

*Tomasz Gawenda**

PROBLEMATYKA DOBORU MASZYN KRUSZĄCYCH W INSTALACJACH PRODUKCJI KRUSZYW MINERALNYCH

1. Rola procesów rozdrabniania w przeróbce surowców mineralnych

Rozdrabnianie to jeden z najbardziej energochłonnych procesów technologicznych, którego celem jest doprowadzenie surowców mineralnych do odpowiedniego uziarnienia. Proces ten jest złożony i zależy od wielu czynników, między innymi od rozmiaru i formy rozdrabnianych ziarn, wzajemnego ich ułożenia w komorze kruszącej maszyny, parametrów technologicznych kruszarki, fizykochemicznych właściwości materiału, trajektorii i prędkości przemieszczania się ziarn itd.

Procesy rozdrabniania znajdują szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach przetwórstwa rozmaitych surowców, mające na celu uzyskanie gotowego produktu np. kruszyw mineralnych o odpowiednim uziarnieniu (operacja główna), bądź doprowadzenie materiału do takiego stanu, aby uwolnić wprysnięcia składnika użytecznego od skały płonnej (operacja przygotowawcza do procesu wzbogacania). Również procesy rozdrabniania wykorzystuje się w celu uszlachetniania kruszyw mineralnych. Takie postępowanie polega na poddawaniu określonych klas ziarnowych kruszyw odpowiednio przygotowanemu i uregulowanemu rozdrabnianiu, w trakcie którego zostają rozdrobnione ziarna posiadające defekty naturalne lub powstałe w momencie urabiania. Rozdrabnianie uszlachetniające kruszyw to także celowe zwiększenie udziału ziaren przetraconych z owalnych ziaren żwiru, aby zwiększyć ich powierzchnię właściwą, lub uszlachetnianie związane z oczyszczeniem zanieczyszczeń ilastych pod wpływem uderzenia [4, 9].

Zanotowany w ostatnich latach intensywny rozwój przemysłu budowlanego i drogowego spowodował duży popyt na kruszywa łamane produkowane z surowców skalnych o wysokiej jakości. W budownictwie wszelkiego rodzaju kruszywa wykorzystuje się do produkcji betonów, zapraw murarskich, tynkarskich itp. Drogownictwo natomiast zużywa kruszywa

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

na podbudowy dróg oraz do produkcji nawierzchni drogowych. Należy podkreślić, że oprócz odpowiedniego składu ziarnowego, bardzo często zwraca się uwagę na kształt ziaren produktów rozdrobnienia. W przeważającej większości wymagany jest foremny kształt ziarn, ale czasami zdarzają się wyjątki i jest całkiem na odwrót (np. w przeróbce rud, ziarna nieforemne łatwiej podlegają procesowi flotacji albo w piecach hutniczych topniki umożliwiają dłuższy przepływ gazów).

2. Maszyny stosowane do kruszenia

Maszyny kruszące obecnie oferowane na rynku odznaczają się olbrzymią elastycznością pod względem ich zastosowania i przeznaczenia, budowy oraz ich obsługi. W ostatnich latach pojawiły się nowe lub udoskonalone rozwiązania maszyn, np. kruszarki wertykalne (z wałem pionowym) potocznie nazywane kubizerami, kruszarki rewersyjne udarowe, prasy walcowe wysokociśnieniowe nowej generacji. Modna stała się także produkcja kruszarek mobilnych oferowanych w takim lub podobnym asortymencie jak kruszarki stacjonarne, cieszących się znakomitą opinią ze względu na praktyczność i uniwersalność ich zastosowania. Warto zwrócić także uwagę, że kruszarki stacjonarne jak i mobilne mogą być napędzane silnikiem elektrycznym, hydraulicznym, spalinowym lub w kombinacji silników spalinowego i elektrycznego oraz spalinowego i hydraulicznego.

Kruszarki mają zastosowanie najczęściej w przemyśle górniczym (przeróbka rud, węgla i surowców skalnych), hutniczym, cementowym, ceramicznym oraz w przeróbce odpadów stałych.

W tabeli 1 dokonano podziału prawie wszystkich maszyn kruszących oraz podano ich praktyczne zastosowania, do którego posłużono się danymi z kilkudziesięciu firm produkujących takie maszyny [3].

Wiodącymi producentami europejskimi są: Metso Minerals (Svedala, Nordberg), Sandvik Mining+Construction Central Europe GMBH, Magotteaux, Weil Brechertechnik GMBH, Hazemag & Epr GMBG, KHD Humboldt Wedag AG, Retsch GMBH, PSP Engineering a.s., Maschinenfabrik Liezen GMBH (przedstawiciel MRC Doltech Sp. z o.o.), Thyssenkrupp Foerdertechnik GMBH, Koeppern, a także pozostałe firmy: Aubema Crushing Technology GMBG, PSP Vertriebs GMBH, Brauer Aufbereitungsmaschinen GMBH & CO, FAM, GIPO AG, KDS Maschinenbau GMBH, Liedlbauer Aufbereitungstechnik, Reiter & Crippa S.R.L., Vortex Zerkleinerungstechnik GMBH, Merz Aufbereitungstechnik GMBH, DBT Mineral Processing GMBH, Thomaco Baumaschinen GMBH, Ammann Aufbereitung AG, BHS-Sonthofen, Lut Metalltechnik GMBH, Martin Steckert, Giegold Maschinenbau GMBH.

