



INŻYNIERIA MINERALNA

CZASOPISMO POLSKIEGO TOWARZYSTWA
PRZERÓBKI KOPALIN

1(49)
2022

NR 1(49) 2022, STYCZEŃ – CZERWIEC

PL ISSN 1640 - 4920



JOURNAL OF THE POLISH
MINERAL ENGINEERING SOCIETY

NO. 1(49) 2022, JANUARY – JUNE

INŻYNIERIA MINERALNA

Czasopismo Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalin

JOURNAL OF THE POLISH MINERAL ENGINEERING SOCIETY

REDAKCJA – EDITORIAL BOARD

Redaktor Naczelny –
Zastępca Redaktora Naczelnego,
Redaktor Techniczny –
Sekretarz Redakcji –
Redaktor Statystyczny –

Barbara TORA

– Editor in Chief

Julia OKREGLICKA
Agnieszka SUROWIAK
Tomasz NIEDOBA

– Vice Editor, Technical Editor
– Editorial Secretary
– Statistical Editor

REDAKTORZY DZIAŁOWI BRANCH EDITORS

Stanisław CIERPISZ
Stanisława SANAK-RYDLEWSKA
Tomasz SUPONIK
Dariusz PROSTAŃSKI
Jadwiga JARZYNA
Marek BOROWSKI
Tomasz LIPECKI

MIEDZYNARODOWA RADA REDAKCYJNA INTERNATIONAL ADVISORY EDITORIAL BOARD

Rosja –	Tatyana ALEXANDROVA	– Russia
Grecja –	Georgios ANASTASSAKIS	– Greece
Słowacja –	Peter BLISTAN	– Slovakia
Węgry –	Ljudmilla BOKÁNYI	– Hungary
Czechy –	Vladimír ČABLÍK	– Czech Republic
Czechy –	Pavel ČERNOTA	– Czech Republic
Rosja –	Valentin A. CHANTURIYA	– Russia
RPA –	Johan DE KORTE	– South Africa
Polska –	Jan DRZYMAŁA	– Poland
Słowacja –	Juraj GAŠINEC	– Slovakia
Węgry –	Imre GOMBKÖTŐ	– Hungary
Słowacja –	Gabriel WEISS	– Slovakia
Kanada –	M.E. HOLUSZKO	– Canada
Słowacja –	Slawomir HREDZAK	– Slovakia
W. Brytania –	Douglas E. JENKINSON	– United Kingdom
Polska –	Przemysław KOWALCZUK	– Poland
Rumunia –	Sanda KRAUSZ	– Romania
Polska –	Janusz LASKOWSKI	– Poland
Polska –	Marcin LUTYŃSKI	– Poland
Turcja –	Gülhan ÖZBAYOĞLU	– Turkey
USA –	B. K. PAREKH	– USA
RPA –	David PEATFIELD	– South Africa
Rosja –	Yuliy B. RUBINSHTEIN	– Russia
Polska –	Jerzy SABLİK	– Poland
Indie –	Rai K. SACHDEV	– India
Indie –	Kalyan SEN	– India
Chiny –	Zhongjian SHAN	– China
Słowacja –	Jiri ŠKVARLA	– Slovakia
Czechy –	Hana STANKOVA	– Czech Republic
Australia –	Andrew SWANSON	– Australia
Serbia –	Rudolf A. TOMANEC	– Serbia
Japonia –	Masami TSUNEKAWA	– Japan
Chiny –	Xie WENBO	– China
Ukraina –	Olexandr YEGURNOV	– Ukraine
Niemcy –	Dieter ZIAJA	– Germany

INŻYNIERIA MINERALNA JEST DOSTĘPNA (OPEN ACCESS) NA STRONIE WYDAWCY | WHOLE ISSUES OF INŻYNIERIA MINERALNA ARE AVAILABLE (OPEN ACCESS) ON PUBLISHER WEBSITE: POLSKA WWW.POTOPK.COM.PL/ARCHIWUM
ENGLISH WWW.POTOPK.COM.PL/AN_ARCHIWUM
www.inzynieriamineralna.com.pl

INŻYNIERIA MINERALNA JEST INDEKSOWANA I ABSTRAKTOWANA | INŻYNIERIA MINERALNA IS INDEXED AND ABSTRACTED:
SCOPUS (ELSEVIER), WEB OF SCIENCE, MASTER JOURNAL LIST – EMERGING SOURCES CITATION INDEX (CLARIVATE ANALITICS), POL-index, EBESCO, BAZTECH, Chemical Abstracts, Реферативный Журнал.
Inżynieria Mineralna is a member of CROSSREF.

