

*Daniel Saramak**

ANALIZA POWIĄZAŃ POMIĘDZY PARAMETRAMI TECHNOLOGICZNYMI PRAS WALCOWYCH Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY CZYNNIKOWEJ**

1. Wstęp — zasady pracy pras walcowych

Technologia rozdrabniania w wysokociśnieniowych prasach walcowych znalazła zastosowanie w aplikacjach przemysłowych w połowie lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Początkowo prasy walcowe były wykorzystywane do rozdrabniania w przemyśle cementowym a w miarę rozwoju technologii były stosowane do kruszenia coraz twardszych i bardziej abrazywnych materiałów takich jak rudy żelaza czy metali nieżelaznych. Przemysłowe zastosowanie pras walcowych w technologicznych układach rozdrabniania można generalnie podzielić na następujące grupy:

- przemysł cementowy;
- produkcja koncentratów rud żelaza oraz metali nieżelaznych (m.in. miedź, złoto, cynk, cyna i inne) — drugi stopień rozdrabniania oraz dokruszanie;
- produkcja mączek wapiennych i kruszyw mineralnych;
- produkcja diamentów (rozdrabnianie kimberlitów).

Technologia HPGR jest obecnie najnowocześniejszym rozwiązaniem technologicznym w procesach rozdrabniania, spośród jej zalet należy wymienić przede wszystkim:

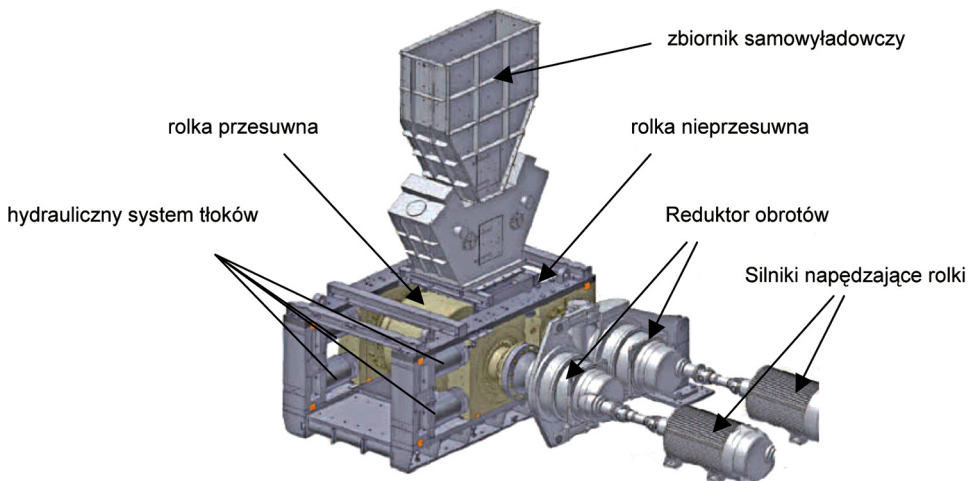
- niższe jednostkowe zużycie energii elektrycznej w porównaniu z innymi urządzeniami rozdrabniającymi,
- uwalnianie minerałów użytecznych wzdłuż naturalnych granic strukturalnych w ziarnach,
- powstawanie mikropęknięć w materiale obniżających jego podatność na rozdrabnianie w dalszych procesach domielania,

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

** Artykuł jest wynikiem pracy statutowej nr 11.11.100.276

- małą powierzchnię zabudowy w przeliczeniu na wydajność oraz osiągany efekt rozdrabniania,
- małą emisję wibracji i hałasu.

