

## Budowa i zastosowanie układów kruszenia

dr hab. inż. Jan Sidor, prof. nadzw. AGH  
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

### Construction and application of crushing systems

#### 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 węzle 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.

Słowa kluczowe: kruszarka, układ technologiczny, układ kruszenia

Keywords: crusher, technological system, crushing system

#### 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 z 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 przerobczego (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 godzinową, zmianową, 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 pracuje w cyklu zamkniętym.

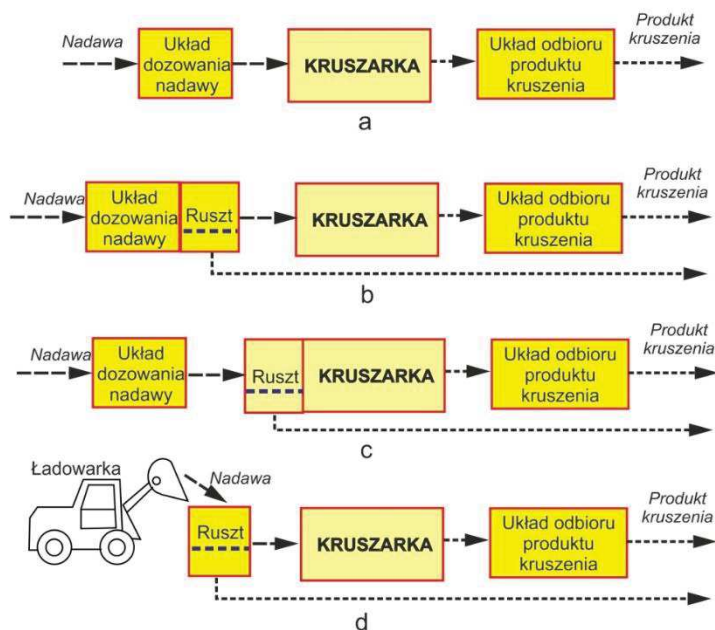
Ze względu na środowisko i warunki technologiczne procesu kruszenia wyróżnia się układy kruszenia z procesem rozdrabniania zachodzącym w:

- 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

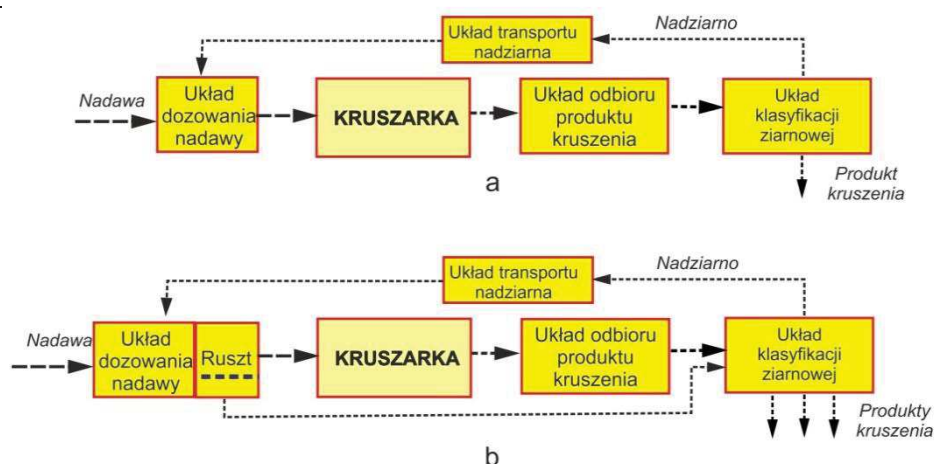
Na rysunku 1 zamieszczono cztery warianty budowy najmniej skomplikowanych, jednostopniowych układów kruszenia – kruszarek pracujących w cyklu otwartym.