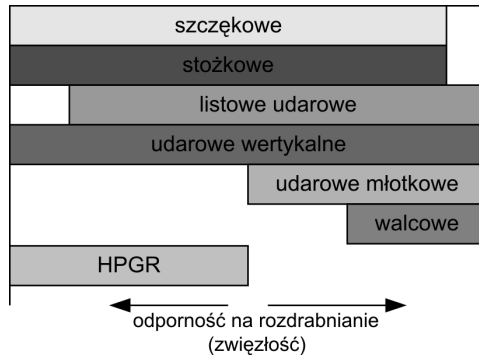
W Polsce kruszarki produkują firmy Makrum SA, Zanam-Legmet Sp z o.o, Zakłady Urządzeń Technicznych SA Wamag, Ofama Sp. z o.o.

Na rysunkach 1–4 przedstawiono możliwości zastosowania poszczególnych kruszarek w zależności od ich przeznaczenia dla surowców o różnych właściwościach fizyko-mechanicznych, wydajności, maksymalnego uziarnienia nadawy i produktów.

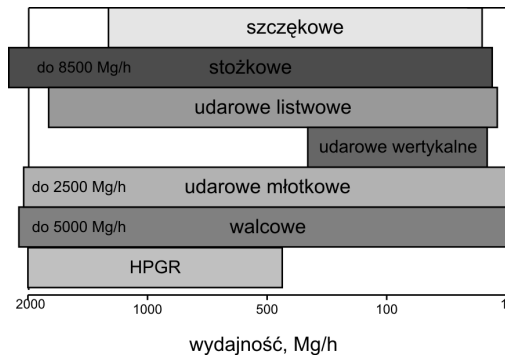
TABELA 1

Podział maszyn do kruszenia oraz przykłady ich zastosowania (Opracowanie własne na podstawie [3])

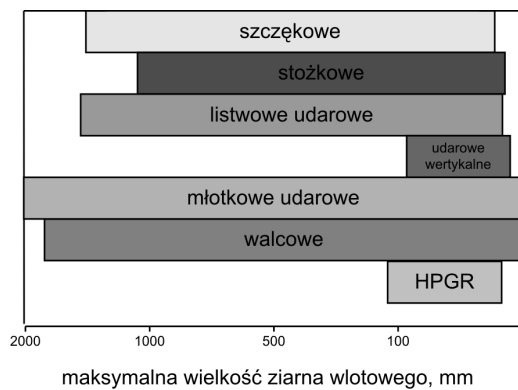
Rodzaje kruszarek (podział ze względu na budowę i ich typy)		Przykłady zastosowania
szczętkowe	<ul style="list-style-type: none"> – jednorozporowe (ruch prosty lub złożony), dwurozporowe (ruch prosty); – granulatory szczętkowe (ruch złożony), kombinowane (np. szczętkowo-walcowa) 	<ul style="list-style-type: none"> – najczęściej: surowce skalne średnio-twarde, twarde, rudy, żużel hutniczy, gruz budowlany; – rzadko: węgiel, (mobilne) odpady komunalne i klinkier cementowy
stożkowe	<ul style="list-style-type: none"> – z wałem podwieszanym lub wspartym; – żyrator, granulator stożkowy 	<ul style="list-style-type: none"> – najczęściej: surowce skalne miękkie, średnio-twarde, twarde, klinkier cementowy, rudy, żużel hutniczy, odpady komunalne; – bardzo rzadko: gruz budowlany
wirnikowe udarowe młotkowe	<ul style="list-style-type: none"> – młotkowe jedno i dwuwirnikowe; – młyny młotkowe, kombinowane (młotkowo-udarowe, młotkowe z walcami) 	<ul style="list-style-type: none"> – najczęściej: surowce skalne miękkie, średnio-twarde, twarde, węgiel, rudy, żużel hutniczy, asfalt, odpady komunalne; – rzadko: gruz budowlany, żwir
wirnikowe udarowe listwowe	<ul style="list-style-type: none"> – z wałem poziomym dezintegratory, młyny udarowe; – z wałem pionowym (wertykalne-kubizery) 	<ul style="list-style-type: none"> – najczęściej: gruz budowlany, żwir, kamień miękki, średnio-twarde, twarde, rudy, żużel hutniczy, węgiel, (mobilne) i klinkier cementowy; – bardzo rzadko: odpady komunalne
walcowe	<ul style="list-style-type: none"> – jednowalcowe, dwuwalcowe, wielowalcowe, kombinowane: (walcowo-udarowe, walcowo-młotkowe); – z walcami gładkimi lub uzębionymi 	<ul style="list-style-type: none"> – najczęściej: surowce skalne miękkie, średnio-twarde, rudy miękkie, popioły elektrociepłownicze, żużel hutniczy, gruz budowlany (cegła), surowce ilaste; – bardzo rzadko: węgiel, (mobilne) odpady komunalne i klinkier cementowy
prasy walcowe wysokociśnieniowe HPGR	<ul style="list-style-type: none"> – z okładzinami walców typu hexadur, V i korek 	<ul style="list-style-type: none"> – najczęściej: rudy, klinkier cementowy, surowce węglanowe



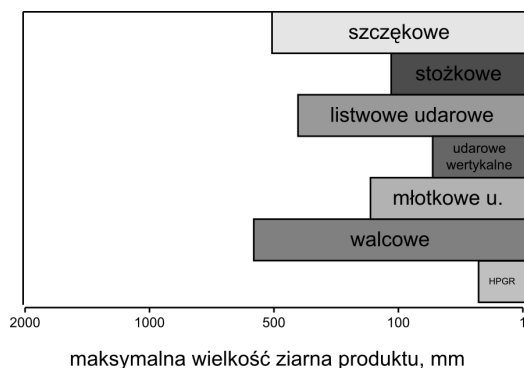
Rys. 1. Podział kruszarek według ich przeznaczenia dla materiałów o różnych właściwościach fizyko-mechanicznych (Opracowanie własne)