Wysokociśnieniowa prasa walcowa (HPGR) składa się z dwóch walców obracających się w przeciwnych kierunkach, zasilanych osobnymi silnikami o takiej samej mocy. Walce poruszają się z jednakową prędkością i są ze sobą zsynchronizowane, mają także jednakową średnicę i długość a płaszczyzna zawierająca jednocześnie obie podłużne osie symetrii walców jest pozioma. Oba walce zamontowane są na masywnej ramie, przy czym jedna z rolek jest zamontowana w sztywnej pozycji (rolka nieprzesuwana bądź sztywna), bez możliwości poziomego przesuwu, natomiast położenie drugiej umożliwia poziome przesuwanie (rolka przesuwana) się walca powodowane siłą nacisku pochodzącą od układu hydraulicznego oraz siły reakcji materiału znajdującego się między walcami. Materiał do urządzenia podawany jest od góry w sposób upakowany, nad prasą znajduje się zbiornik samowyładowczy, który powinien być wypełniony do określonego poziomu, aby zapewnić dobre warunki dla procesu rozdrabniania w prasie.



Rys. 1. Schemat budowy prasy walcowej
(opracowanie własne na podstawie materiałów reklamowych firmy Polysius)

Siła nacisku wytworzona przez system hydrauliczny działająca na przesuwnej rolkę generalnie determinuje warunki procesu rozdrabniania. Ciśnienie w układzie hydraulicznym prasy walcowej może wynosić do 150÷180 barów, co daje różne wartości ciśnienia roboczego w zależności od rozmiarów prasy. Produkt rozdrabniania otrzymywany jest w postaci zwartej, nazywany również płatkami, których twardość zależy od wartości siły nacisku podczas procesu rozdrabniania.

W tabeli 1 przedstawione zostały przedziały stosowanych wartości wybranych parametrów technicznych pras walcowych zebrane na podstawie materiałów reklamowych wszystkich producentów pras: KHD Humboldt Wedag, Koeppern i Polysius.

TABELA 1

Przedziały wartości wybranych parametrów technicznych pras walcowych

Parametr techniczny	Minimalne	Maksymalne
Średnica robocza walca, [m]	0,75	2,6
Długość robocza walca, [m]	0,25	1,8
Długość x szerokość instalacji, [m]	3,8 × 3,0	13,65 × 7,75
Wysokość instalacji, [m]	2,0	5,2
Wydajność, [t/h]	10	4200
Moc zainstalowana, [kWh]	2 × 100	2 × 4000
Waga, [t]	20	400

Głównymi parametrami operacyjnymi pras walcowych są ciśnienie robocze oraz prędkość obrotowa walców, ze względu na możliwość bezpośredniego sterowania nimi podczas procesu technologicznego. Ciśnienie w układzie hydraulicznym mierzone jest w barach, natomiast uniwersalną miarą ciśnienia przyjętą dla pras walcowych jest tzw. nacisk właściwy [6] obliczany ze wzoru:

$$F_{sp} = \frac{F}{D \cdot l \cdot 1000} \quad (1)$$

gdzie:

F — siła nacisku wywierana przez przesuwającą rolkę

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} n \cdot P_h \quad [\text{kN}] \quad (2)$$

D — średnica rolki,

l — długość rolki,

d — średnica tłoka,

n — liczba tłoków,

P_h — ciśnienie hydrauliczne ustawione w prasie (w cylindrach siłowników).

Prędkość obrotowa walców jest następną wielkością sterowalną pras walcowych i ma bezpośredni wpływ na zdolność przerobową urządzenia. Może być podawana w metrach na

sekundę v [m/s] lub liczbie obrotów rolek na minutę ω [rpm]. Zależność pomiędzy obiema wielkościami jest następująca:

$$\omega \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \cdot \frac{2\pi \cdot \frac{D}{2}}{60} = v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (3)$$

