ten znalazł skuteczne zastosowanie do rozdziału odpadów, których składniki różnią się z punktu widzenia lotności np. rozdział części metalowych od tworzyw sztucznych, tekstyliów czy drewna.

W przypadku kiedy odpady są zbyt heterogeniczne klasyfikator już tak sprawnie nie działa ze względu na krótką drogę opadania. W tego typu modelach możliwa jest zamiana równomiernego strumienia powietrza o średniej prędkości na strumień powietrza o wysokiej prędkości, dzięki tej zamianie otrzymamy klasyfikator o pulsującym strumieniu, który również znalazł zastosowanie przy segregacji odpadów.



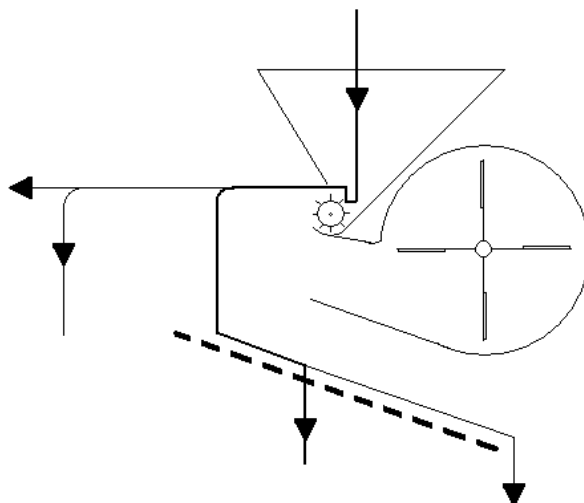
Rys. 12. Klasyfikator powietrzny poziomy poprzeczno-prądowy

W klasyfikatorze ze złożem unoszonym (rys. 13) składniki odpadów są unoszone w strumieniu powietrza, które nadmuchiwanie jest przez nachyloną powierzchnię dna dyszowego. Strumień ten transportuje frakcje lżejsze przez kanał powietrzny lub przez kilka kanałów często zmieniających kierunek. Frakcja ciężka usuwana jest z urządzenia pod działaniem siły ciężkości.



Rys. 13. Klasyfikator ze złożem unoszonym

Wialnia (rys. 14) to urządzenie znane w przemyśle zbożowo-młynarskim. Wialnia składa się z leja załadowczego zakończonego dozownikiem walcowym oraz wentylatora i dyszy roboczej. Strumień sprężonego powietrza przepływający przez strugę odpadów wydmuchuje z niej części lekkie, a pozostała masa odpadów spada w dół. Dysza wentylatora sprężonego powietrza wyposażona jest w zasuwę do regulacji sprężu na wylocie z dyszy. Regulacja ta decyduje o intensywności i dokładności oddzielania pneumatycznego. W praktyce wialnia przypomina separator pneumatyczny.



Rys. 14. Zasada działania wialni

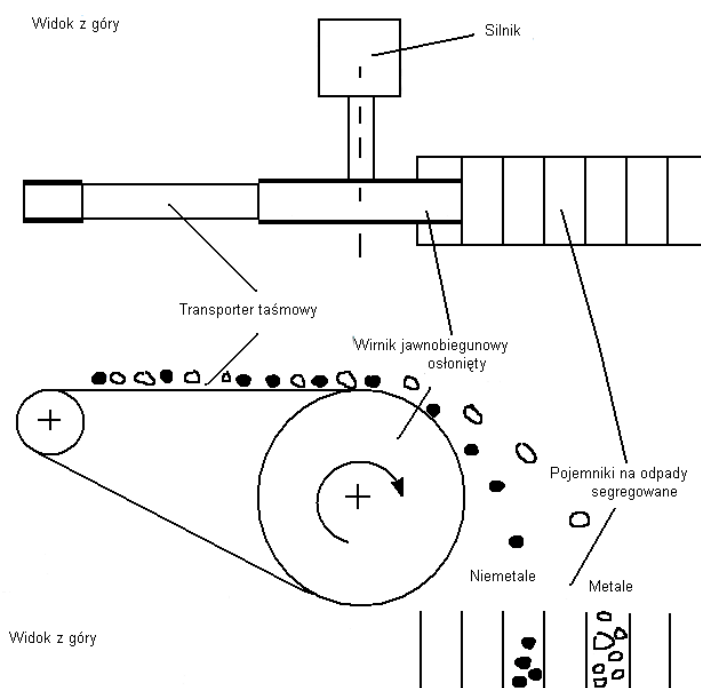
4. Sortowanie odpadów

Proces sortowania jest to proces, w którym dokonuje się rozdziału materiału pod względem właściwości fizycznych składników. Rozróżnia się następujące rodzaje sortowania: gęstościowe, flotacyjne, optyczne, magnetyczne, elektryczne itp. Obecnie zastosowanie znalazły separatory magnetyczne, hydrocyklony, sortownie gęstościowe i separator działający na zasadzie wyporu cieczy.

Separacja magnetyczna jest to proces, w którym wykorzystuje się działanie magnesu. Magnes ten ma formę taśmy przesuwającej się nad odpadami i wyciąga z nich elementy ferromagnetyczne, a następnie przenosi je na ruchomą taśmę przenośnika biegnącą prostopadle lub równoległe do kierunku transportu odpadów. Aby proces separacji magnetycznej przebiegał sprawnie, należy zadbać, aby składniki ferromagnetyczne odpadów doprowadzane były swobodnie, bez zanieczyszczeń, uprzednio rozdrobnione lub spulchnione. Rozmiary i masa elementów z żelaza są ograniczone tylko do wymiarów wlotu odpadu do separatora oraz strefy separacji, ponieważ współczesne elektromagnesy mogą oddzielać wszystkie elementy znajdujące się w strefie separacji. Najkorzystniejszy dla separacji

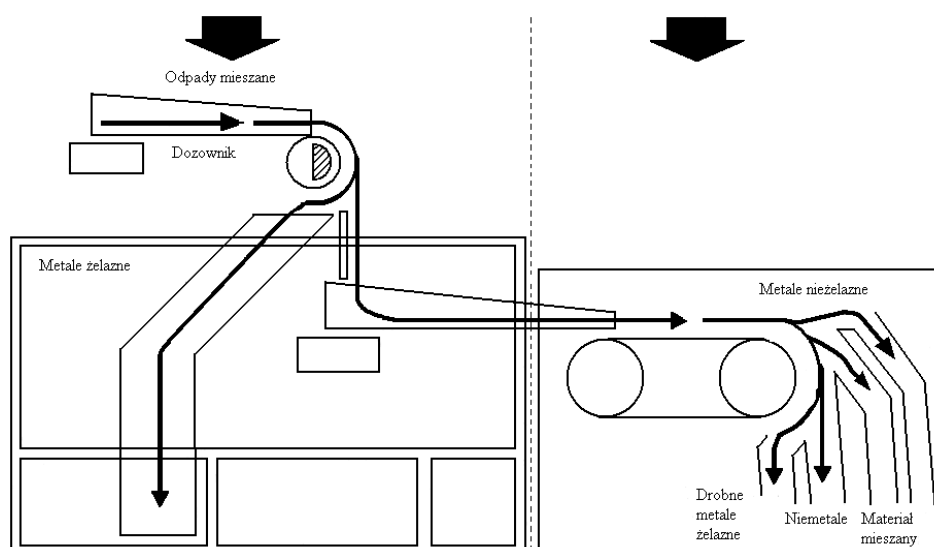
magnetycznej rozmiar elementów żelaza w odpadach wynosi od 10 do 100 mm. Jednak tak stabilne uziarnienie jest trudne do uzyskania przy użyciu tradycyjnych urządzeń do rozdrabniania. Sprawność tego urządzenia do wyselekcjonowania z odpadów żelaza jest zadowalająca, ale stopień zanieczyszczenia odzyskanego materiału jest duży.

Metoda segregacji indukcyjnej (rys. 15) bazuje na powstawaniu prądów wirowych w przewodzących prąd elektryczny materiałach metalicznych na skutek indukcji elektromagnetycznej pod wpływem działania pola magnetycznego. Prądy wirowe powstają, kiedy przewodnik znajdzie się w zmiennym czasowo lub przestrzennie polu magnetycznym lub sam porusza się w tym polu. Prądy te płyną wewnątrz przewodnika po zamkniętych trasach i nie są w swoich kształtach związane z kształtem przewodnika. Zgodnie z regułą Lenza przepływ prądu wytwarza wokół siebie pole magnetyczne skierowane przeciwnie do pola wytwarzającego.



Rys. 15. Separator indukcyjny

Dwustopniowy separator do oddzielania metali magnetycznych (rys. 16) jest połączeniem separatora elektromagnetycznego z separatorem indukcyjnym. Materiał jest podawany za pomocą dozownika wibracyjnego na magnetyczny bęben, na którym oddzielane są drobne odpady żelazne i pyły ferromagnetyczne. Pozostałość trafia do następnego dozownika i dalej na separator metali nieżelaznych. Na tym etapie procesu następuje rozdzielanie metali nieżelaznych od materiałów niemetalicznych z wykorzystaniem prądu indukowanego.

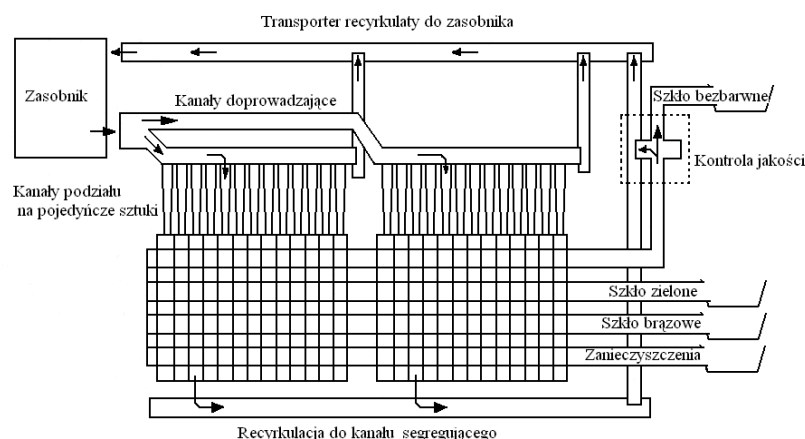


Rys. 16. Dwustopniowy separator do oddzielania metali magnetycznych

Segregacja optyczna (rys. 17) to sposób przewidziany głównie do sortowania stłuczki szklanej. Na rynku istnieje wiele urządzeń przeznaczonych do segregacji stłuczki szklanej działających na zasadzie przepuszczalności światła i segregacji za pomocą sprężonego powietrza lub mechanicznego systemu kłap.

Aparat do segregacji stłuczki szklanej składa się z 180 kanałów segregujących, które zasilane są za pomocą urządzeń dozujących i systemu rozdziału. Pojedyncze kawałki wymieszanej stłuczki przechodzą przez część identyfikującą barwę. Światło przechodzące przez kawałki szkła dociera do czujnika, który za pomocą światłowodu przesyła sygnał do zespołu identyfikującego. Przechodzący sygnał świetlny jest rozkładany na podstawowe barwy: czerwoną, zieloną i niebieską. Sygnałowi zmierzonemu przyporządkowuje się wartość odpowiednią do danego koloru szkła, a następnie sygnał ten aktywizuje mechanizm sterujący odpowiedniej kłapy wyrzutowej, a przy najdrobniejszych ziarnach - odpowiedniej dyszy sprężonego powietrza.

Urządzenie takie gwarantuje stopień segregacji na bardzo wysokim poziomie sięgającym nawet 99,7%, ale urządzenia tego typu ciągle nie są instalowane w stacjach segregacji odpadów ze względu na swą wysoką cenę. Obecnie na pierwszym miejscu w segregacji szkła jest segregacja ręczna.



Rys. 17. Sortowanie kolorowej stłuczki szklanej

Nadal najczęściej stosowaną i niezawodną metodą wydzielenia z odpadów surowców wtórnych o dobrej jakości jest sortowanie ręczne [6]. Z większości rodzajów odpadów wytwarzanych przez człowieka (odpady komunalne, odpady z rzemiosła) można tą metodą wydzielić określone gatunki makulatury, różnobarwne i zmieszane rodzaje stłuczki szklanej, białą i barwną folię z polietylenu itp. ale także usunąć substancje niebezpieczne i zanieczyszczenia obce.

W zależności od rodzaju sortowanego odpadu rozróżnia się przy segregacji ręcznej sortowanie negatywne i pozytywne [7]. Sortowanie pozytywne polega na wysegregowaniu ręcznie określonego rodzaju surowca wtórnego z mieszaniny odpadów i skierowanie go do odpowiedniego leja zsykowego. Segregacja negatywna polega na usuwaniu ze strumienia odpadów substancji zanieczyszczających, a odpady pożądane pozostają na taśmie. Segregacja pozytywna znacznie zwiększa jakość wysegregowanego surowca przy małej wydajności, natomiast segregacja negatywna powoduje zwiększenie wydajności przy jednoczesnym zmniejszeniu jakości wysegregowanego materiału.

5. Przykłady linii technologicznych do segregacji odpadów z placu budowy

Odpady dostarczane z placu budowy posiadają często więcej niż 50% udziału składników mineralnych. Celem przeróbki odpadów z placu budowy jest oddzielenie tych składników (gruzu budowlanego, ziemi, substancji roślinnych i innych) oraz wysegregowanie surowców wtórnych o charakterze nieminerlnym, jak drewno, metale, karton, folia oraz zanieczyszczenia, które nie stanowią wartości użytkowej jak materiały izolacyjne itp.