ADRES REDAKCJI | CORRESPONDANCE ADDRESS:
POLSKIE TOWARZYSTWO PRZERÓBKI KOPALIN | POLISH MINERAL ENGINEERING SOCIETY
MICKIEWICZA 30, 30-059 KRAKÓW
MAIL: IM@AGH.EDU.PL, inzynieria_mineralna@agh.edu.pl, tora@agh.edu.pl

SKŁAD/ŁAMANIE/UKŁAD TYPOGRAFICZNY/OBSŁUGA: NOWY WSPANIAŁY HOLDING (NWH)
KONTAKT: C@NWH.PL
DRUK: DRUKARNIA TYPOGRAFIA – WWW.TYPOGRAFIA.COM.PL
KONTAKT: TYPOGRAFIA@TYPOGRAFIA.COM.PL
NAKŁAD: 200 egz.

© Inżynieria Mineralna, ISSN 1640-4920, Kraków 2020 by POLSKIE TOWARZYSTWO PRZERÓBKI KOPALIN
Inżynieria Mineralna is licensed under CC-BY-SA 3.0 Creative Commons.

© Articles by authors

Wydanie Inżynierii Mineralnej jest dofinansowane przez dziekana Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej.



Doświadczalne sprawdzenie poprawności probabilistycznego modelu dyskretnego rozkładu gęstości warstw w łożu osadzarki

Stanisław GŁOWIAK¹⁾

¹⁾ Zakład Automatyki „BGG” S.c.; email: sgłowiak@gmail.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-01>

Submission date: 16-01-2022 | Review date: 22-03-2022

Abstrakt

W niniejszej pracy zostały przedstawione wyniki badań przeprowadzonych w laboratoryjnej osadzarce wsadowej pozwalające porównać wyniki eksperymentalnego rozwarstwienia wzbogacanego materiału z wynikami modelowania z użyciem probabilistycznego modelu dyskretnego rozkładu gęstości warstw w łożu osadzarki. Szczegółowo porównano rozkłady położenia warstw o danych gęstościach otrzymane z eksperymentu z rozkładami obliczonymi w modelu dla takiego samego składu wzbogacanego materiału. Dwa parametry tego modelu określające jakość wzbogacania w każdym sprawdzonym przypadku mieszczą się w rzeczywistym zakresie znanych ocen sprawność osadzarek przemysłowych. Sprawdzenie modelu wykazuje bardzo dobre możliwości jego dopasowania do danych eksperymentalnych co potwierdza użyteczność modelu jako narzędzia do prognozowania wyników pracy osadzarek.

Słowa kluczowe: wzbogacanie węgla kamiennego, osadzarka, rozproszenie ziaren, modelowanie działania osadzarki, eksperymentalne badanie rozproszenia ziaren

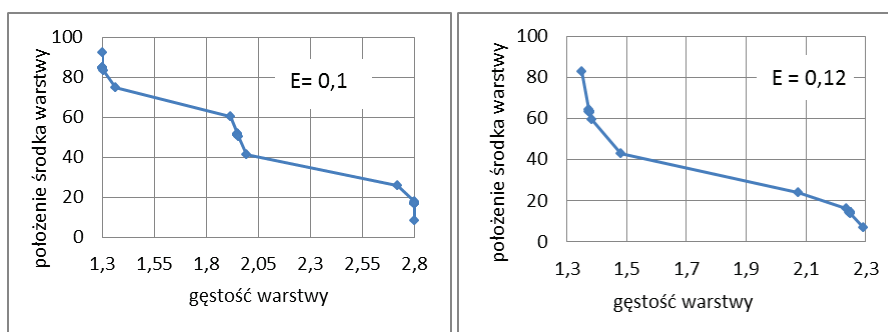
1. Wprowadzenie

Doświadczalna weryfikacja opracowanego modelu procesu wzbogacania w osadzarce jest ostatnim i koniecznym etapem jego tworzenia. Ten etap jest bardzo istotny dla modelu (Głowiak 2020) utworzonego bez rozważenia szczegółów zjawisk fizycznych zachodzących w rzeczywistym działaniu modelowanego obiektu. W pracy (Głowiak 2019) zawierającej podstawowe założenia tego modelu wymieniono także trudności jakie pojawiają się przy próbie jego doświadczanej weryfikacji. Głównym ich źródłem są ograniczenia wynikające ze stworzenia w badanym urządzeniu zjawisk maksymalnie podobnych do zachodzących w rzeczywistej osadzarce oraz niedokładność możliwych do zastosowania metod pomiarowych. Sprawdzenie poprawności modelu sprowadza się do znalezienia takich dwu parametrów modelu, aby modelowany przebieg zmian położenia środka modelowanej warstwy jak najlepiej pokrywał się z tym położeniem zbadanym eksperymentalnie. Przyjmuje się ograniczenie dla zmian parametrów modelu takie, aby rozproszenia prawdopodobne E_p wszystkich możliwych krzywych rozdziału obliczanych przez model mieściło się w zakresie obserwowanych wielkości rozproszenia prawdopodobnego krzywych rozdziału osadzarek przemysłowych oraz tych osadzarek doświadczalnych, których wartość tego parametru opublikowano. W weryfikowanym modelu przyjętą definicją położenia środka warstwy jest położenie połowy wysokości warstwy o podanej średniej gęstości cząstek tworzących tę warstwę. W przeprowadzonym eksperymencie warstwa definiowana jest jako plaster materiału o znanej grubości i średniej gęstości ziaren (jest to wysokość jednego pierścienia ścianki aparatu Henry'ego), a położenie środka warstwy jest położeniem połowy grubości tego plastra. Tak więc oba porównywane położenia środków warstw obliczane w modelu i mierzone doświadczalnie są tak samo zdefiniowane. Istniejąca między nimi różnica sprowadza się do jednakowej wysokości wszystkich warstw w eksperymencie i różnej ich wysokości w sprawdzanym modelu.