Kolejne parametry operacyjne prasy walcowej nie są sterowane bezpośrednio przez operatora, natomiast ich zmiana jest zależna od zmiany ciśnienia roboczego prasy czy prędkości obrotowej walców. Takim parametrem jest wielkość szczeliny (s) pomiędzy obracającymi się walcami. Szczelina podczas pracy urządzenia nie jest stała i zmienia się w zależności od siły nacisku rolki przesuwnej wywołanej ciśnieniem układu hydraulicznego, siłą reakcji pochodzącą od materiału poddawanego rozdrabnianiu, stopnia rozłożenia materiału pomiędzy rolnkami czy stopnia upakowania nadawy w komorze roboczej. Nierównoległe położenie obracających się rolek podczas procesu rozdrabniania spowodowane jest głównie nierównomiernym rozłożeniem materiału w komorze rozdrabniającej. Ta różnica w szerokości szczeliny wylotowej mierzona na obu końcach rolek definiuje się jako skośność μ .

Z punktu widzenia procesu skośność rolek powinna wynosić zero lub być maksymalnie bliska zeru w przeciwnym wypadku może dochodzić do większych lub mniejszych zakłóceń procesu a nawet do uszkodzenia elementów roboczych prasy.

Moment skracający wału napędowego (T) jest istotnym parametrem konstrukcyjnym maszyny. Oblicza się go według wzoru:

$$T = \frac{P \cdot D}{2v} = \frac{P \cdot 60}{2\pi \cdot \omega} \text{ [kNm]} \quad (4)$$

Z punktu widzenia pracy urządzenia niebezpieczne są nagłe zmiany wartości momentu skracającego, szczególnie gwałtowne wzrosty jego wartości, co może doprowadzić do uszkodzeń maszyny. Jedną z przyczyn powstania gwałtownego wzrostu momentu skracającego może być np. dostanie się metalowych elementów pomiędzy obracające się walce. W wyniku takiego zjawiska dochodzi najczęściej do uszkodzenia okładzin walców, natomiast wsteczna analiza przebiegu wartości momentu skracającego na wałach napędowych może dać odpowiedź, w którym momencie nastąpiło uszkodzenie. Przedstawia to przykładowy rysunek 2.

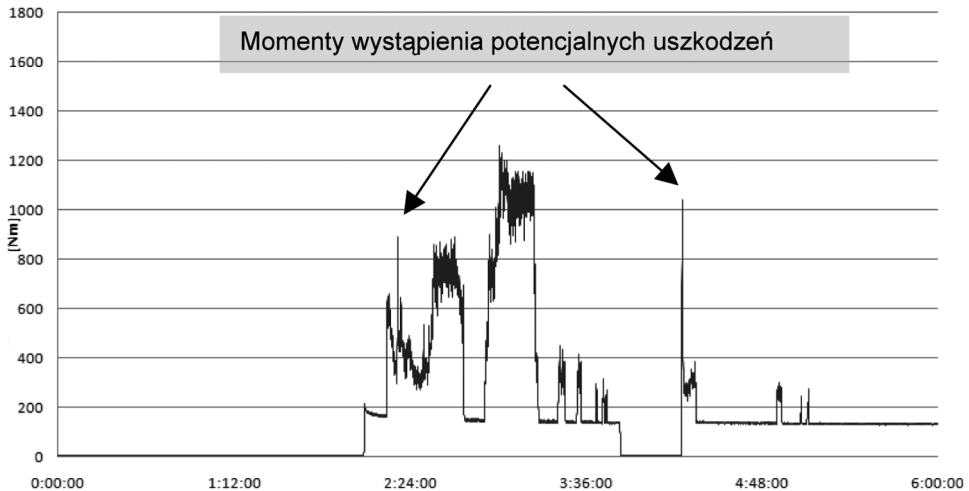
Oprócz wymienionych parametrów technicznych istnieje jeszcze kilka wielkości, jak moc obu silników, siła nacisku rolki przesuwnej, średnica walców czy długość robocza walców, które używane są do wyznaczania innych wskaźników technologicznych.