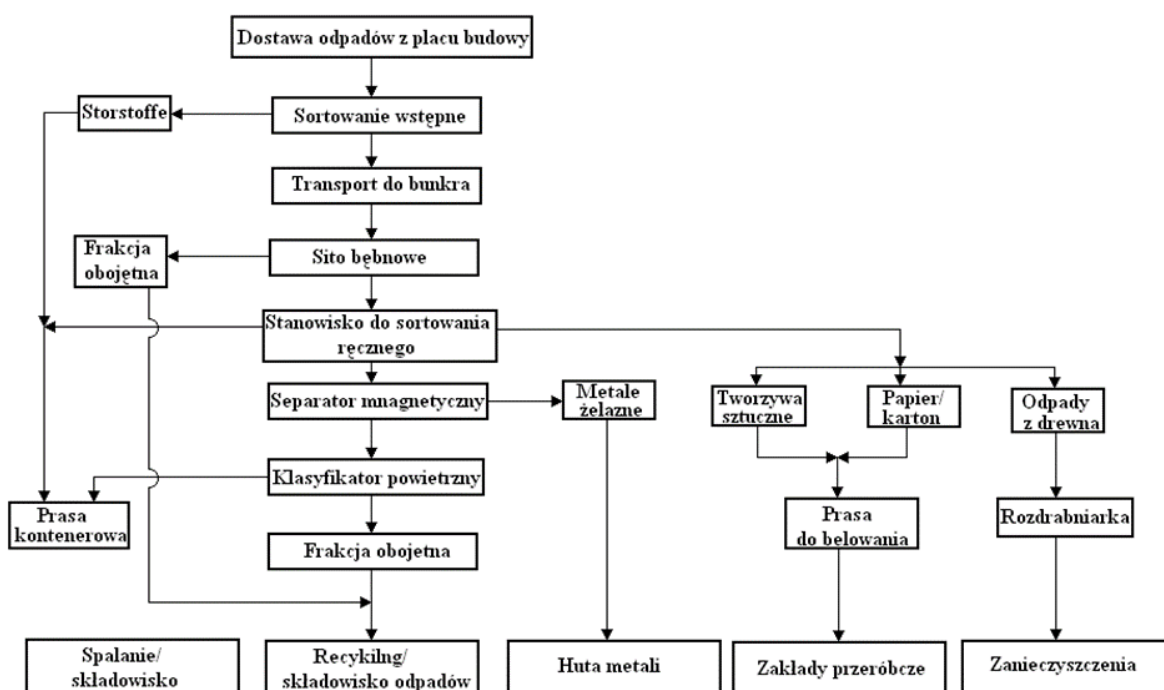
Dobrze funkcjonująca instalacja do przerobu odpadów z placu budowy powinna zawierać:

- koparkę chwytkową do podawania odpadów do płaskiego zasobnika z urządzeniem do wstępnej segregacji,

- przesiewacze do oddzielania części drobnych (sito bębnowe, sito lejowe lub płaskie),
- instalację odsysającą do wydzielania zanieczyszczeń drobnych i lekkich (papier, karton, folia, drewno),
- trasę do segregacji ręcznej celem oddzielenia drewna, kartonu, folii, metali oraz składników resztkowych,
- urządzenie do rozdrabniania gruzu budowlanego (kruszątkarka udarowa lub szczękowa).

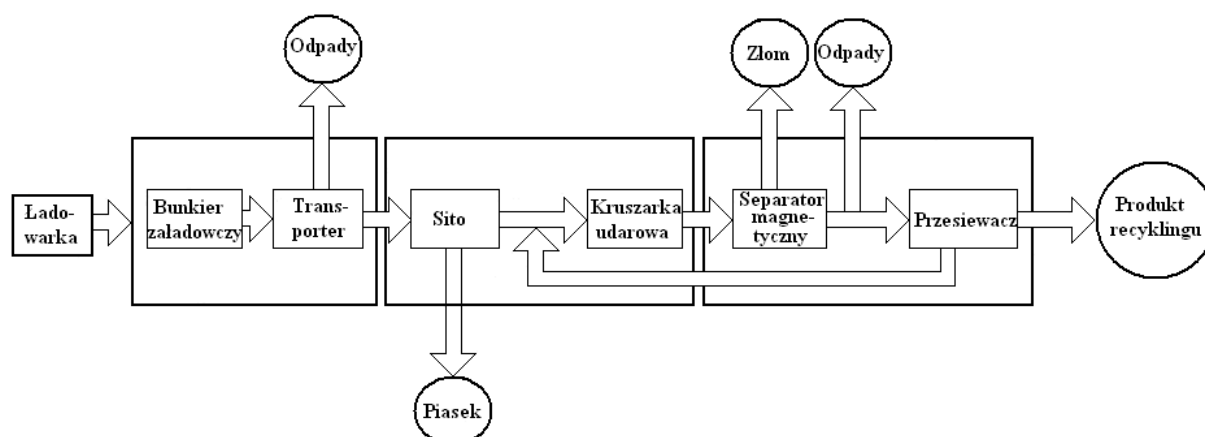
Składniki mineralne (ziemia i gruz) zawarte w odpadach pochodzących z placów budowy mogą być poddawane przeróbce lub nie, jest to zależne od stopnia zanieczyszczenia.

Materiały budowlane pochodzące z recyklingu wykorzystywane są najczęściej do budowy dróg, jest to rozwiązanie nie wymagające tworzenia specjalnych składowisk odpadów budowlanych a zarazem takie ich wykorzystanie nie stanowi uciążliwości dla środowiska.



Rys. 18. Schemat blokowy instalacji do sortowania odpadów z placu budowy

Istnieje tzw. półmobilna instalacja do przetwarzania odpadów (rys. 19). Taki model instalacji jest bardzo podobny do instalacji stacjonarnych, różnica polega na tym, że te instalacje można przemieszczać. Są one transportowane na naczepach niskopodwoziowych.



Rys. 19. Schemat blokowy mobilnej stacji do segregacji odpadów

6. Podsumowanie

Rozdział zawiera omówienie podstawowych tendencji w doborze urządzeń i linii technologicznych przeznaczonych do klasyfikacji i segregacji uziarnionych materiałów odpadowych. Duża ilość metod sortowania tych odpadów wynika z ich różnorodności – odmiennych właściwości i pochodzenia. Zbudowanie uniwersalnej linii technologicznej lub maszyny segregującej każdy rodzaj odpadów jest na dzień dzisiejszy zbyt trudne. Wymagana jest zatem specjalizacja tych urządzeń i ich dostosowanie do określonego rodzaju odpadów lub grupy odpadów o podobnych właściwościach.

Literatura

1. Bilitewski G., Hardtle K., Marek M.: „Podręcznik gospodarki odpadami”, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2003.
2. Łuniewski S.: „Bezpieczne składowanie odpadów”, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko 1998.
3. Żygadło M.: „Strategia gospodarki odpadami komunalnymi”, Poznań 2001.
4. Piecuch T.: „Utylizacja odpadów przemysłowych”, Koszalin 1996.
5. Jagodziński K.: „Usuwanie i unieszkodliwianie odpadów stałych”, Gdańsk 1983.
6. Leboda R., Oleszczuk P.: „Odpady komunalne i ich zagospodarowanie”. Wydawnictwo UMCS, Lublin 2000.
7. Skalmowski K.: „Poradnik gospodarowania odpadami” Wyd. Verlag Dashöfer, Warszawa 1999.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej 501/10-34-1-7217.

Małoodpadowa utylizacja zasolonych wód kopalnianych w zintegrowanym systemie membranowo – wyparnym

Marian Turek – Politechnika Śląska

Ewa Laskowska – Politechnika Śląska

Krzysztof Mitko – Politechnika Śląska

Agata Jakóbiak-Kolon – Politechnika Śląska,

Streszczenie: *Dokonano przeglądu dotychczas stosowanych i rozważanych technologii utylizacji roztworów zasolonych, w tym wód kopalnianych. Przedstawiono rozwiązanie, w którym woda zasolona poddawana jest wstępnemu uzdatnianiu metodą nanofiltracji (NF) a następnie zatężaniu metodą wyparną z krystalizacją chlorku sodu. W węźle NF przeprowadza się kontrolowaną krystalizację siarczanu wapnia, a ponadto otrzymuje się wodorotlenek magnezu i kredę nawozową. Głównymi produktami są: sól warzona i woda odsolona. Proponowane rozwiązanie ma zostać przebadane w instalacji pilotowej w ramach projektu NANOS, finansowanego w programie TANGO2.*

Low-waste utilization of saline mine waters in the integrated membrane-thermal system

Abstract: *The proposed and implemented technologies for the utilization of saline solutions, including mine waters, have been reviewed. A system is proposed, in which the saline water is first treated with nanofiltration (NF), then concentrated by a thermal method with sodium chloride precipitation. In the NF step, calcium sulphate is precipitated in controlled manner, additionally magnesium hydroxide and fertilizer chalk are obtained. The main products are evaporated salt and desalinated water. The proposed system is to be tested in a pilot plant in the NANOS project, funded in the TANGO2 programme.*

1. Wprowadzenie

Problem zasolonych roztworów odpadowych, głównie solanek z odsalania tak zwanych wód słonawych oraz wody morskiej, płynu powrotnego ze szczelinowania łupków gazonośnych a także innych uciążliwych ścieków zasolonych, dotyczy różnych gałęzi przemysłu. Wydajność instalacji odsalania wody morskiej wynosi 90 mln m³/d, z czego 60 mln m³/d metodą odwróconej osmozy. W procesie odsalania powstaje produkt uboczny (odpadowy), solanka, o stężeniu około 70 g/dm³ stwarzająca problemy ekologiczne; sumaryczna ilość soli odprowadzanej w solankach powstających w trakcie odsalania wynosi ponad 1 mld t rocznie. Ilość chlorku sodu, zawartego w wodach zasolonych odprowadzanych do rzek w Polsce, w tym w zasolonych wodach kopalnianych głównie z kopalń węgla

kamienno, ale równie, z KGHM Polska Miedź S.A., wynosi okoła 4 mln ton rocznie. W wielu ośrodkach w świecie podejmowane są próby opracowania efektywnej metody utylizacji solanek. Tam, gdzie pozwalają na to warunki klimatyczne (wysoka temperatura i mała wilgotność powietrza) solanki poddawane są zateżaniu przez naturalne odparowanie wody, w wyniku którego otrzymuje się sól; dotyczy to jednak małej ich części. Ścieki zasolone poddawane są najczęściej zateżaniu bardzo energochłonnymi metodami wyparnymi. Duża energochłonność, a ponadto wysokie koszty inwestycyjne instalacji, wynikają z faktu skomplikowanego składu ścieków zasolonych, których niektóre składniki tworzą związki trudno rozpuszczalne, krystalizujące w aparatach wyparnych.

Produkcja soli w Polsce wynosi w ostatnich latach 4 - 4,5 mln ton rocznie, z czego 1,0 mln ton soli warzonej. Największymi producentami soli warzonej są: Grupa CIECH, zakład w Janikowie oraz Grupa ORLEN, zakład w Inowrocławiu. Sól warzona wytwarzana jest z solanki bliskiej nasycenia chlorkiem sodu (stężenie NaCl ok. 310 g/dm³) uzyskiwanej przez ługowanie pokładów soli. Solanka jest oczyszczana chemicznie z jonów wapnia i magnezu, a następnie kierowana do tzw. wyparki krystalizacyjnej. Stosuje się kilkudziałowe instalacje wyparne z podciśnieniem w ostatnim stopniu. Zużycie pary wynosi 0,4 - 0,5 t na tonę kondensatu, ponadto niezbędne jest okoła 0,25 kWh/t energii elektrycznej. W Polsce pracuje też jedna instalacja wytwarzająca sól warzoną z zasolonych wód kopalnianych o wydajności 100 tys. ton rocznie. W lipcu 2015 r. nastąpiło przejęcie tej instalacji, należącej dotąd do Zakładu Odsalania Dębieńsko Sp. z o.o., przez Przedsiębiorstwo Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A. (PGWiR), będące w Grupie Jastrzębskiej Spółki Węglowej (JSW). W instalacji tej utylizacji poddawana jest tzw. woda miernie zasolona z kopalni „Budryk” oraz solanki kopalniane: z kopalni „Budryk” oraz z byłej kopalni „Dębieńsko”, której przerób zleca Spółka Restrukturyzacji Kopalń (SRK). Nie stosuje się oczyszczania chemicznego. Woda miernie zasolona poddawana jest wstępnemu zateżaniu metodą odwróconej osmozy (RO). Następnie retentat z RO, wraz z pozostałymi solankami, poddawany jest zateżaniu do stężenia NaCl ok. 290 g/dm³ w wyparce ze sprężaniem oparów (ang. vapour compression, VC); zużycie energii elektrycznej wynosi 44 kWh na tonę kondensatu. Solanka, o stężeniu NaCl 290 g/dm³, kierowana jest do wyparki krystalizacyjnej VC, w której zużycie energii elektrycznej wynosi 66 kWh na tonę kondensatu. Rozwiązania stosowane przez PGWiR są typowe dla przerobu ścieków zasolonych [1].