Rys. 2. Podział kruszarek według wydajności (Opracowanie własne)



Rys. 3. Podział kruszarek według maksymalnej wielkości ziaren nadawy (Opracowanie własne)



Rys. 4. Podział kruszarek według maksymalnej wielkości ziaren produktu (Opracowanie własne)

3. Dobór maszyn kruszących

W produkcji kruszyw łamanych bardzo ważnym elementem jest odpowiedni dobór typu kruszarki, który pozwoli osiągnąć uziarnienie o odpowiednich wychodach poszczególnych klas ziarnowych i możliwie regularnych kształtach ziaren. W badaniach wpływu typów maszyn rozdrabniających na skład ziarnowy oraz kształt ziaren został ustalony ich bezpośredni związek i dzięki temu jest możliwe wyprodukowanie materiałów wyjściowych o pożądanym uziarnieniu [1].

Przebieg procesu kruszenia, tzn. pękanie i przemieszczanie się materiału zależy głównie (poza właściwościami surowca) od konstrukcji maszyny i sposobu działania, w której występują skomplikowane zjawiska towarzyszące kruszeniu, a więc od ukształtowania przestrzeni roboczej i organów roboczych (np. powierzchni roboczych płyt kruszących, kształtu stożków, młotków, bijaków, położenia płyt odbojowych itd.), a następnie od cech kinematycznych maszyny [9].

Gabaryty kruszarek mają niewątpliwie duży wpływ na proces kruszenia, gdyż w dużych maszynach pękają bryły o znacznych wymiarach, a oddziaływania między tymi bryłami nie mają wielkiego wpływu na siły i energię kruszenia. W kruszarkach średnich i małych oddziaływania między mniejszymi ziarnami kruszonymi mają znaczny wpływ na te wielkości, głównie w dolnych strefach przestrzeni roboczej, gdzie zachodzi zagęszczenie ośrodka [12].

Maszyny służące do rozdrabniania dobiera się odpowiednio do danego materiału zgodnie z rysunkiem 1, uwzględniając przede wszystkim jego właściwości decydujące o podatności na różne rodzaje działań kruszących [7]. Materiały twarde rozdrabnia się przez udar, mniej twarde przez zgniatanie, miękkie przez zgniatanie, łamanie lub ścieranie, ilaste i lepkie przez ścieranie. Do rozdrabniania ziaren grubych stosuje się zgniatanie, do średnich — zgniatanie lub udar, do drobnych — ścieranie lub udar. Rumpf [10] zalecał dobierać urządzenia kruszące w zależności od twardości rozdrabnianego materiału.

W zakładach przeróbki surowców skalnych najczęściej używane są kruszarki szczękowe, stożkowe, młotkowe i udarowe (odrzutowe) z wałem poziomym lub pionowym. Na wstępnych stopniach kruszenia pracują najczęściej kruszarki szczękowe lub stożkowe, (nie jest to jednak regułą, bo np. w cementowniach najczęściej stosowane są kruszarki młotkowe). Zaletą kruszarek szczękowych jest mała wrażliwość na zmiany wielkości uziarnienia nadawy, czyli urobku z robót strzałowych [11]. Na wtórnych stopniach kruszenia zwykle pracują kruszarki stożkowe (granulatory stożkowe) i kruszarki udarowe. Produkując grysy w granulatorach stożkowych, należy wyposażyć instalację w zbiorniki buforowe, które powinny dostarczać nadawę do tych kruszarek zasypując ich całkowitą komorę roboczą. W ten sposób uzyskuje się optymalne rozdrobnienie oraz chroni stożek wewnętrzny przed ścieraniem nad wskutek spadku materiału z wysokości [11].

W ostatnich latach nastąpił duży rozwój kruszarek udarowych — odrzutowych. Szczególnie interesujące są kruszarki udarowe z wałem pionowym. Postęp w dziedzinie materiałowej umożliwia stosowanie ich także do kruszenia surowców bardzo zwięzłych. Również sposób podawania w nich materiału (kamień — kamień) ogranicza zużycie elementów roboczych kruszarki. Także coraz częściej rozpowszechniane na świecie wysokociśnieniowe prasy walowe cieszą się ogromnym powodzeniem przy produkcji między innymi kruszywo drobno-uziarnionych (mączek węglanowych).

Istnieje duża różnorodność urządzeń rozdrabniających i wiele firm branży maszynowej oferuje swoje wyroby. Często jednak w konkretnym przypadku pojawia się pytanie, jakie urządzenie kruszące zastosować, aby uzyskać największy wychód pożądanego przez nas produktu. W takich przypadkach bardzo pomocnymi elementami mogą się okazać przeprowadzone próby kruszenia w interesującym nas urządzeniu u producenta maszyn lub zakładzie przerobczym (tu korzystniejsze ze względu na możliwość wykorzystania układu technologicznego). Bardziej kosztowne, ale skuteczniejsze jest rozdrabnianie surowca w doświadczalnej kruszarce, w której ustalone parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne posłużą do zaprojektowania zamawianej kruszarki.