Kolejną grupę parametrów operacyjnych prasy walcowej stanowią parametry technologiczne uwzględniające charakterystykę rozdrabnianego materiału. Podstawowym jest prze-rób lub wydajność urządzenia Q obliczana ze wzoru:

$$Q = l \cdot s \cdot v \cdot \rho \cdot 3600 \left[\frac{\text{t}}{\text{h}} \right] \quad (5)$$

gdzie:

- Q — wydajność
- l — długość robocza walca, m,
- s — szczelina, m,
- v — prędkość obrotowa walców, m/s,
- ρ — gęstość sprasowanego produktu, t/m^3 .



Rys. 2. Przykładowy przebieg wartości momentu skręcającego w urządzeniu z zaznaczeniem miejsca gwałtownych jego wzrostów

Zamiast wartości szczeliny roboczej można we wzorze (5) użyć grubości placka produktu opuszczającego prasę walcową. Inny wzór określający przerób związany jest z wielkością wydajności właściwej i ma postać (6):

$$Q = M_{dot} \cdot D \cdot l \cdot v \quad (6)$$

gdzie M_{dot} oznacza przerób właściwy, ts/m^3h .

Z punktu widzenia efektywności procesu rozdrabniania istotna jest wielkość strumienia zawracanego do urządzenia, niewystarczająco rozdrobnionego materiału lub inaczej procentowy udział zawrotu w całej nadawie kierowanej do rozdrabniania w prasie. Większość przemysłowych aplikacji pras walcowych pracuje w układzie zamkniętym z zawrotem produktu o uziarnieniu większym od przyjętych wymogów technologicznych dla danego procesu. Rejestrowanie procentowego udziału zawrotu w nadawie do prasy pozwala ocenić proces zarówno pod kątem energetycznym (jednostkowa energochłonność urządzenia) oraz technologicznym (wychód produktu o odpowiednim uziarnieniu).

Istnieje także grupa wskaźników, które powstają na drodze przeliczeń matematycznych. Najważniejszym z nich jest nacisk właściwy przedstawiony za pomocą wzoru (1) i pozwalający porównywać naciski w prasach o różnych wymiarach i różnych wydajnościach. Wartość F_{sp} jest umowna i nie jest odzwierciedleniem realnego ciśnienia jakiemu poddawany jest materiał podczas rozdrabniania [6], jednak jest to wskaźnik uniwersalny pozwalający porównać efekty technologiczne dla różnych urządzeń.

Kolejnym wskaźnikiem jest przerób właściwy (M_{dot}) obliczany ze wzoru:

$$M_{dot} = \frac{Q}{D \cdot l \cdot v} \left[\frac{t}{h} / \frac{m^3}{s} \right] \quad (7)$$

lub

$$M_{dot} = \frac{s}{D} \cdot \rho \cdot 3600 \quad (8)$$

Za pomocą tego parametru można porównywać wydajności urządzeń o różnych wymiarach roboczych walców, i wskaźnik ten ma duże znaczenie dla producentów pras, natomiast posiada raczej niewielką wartość z punktu widzenia badań nad procesem rozdrabniania w prasie.

Następny wskaźnik to jednostkowe zużycie energii, lub inaczej energochłonność jednostkowa, wyrażona wzorem:

$$E_{sp} = \frac{W}{Q} \left[\frac{\text{kWh}}{t} \right] \quad (9)$$

Energochłonność jednostkowa może być także obliczana na masę produktu, który kierowany jest do dalszych etapów przerobu technologicznego, w tym celu należy we wzorze (9) od wydajności Q odjąć wielkość zawrotu.

W technologicznym układzie rozdrabniania z prasą walcową można wyróżnić wiele parametrów technicznych i technologicznych oraz dodatkowych wskaźników procesu. Analiza wszystkich czynników jednocześnie może być skomplikowana, poza tym nie wszystkie czynniki posiadają kluczowe znaczenie dla procesu technologicznego. Dla lepszej analizy sytuacji można zredukować liczbę czynników poprzez wyodrębnienie grup w których niektóre czynniki są ze sobą powiązane. Pomocna w tym przypadku może być analiza czynnikowa, której główne założenia przedstawione są w następnym rozdziale.