2. Zagospodarowanie odpadowych wód zasolonych

W świecie obserwuje się dążenie do opracowania bezodpadowych technologii zagospodarowania roztworów odpadowych, tzw. ZLD (ang. zero liquid discharge); w technologiach takich uzysk wody musiałby wynosić praktycznie 100%.

Uzysk (ang. recovery) w metodzie RO ograniczony jest przez ciśnienie osmotyczne retentatu oraz ryzyko krystalizacji substancji trudno rozpuszczalnych; jego wartość wynosi, w przypadku wody morskiej, 35 - 50%. W metodach wyparnych uzysk ograniczony jest przede

wszystkim przez ryzyko krystalizacji substancji trudno rozpuszczalnych i wynosi 10 - 30%. Retentat z RO i koncentrat z metod wyparnych są zrzucane do morza, co stwarza poważne problemy ekologiczne, wynikające z lokalnego wzrostu stężenia soli i obecności substancji chemicznych stosowanych w celu zmniejszenia ryzyka krystalizacji substancji trudno rozpuszczalnych (antyskalantów), a w przypadku koncentratu z wyparek dodatkowo podwyższonej temperatury. Proponowane są liczne metody zwiększenia uzysku w odwróconej osmozie: stosowanie antyskalantów; nowe konfiguracje odwróconej osmozy, jak odwrócona osmoza z odwróceniem przepływu (ang. flow reversal reverse osmosis) czy odwrócona osmoza z odsalaniem w obiegu zamkniętym (ang. closed circuit desalination reverse osmosis); wytrącanie trudno rozpuszczalnych soli pomiędzy poszczególnymi stopniami RO; stosowanie zaawansowanego przygotowania wstępnego. W świecie obserwowane jest również zainteresowanie możliwością zwiększenia uzysku wody odsolonej w powiązaniu z wykorzystaniem retentatu (koncentratu) i jego dalszego przerobu w celu otrzymania solanki nasyconej lub soli warzonej. Tanaka i wsp. [2, 3, 4] badali elektrodializę retentatu z odsalania wody morskiej metodą odwróconej osmozy (SWRO). Określili gęstość prądu, tzw. gęstość prądu nasycenia, 510 A/m^2 , przy której w badanych warunkach możliwe było zateżenie retentatu do nasycenia chlorkiem sodu – tak otrzymany roztwór może być wykorzystany w przemyśle chloro-alkalicznym. Casas i wsp. [5, 6, 7] również badali elektrodializę retentatu z SWRO w instalacji pilotowej, opracowując model opisujący elektrodialityczne zateżanie chlorku sodu. Nasz Zespół w pracach [8, 9] zaproponował metodę wytwarzania z retentatu RO nasyconej solanki na potrzeby przemysłu chloro-alkalicznego. Możliwość otrzymywania solanki o stężeniu chlorku sodu 300 g/dm^3 za pomocą metod membranowych została potwierdzona doświadczalnie [8]. Jiang i wsp. [10] również otrzymali stężony roztwór chlorku sodu (271 g/dm^3) stosując metody membranowe.

Zagospodarowanie odpadowych roztworów zasolonych wymaga rozwiązania dwóch zasadniczych problemów: konieczności operowania stężonymi roztworami soli oraz ryzyka skalingu, tj. blokowania membran osadami trudno rozpuszczalnych soli. Odwrócona osmoza, ze względu na konieczność stosowania ciśnienia wyższego niż ciśnienie osmotyczne odsalanego roztworu, nie nadaje się do obróbki roztworów o stężeniu ponad 70 g/dm^3 . Roztwory o tak dużym stężeniu, których dominującym składnikiem jest chlorek sodu, mogą być zateżane, aby wykorzystać zawartą w nich sól. Stężone roztwory chlorku sodu mogą być zagospodarowane (przez co można uniknąć zrzutu soli do środowiska) w formie solanki nasyconej lub soli warzonej. Solanka nasycona może być wykorzystana do produkcji węgla sodu (sody) metodą Solvaya (ok. 50 mln ton rocznie) lub do wytwarzania chloru i wodorotlenku sodu metodą diafragmową (metoda diafragmowa jest jedną z trzech metod stosowanych na świecie do wytwarzania chloru i wodorotlenku sodu). Zużycie soli w tym przemyśle wynosi ok. 90 mln ton rocznie (z czego około 14% w metodzie diafragmowej). Udział metody diafragmowej maleje, głównie na korzyść metody membranowej, w której surowcem jest stały chlorek sodu – najczęściej sól warzona wysokiej czystości. Sól warzona może być także

wytwarzana z solanek odpadowych, przez dalsze zateżnienie solanki nasyconej w wyparce krystalizacyjnej.

Sól warzona wytwarzana jest na świecie w skali około 270 mln ton rocznie. Wytwarzanie soli warzonej z solanek odpadowych jest znacznie trudniejsze niż z solanki nasyconej, otrzymywanej przez ługowanie pokładów soli. Solanki odpadowe mają z reguły mniejsze stężenie chlorku sodu (przykładowo: retentat RO około 70 g/dm³, a solanki kopalniane do 100 g/dm³) a ponadto są najczęściej znacznie bardziej zanieczyszczone innymi związkami chemicznymi.

Jak wcześniej wspomniano w Polsce w dużej skali wytwarza się sól warzoną z solanki uzyskiwanej przez ługowanie pokładów soli. Skład solanki SOLINO S.A. przedstawiono w tabeli 1. Dla porównania przedstawiono także skład solanki kopalnianej SRK.

Skład solanek SOLINO S.A. (źródło: [11]) oraz SRK (źródło: Przedsiębiorstwo Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A., Zakład Odsalania Dębieńsko, inf. własna)

Tabela 1.

Właściwości	Jednostka	SOLINO S.A.		SRK
		Wymagania	Typowe własności	
NaCl	kg/m ³	min. 305,0	310,0	82,63
wapń	kg/m ³	maks. 1,0	0,308	0,80
magnez	kg/m ³	maks. 0,65	0,180	0,80
siarczan	kg/m ³	maks. 2,4	1,3	1,60
potas K ⁺	kg/m ³	maks. 2,0	0,400	0,170

Jak widać, stężenie jonów wapnia, magnezu i siarczanu, które można traktować jako zanieczyszczenia solanki, jest znacznie większe (w przeliczeniu na chlorek sodu nawet wielokrotnie większe) w solance SRK niż w solance SOLINO S.A. Oczyszczanie solanki (najczęściej jest ono przeprowadzane tzw. metodą ługowo-sodową) wymagałoby zużycia bardzo dużej ilości wodorotlenku i węgla sodu. Oczyszczanie byłoby także trudne z technicznego punktu widzenia, gdyż w przypadku dużego stężenia magnezu i niekorzystnego stosunku wapnia do magnezu (korzystna jest znaczna przewaga wapnia) szybkość sedimentacji wytrąconego osadu jak i szybkość filtracji jest mała a wilgotność osadu duża. Koszt oczyszczania byłby bardzo wysoki a wartość produktu, kredy strącanej, niewielka.

3. Wstępne uzdatnianie metodą nanofiltracji

Autorzy niniejszego rozdziału proponują usuwanie zanieczyszczeń solanki metodą membranową, konkretnie metodą nanofiltracji, w miejsce metody chemicznej. W celu osiągnięcia dużego uzysku soli w procesie nanofiltracji należy zastosować membranę

charakteryzującą się małym stopniem zatrzymania chlorku oraz dużym stopniem zatrzymania siarczanu, wapnia i magnezu.

Nanofiltracja badana jest w kilku ośrodkach w świecie jako metoda wstępnego przygotowania solanki. Przykładowo w pracy [12] przedstawiono układ nanofiltracja (NF)-odwrócona osmoza (RO). Uzysk w węźle NF wynosił 65%. W pracy [13] przedstawiono układ NF-RO-destylacja (MSF). Maksymalny uzysk w węźle NF wynosił 64%. W układzie nanofiltracja-odwrócona osmoza autorzy pracy [14] przebadali kilka rodzajów membran nanofiltracyjnych. Maksymalny uzysk w węźle NF wynosił 65%.

W cytowanych pracach uzysk wody w węźle NF nie przekroczył 65% i jest dalece niewystarczający do realizacji idei ZLD.

Autorzy niniejszej pracy przebadali nanofiltrację jako metodę przygotowania wody do właściwego procesu odsalania w zintegrowanym systemie ultrafiltracja (UF) - nanofiltracja (NF) - odwrócona osmoza (RO) - metoda wyparna (MED) - krystalizacja. W systemie tym koncentrat z metody wyparnej poddawany jest dalszemu zatężaniu i oprócz wody odsolonej otrzymuje się sól warzoną. W proponowanym systemie konieczne jest prowadzenie NF przy dużym strumieniu i dużym uzysku permeatu. Warunki takie uzyskano dzięki zastosowaniu modułu membranowego wyposażonego w oryginalną przekładkę dystansującą zapewniającą duży współczynnik wnikania masy przy małych oporach przepływu. Przekładka ta charakteryzuje się ponadto małą wariancją rozkładu czasu przebywania dzięki czemu możliwa jest praca w warunkach przesycenia siarczanem wapnia, bez stosowania inhibitorów krystalizacji.

Wykazano, że proces nanofiltracji można prowadzić w sposób stabilny przy maksymalnym uzysku wody wynoszącym 84,4%. Przy tym uzysku względne nasycenie siarczanem wapnia w retentacie z NF wynosiło 4,8 a odpowiadający mu czas indukcji nukleacji - 53,5 s [15]. Permeat z NF poddaje się następnie odsalaniu metodą RO, z której retentat zatężany jest metodą wyparną do stanu bliskiego nasycenia chlorkiem sodu. Ponieważ NF usuwa większą część siarczanu i wapnia, w węźle wyparnym nie grozi krystalizacja siarczanu wapnia, dzięki czemu możliwe jest zastosowanie mało energochłonnego, wielostopniowego systemu wyparnego. Przyjęto zastosowanie systemu multiple-effect distillation (MED).

4. Wskaźniki instalacji

W tabeli 2 przedstawiono wskaźniki technologii stosowanej w instalacji Przedsiębiorstwa Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A., Zakład Odsalania Dębieńsko (technologia ZOD). Wskaźniki przedstawiono na przykładzie jednej z przerabianych solanek a mianowicie tzw. solanki SRK.

**Wskaźniki technologii ZOD (źródło: Przedsiębiorstwo Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A.,
Zakład Odsalania Dębieszko, inf. własna)**

Tabela 2.

Nadawa (SRK)			Solanka nasycona			Ługi pokryształizacyjne		
Cl ⁻	52,80	kg/m ³	Cl ⁻	188,0	kg/m ³	Cl ⁻	188,0	kg/m ³
Ca ²⁺	0,800	kg/m ³	Ca ²⁺	1,12	kg/m ³	Ca ²⁺	6,314	kg/m ³
Mg ²⁺	0,800	kg/m ³	Mg ²⁺	2,848	kg/m ³	Mg ²⁺	20,092	kg/m ³
SO ₄ ²⁻	1,600	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	0,55	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	0,070	kg/m ³
Na ⁺	32,522	kg/m ³	Na ⁺	115,798	kg/m ³	Na ⁺	120,062	kg/m ³
TDS ^{*)}	88,522	kg/m ³	TDS ^{*)}	309,1	kg/m ³	TDS ^{*)}	325	kg/m ³
V	1,000	m ³	V	0,281	m ³	V	0,040	m ³
Ilość soli z 1 m ³ nadawy: 74,71 kg						Ilość soli pozostająca w ługach: 14,17%		

*)- TDS (ang. total dissolved salts – całkowite zasolenie)

W trakcie zatężania solanki do stanu bliskiego nasycenia chlorkiem sodu, oraz w trakcie dalszego zatężania w wyparce krystalizacyjnej, następuje krystalizacja siarczanu wapnia. Uzysk wody, a tym samym również soli, ograniczony jest sumaryczną wartością stężenia kationów wapnia i magnezu, która w przeliczeniu na ich chlorki nie powinna przekraczać 8%. Uzysk soli wynosi 85,83%.

W celu zwiększenia uzysku Autorzy proponują wstępne przygotowanie solanki z zastosowaniem oryginalnego rozwiązania dwustopniowej nanofiltracji z krystalizacją dwuwodnego siarczanu wapnia (gipsu) z retentatu i cyrkulacją części retentatu. W trakcie zatężania tak przygotowanej solanki nie grozi krystalizacja siarczanu wapnia (również w wyparce krystalizacyjnej), w związku z czym można zastosować wyparkę, oraz wyparkę krystalizacyjną, o małym zużyciu energii. Opcjonalnie permeat z NF może być zatężany do nasycenia NaCl w zintegrowanym układzie: elektrodializa – odwrócona osmoza.

W tabeli 3 przedstawiono wskaźniki węzła nanofiltracji w technologii proponowanej przez Autorów.

Wskaźniki węzła nanofiltracji (źródło: opracowanie własne)

Tabela 3.