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

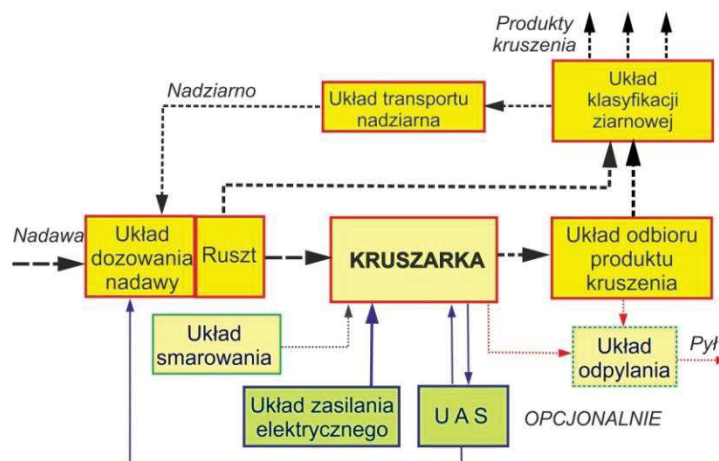
Rysunek 1 nie uwzględnia jeszcze dwóch wariantów układu kruszenia. Wariantu, w którym dozowanie nadawy odbywa się bezpośrednio z wozidła. Wariant ten stosowany jest w dozowaniu kruszarek stożkowych o dużej wydajności. Drugi wariant to układ, w którym oprócz procesu rozdrabniania występuje proces suszenia. 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 różnicą 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 kilkupokładowym

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:

- wypełnienie 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.

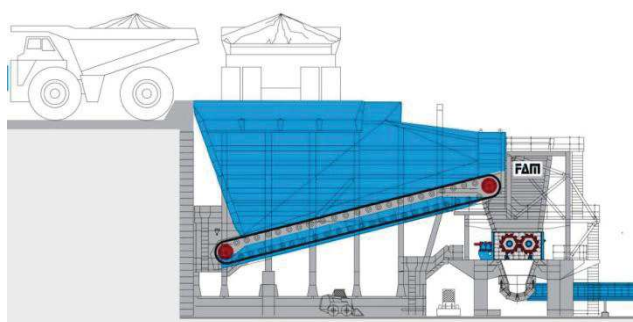
Układy stacjonarne stosowane są najczęściej w zakładach przerobczych, do których nadawa sprowadzana jest z kilku kopalni lub złóż, a produkt kruszenia jest podawany do kolejnego procesu rozdrabniania – mielenia.

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

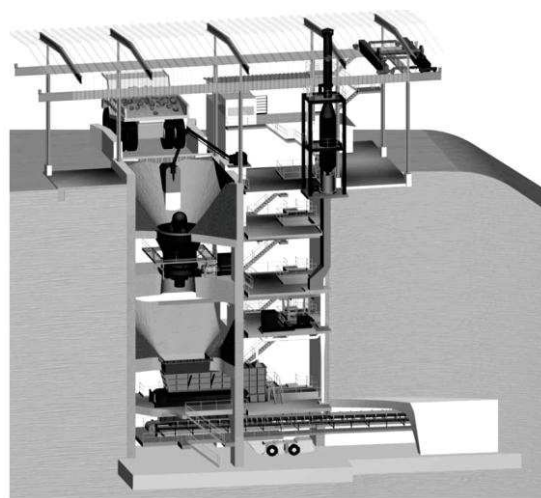
- dozowanie bezpośrednio do kruszarki (leja, paszczy) z samochodu, wozidła lub ładowarki – rozwiązanie stosowane przy kruszarkach szczękowych i stożkowych,
- dozowanie przez podajnik stalowo-członowy – stosowane w układach pierwszego stopnia kruszarek bijakowych i młotkowych,
- dozowanie z samochodu,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

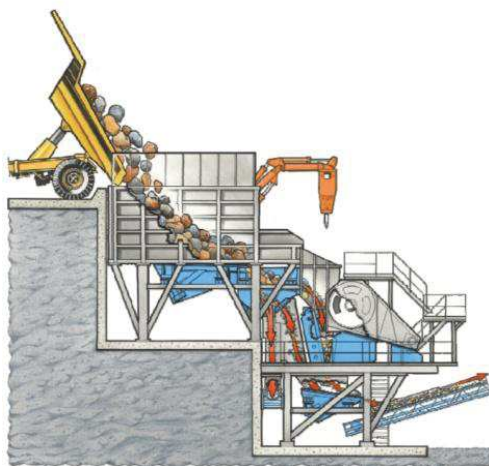
Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych typowych stacjonarnych układów kruszenia zamieszczono na rysunkach 4÷7.



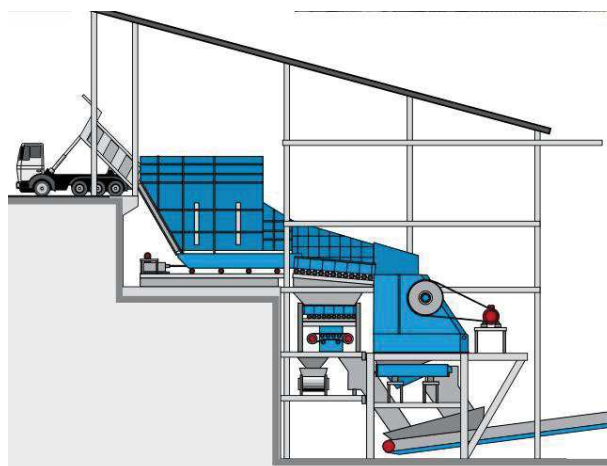
Rys. 4. Układ kruszenia bez wstępnego odsiewania z dozowaniem przenośnikiem stalowo-członowym firmy FAM [16]



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.