2. Podstawy teoretyczne analizy czynnikowej

Pojęcie analizy czynnikowej wprowadził L. Thurstone (1947) i jest to metoda statystyczna służąca do redukcji liczby zmiennych empirycznych oraz ich klasyfikacji, czyli wykry-

wania struktury we wzajemnych powiązaniach pomiędzy nimi. Oprócz metody analizy czynnikowej (*Factor Analysis*) można wyróżnić metodę analizy głównych składowych (*Principal Component Analysis*). Analiza czynnikowa ma matematyczną postać równania macierzowego [1, 5]:

$$X = AF + BU \quad (10)$$

gdzie:

- X — wektor obserwacji (zmiennych pierwotnych),
- A — macierz ładunków czynnikowych dla czynników wspólnych,
- F — wektor czynników wspólnych dla wszystkich zmiennych,
- B — macierz diagonalna ładunków czynnikowych dla czynników swoistych,
- U — wektor czynników swoistych.

Każda zmienna wejściowa wyjaśnia pewną część zmienności (lub wariancji) analizowanego zjawiska. Wariancję każdej ze zmiennych wejściowej można rozłożyć na wariancję wyjaśnianą przez czynniki wspólne oraz przez czynnik swoisty:

$$S^2(z_j) = h_j^2 + d_j^2 = \sum_{i=1}^s w_{ji}^2 + b_j^2 = 1, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

gdzie:

- h_j^2 — zasoby zmienności wspólnej j -tej zmiennej,
- d_j^2 — zasoby zmienności swoistej j -tej zmiennej.

W procedurze analizy czynnikowej kolejno wyodrębnia się czynniki, których udział w wyjaśnieniu zmienności jest największy. W tym celu dokonuje się rotacji przestrzeni wyjściowej [8] według wybranego kryterium, którym może być:

- maksymalizacja wariancji kwadratów ładunków czynnikowych dla każdego czynnika (*varimax*),
- maksymalizacja wariancji kwadratów ładunków czynnikowych dla każdej zmiennej (*quartimax*),
- maksymalizacja ważonych wartości kryteriów *varimax* i *quartimax* (*equamax* lub *biquartimax*).

Najczęściej przyjmuje się kryterium *varimax*. Znajduje się linię regresji w przestrzeni, która maksymalizuje wariancję (zmienność) pierwszego czynnika, jednocześnie minimalizując wariancję wokół niego. Wyodrębniony czynnik posiada największą wartość własną (wariancję), czyli wyjaśnia najwięcej zmienności badanego zjawiska. Kolejno wyodrębnia się następny czynnik, który determinuje najwięcej pozostałej zmienności, czyli tej, której nie objął pierwszy czynnik. Liczbę czynników do wyznaczenia można określić za pomocą

najczęściej stosowanego kryterium Kaisera (1958), mówiącego, że wyodrębnione czynniki powinny posiadać wartości własne większe od jedności, czyli jeśli czynnik nie wyodrębnia przynajmniej tyle zmienności ile zmienna pierwotna to się go odrzuca. Można też podjąć decyzję arbitralnie, wykorzystując np. test osypiska [2].

Każdy z wyodrębnionych czynników posiada własne ładunki czynnikowe które pokazują stopień skorelowania tych czynników ze zmiennymi pierwotnymi. Celem analizy jest właśnie uzyskanie przejrzystego układu ładunków w czynnikach, czyli wyodrębnienie czynników, które posiadają wysokie wartości ładunków dla jednych zmiennych wejściowych oraz niskie wartości tych ładunków dla innych zmiennych. Ułatwia to analizę interpretacyjną uzyskanego modelu i czytelne powiązanie uzyskanych czynników z konkretnymi grupami zmiennych pierwotnych.