Ponieważ w sprawdzanym modelu nie ma możliwości ustalenia ilości różnych warstw o tej samej wysokości zgodnej z ilością warstw w eksperymencie koniecznością staje się porównanie danych obliczonych w modelu z wybranymi punktami eksperymentalnej zależności położenia środka warstwy od jej gęstości. Warto zauważyć także fakt, że model i eksperyment podają dokładną średnią gęstość cząstek warstwy, lecz tylko w przybliżeniu pozwalają ustalić położenia środka warstwy. Jest tak dlatego, że przyjmuje się jako jej środek geometryczny środek warstwy zamiast położenia środka nieznanego rozkładu mas w warstwie.

2. Opis badanego układu pomiarowego

Urządzenie w wymiarowo małej skali modelujące rzeczywiste działanie osadzarki jest rodzajem aparatu Henry'ego (Stępiński 1964) z mimośrodowym napędem zapewniającym stały (ok. 60 mm) skok ruchomego cylindra i stałą częstotliwość (ok. 1 cykl/s). Cylinder tego aparatu, w którym zachodzi rozwarstwianie zróżnicowanego gęstościowo zianistego materiału składa się z 20 pierścieni o wysokości 20 mm każdy i średnicy wewnętrznej 200 mm, z których dolny i górny pierścień zamknięty jest drucianym sitem. Pierścienie te po napełnieniu uprzednio dokładnie wymieszanym materiałem są przy użyciu specjalnych uchwytów mocowane razem i podwieszane do mechanizmu napędowego. Cały cylinder jest zanurzony w naczyniu napełnionym wodą, tak że jego pionowy ruch posuwisto-zwrotny zachodzi przy pełnym zanurzeniu cylindra. Czas rozwarstwiania stały we wszystkich doświadczeniach równy 20 minut został eksperymentalnie tak dobrany, aby mogło zajść rozwarstwienie materiału na całej jego wysokości. Po zakończeniu procesu rozwarstwiania zdejmuje się kolejno od góry poszczególne pierścienie i przy użyciu specjalnej łopatkę dokonuje się wydzielenia każdej z 20 milimetrowych warstw rozdzielonego materiału. Cylinder był napełniany do wysokości maksymalnej 16 pierścieni,



Rys.1. Wyniki wstępnego modelowania dla badanej nadawy trójskładnikowej (po lewej) i nadawy naturalnej (po prawej)
Fig. 1. Initial modeling results for the tested three-component feed (left) and natural feed (right)

Tab.1. Wyniki pomiarów rozwarstwienia nadawy trójskładnikowej
Tab.1. Results of measurements of the stratification of the three-component feed

nr warstwy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
frakcja 1,3	1,000	1,000	1,000	1,000	0,835	0,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
frakcja 1,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,165	0,926	1,000	1,000	1,000	0,930	0,192	0,012	0,011	0,002	0,000
frakcja 2,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,808	0,988	0,989	0,998	1,000
gęst.warstwy	1,300	1,300	1,300	1,300	1,376	1,880	1,950	1,950	1,950	1,992	2,584	2,785	2,787	2,798	2,800
środ. warstwy	96,7	90,0	83,3	76,7	70,0	63,3	56,7	50,0	43,3	36,7	30,0	23,3	16,7	10,0	3,3

aby w trakcie jego ruchu materiał miał wolne miejsce pozwalające osiągnąć właściwe rozluźnienie. Przy planowaniu przeprowadzonych eksperymentów wzięto pod uwagę wyniki podobnych doświadczeń opisanych w pracach (Jonkers 1998), (Woolcot 2015) związanych z empirycznym badaniem modelu Kinga oraz pracy (Kowol 2010) przedstawiającej badania rozkładu gęstości warstw z zastosowaniem pływaka.