Nadawa (SRK)			Permeat			Retentat		
Cl ⁻	52,800	kg/m ³	Cl ⁻	51,967	kg/m ³	Cl ⁻	95,255	kg/m ³
Ca ²⁺	0,800	kg/m ³	Ca ²⁺	0,133	kg/m ³	Ca ²⁺	4,925	kg/m ³
Mg ²⁺	0,800	kg/m ³	Mg ²⁺	0,268	kg/m ³	Mg ²⁺	24,681	kg/m ³
SO ₄ ²⁻	1,600	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	0,007	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	11,211	kg/m ³
Na ⁺	32,522	kg/m ³	Na ⁺	33,005	kg/m ³	Na ⁺	14,118	kg/m ³
TDS ^{*)}	88,522	kg/m ³	TDS ^{*)}	85,380	kg/m ³	TDS ^{*)}	150,189	kg/m ³
V	1,000	m ³	V	0,976	m ³	V	0,022	m ³

Uzysk wody w węźle nanofiltracji wynosi 97,6%, masa wydzielonego gipsu: 2,42 kg, a strata soli, spowodowana koniecznością wyprowadzania części (2,4%) retentatu wynosi 2,8%.

W tabeli 4 przedstawiono wskaźniki węzła wyparnego i krystalizacji soli w technologii proponowanej przez Autorów.

Wskaźniki węzła wyparnego i krystalizacji soli (źródło: opracowanie własne)

Tabela 4

Nadawa (permeat NF)			Solanka nasyciona			Ługi pokrystalizacyjne		
Cl ⁻	51,967	kg/m ³	Cl ⁻	188,0	kg/m ³	Cl ⁻	188,0	kg/m ³
Ca ²⁺	0,133	kg/m ³	Ca ²⁺	0,480	kg/m ³	Ca ²⁺	8,720	kg/m ³
Mg ²⁺	0,268	kg/m ³	Mg ²⁺	0,971	kg/m ³	Mg ²⁺	17,654	kg/m ³
SO ₄ ²⁻	0,007	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	0,024	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	0,441	kg/m ³
Na ⁺	33,005	kg/m ³	Na ⁺	119,402	kg/m ³	Na ⁺	119,02	kg/m ³
TDS ^{*)}	85,380	kg/m ³	TDS ^{*)}	308,877	kg/m ³	TDS ^{*)}	320,300	kg/m ³
V	0,976	m ³	V	0,270	m ³	V	0,015	m ³

W ługach pokrystalizacyjnych pozostaje 4,65% soli a całkowity uzysk soli (z uwzględnieniem strat w węźle nanofiltracji) wynosi 92,55%.

Ponieważ w proponowanej technologii, dzięki zastosowaniu nanofiltracji, stężenie jonów wapnia i magnezu w solance nasyconej jest małe, w stosunku do występującego w technologii ZOD, jony te mogą zostać usunięte metodą ługowo-sodową przy stosunkowo małym zużyciu odczynników. Wskaźniki dla takiego przypadku przedstawiono w tabeli 5.

Wskaźniki węzła wyparnego i krystalizacji soli; oczyszczanie solanki nasyconej (źródło: opracowanie własne)

Tabela 5

Nadawa (permeat NF)			Solanka nasyciona, oczyszczona			Ługi pokrystalizacyjne		
Cl ⁻	51,967	kg/m ³	Cl ⁻	188,0	kg/m ³	Cl ⁻	188,0	kg/m ³
Ca ²⁺	0,133	kg/m ³	Ca ²⁺	0,003	kg/m ³	Ca ²⁺	0,300	kg/m ³
Mg ²⁺	0,268	kg/m ³	Mg ²⁺	0,001	kg/m ³	Mg ²⁺	0,100	kg/m ³
SO ₄ ²⁻	0,007	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	0,024	kg/m ³	SO ₄ ²⁻	2,425	kg/m ³
Na ⁺	33,005	kg/m ³	Na ⁺	119,4	kg/m ³	Na ⁺	119,4	kg/m ³
TDS ^{*)}	85,380	kg/m ³	TDS ^{*)}	307,43	kg/m ³	TDS ^{*)}	320,3	kg/m ³
V	0,976	m ³	V	0,270	m ³	V	0,0025	m ³

W ługach pokryształizacyjnych pozostaje 0,9% soli a całkowity uzysk soli (z uwzględnieniem strat w węźle nanofiltracji) wynosi 96,3%.

Ponieważ przemysł materiałów ogniotrwałych jest zainteresowany możliwością wytwarzania tzw. syntetycznego tlenku magnezu, otrzymywanego przez prażenie wodorotlenku magnezu wytrącanego z wód zasolonych, można przeprowadzać wytrącanie wodorotlenku magnezu z retentatu NF prażonym dolomitom, a następnie wytrącanie wapnia węglanem sodu. Otrzymywano by w ten sposób solankę pozbawioną wapnia i magnezu, którą można zawrócić. Uzysk soli wyniósłby 99,1%.

5. Podsumowanie

Proponowane przez Autorów rozwiązanie nanofiltracji umożliwia przeprowadzanie wstępnego uzdatniania wody przy bardzo dużym jej uzysku. W przypadku zastosowania tego rozwiązania do uzdatniania solanki kopalnianej, w procesie wytwarzania z niej soli warzonej, daje to możliwość realizacji technologii mało odpadowej.

Podziękowania

Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia TANGO, nr umowy TANGO2/340568/NCBR/2017.

Literatura

1. T. Tong and M. Elimelech: The Global Rise of Zero Liquid Discharge for Wastewater Management: Drivers, Technologies, and Future Directions, *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 6846–6855
2. Y. Tanaka, R. Ehara, S. Itoi, T. Goto: Ion-exchange membrane electrodialytic salt production using brine discharged from a reverse osmosis seawater desalination plant, *J. Membr. Sci.* 222 (2003) 71–86
3. Y. Tanaka: Regularity in ion exchange membrane characteristics and concentration of sea water, *J. Membr. Sci.* 163 (1999) 277–287
4. Y. Tanaka: Current density distribution, limiting current density and saturation current density in an ion-exchange membrane electrodialyzer, *J. Membr. Sci.* 210 (2002) 65–75
5. S. Casas, N. Bonet, C. Aladjem, J. L. Cortina, E. Larrotcha, L. Cremades: Modelling sodium chloride concentration from seawater reverse osmosis brine by electrodialysis: Preliminary results, *Solvent Extr. Ion Exch.* 29 (2011) 488–508

6. S. Casas, C. Aladjem, J. L. Cortina, E. Larrotcha, L. V. Cremades: Seawater reverse osmosis brines as a new salt source for the chlor-alkali industry: Integration of nacl concentration by electrodialysis, *Solvent Extr. Ion Exch.* 30 (2012) 322–332
7. M. Reig, S. Casas, C. Aladjem, C. Valderrama, O. Gilbert, F. Valero, C. M. Centeno, E. Larrotcha, J. L. Cortina: Concentration of NaCl from seawater reverse osmosis brines for the chlor-alkali industry by electrodialysis, *Desalination* 342 (2014) 107–117
8. M. Turek, K. Mitko, M. Chorażewska, P. Dydo: Use of the desalination brines in the saturation of membrane electrolysis feed, *Desalin. Water Treat.* 51 (2013) 2749-2754
9. K. Mitko, W. Mikołajczak, M. Turek: Electrodialytic concentration of NaCl for the chlor-alkali industry, *Desalin. Water Treat.* 56 (2015) 3174-3180
10. C. Jiang, Y. Wang, Z. Zhang, T. Xu: Electrodialysis of concentrated brine from RO plant to produce coarse salt and freshwater, *J. Membr. Sci.* 450 (2014) 323-330
11. <http://www.solino.pl/PL/NaszaOferta/PrzemyslChemiczny/Strony/Solanka-przemyslowa.aspx> (12.01.2018)
12. A.A. Al-Hajouri, A.S. Al-Amoudi, A. Mohammed Farooque: Long term experience in the operation of nanofiltration pretreatment unit for seawater desalination at SWCC SWRO plant, *Desalin. Water Treat.* 51 (2013) 1861-1873
13. O. A. Hamed, A. M. Hassan, K. Al-Shail, M. A. Farooque: Performance analysis of a trihybrid NF/RO/MSF desalination plant, *Desalin. Water Treat.* 1 (2009) 215–222
14. C. Kaya, G. Sert, N. Kabay, M. Arda, M. Yüksel, Ö. Egemen: Pre-treatment with nanofiltration (NF) in seawater desalination – preliminary integrated membrane tests in Urla, Turkey, *Desalination* 369 (2015) 10–17
15. M. Turek, K. Mitko, E. Laskowska, M. Chorażewska, K. Piotrowski, A. Jakóbi-Kolon, P. Dydo: Energy consumption and gypsum scaling assessment in hybrid nanofiltration-reverse osmosis-electrodialysis system, *Chem. Eng. Technol.* 2018, 41, No. 2, 392–400

Stan technologii naziemnego zgazowania węgla

Aleksander Lutyński – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Marcin Lutyński – Politechnika Śląska

Wojciech Książkiewicz, Janusz Łada – EnCoal Gasification

Streszczenie: W rozdziale omówiono stan technologii zgazowania węgla oraz innych surowców energetycznych na świecie, podając przykłady istniejącej i prognozowanej wydajności energetycznej reaktorów do 2021 roku, wykorzystanie gazu syntezowego w wytworzeniu produktów finalnych, wykorzystanie w produkcji gazu syntezowego różnych surowców oraz rozmieszczenie instalacji na poszczególnych kontynentach. Przedstawiono informacje o sytuacji Polski w omawianym zakresie zgazowania surowców. Omówiono ekologiczne aspekty zgazowania węgla oraz opisano technologię zgazowania SGT (SES Gasification Technology).

Current status of coal gasification development

Abstract: A discussion of World's current status of surface coal and other resources gasification plants is presented. Examples of existing and planned plant efficiencies up to the year 2021 and plant distribution is given along with the uses of syngas in chemical resources production. Status of gasification technology development in Poland is described taking into account various perspectives of resource utilization. The study also highlights ecological aspects of coal gasification and gives details of SGT technology by SES.

1. Wprowadzenie

Problem ograniczenia emisji dwutlenku węgla w świetle ostatnich porozumień państw Unii Europejskiej staje się niezwykle istotny. W grudniu ubiegłego roku wypracowano bowiem porozumienie dotyczące nowych celów redukcji CO₂ na lata 2021-2030 w sektorach non-ETS, czyli np. rolnictwie, transporcie i w sektorze komunalnym. Głównym elementem wynegocjowanych przepisów jest 30-procentowa redukcja emisji w sektorach non-ETS w porównaniu z 2005 rokiem. Wypracowane porozumienie przybliży kraje Unii Europejskiej do wypełnienia paryskiego porozumienia w sprawie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, które zobowiązuje do co najmniej 40-procentowej ich redukcji do 2030 roku w porównaniu z rokiem 1990. Kluczową sprawą był podział obciążeń między państwa członkowskie Unii. Poziom redukcji dla każdego z krajów członkowskich zawarte zostały w granicach od 0 do minus 40 proc. w porównaniu z poziomami z 2005 roku. Podstawą podziału obciążeń była zamożność kraju. Polska według poczynionych uzgodnień ma obniżyć emisję gazów

cieplarnianych w sektorach non-ETS o 7 proc. Komisja Europejska proponuje także, aby jednostki objęte tzw. rynkiem mocy (sektor ETS) miały emisyjność poniżej 550 gramów CO₂ na 1 kWh. Zaznaczyć należy, że najbardziej sprawny blok węglowy na parametry ultranadkrytyczne nie osiąga emisji mniejszej niż około 750 gramów CO₂ na 1 kWh [2].

Na forum Unii Europejskiej podejmowane są również próby ograniczenia udziału węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej. Polska uzyskała warunkową prolongatę tych ograniczeń do 2021 roku. Według Polskiego Komitetu Energii Elektrycznej rynek mocy ograniczony przez limit emisji 550 g/kWh doprowadziłby do zwiększenia kosztów ponoszonych przez odbiorców końcowych o około 1 mld złotych na przestrzeni lat 2017-2040. Zwiększenie kosztów ponoszonych przez odbiorców wynika bowiem z potrzeby budowy nowych jednostek wytwarzających energię elektryczną, które będą zasilane gazem.