Należy pamiętać, że w poprawnym modelu uzyskane czynniki nie wyodrębnią całkowitej zmienności ze zmiennych pierwotnych, ale tę część, która wynika z czynników wspólnych i jest wspólna dla kilku zmiennych wejściowych. Proporcja wariancji danego wskaźnika, która wynika z czynników wspólnych (tym samym dla innych wskaźników) nazywa się zasobem zmienności wspólnej. Oszacowanie zasobów zmienności wspólnej dla każdej zmiennej (czyli proporcji wariancji, którą każdy wskaźnik dzieli z innymi wskaźnikami) jest kolejnym zadaniem, które można zrealizować poprzez wykorzystanie kwadratów korelacji wielokrotnej danego wskaźnika z wszystkimi innymi wskaźnikami lub użycie metod iteracyjnych [3].

3. Praktyczne wykorzystanie analizy czynnikowej dla procesu rozdrabniania w prasie walcowej

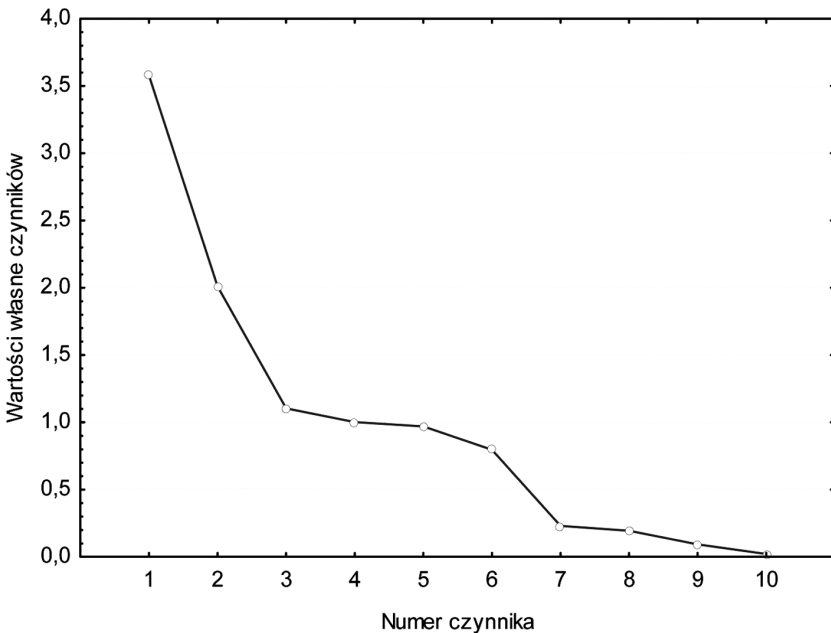
Przykładowa analiza przedstawiona poniżej została dokonana na podstawie reprezentatywnej próby danych przemysłowych dla procesu rozdrabniania rud. Rejestracja wszystkich parametrów operacyjnych została przeprowadzona w ciągu kilku miesięcy ciągłej pracy urządzenia (średnio w minutowych odstępach czasu), w ten sposób uzyskano ponad sto tysięcy danych dla każdego analizowanego parametru. Proces rejestracji obejmował następujące wielkości i wskaźniki:

- ciśnienie operacyjne prasy P_h ,
- prędkość obrotową walców v ,
- wielkość szczeliny wylotowej s ,
- skośność μ ,
- moc pobierana przez silnik napędzający rolkę przesuwaną P_{fl} ,
- moc pobierana przez silnik napędzający rolkę nieprzesuwaną P_{fx} ,
- moment skręcający na wale napędowym rolki przesuwnej T_{fl} ,
- moment skręcający na wale napędowym rolki nieprzesuwnej T_{fx} ,

- przerób urządzenia Q ,
- udział rudy surowej w nadawie do prasy $\%FF$,
- nacisk właściwy F_{sp} ,
- energochłonność jednostkową E_{sp} ,
- przerób właściwy M_{dot} .