Należy pamiętać, że nieodpowiednio dobrane parametry urządzenia mają wpływ na jego eksploatację np. zużycie energii albo elementów roboczych, które w efekcie wpływają na jakość produktów (kształt i wielkość ziaren) [5, 9].

Ocenę procesu rozdrabniania najczęściej opisuje się wskaźnikami technologicznymi, do których należą:

- wskaźniki określające zmiany najważniejszych własności materiału w procesach rozdrabniania, czyli kwalifikowane stopnie rozdrobnienia;
- wskaźniki oceny jakości produktu rozdrabniania. Często stosowany w praktyce jest tzw. uzysk granulometryczny, czyli udział masowy w produkcie rozdrabniania konkretnej klasy ziarnowej, w którą chcielibyśmy przeprowadzić cały rozdrabniany materiał;
- wskaźniki charakteryzujące procesy pod względem wydajności bądź zużycia energii. Do tej grupy należy wydajność urządzenia rozdrabniającego, a więc ilość materiału, jaką może rozdrobnić dane urządzenie w pewnych ustalonych warunkach pracy.

Znajomość kształtu i wielkości uziarnienia produktów rozdrabniania przynosi korzyści, a jeszcze większe możliwości ich przewidywania. W praktyce bardzo często wykorzystuje się takie metody informacji zwłaszcza przy projektowaniu instalacji lub eksploatacji maszyn. Z tego powodu niektóre firmy zajmujące się produkcją maszyn rozdrabniających prowadzą doświadczalne badania pozwalające ustalić granulację produktów rozdrabniania w zależności od wielkości szczeliny wylotowej. Dotyczy to niestety tylko wielkości uziarnienia ziarn, natomiast nikt do tej pory nie brał pod uwagę kształtu ziaren [4, 5].

Takie charakterystyki granulometryczne są bardzo pożytecznym elementem wykorzystywanym i przydatnym w przypadku:

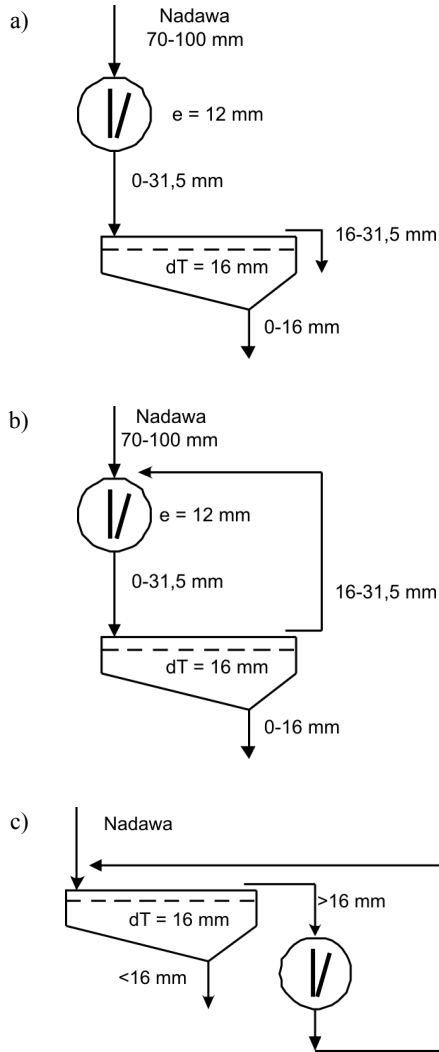
- obliczania stopni rozdrobnienia,
- obliczania wielkości zawrotów technologicznych,
- określania maksymalnej wielkości ziarna produktów rozdrabniania,
- ilościowo-jakościowego planowania, prognozowania uziarnienia produktów (obliczenia wychodów poszczególnych klas ziarnowych),
- weryfikacji lub prawidłowego doboru kruszarki do właściwości materiału (wielkości uziarnienia i parametrów wytrzymałościowych),
- projektowania instalacji przeróbczej (doboru pozostałych urządzeń) i określenia ilości stadiów rozdrabniania.

4. Układy technologiczne rozdrabniania i klasyfikacji

Układy technologiczne mają swoje zastosowanie w procesach rozdrabniania oraz klasyfikacji w zakładach przerobczych różnych kopalin użytecznych. Jakość otrzymywanych produktów z procesów przerobczych zależy nie tylko od prawidłowego doboru maszyn rozdrabniających, ale również od urządzeń współpracujących (klasyfikatorów), zależnie od rodzaju przerabianego surowca. Zakładając konkretny proces technologiczny zwykle bierzemy pod uwagę charakterystyki pracy poszczególnych maszyn, które zależne są między innymi od właściwości fizyko-mechanicznych nadawy oraz wielkości parametrów konstrukcyjnych i sterowalnych maszyn. Okazuje się jednak, że na uzyskiwanie dobrych produktów wpływ ma także sposób prowadzenia procesu technologicznego (ilość stadiów rozdrabniania, cykle technologiczne, sterowanie strumieniami przepływu materiału do wybranych maszyn itp.).

W procesach kruszenia i mielenia przy przygotowaniu materiału do wzbogacania lub produkcji kruszyw, zwłaszcza drobnych (mączek) stosuje się często tzw. zamknięte cykle technologiczne. Mówimy wówczas o procesie rozdrabniania w obiegu zamkniętym. Istnieją również układy technologiczne z otwartym obiegiem materiału. Takie układy mają przewagę nad zamkniętymi cyklami pod względem wydajności, ale często produkty charakteryzują się niższą jakością.