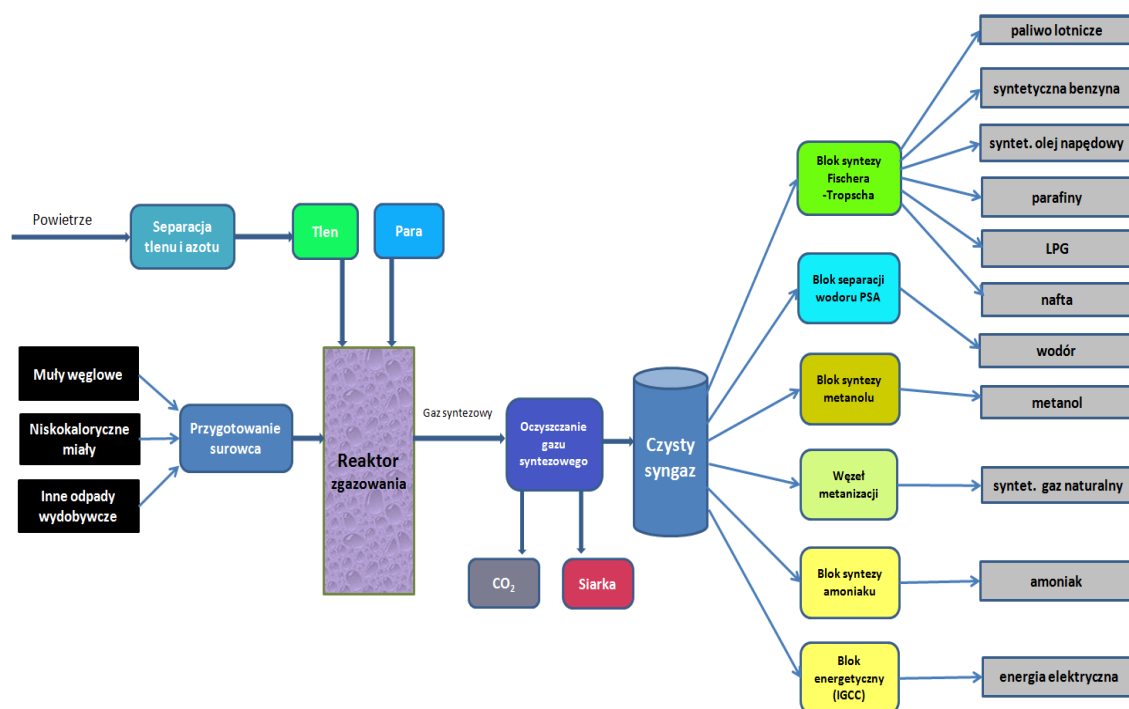
Pewnym rozwiązaniem, rokującym poprawę w opisywanym zakresie, jest wykorzystanie technologii zgazowania, które jest procesem polegającym na konwersji paliw stałych (węgiel, biomasa, odpady) lub ciekłych (olej) na gaz syntezowy. Głównymi składnikami gazu syntezowego uzyskanego w wyniku konwersji są wodór i tlenek węgla. Uzyskany gaz syntezowy to wynik reakcji półspalania paliwa. Czynnikiem utleniającym w tym procesie są tlen lub powietrze, a wybór tego czynnika do procesu warunkowany jest reaktywnością paliwa, celem produkcji gazu oraz typem zgazowувacza. W reakcji bierze również udział para wodna, która pełni rolę regulatora temperatury. Rozpad materiałów wsadowych w gazyfikatorze następuje na poziomie molekularnym, co umożliwia separację zawartych w surowcu wsadowym substancji odpadowych, takich jak: siarka, rtęć, ołów itp. W trakcie procesu oczyszczania gazu syntezowego dwutlenek węgla wyodrębniany jest w postaci czystego strumienia, co daje możliwość jego składowania lub zagospodarowania w rozwijanych intensywnie na świecie technologiach np. wytwarzania paliw syntetycznych.

Technologia zgazowania węgla jest znana od dawna, ponieważ w 1887 r. opatentowany został gazo-generator Lurgiego. Pozwoliło to na pierwsze powszechne zastosowania produktu konwersji węgla na gaz wykorzystując go do oświetlenia i ogrzewania domów. Na początku wieku dwudziestego znaczna liczba reaktorów zgazowania węgla wykorzystywana była komercyjnie do produkcji gazu dla potrzeb komunalnych i przemysłowych. W połowie lat pięćdziesiątych dwudziestego wieku wydatnie zmalało zainteresowanie konwersją gazu z węgla, czego powodem była sytuacja na rynku paliw, na którym pojawił się tańszy gaz ziemny. Sytuacja uległa zmianie w latach siedemdziesiątych, a powrót zainteresowania konwersją gazu z węgla spowodowany został kryzysem na rynku paliw i wydatnym wzrostem cen gazu ziemnego oraz ropy naftowej. W okresie ponownego zainteresowania technologiami zgazowania powstawały nowe instalacje, głównie w przemyśle petrochemicznym. Przetwarzano w nich różnego rodzaju frakcje węglowodorów na gaz syntezowy stanowiący podstawę produkcji amoniaku, metanolu oraz wodoru.

Obecnie rozwój technologii zgazowania paliw ukierunkowany jest na wytwarzanie gazu procesowego, który wykorzystywany jest w metodach syntezy chemicznej oraz do

wytwarzania energii elektrycznej. Zdaniem specjalistów, wypowiadających się na ten temat [1, 7] szczególnie atrakcyjne jest zastosowanie zgazowania w tzw. układach poligeneracyjnych, łączących wytwarzanie energii elektrycznej oraz produktów chemicznych z węgla, głównie paliw płynnych silnikowych, metanolu lub wodoru.

Możliwości pozyskania różnych produktów finalnych, będących wynikiem zgazowania węgla przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy procesu zgazowania i produkty finalne w nim pozyskiwane [opr. własne]

Zainteresowanie rozwojem technologii zgazowania węgla wynika z następujących przesłanek:

- ograniczonej dostępności do złóż gazu i ropy naftowej na poszczególnych kontynentach i w poszczególnych krajach,
- stosunkowo szerokiej dostępności do złóż węgla kamiennego i brunatnego na poszczególnych kontynentach i w niektórych krajach,
- mniejszych światowych zasobów gazu i ropy naftowej w stosunku do zasobów węgla kamiennego i brunatnego,
- substytucji importowanego gazu ziemnego dla produkcji chemicznej, co wpływa na wzrost bezpieczeństwa energetycznego krajów posiadających złoża węgla kamiennego,

- niestabilnych koniunkturalnie cen gazu ziemnego i ropy naftowej,
- niskiej emisji substancji szkodliwych dla środowiska, w tym i CO₂, wynikająca ze specyfiki procesu zgazowania pozwalającej na separację tych substancji.

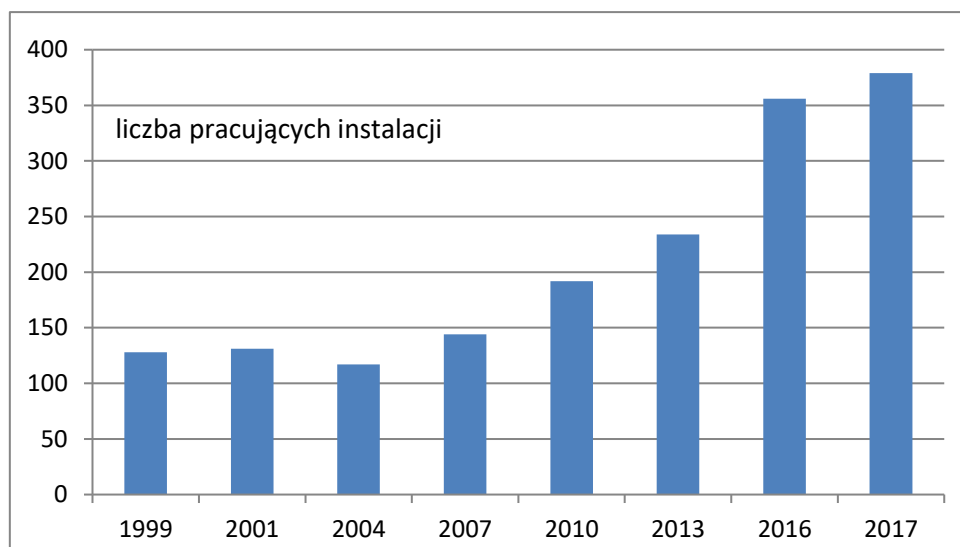
2. Światowy rozwój technologii zgazowania

Obserwowane zainteresowanie rozwojem technologii zgazowania przejawia się powstawaniem nowych instalacji i zwiększającą się liczbą pracujących w nich reaktorów. Pokazano to w tabeli 1 podając liczbę istniejących, budowanych i planowanych instalacji zgazowania oraz liczbę reaktorów [4, 8, 9]. Rysunki 2 i 3 są ilustracją wyników podanych w tabeli 1.

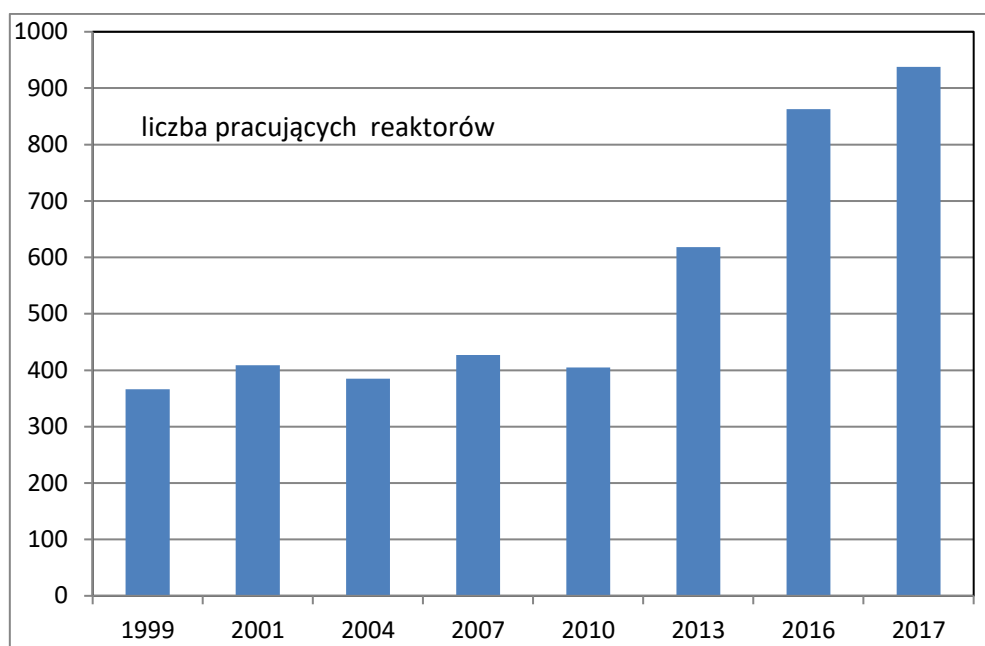
Liczyby istniejących, budowanych i planowanych instalacji zgazowania oraz reaktorów na przestrzeni lat 2009 do 2017 [4, 8, 9]

Tabela 1

Rok	Pracujące instalacje/reaktory	Budowane instalacje/reaktory	Planowane instalacje/reaktory
1999	128/366	b.d.	33/48
2001	131/409	b.d.	32/59
2004	117/385	b.d.	38/66
2007	144/427	b.d.	10/34
2010	192/405	11/17	37/76
2013	234/618	61/202	98/550
2016	356/863	108/322	134/685
2017	379/938	131/348	146/734

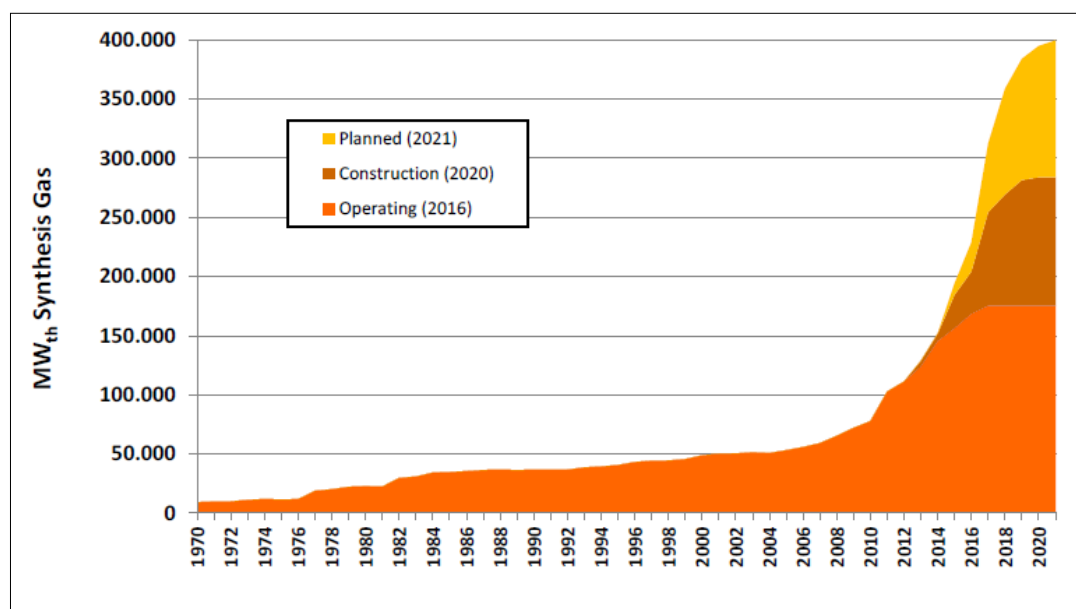


Rys. 2. Liczba pracujących instalacji zgazowania węglowodorów w latach 1999 do 2017 [4, 8, 9]



Rys. 3. Liczba pracujących reaktorów zgazowania węglowodorów w latach 1999 do 2017 [4, 8, 9]

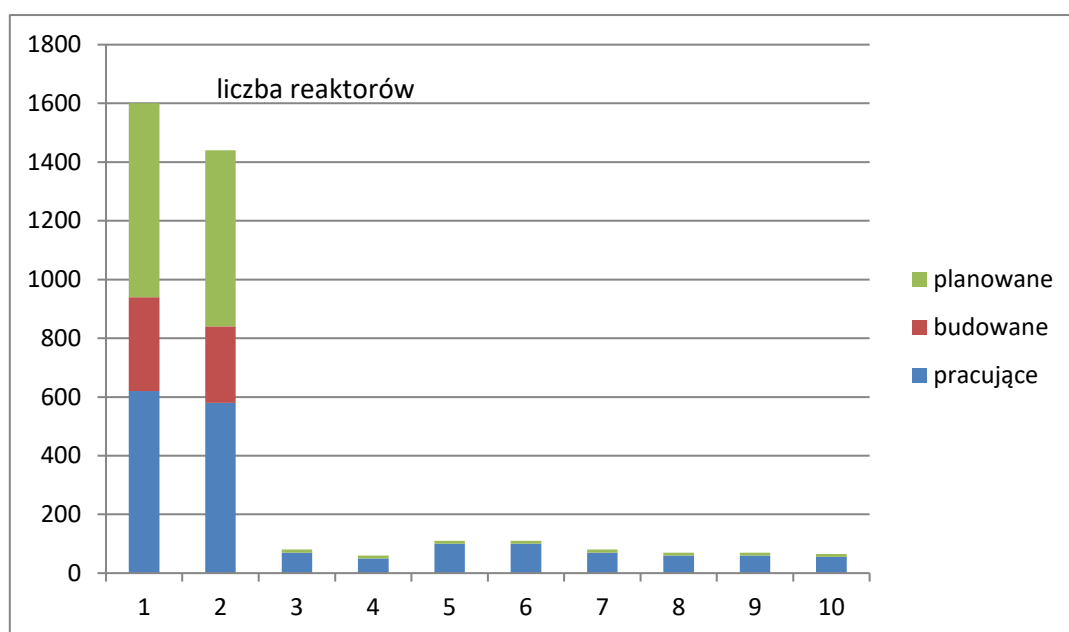
Na przestrzeni kilkunastu lat istotnie wzrosła moc cieplna produkowanego gazu syntezowego, szczególnie po 2010 roku. Pokazano to na rysunku 4 [8]. Obecnie moc ta sięga 180 tysięcy MW_{th}, a w perspektywie 2020 roku ma wzrosnąć do 400 tysięcy.