Po obliczeniu dodatkowych wskaźników technologicznych przeanalizowano powiązania pomiędzy wszystkimi parametrami, co zostało przedstawione w macierzy korelacji (tab. 2). Z uwagi na dużą liczbę przypadków dla każdej analizowanej zmiennej (ponad 100 tysięcy przypadków) wszystkie wartości współczynników korelacji są istotne na poziomie ufności $1 - \alpha = 0,95$. Na podstawie analizy tabeli 2 można zauważyć wysoką korelację pomiędzy F_{sp} a E_{sp} , T_{fl} i T_{fx} , a także pomiędzy prędkością v a M_{dot} .

Kolejnym etapem procedury jest wyodrębnienie czynników, które będą ujmowały zmienność parametrów wejściowych. W tym celu wykonany został test osypiska (rys. 3).



Rys. 3. Test osypiska dla analizowanych parametrów operacyjnych prasy walcowej

Analizując wykres na rysunku 3 można arbitralnie przyjąć liczbę czynników albo 3 albo 5–6. Dodatkową informacją może być kryterium Kaisera, obliczamy więc wartości własne czynników (tab. 3).

TABELA 2
Związki korelacyjne pomiędzy poszczególnymi parametrami operacyjnymi

	Q	v	s	E_{sp}	F_{sp}	M_{dot}	μ	$\%FF$	T_{fx}	T_{fl}
Q	1,00	0,26	-0,06	-0,35	-0,29	0,09	-0,04	-0,15	-0,34	-0,28
V	0,26	1,00	0,05	0,18	-0,11	-0,91	0,06	0,03	0,02	0,24
S	-0,06	0,05	1,00	0,12	-0,04	-0,14	-0,02	-0,02	0,20	0,40
E_{sp}	-0,35	0,18	0,12	1,00	0,75	-0,30	0,06	0,18	0,85	0,84
F_{sp}	-0,29	-0,11	-0,04	0,75	1,00	0,02	0,02	0,11	0,75	0,66
M_{dot}	0,09	-0,91	-0,14	-0,30	0,02	1,00	-0,08	-0,08	-0,15	-0,37
μ	-0,04	0,06	-0,02	0,06	0,02	-0,08	1,00	0,02	-0,03	0,07
$\%FF$	-0,15	0,03	-0,02	0,18	0,11	-0,08	0,02	1,00	0,15	0,12
T_{fx}	-0,34	0,02	0,20	0,85	0,75	-0,15	-0,03	0,15	1,00	0,75
T_{fl}	-0,28	0,24	0,40	0,84	0,66	-0,37	0,07	0,12	0,75	1,00

TABELA 3

Obliczone wartości własne czynników

Numer czynnika	Wartości własne
1	3,577128
2	2,009866
3	1,104395
4	1,002622
5	0,970118
6	0,796546
7	0,230302

Na podstawie analizy tabeli 3 widać, że 4 czynniki posiadają wartości własne większe od jedności, piąty czynnik ma wartość nieznacznie poniżej 1. Została zatem arbitralnie ustalona liczba czynników 5.

4. Podsumowanie — wyniki analizy

W wyniku przeprowadzenia analizy obliczone zostały ładunki czynnikowe dla pięciu wyodrębnionych czynników (tab. 4).

Na podstawie analizy tabeli 4 można zauważyć, że pierwszy czynnik obejmuje parametry E_{sp} , F_{sp} , T_{fx} oraz T_{fl} . Wszystkie te parametry są w dużej mierze związane z energią: zmiana ciśnienia operacyjnego powoduje zmiany pobory mocy przez prasę, tak samo ma się sprawa z momentami obrotowymi wałów. Kolejny czynnik zawiera w sobie prędkość obrotową oraz przerób właściwy M_{dot} . Kolejne czynniki zawierają już po jednej zmiennej.