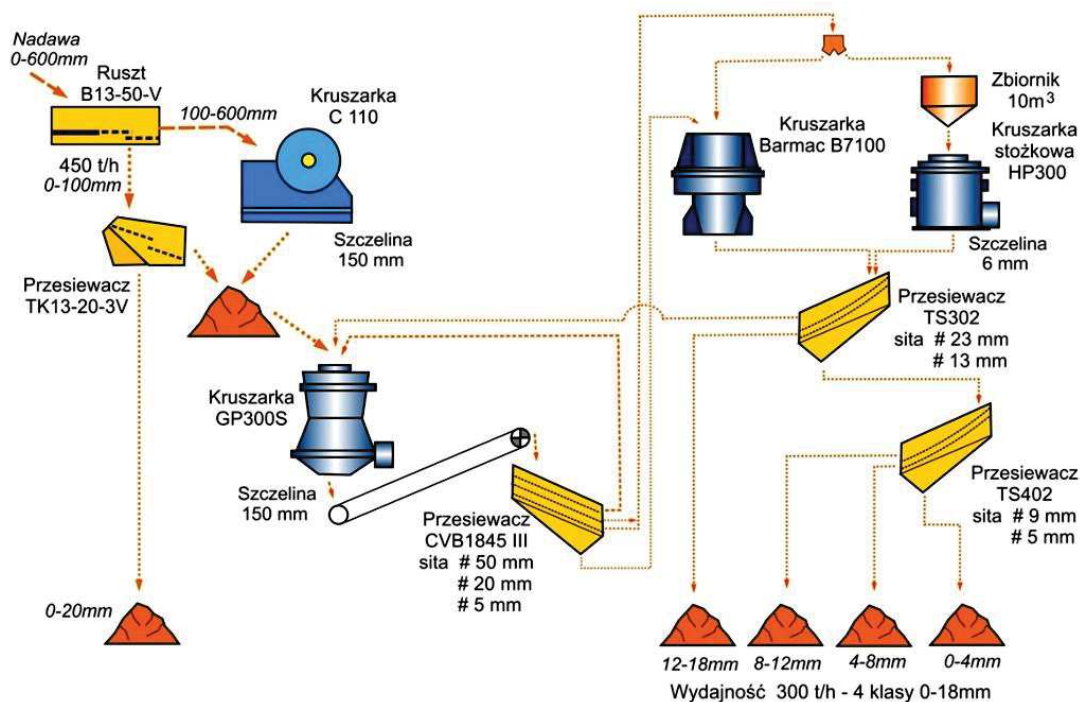
Rys. 8. Układ kruszenia kruszarki odśrodkowej z dozowaniem podajnikiem wibracyjnym bez odsiewania nadziarna [19]



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 wodzideł, 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 S.A., 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 przerobczych, ze 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.