Rys. 4. Moc cieplna gazu wytwarzanego w instalacjach pracujących, budowanych i planowanych do zabudowy [8]

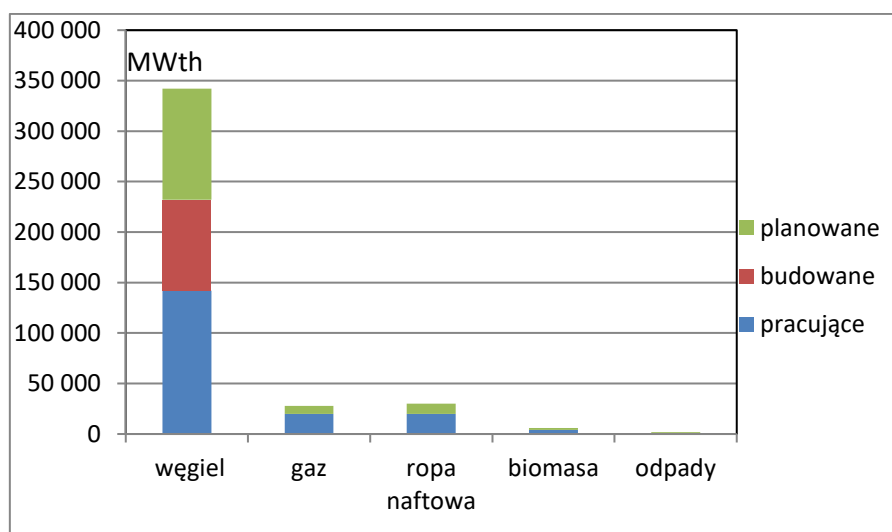
Gaz syntezowy jest wytwarzany z różnych surowców energetycznych. Wśród tych surowców zdecydowaną przewagę stanowi węgiel. Przejawia się to liczbą pracujących na tym surowcu reaktorów oraz wielkością mocy cieplnej wytwarzanego w nich gazu. Pokazano to za [8, 9] na rysunkach 5 i 6.

Węgiel jako surowiec, z którego wytwarzany jest gaz syntezowy, ma zdecydowanie najwyższy udział w zestawie surowców wsadowych. Ma on też najwyższą dynamikę przyrostu liczby reaktorów zarówno pracujących, jak budowanych i planowanych do zabudowy w porównywanych latach 2017 i 2016 [8, 9].



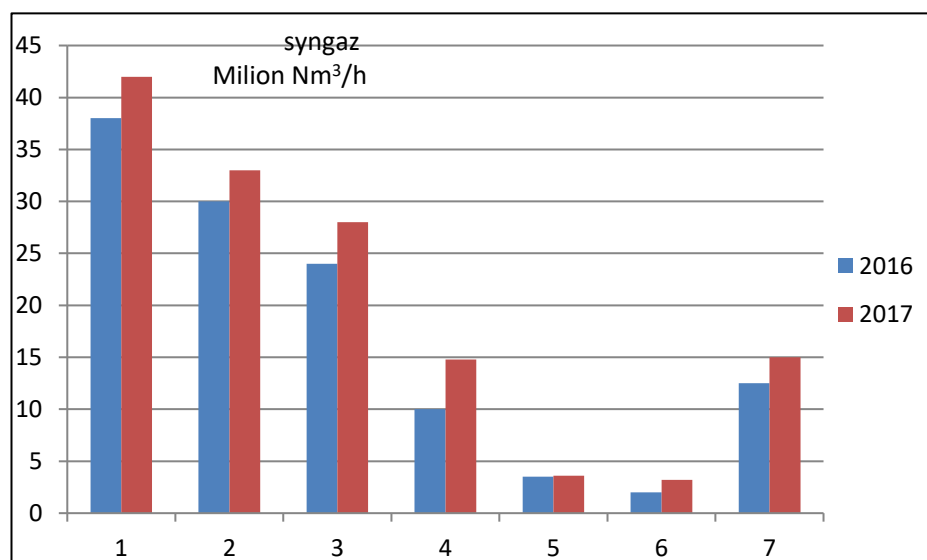
Rys. 5. Porównanie liczby reaktorów pracujących, budowanych i planowanych w latach 2017 i 2016 wykorzystujących do produkcji gazu syntezowego różne surowce energetyczne [8, 9]

1 – węgiel 2017 r., 2 – węgiel 2016 r., 3 – gaz 2017 r., 4 – gaz 2016 r., 5 – ropa naftowa 2017 r.,
6 – ropa naftowa 2016 r., 7 – biomasa 2017 r., 8 – biomasa 2016 r.,
9 – odpady 2017 r., 10 – odpady 2016 r.



Rys. 6. Moc cieplna gazu wytwarzanego w instalacjach pracujących, budowanych i planowanych wytwarzanego z różnych surowców energetycznych [8]

Jak zaznaczono wcześniej z gazu syntezowego pozyskiwane być mogą różne produkty finalne. Najwięcej gazu syntezowego wykorzystuje się w przemyśle petrochemicznym. Gaz syntezowy przetwarzany jest na amoniak, metanol, paliwa ciekłe, gazy. Gaz syntezowy wykorzystywany jest także do produkcji energii elektrycznej. Wykorzystanie gazu w wytwarzaniu różnych produktów finalnych prezentuje rysunek 7. Pokazano też na nim dynamikę wykorzystania tego gazu w latach 2017/2016 [8, 9]. Największy przyrost wykorzystania gazu syntezowego obserwowany jest w produkcji paliw płynnych i amoniaku.



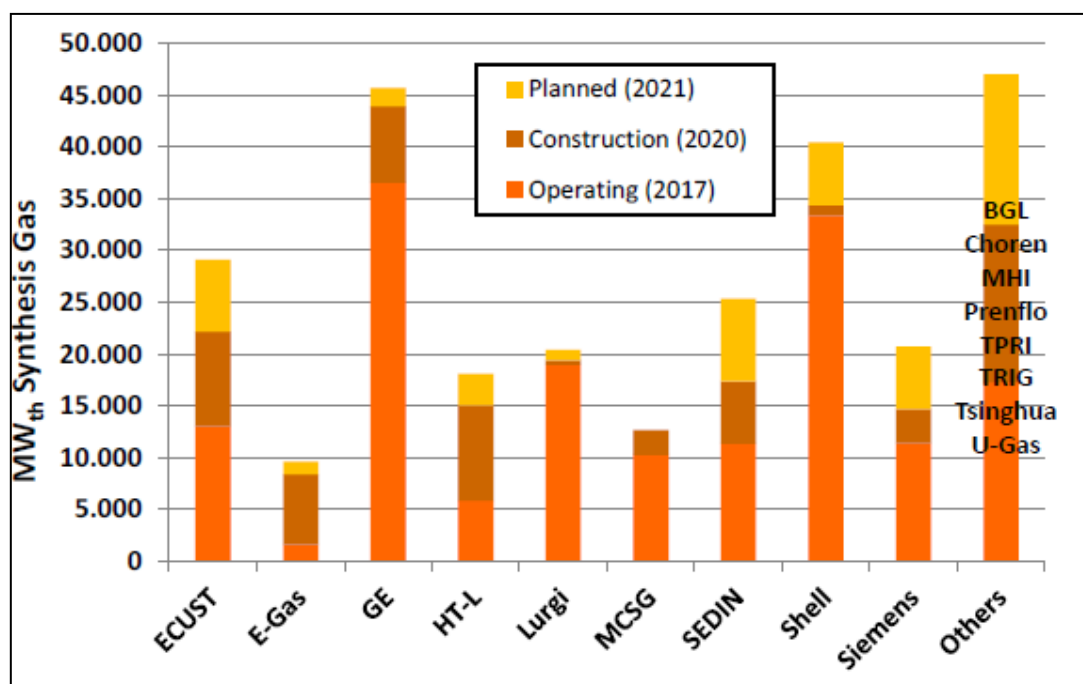
Rys. 7. Wykorzystanie gazu syntezowego w wytworzeniu produktów finalnych
1 – amoniak, 2 – metanol, 3 – wodór, 4 – paliwa płynne,
5 – energia elektryczna, 6 – SNG, 7 – inne [8, 9]

Analiza miejsc usytuowania pracujących na Świecie instalacji wykazuje, że instalacje te usytuowane są nierównomiernie na poszczególnych kontynentach. Najwięcej czynnych instalacji zgazowania znajduje się w Europie. Znaczne ilości tych instalacji pracuje w Azji i Ameryce Północnej. Aktualny stan rozmieszczenia instalacji zgazowania na Świecie pokazano na rysunku 8 [11].



Rys. 8. Rozmieszczenie instalacji zgazowania na poszczególnych kontynentach [10]

Aktualnie najbardziej rozpowszechnione technologie zgazowania wykorzystują reaktory dyspersyjne (43% produkcji gazu). Największy udział w produkcji gazu mają technologie GE/Texaco oraz Shell, a następnie ECUST (East China University of Science and Technology), Lurgi i Simens. Pokazano to na rysunku 9 [8]. Spośród planowanych do uruchomienia instalacji (instalacje budowane i w fazie rozwoju) najwięcej będzie wykorzystywało technologie zgazowania ECOUST, GE/Texaco i HT-L.



Rys. 9. Moc cieplna gazu syntezowego wytwarzanego w instalacjach pracujących na bazie różnych technologii [8]

3. Stan zaawansowania technologii zgazowania w Polsce

W Polsce nie pracuje żadna instalacja przemysłowa zgazowania węgla lub innych węglowodorów. Trwają prace nad wdrożeniem tych technologii i są one na różnym poziomie zaawansowania. W roku 2015 zakończone zostały prace w projekcie pt.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii”. Projekt był finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt.: „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”, a realizowany przez Konsorcjum „Zgazowanie węgla”, którego liderem była Akademia Górniczo-Hutnicza, a w jego skład weszli partnerzy naukowci: Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu i Politechnika Śląska w Gliwicach oraz partnerzy przemysłowi: Katowicki Holding Węglowy SA, KGHM Polska Miedź SA, Tauron Polska Energia SA, Tauron Wytwarzanie SA, Południowy Koncern Węglowy SA i ZAK SA. Podstawowym celem projektu było stworzenie konfiguracji i wytycznych do układu zgazowania węgla, mających tworzyć podstawy do budowy krajowych instalacji demonstracyjnych. Opracowano wówczas i zweryfikowano pozytywnie technologię ciśnieniowego zgazowania węgla. Powstała instalacja demonstracyjna CFBR z wykorzystaniem CO₂ jako czynnika zgazowującego. W oparciu o wyniki tej próby powstała dokumentacja i wstępne studium wykonalności tej instalacji. Przed dwoma laty szacowano, że instalacja do gazyfikacji węgla w Kędzierzynie-Koźlu może zużywać od 900 tys. do miliona ton węgla kamiennego rocznie, dając około 15 proc. potrzebnego gazu na potrzeby produkcji

metanolu i amoniaku. Zakłady Azotowe w Kędzierzynie Koźlu i Tauron podpisały list intencyjny dotyczący budowy instalacji, której uruchomienie planowane jest na lata 2021-2022 r. Szacowany koszt budowy to 400 - 600 mln euro [11]. W dalszym ciągu prowadzone są analizy opłacalności ekonomicznej tego przedsięwzięcia.