Na rysunku 5 przedstawiono cykle technologiczne rozdrabniania z klasyfikacją ziarnową.

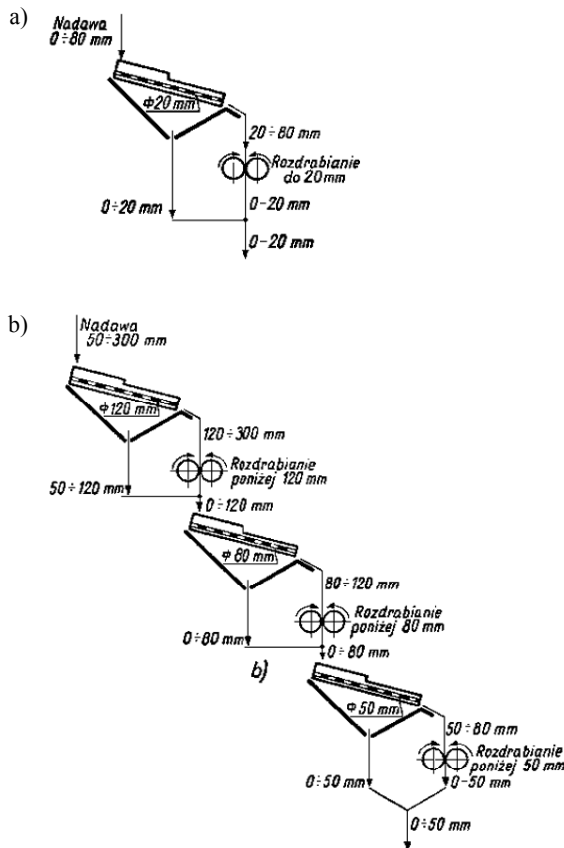


Rys. 5. Cykle technologiczne [8]:
 a) układ otwarty; b–c) układ zamknięty

4.1. Układy otwarte

Układ otwarty polega na jednorazowym przepływie przerabianego materiału przez ciąg urządzeń z odpowiednią dobraną prędkością (rys. 5a). Według literatury [2] układy otwarte są przedstawiane jako takie, które mają za zadanie unikać powstawania nadmiernej ilości drobnych ziaren i pyłu oraz zminimalizować zużycie energii, zwłaszcza przy dużych stopniach rozdrabniania stosowanych w jednej kruszarce w myśl zasady „nie rozdrabniać nic zbytecznie”.

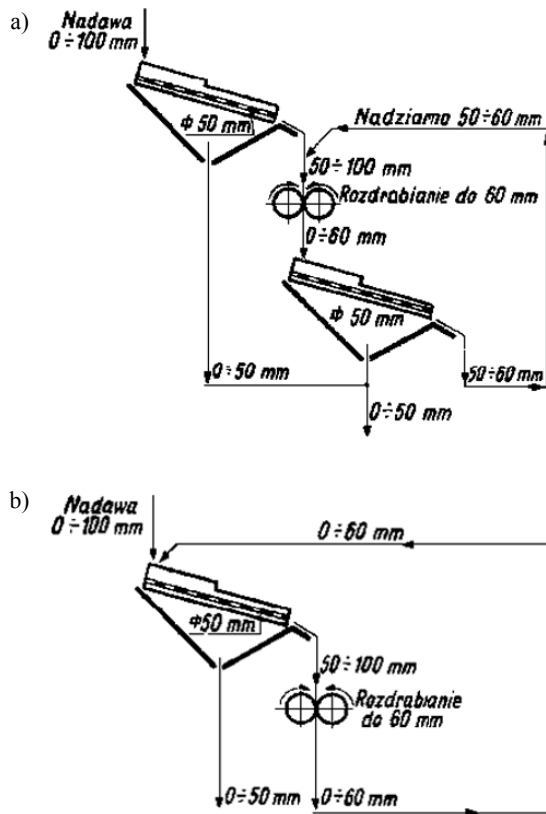
W tym celu oprócz właściwego doboru urządzenia rozdrabniającego można zastosować takie środki jak uprzednie odsianie materiału drobnego z nadawy, który nie wymaga rozdrabniania, a do procesu rozdrabniania skierować ziarna grube (rys. 6a). Gdy mamy do czynienia z nadawą grubo-uziarnioną, a oczekiwany jest duży stopień rozdrabniania produktu, to stosuje się rozdrabnianie wielokrotne (rys. 6b). Stosuje się wówczas kilka zespołów, zależnie od stopnia rozdrabniania, składających się z przesiewacza i kruszarki. Przebieg procesu rozdrabniania w takim układzie jest następujący: całość nadawy kieruje się na przesiewacz z sitem o wymiarze otworów równym wymiarowi największych ziarn otrzymanych z pierwszej kruszarki. Produkt dolny przesiewacza łączy się z produktem skruszonym i kieruje się na następny przesiewacz w celu odsiania ziarn dostatecznie drobnych. Produkt górny kieruje się na kruszarkę ustawioną na wymiar maksymalnych ziarn produktu równy wymiarowi otworów w sicie drugiego przesiewacza. Kolejne odsiewanie i kruszenie przeprowadza się aż do uzyskania dostatecznie drobnego produktu [2].