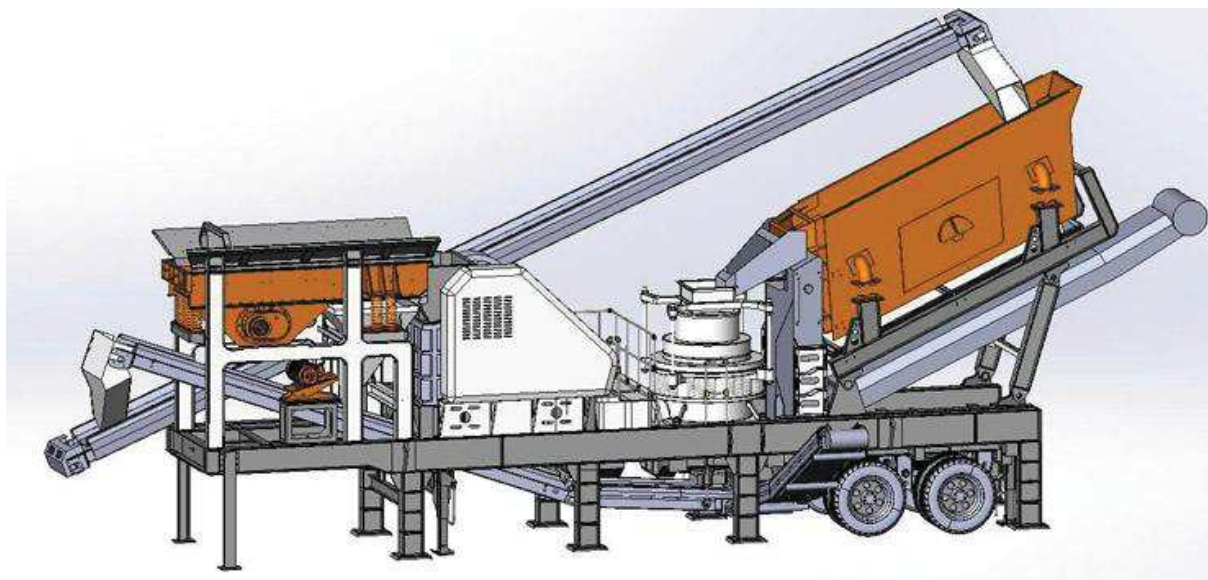
Rys. 13. Semimobilny układ kruszenia firmy Metso NW116 z kruszarką szczękową [22]

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 ścisnienie 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 S.A., Makrum S.A., Goster, Lento. Układy te szczególnie są przydatne dla zakładów przerobczych o wydajności nie przekraczającej 100 Mg/h.

Na rysunku 15 zamieszczono układ kontenerowy firmy KGHM Zanam S.A., 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  $34 \text{ m}^3/\text{h}$  – przy rozdrabnianiu gruzu budowlanego oraz do  $24 \text{ m}^3/\text{h}$  – przy rozdrabnianiu granitu, przy zainstalowanej mocy  $90 \text{ kW}$  oraz masie  $22 \text{ Mg}$  [26].

## 6. Podsumowanie

W ostatnich latach można zaobserwować rozwój układów przerobczych 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  $200 \text{ MPa}$  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] Antoniak J.: System kruszenia i odstawy przenośnikowej w kopalni odkrywkowej surowców zwięzłych. 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](http://www.easyfairs.com/uploads/tx_ef/P-B-2013-comex.pdf) (02.03.2018)
- [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](http://www.fam.de) (02.03.2018)
- [17] Boyd K.: Crushing Plant Design and Layout Considerations [www.china-sand-maker.com/propdf2/20160118014727557.pdf](http://www.china-sand-maker.com/propdf2/20160118014727557.pdf)
- [18] <https://www.911metallurgist.com/blog/primary-crusher-selection> (02.03.2018)
- [19] <http://www.directindustry.com/prod/bhs-sonthofen/product-61414-1143515.html> (02.03.2018)

- [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> (02.03.2018)
- [24] <http://www.hsicrusher.com/30-50-tph-small-mobile-crusher-station/>
- [25] <http://www.kghmzanam.com/produkty/kruszarki/kruszarki-03/kk150ge> (02.03.2018)

*Powyższy artykuł jest przedrukiem z materiałów konferencyjnych KOMEKO 2018 -  
19. Konferencji Naukowo-Technicznej  
Innowacyjne i Przyjazne dla Środowiska Techniki i Technologie  
Przeróbki Surowców Mineralnych BEZPIECZEŃSTWO – JAKOŚĆ – EFEKTYWNOŚĆ*

*Czy wiesz, że ....*

*...ceny surowców na świecie są coraz wyższe. Wskaźniki kapitałowe firm wydobywczych ostro wzrosły od początku 2018 roku. Rosną również, po raz pierwszy od pięciu lat, kwoty przeznaczone w budżetach na prace geologiczno-poszukiwawcze, kończąc długi okres spadków w przemyśle produkującym maszyny i urządzenia dla branży. Dzieje się tak przy wciąż utrzymujących się wysokich kosztach i silnej konkurencji na rynkach. Węgiel, którego wydobycie w roku 2017 wyniosło 6900 mln ton, pozostaje niekwestionowanym liderem wśród wydobywanych surowców. Jednak jego przyszłość jest niepewna ze względu na dyskusje wokół zmian klimatycznych na ziemi. Niemniej jednak, globalny wzrost zapotrzebowania na surowce, wobec osiągnięcia granic produktywności istniejących kopalń, wskazuje na konieczność realizacji nowych projektów wydobywczych.*

*AT Mineral Processing 2018 nr 4 s.54-65*