Interesującym jest też doniesienie o podpisaniu listu intencyjnego pomiędzy grupą kapitałową Enea a Lubelskim Węglem BOGDANKA dotyczącego budowy bloku energetycznego w technologii zgazowania węgla (IGCC), który będzie zlokalizowany w okolicach kopalni. Przewidywany termin budowy to lata 2020-2023. Obecnie opracowywane jest studium wykonalności projektu.

Również firma EnCoal Gasification Sp. z o.o. od kilku lat prowadzi starania o wdrożenie w Polsce technologii SGT (SES Gasification Technology). Prace te zostały poprzedzone kilkuletnimi badaniami światowego rynku rozwiązań w zakresie zgazowania węgla. Technologia SGT została wybrana, jako najbardziej efektywna ekonomicznie na rynku polskim.

Pozytywną ocenę technologii SGT, pod kątem możliwości jej wdrożenia w Polsce, wyrazili między innymi specjaliści z Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu, Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach, Komisji ekspertów powołanej przez TAURON Wytwarzanie S.A. do oceny efektywności dostępnych technologii w zakresie zagospodarowania mułów węglowych. Technologia SGT została wybrana przez wymienioną komisję do zastosowania w procesie rewitalizacji kotłów energetycznych o mocy 200 MW.

W dniu 9 listopada 2017 r. amerykański Synthesis Energy Systems Inc. (SES) z siedzibą w Houston i firma polska EnCoal Gasification Sp. z o.o. utworzyły spółkę Joint Venture pod nazwą SES EnCoal Energy z siedzibą w Warszawie. Utworzona SV SES EnCoal Energy będzie miała wyłączny dostęp do SES Gasification Technology (SGT) w Polsce.

4. Technologia zgazowania SGT (SES Gasification Technology)

Prace nad technologią SGT prowadzone były w laboratoriach rządowych USA przez ponad 35 lat. W rezultacie wieloletniego wysiłku stworzono elastyczną technologię zgazowania o szerokim spektrum możliwych do stosowania surowców. Znana była ona na świecie początkowo jako U-Gas. Prawa do tej technologii uzyskała firma SES, która w wyniku doświadczeń wdrożeniowych wprowadziła liczne modyfikacje i usprawnienia. Obecnie technologia ta funkcjonuje jako SGT (SES Gasification Technology).

Doprowadzenie technologii SGT do obecnego poziomu zostało poprzedzone nakładami finansowymi na prace badawczo rozwojowe i wdrożeniowe na poziomie około 700 mln USD:

- ok. 200 mln USD - prace badawczo rozwojowe: Gas Technology Institute (GTI),
- ok. 200 mln USD - komercjalizacja i inwestycje własne: SES,
- ponad 300 mln USD inwestycje własne i kredyty: zaangażowanie partnerów SES.

Technologia SGT jest uznawana za wiodącą na świecie w zakresie zagospodarowania materiałów węglowych niskiej jakości. Aktualnie SES posiada status globalnej firmy technologicznej. Jest spółką notowaną na giełdzie w Nowym Jorku. SGT dysponuje rekomendacjami w postaci pracujących instalacji w dużej skali, które są zlokalizowane na terenie Chin. O rozwoju firmy i jakości technologii świadczą kolejne kontrakty, zawierane przez SES, na budowę zakładów gazyfikacji, w różnych krajach świata.

Zgazowania materiałów węglowych w technologii SGT przebiega w reaktorach o innowacyjnym układzie geometrycznym, pracujących w jednostopniowym, bąblowym złożu fluidalnym. Proces w gazyfikatorze przebiega w relatywnie niskiej temperaturze, w stosunku do innych technologii, tj. od 840°C do 1100°C. Jest to poniżej temperatury topnienia popiołów dla węgla występujących w Polsce. Płynny popiół ogranicza cyrkulację tlenu oraz obniża efektywność procesu zgazowania. Ponadto reaktory pracujące w temperaturach wyższych wymagają specjalnych zabezpieczeń wnętrza gazyfikatora, co podwyższa koszty ich konstrukcji.

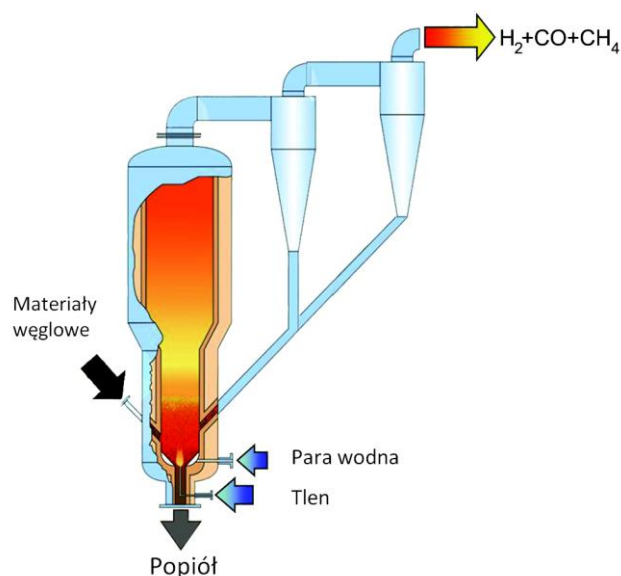
Ciśnienie w gazyfikatorze SGT wynosi od 3 do 40 barów. Jego poziom jest regulowany w zależności od dalszego przeznaczenia gazu syntezowego.

Węgiel zawarty w surowcu jest przetwarzany na poziomie 85%, z efektywnością konwersji na gaz syntezowy w wysokości 99,5%. Pozostałe 15% węgla jest przekształcane na energię cieplną niezbędną do podtrzymania procesu.

Klasyczne reaktory zgazowania w technologii SGT umożliwiają dobowy wsad surowcowy na poziomie od 200 do 1200 ton. Zmodernizowane gazyfikatory (pracujące z większym ciśnieniem) umożliwiają zgazowanie 3000 ton wsadu surowcowego na dobę.

Technologia SGT charakteryzuje się elastycznością w zakresie możliwości stosowania wsadu surowcowego (węgiel, biomasa, stałe odpady komunalne). Dotyczy to również zgazowania węgla o różnej jakości i wartości cieplnej. Z dużą sprawnością mogą być poddane procesowi zgazowania odpady węglowe i miały niskiej jakości (zanieczyszczone siarką i innymi substancjami, o wysokiej zawartości popiołów). Z powodzeniem zgazowywane są materiały węglowe nawet o kaloryczności 10 GJ/tonę. Natomiast, ze względu na optymalizację procesu, zaleca się stosowanie wsadu o wartości opałowej od 3500 kcal/kg (14,7 GJ/tonę). Opisano to w [6]. Schemat gazyfikatora przedstawiony został na rysunku 10. Dopuszczalne parametry surowców możliwych do zastosowania w technologii gazyfikacji SGT:

– Zawartość wilgoci [%]	1 – 41
– Substancje lotne [%]	3 – 69
– Zawartość węgla stałego [%]	6 – 83
– Siarka [%]	0,2 – 4,6
– Wskaźnik wolnego wydymania	0 – 8
– Zawartość popiołu [%]	<1 – 55
– Temperatura topliwości popiołu ° [C]	1037 – 1371
– Wartość opałowa [kJ/kg]	12791 – 32558



Rys. 10. Schemat gazyfikatora pracującego w technologii SGT [opr. własne]

W trakcie procesu zachodzącego w instalacji zgazowania odzyskiwane są substancje zawarte w wsadzie surowcowym (siarka, rtęć, i inne). Stanowią one produkty uboczne zakładu zgazowania i źródło dodatkowych przychodów.

Pozostałość mineralna z wsadu surowcowego przekształca się w popiół o zawartości węgla $< 1\%$. W związku z tym popiół ten może być wykorzystany jako surowiec w cementowniach i przy produkcji materiałów budowlanych.

Możliwości techniczne i prostota układu SGT dają w rezultacie lepszą lub taką samą niezawodność (dyspozycyjność) działania, jak inne technologie zgazowania surowców stałych. Technologia SGT ma mniej wymagające warunki niż wysoko temperaturowe technologie zgazowania (GE, Shell, Siemens, CBI) i jest mechanicznie prostsza niż główna, konkurencyjna, niskotemperaturowa technologia zgazowania (Lurgi). SES przewiduje ekwiwalentną dyspozycyjność $> 90\%$ oraz niezawodność ponad 98% dla projektów wykonanych zgodnie z dobrą praktyką inżynierską i zgodnie z przekazanymi specyfikacjami.

Istota przewagi konkurencyjnej technologii SGT nad innym rozwiązaniami polega głównie na:

1. Dużej elastyczności w zakresie stosowania surowców. Możliwe jest stosowanie mieszanek surowcowych np. biomasa + węgiel + odpady stałe.
2. Możliwości efektywnego zgazowania materiałów węglowych niskiej jakości (odpady węglowe, zanieczyszczone miały).
3. Niskich nakładach inwestycyjnych – gazyfikatory SGT posiadają prostą konstrukcję i bardzo wysoką wydajność. Większość elementów instalacji będzie można wykonać w Polsce. EnCoal uzyskał w tym zakresie zgodę SES.

4. Niskich kosztach operacyjnych wynikających z:
 - możliwości stosowania tańszych materiałów węglowych o charakterze odpadowym,
 - niewielkiego, w stosunku do innych technologii, zużycia tlenu spowodowanego niższą temperaturą procesu i brakiem powstawania płynnego popiołu, który zakłóca cyrkulację tlenu w reaktorze,
 - niskiego zużycia wody – stosowany jest wsad suchy oraz występuje bezwodne oczyszczenie gazu syntezowego.
5. Wysokiej konwersji węgla na gaz syntezowy – 99,5%
6. Czystości procesu – nie są tworzone smoły węglowe, oleje, naftaliny, fenole itp.

Interesującym rozwiązaniem proponowanym przez SES jest produkcja energii elektrycznej w układach I-GAS. Rozwiązanie to opiera się na wykorzystaniu oczyszczonego gazu syntezowego, jako paliwa zasilającego bezpośrednio turbiny gazowe wytwarzające energię elektryczną. Powstająca w procesie energia cieplna stanowi źródło dodatkowego zasilania turbiny parowej. Uzyskiwane emisje dwutlenku węgla i pozostałych zanieczyszczeń porównywalne są z układami energetycznymi zasilanymi gazem naturalnym.

Ponadto SES rozszerza swoją działalność na obszar Indii, Australii i Polski, czego dowodem jest utworzenie w Polsce JV – SES EnCoal Energy Sp. z o.o., która posiada wyłączność na stosowanie technologii SGT na terenie kraju.

W chwili obecnej w technologii SGT pracuje 12 systemów zgazowania, w pięciu zakładach na terenie Chin.

Wykaz instalacji referencyjnych pracujących w technologii SGT zamieszczono w tabeli 2. Na rysunkach 11 do 15 pokazano przykładowo pracujące instalacje zgazowania.

W drugiej połowie 2016 r. SES zawarł kontrakty na budowę kolejnych 20 zakładów zgazowania węgla na terenie Chin. Realizacja zamówień nastąpi w ciągu najbliższych 5 lat. Wartość każdego z projektów wynosi od 80 do 400 mln USD.

Instalacje referencyjne pracujące w technologii SGT

Tabela 2.

Nazwa projektu SES	Zao Zhuang	Yima	Chalco Shandong	Chalco Shanxi	Chalco Henan
Rok uruchomienia	2008	2013	2015	2016	2016
Ilość instalacji zgazowania	2	3	2	1	4
Produkcja syngazu (m ³ /h)	20.000	90.000	80.000	28.000	120.000
Główny produkt	Metanol	Metanol	Paliwo gazowe	Paliwo gazowe	Paliwo gazowe
Roczna produkcja	90.000 Mt	300.000 Mt	9,33 PJ	3,27 PJ	14 PJ



Rys. 11. ZZ Instalacja demonstracyjna – 2 systemy SGT



Rys. 12. Chalco Shandong – 2 systemy SGT



Rys. 13. Chalco Shanxi – 1 system SGT



Rys. 14. Chalco Henan – 4 systemy SGT



Rys. 15. Yima JV – 3 systemy SGT

5. Podsumowanie

Informacje prezentowane w niniejszym rozdziale wskazują, iż w gospodarce światowej wyraźnie wzrasta zainteresowanie technologiami zgazowania surowców energetycznych. Świadczy o tym zarówno wzrastająca liczba pracujących, budowanych i planowanych instalacji i reaktorów, jak i wyraźnie wzrastająca moc cieplna gazu syntezowego wytwarzanego w tych instalacjach. Analizując aktualne światowe trendy w technologiach zgazowania można zauważyć dwie pozornie przeciwstawne tendencje. Pierwsza z tych tendencji dotyczy nowych instalacji zgazowania, głównie węgla, dla celów produkcji substancji chemicznych lub energii. Instalacje te stają się coraz większe. Tendencja ta wyraźnie widoczna jest w Azji i na Bliskim Wschodzie. Z drugiej strony wzrasta liczba instalacji zgazowania biomasy oraz innych odpadów, które charakteryzują się znacznie mniejszymi rozmiarami porównaniu z wielkimi jednostkami wytwarzającymi produkty na skale przemysłową. Często instalacje takie powstają w celu zaspokojenia, na przykład, potrzeb energetycznych miast.