Rys. 6. Schemat rozdrabniania [2]:
a) z uprzednim odsiewem; b) wielokrotnego

4.2. Układy zamknięte

Drugi typ układów technologicznych to tzw. układy zamknięte (cykle zamknięte). Takie układy również mogą ograniczać powstawanie nadmiernej ilości materiału drobnego oraz zmniejszać zużycie energii. Przykładowy układ przedstawiony jest na rysunku 7a i jest to tzw. schemat rozdrabniania z nadziarnem, gdzie kruszarkę ustawia się na wymiar kruszenia większy o około 20% niż żądany wymiar największych ziarn produktu kruszenia. Uzyskany produkt z kruszarki kieruje się na przesiewacz zaopatrzony w sito o wymiarze otworów równym żadanemu wymiarowi rozdrabnianych ziarn. Produkt górny, kieruje się ponownie do kruszarki. Ta metoda rozdrabniania umożliwia poza zmniejszeniem ilości miazgi i pyłu uzyskanie produktu o znacznej równomierności wymiaru skruszonych ziarn.



Rys. 7. Schemat rozdrabniania w cyklu zamkniętym z nadziarnem [2]:
w układzie kruszarka — przesiewacz (a), w układzie przesiewacz — kruszarka (b)

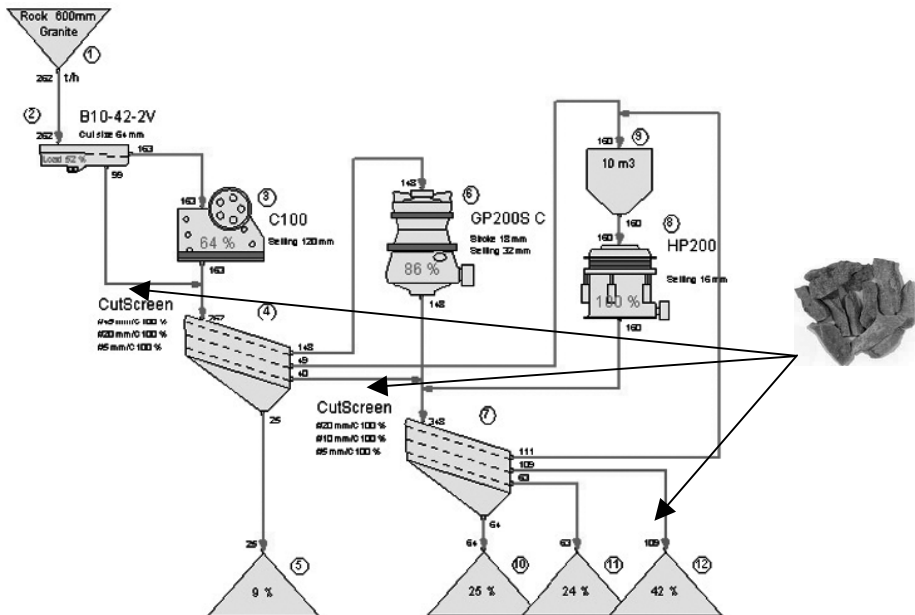
Schemat rozdrabniania z nadziarnem, jak i cały proces, można uprościć kierując produkt skruszony w całości na ten sam przesiewacz, który klasyfikuje nadawę (rys. 7b). Dla

tego przypadku wydajność przesiewacza należy odpowiednio zwiększyć, aby uniknąć jego przeciążenia i uzyskać prawidłowe przesiewanie [2].

Wielkość zawrotu jest również określana pod nazwą krotność obiegu, którą definiuje się jako iloraz ilości materiału zawracanego do ilości świeżej nadawy. Krotność obiegu osiąga wysokie wartości w procesach przemiału. W praktyce dla mielenia w młynach na sucho cementu czy wapienia krotność obiegu wynosi 200–260%, dla mielenia na mokro rud krotność obiegu przekracza nawet 300%, natomiast dla kruszenia materiałów w kruszarkach jest zdecydowanie niższa [8].

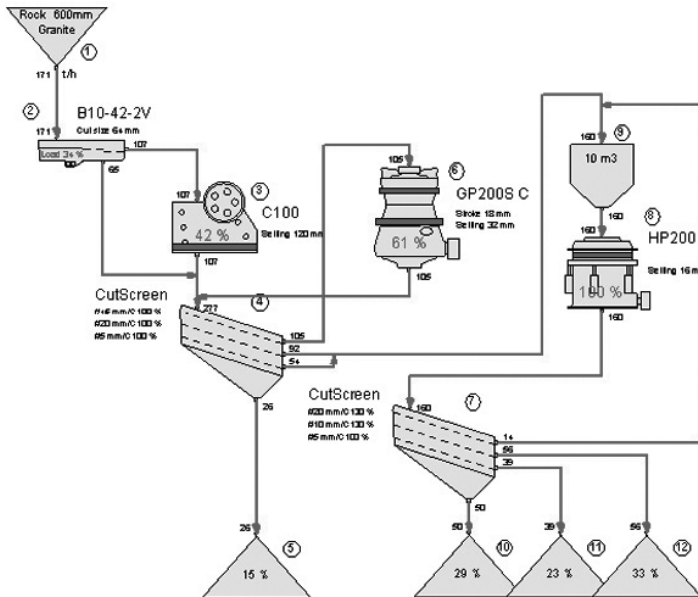
4.3. Przykłady instalacji produkcji kruszyw mineralnych w różnych układach rozdrabniania i klasyfikacji

Okazuje się, że procesy rozdrabniania z zawrotem materiału nie tylko większego od ziarna podziałowego ale nawet drobnego (nazywanego również łóżem) są stosowane w produkcji kruszyw mineralnych w celu zmniejszenia zawartości ziaren nieforemnych. Takie badania prowadziła firma Metso Minerals w granulatorach stożkowych produkujących grysy [3]. Do tego celu wykorzystano dwa układy trój-stadialne. W pierwszym układzie (rys. 8) dwa pierwsze stadia kruszarek pracują w układach otwartych. Granulator stożkowy na trzecim stadium pracuje w obiegu zamkniętym z pełnym obciążeniem. Wszystkie maszyny są połączone tak, aby maksymalizować wydajność, która wynosiła 262 Mg/godz. Jak widać na rysunku, drobne płaskie cząstki obecne w nadawie nie będą kruszone w żadnej kruszarce i otrzymamy produkt końcowy słabej jakości.