Można zatem nazwać wyodrębnione czynniki następująco:

- czynnik energetyczny,
- czynnik wydajnościowy,
- czynnik techniczny 1 (szczelina urządzenia),
- czynnik techniczny 2 (skośność),
- czynnik materiałowy (procentowy udział nadawy surowej do prasy).

Na kolejnym miejscu wyodrębniony został czynnik definiujący wydajność prasy Q (nie ujęty w tab. 4).

TABELA 4
Ładunki czynnikowe dla wyodrębnionych czynników

	Czynnik 1	Czynnik 2	Czynnik 3	Czynnik 4	Czynnik 5
Q	-0,213017	0,065044	-0,023090	-0,033564	0,043777
v	0,037448	0,966149	0,004740	0,022434	0,056531
s	0,081946	0,054927	0,985837	-0,026465	-0,002354
E_{sp}	0,912446	0,194687	0,025145	0,025200	0,056835
F_{sp}	0,903334	-0,136445	-0,154406	0,009899	-0,004424
M_{dot}	-0,113016	-0,971413	-0,083123	-0,027008	-0,046432
μ	0,002001	0,036406	-0,022876	0,997393	0,031392
$\%FF$	0,027430	0,075598	0,000143	0,031622	0,994943
T_{fk}	0,907998	0,025595	0,113230	-0,064085	-0,036438
T_{fi}	0,827024	0,241924	0,354037	0,051931	0,062529

Stopień wyjaśnienia zmienności (wartości wariancji wyjaśnianej) procesu rozdrabniania w prasie walcowej przez wyodrębnione czynniki jest następujący:

- czynnik energetyczny: 3,22 (32,2%),
- czynnik wydajnościowy: 2,01 (20,1%),
- czynnik techniczny 1: 1,14 (11,4%),
- czynnik techniczny 2: 1,07 (10,7%),
- czynnik materiałowy: 1,01 (10,1%),

Podsumowując, największe znaczenie ze statystycznego punktu widzenia w procesie rozdrabniania w prasie walcowej mają wskaźniki związane z energochłonnością. Kolejny czynnik związany jest z wydajnością urządzenia. Na kolejnym miejscu znajdują się parametry techniczne urządzenia a najmniejsze znaczenie mają parametry rozdrabnianego materiału. Z technologicznego punktu widzenia kluczowe znaczenie ma ciśnienie operacyjne prasy i prędkość obrotowa, czyli parametry sterujące wchodzące w skład czynnika pierwszego i drugiego — co jest zgodne z realiami procesu. Istotne znaczenie mają też parametry materiału, natomiast w analizie czynnikowej nie wykazały one aż tak dużej wagi jak w rzeczywistości.

Analiza czynnikowa dla przedstawionego przykładu wykazuje sensowną interpretację uzyskanych wyników co jest jednym z głównych kryteriów i wymogów stosowalności tej metody. W sposób uporządkowany i czytelny sklasyfikowała wszystkie zmienne, zgodnie z realiami procesu technologicznego. Niemniej jednak poza jakościowym opisem analizowanego zjawiska praktyczne znaczenie tej metody nie jest duże.

LITERATURA

- [1] *Anderson T.W.*: An introduction to multivariate statistical analysis. John Wiley & Sons, New York, 1984
- [2] *Cattell R.B.*: The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1, 1966
- [3] *Harman H.H., Jones W.H.*: Factor analysis by minimizing residuals (MINRES). *Psychometrika*, 39, 1966
- [4] *Kaiser H.F.*: The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 1958
- [5] *Morrison D.F.*: Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa, 1990
- [6] *Naziemiec Z., Saramak D.*: Analiza zmian obciążenia materiału w strefie zgniotu pras walcowych. *Górnictwo i Geoinżynieria* 33/4, Kraków, 2009
- [7] Polysius TyssenKrupp: POLYCOM high-pressure grinding roll for the minerals industry — materiały reklamowe
- [8] *Thurstone L.*: Multiple factor analysis. University of Chicago Press, Chicago, 1947