W przypadku Polski wydaje się koniecznym podjęcie bardziej energicznych starań dotyczących wdrożenia do praktyki przemysłowej instalacji zgazowania węgla. Mamy ku temu wszelkie przesłanki. Są znaczne zasoby surowcowe, wprowadzane są restrykcyjne przepisy ograniczające emisję CO₂, które grożą konsekwencjami finansowymi. Jednocześnie na świecie są rozpoznane i wdrożone technologie zgazowania oraz partnerzy wyrażający chęć współpracy w tym zakresie.

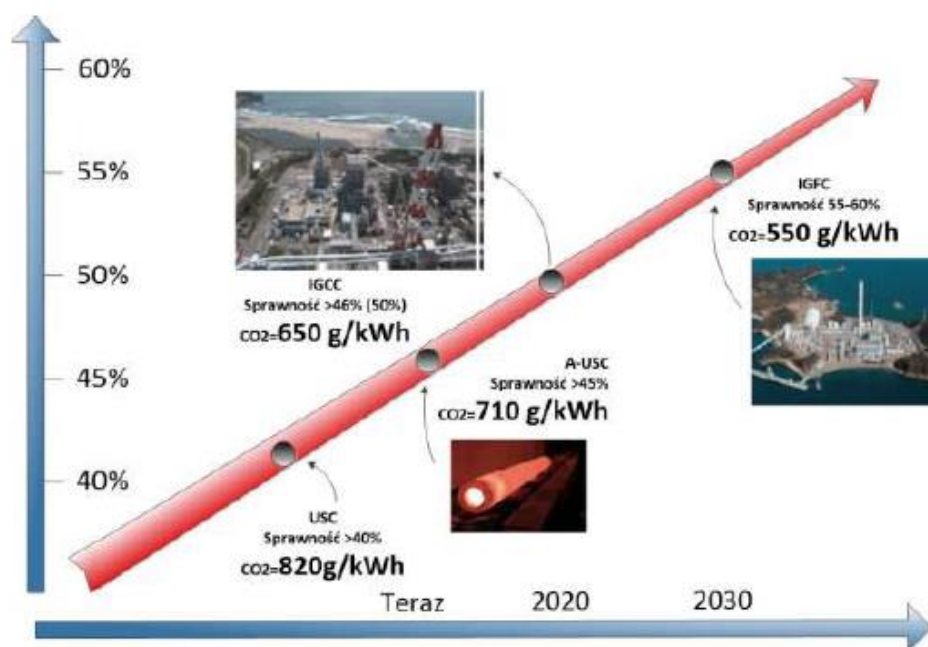
Podkreślić należy, że Polska do końca przyszłej dekady będzie musiała zmniejszyć emisje gazów cieplarnianych w sektorach transportu, budownictwa, rolnictwa, odpadów, użytkowania gruntów i leśnictwa o 7 proc. w stosunku do 2005 roku. Ponadto Komisja Europejska proponuje, aby jednostki objęte tzw. rynkiem mocy miały emisyjność poniżej 550 gramów CO₂ na 1 kWh. Wprawdzie warunku tego nie spełniają instalacje zgazowujące tylko węgiel, ale warunek ten może być spełniony, jeżeli bloki wielopaliwowe opalane będą zarówno węglem,

jak i odpadami lub biomasą. W jednostkach wielopaliwowych bowiem część CO_2 wygenerowana przez paliwa alternatywne (jak RDF i biomasa) nie będzie wliczana do emisji CO_2 danej jednostki, dzięki temu może ona spełnić wymóg emisji CO_2 poniżej 550 g/kWh.

Opisana powyżej technologia SGT pozwala na jednoczesne spalanie węgla niskich jakości np. odpadów węglowych powstających w bieżącej produkcji oraz zdeponowanych w okresach wcześniejszych w osadnikach ziemnych, co opisano w [6] oraz paliwo z odpadów (RDF).

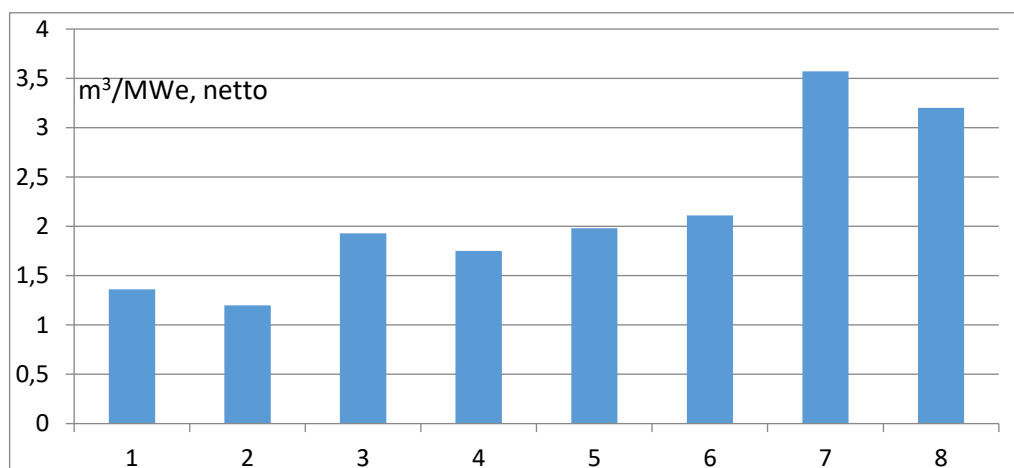
Ponadto zaznaczyć należy, że w technologii zgazowania istnieje możliwość separacji czystego strumienia CO_2 na etapie oczyszczania gazu syntezowego. Dzięki temu jest możliwe jego zagospodarowanie w technologiach, które aktualnie dynamicznie na świecie powstają. Natomiast wydzielenie czystego dwutlenku węgla np. ze spalin w elektrowniach węglowych jest o wiele bardziej kosztowne i złożone technicznie.

Przełom w technologii zgazowania, jako elementu układu technologicznego do produkcji energii elektrycznej, jest możliwy przy zastosowaniu układów zgazowania węgla z ogniwami paliwowymi. Przewiduje się, że takie rozwiązanie pozwala ograniczyć emisję CO_2 do poziomu 550 g/kWh. Prace z tego zakresu prowadzone są m.in. w Japonii przy wykorzystaniu nowej technologii zgazowania w reaktorze dyspersyjnym EAGLE [5], a koordynowane przez NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization). Perspektywę czasową rozwoju tej nowatorskiej technologii przedstawia rysunek 16.



Rys. 16. Prognoza emisji CO_2 w świetle rozwoju technologii zgazowania węgla do zastosowań w pozyskiwaniu energii [5]

Rekomendując technologie zgazowania dla praktyki przemysłowej produkcji energii elektrycznej podkreślić należy, że zużywają one znacznie mniej wody procesowej, w porównaniu z elektrowniami konwencjonalnymi [3]. Pokazuje to rysunek 17.



Rys. 17. Względne zużycie wody w układach produkcji energii [3]

- 1 – IGCC/GE, 2 – IGCC/Schell, 3 – Blok parowy/parametry podkrytyczne, 4 – Blok parowy/parametry nadkrytyczne, 5 – IGCC/GE; wychwyt CO₂, 6 – IGCC/Schell; wychwyt CO₂, 7 – Blok parowy/parametry podkrytyczne; wychwyt CO₂, 8 – Blok parowy/parametry nadkrytyczne; wychwyt CO₂

Jak wynika z przedstawionego rysunku w przypadku układów IGCC możliwe jest w wytworzeniu energii elektrycznej znaczne, bo wynoszące od 20 do 40%, obniżenie zużycia wody w stosunku do układów tradycyjnych.

Jest to niezwykle istotne w świetle pojawiających się coraz częściej problemów dotyczących gospodarki wodą.

Literatura

1. Chmielniak T., Ściażko M. ; Technologia i efektywność energetyczna zgazowania węgla. Nowa Energia - 5-6/2017
2. Coca M. T.: Elcogas; Integrated gasification combined cycle technology: IGCC. Its actual application in Spain: ELCOGAS. Puertollano, Elcogas S.A., Club Español de la Energía.
3. Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants Volume 1: Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity, Revision 2, November 2010; DOE/NETL-2010/1397.
4. Higman C.: State of the Gasification Industry - the Updated Worldwide Gasification Database. Gasification Technology Conference, Colorado Springs, 2013.

5. Hiroshi SANO: NEDO's Clean Coal Technology Development for reduction of CO₂ emissions; NEDO, 12. 6. 2016.
6. Lutyński A., Lutyński M.: Wykorzystanie odpadów węglowych w technologiach zgazowania. Rozdział w monografii: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo – Jakość – Efektywność. Redakcja naukowa: prof. dr hab. inż. Adam Klich, dr inż. Antoni Koziół. ISBN 978-83-65593-02-3 Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice 2017 r. str. 140-156.
7. Ściążko M., Chmielniak T.: Cost Estimates of Coal Gasification for Chemicals and Motor Fuels, [in:] Yongseung Yun (ed.): Gasification for Practical Applications, InTech (2012). DOI:10.5772/48556, <http://www.intechopen.com/book/gasificationforpracticalapplications/cost-estimates-of-coal-gasification-for-chemicals-and-motor-fuels>.
8. GSTC Syngas Database: 2017 Update Gasification & Syngas Technologies Conference Colorado Springs, 17th October, 2017
9. State of the Gasification Industry: Worldwide Gasification and Syngas Databases 2016 Update. Gasification & Syngas Technologies Conference Vancouver, 19th October, 2016
10. <http://www.globalsyngas.org/resources/map-of-gasification-facilities/>
11. <https://www.salon24.pl/u/energetyka/772805,w-polsce-powstanie-instalacja-do-gazyfikacji-wegla>

INDEKS AUTORÓW

[Klaudia Bańczyk](#)
[Jolanta Biegańska](#)
[Stanisław Budzyń](#)
[Marcin Czapiek](#)
[Agata Jakóbik-Kolon](#)
[Tomasz Kaletka](#)
[Marek Kryca](#)
[Wojciech Książkiewicz](#)
[Ewa Laskowska](#)
[Aleksander Lutyński](#)
[Marcin Lutyński](#)
[Janusz Łada](#)
[Katarzyna Ławińska](#)
[Krzysztof Mitko](#)
[Remigiusz Modrzewski](#)
[Adam Mura](#)
[Piotr Myszkowski](#)
[Roman Orlik](#)
[Piotr Pasiowiec](#)
[Jan Sidor](#)
[Barbara Tora](#)
[Marian Turek](#)
[Jerzy Wajs](#)
[Roman Wenglorz](#)
[Piotr Wodziński](#)

www.fitwork.eu



Czym jest projekt FitWork?

W Unii Europejskiej choroby układu mięśniowo-szkieletowego (MSD) są najczęściej występującymi chorobami zawodowymi i najważniejszą przyczyną długotrwałych zwolnień lekarskich. Wprowadzanie strategii przeciwdziałającej MSD jest celem nadrzędnym wielu europejskich firm. Strategia ta może być realizowana w formie programów zwiększenia aktywności fizycznej, jako że korzyści wynikające z aktywnego stylu życia zostały powszechnie udowodnione. Zastosowanie programu ćwiczeń fizycznych na stanowisku pracy może znacząco zredukować występowanie chorób a tym samym dni nieobecności w pracy.

Jak zamierzamy to zrealizować?

Pierwszy etap polegał na identyfikacji najlepszych praktyk dla PPZMP w firmach związanych z przemysłem i usługami. W drugim etapie doprecyzowano PPZMP do określonych, wymaganych zadań pracownika. Wymagało to określenia MSD, które mogą być łagodzone poprzez zwiększoną aktywność fizyczną. Tak określony PPZMP wdrożono i jest obecnie oceniany w rzeczywistych warunkach w ramach trzeciego etapu. Natomiast w czwartym etapie będą analizowane wyniki z realizacji tych pilotowych działań. Etap ten będzie obejmował również zdefiniowanie dobrych praktyk do stworzenia PPZMP, który będzie wprowadzany w firmach Unii Europejskiej. W piątym etapie rozpowszechniane będą wyniki tego projektu. Poprzez realizację tych zadań, konsorcjum zamierza promować wprowadzanie PPZMP w firmach jako strategię ochrony pracowników Unii Europejskiej przed skutkami MSD.

Celem programu FitWork jest poprawa samopoczucia pracowników poprzez wprowadzanie programów zwiększenia aktywności fizycznej, dopasowanych do specyfiki zadań wykonywanych przez pracowników.

Co chcielibyśmy osiągnąć?

Naszym celem jest wdrożenie dobrych praktyk wspierających specjalistów ergonomii, zdrowia i bezpieczeństwa pracy w wprowadzaniu programów zwiększających aktywność fizyczną. Aby zrealizować ten cel:

- Specjaliści w dziedzinie ergonomii, zdrowia i bezpieczeństwa pracy opracowali indywidualny Program Promocji Zdrowia w Miejscu Pracy (PPZMP), który wdrażono w firmach produkcyjnych, usługowych oraz instytucjach.
- PPZMP będzie oceniany w realnym środowisku przez sześć miesięcy.





INSTITUTO DE
BIOMECÁNICA
DE VALENCIA



Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology



KOMAG



ROMTENS



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



ERASMUS+

Ten projekt został zrealizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej. Projekt lub publikacja odzwierciedlają jedynie stanowisko ich autora i Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za umieszczoną w nich zawartość merytoryczną.