Rys. 8. Układ trój-stadialny z nieselektywnym obiegiem materiału [3]

W drugim układzie (rys. 9) kruszarka szczękowa na pierwszym stadium pracuje w układzie otwartym. Pozostałe kruszarki pracują w obiegu zamkniętym, przy czym granulator stożkowy na trzecim stadium pracuje również z pełnym obciążeniem jak na rysunku 7. Taki układ odznacza się jednak mniejszą wydajnością, która wynosiła 171 Mg/godz., ale uzyskuje się maksymalne zawartości ziaren foremnych. Warto zwrócić uwagę, że na tym schemacie produkt dolny z drugiego pokładu sitowego pierwszego przesiewacza jest łączony z produktem dolnym pierwszego pokładu i kierowany do granulatora stożkowego.



Rys. 9. Układ trój-stadialny z selektywnym obiegiem materiału [3]

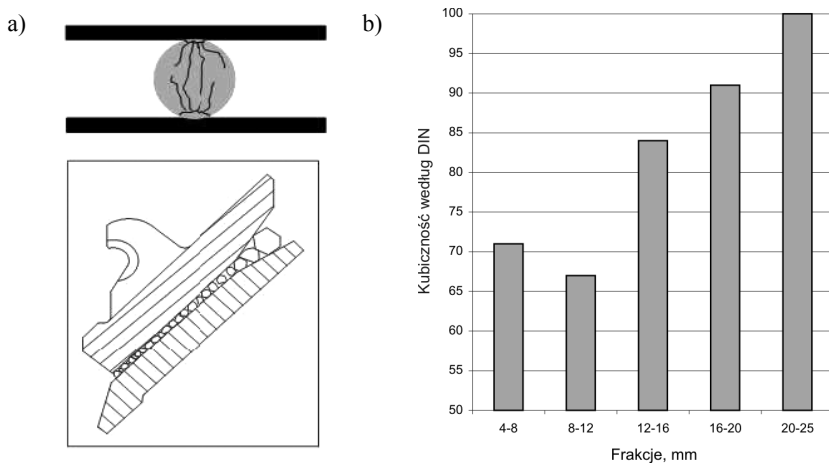
Porównanie zawartości ziaren nieforemnych dla obu układów przedstawia tabela 2.

TABELA 2

Zawartość ziaren nieforemnych produktów po różnych stadiach rozdrabniania dla różnych układów technologicznych [3]

Stadium kruszenia	Procentowa zawartość ziaren nieforemnych we frakcjach			
	układ nieselektywny		układ selektywny	
	5/10	10/20	5/10	10/20
II	50	30	nie dotyczy	nie dotyczy
III	20	15	15	10
końcowy produkt	34	22	15	10

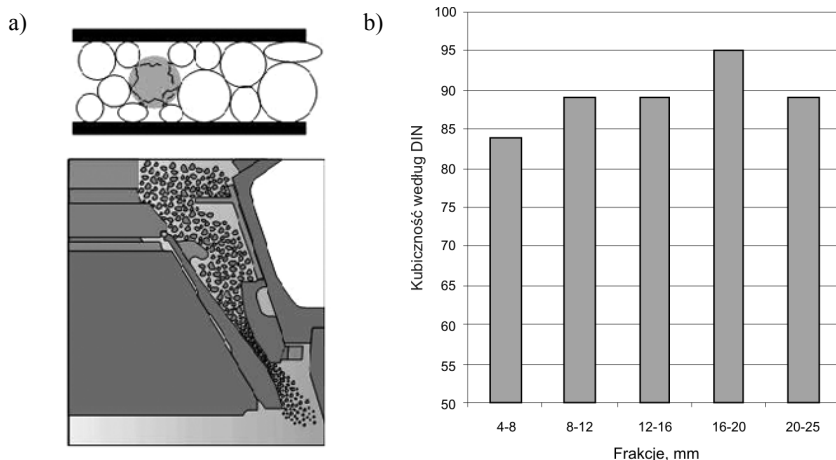
Okazuje się, że procesy rozdrabniania z zawrotem materiału nawet drobnego są stosowane w produkcji kruszyw mineralnych w celu zmniejszenia zawartości ziaren nieforemnych. Takie badania prowadziła firma Metso Minerals w granulatorach stożkowych produkujących grysy [3]. Stwierdzono, że kruszenie pojedynczej warstwy materiału w wąskim zakresie uziarnienia (o grubości równej grubości ziarna), tak jak pokazano na rysunku 10a, powodowało wysokie udziały zawartości ziaren foremnych, ale tylko w klasach grubszych, natomiast niskie wskaźniki kubiczności w drobnych klasach (rys. 10b). Zjawisko to wyjaśnia rysunek 10a, który przedstawia pojedyncze modelowe ziarno znajdujące się w komorze kruszarki pomiędzy dwoma płaszczyznami okładzin. Takie ziarno ma większą szansę rozpadnięcia się na mniejsze części o nieforemnym kształcie.



Rys. 10. Model produkcji gryśów w granulatorze stożkowym bez udziału łoża w nadawie (a); Zawartości ziaren foremnych w produktach rozdrabniania uzyskana dla tego modelu (b) [3]

W badaniach zaobserwowano, że w takich warunkach w ziarnach występują pęknięcia nie tylko powierzchniowe, ale również pęknięcia wewnętrzne i mikrorysy. Na skutek defektów strukturalnych kruszywa odznaczają się gorszymi parametrami fizyko-mechanicznymi, zwłaszcza jeżeli chodzi o podatność na rozdrabnianie.

Na rysunku 11a pokazano możliwość produkcji gryśów z udziałem łoża w nadawie, tj. około 15–25% ziarn drobnych o wielkości mniejszej niż wielkość szczeliny wylotowej (z wyłączeniem ziarn o wielkości poniżej 0,5 mm). Okazało się, że w tym przypadku wskaźnik zawartości ziaren foremnych w najdrobniejszych klasach polepszył się o kilkadziesiąt procent (rys. 11b). Idea rozdrabniania pojedynczego ziarna z udziałem łoża pokazana jest na modelowym rysunku 10a. Jak widać łoże pełni funkcję tzw. poduszki chroniąc jednocześnie ziarno grube przed „zmęczeniem”. W takim procesie produkcji kruszyw mineralnych prawidłowe ziarna generalnie nie ulegają nadmiernemu zniszczeniu, a za to najczęściej łamią się ziarna płaskie lub podługne pod wpływem nacisku drobniejszych ziarn.



Rys. 11. Model produkcji grysów w granulatorze stożkowym z udziałem łoża w nadawie (a); Zawartości ziaren foremnych w produktach rozdrabniania uzyskana dla tego modelu (b) [3]

Proces rozdrabniania z zawrotem drobnego materiału (z udziałem łoża) jest rzadko stosowany w produkcji grubszych kruszyw mineralnych, częściej w produkcji mączek mineralnych z udziałem wysokociśnieniowych pras walcowych. Trzeba jednak pamiętać, że w produkcji kruszyw łamanych należy unikać nadmiernego rozdrabniania, ponieważ mogą powstawać drobne pyły. Również kruszenie surowców skalnych z udziałem ziarn drobnych, może mieć wpływ na zmianę własności fizyko-mechanicznych kruszywa, a objawami mogą być spadek wytrzymałości na ściskanie, zmniejszenie podatności na rozdrabnianie (wzrost wskaźnika Los Angeles), wzrost nasiąkliwości, czy zwiększona polerowalność i ścieralność.

LITERATURA

- [1] Beckmann G.: Auswahl von Brechertypen und Rohmaterialien zur Erzielung einer bestimmten Kornform bzw. Korngrößenverteilung mit Hilfe der „Digitalen Bildverarbeitung“. Brechen und Sieben in der Mineralrohstoffindustrie — Fachseminar. Bergmännischer Verband Österreichs, Technisch-Wissenschaftlicher Verein, Leoben, 27–29 Februar 2003
- [2] Blaschke S.: Przeróbka mechaniczna kopaliny. Cz. I. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1982
- [3] Eloranta J.: Sposoby wpływania na jakość kruszyw. Prezentacja badań firmy Metso Minerals na nośniku CD, VI Konferencja „Kruszywa Mineralne — surowce — rynek — technologie — jakość”, OWPW Wrocław–Szklarska Poręba, 2006
- [4] Gawenda T.: Rozdrabnianie surowców skalnych w kruszarce szczękowej typu L44.41. Cz. I. Surowce i Maszyny Budowlane, Branżowy Magazyn Przemysłowy, 1/2010, ISSN 1734–7998, Wyd. BMP Sp. z o.o. Racibórz 2010
- [5] Gawenda T.: Rozdrabnianie surowców skalnych w kruszarce szczękowej typu L44.41. Cz. II. Surowce i Maszyny Budowlane, Branżowy Magazyn Przemysłowy, 2/2010, ISSN 1734–7998, Wyd. BMP Sp. z o.o. Racibórz 2010
- [6] Marktfocus Brecher, Aufbereitungs Technik, Bauverlag BV GMBH, Guetersloh, 2008
- [7] Nawrocki J., Ryncarz A., Węglarczyk J.: Teoria i praktyka rozdrabniania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Skrypt uczelniany nr 1500, Gliwice, 1989

- [8] *Naziemiec Z., Gawenda T.*: Badanie procesu kruszenia z zamkniętym obiegiem. Kruszywa mineralne: surowce — rynek — technologie — jakość, Szklarska Poręba, 18–20 kwietnia 2007 r. Wrocław Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 119. Seria: Konferencje; nr 48, 2007
- [9] *Naziemiec Z., Gawenda T.*: Ocena efektów rozdrabniania surowców mineralnych w różnych urządzeniach kruszących. VI Konferencja „Kruszywa Mineralne — surowce — rynek — technologie — jakość”, OWPW Wrocław-Szklarska Poręba 2006
- [10] *Pudło W.*: Procesy kruszenia i mielenia. Poradnik Górnika, t. 5. Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1976
- [11] *Wodziński P.*: Przeróbka kopalin mineralnych w zestawach mobilnych. Surowce i Maszyny Budowlane, Wyd. BMP, nr 2/2009, Racibórz 2009
- [12] *Zawada J.*: Wstęp do mechaniki procesów kruszenia. Radom, 1998