Przeprowadzono rozwarstwianie dwu rodzajów materiału:

- materiału sztucznie skomponowanego składającego się z cząstek koncentratu węglowego (gęstość 1,3 g/cm³, udział 0,195), cząstek skruszonej czerwonej cegły (gęstość w stanie mokrym 1,95 g/cm³, udział 0,348) i cząstek naturalnego białego marmuru (gęstość 2,8 g/cm³, udział 0,457) o klasie ziarnowej wszystkich składników 8–10 mm. Skład densymetryczny tego materiału będący wynikiem zbliżonego do 1/3 objętościowego udziału każdego ze składników podany jest powyżej. Wąska klasa ziarnowa i stosunkowo duże ziarno zostały wybrane z powodu jej dogodności dla przeprowadzenia ręcznej segregacji takich ziaren według ich koloru istotnej dla tego etapu eksperymentu;
- klasy ziarnowej 5–10 mm naturalnej nadawy do osadzarki z jednej z kopalń. Zmierzony skład densymetryczny tego materiału podany jest w wynikach tej części eksperymentu.

Zgodnie z przyjętymi założeniami (Głowiak 2019) zasadniczym celem badań jest uzyskanie eksperymentalnej zależności położenia danej warstwy w pionowym przekroju wszystkich warstw od jej średniej gęstości i porównanie tego położenia z położeniem obliczonym w modelu. Badanie eksperymentalne ma pokazać jak dalece wyniki tych badań odbiegają od przedstawionych poniżej wstępnych wyników modelowania.

Rysunek 1 przedstawia wyniki wstępnego modelowania położenia środków warstw w funkcji ich gęstości dla obu doświadczalnie badanych nadaw. Parametr E modelu określający

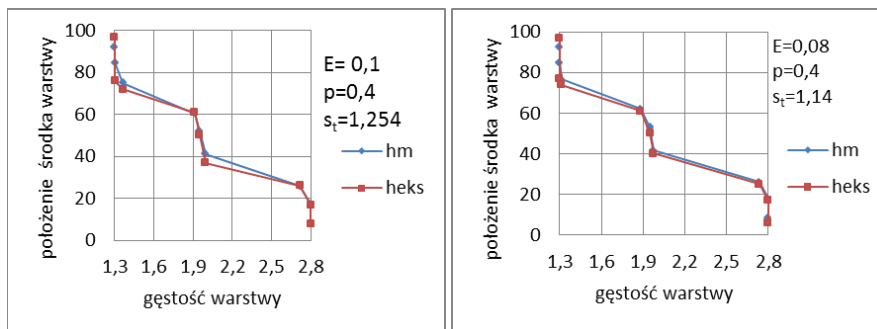
wielkość rozproszenia w procesie wzbogacania został przyjęty jako punkt początkowy jego zmian dla dopasowania modelu do wyników eksperymentu.

3. Wyniki rozwarstwienia nadawy trójskładnikowej

W tabeli 1 przedstawiono udziały masowe czyli koncentracje poszczególnych frakcji gęstościowych wzbogacanego materiału we wszystkich warstwach otrzymanych w przeprowadzonym eksperymencie oraz średnie gęstości ziaren poszczególnych warstw i położenie ich środków. Gęstości warstw padano w g/cm³, a położenie środków warstw w % sumy wysokości wszystkich warstw. Warstwy numerowane są kolejno od najwyższej w kierunku do sita.

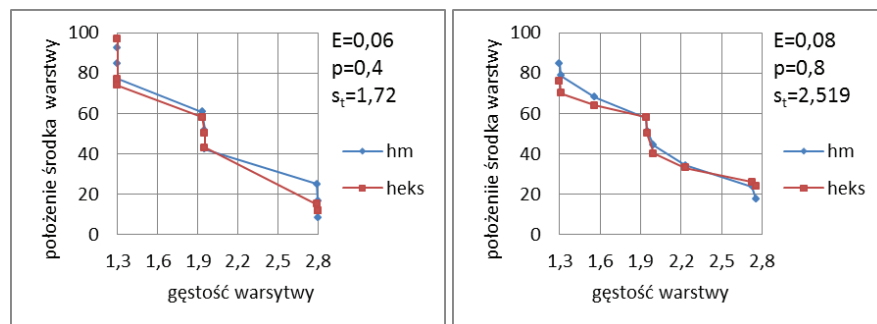
W każdej z otrzymanych warstw dokonano ręcznego rozdzielania wszystkich ziaren według ich koloru i zważono oddzielnie każdy składnik warstwy. Znając masę każdego składnika warstwy i jego udział wagowy obliczono średnią gęstość ziaren, z których składa się każda warstwa. Ponieważ znane jest położenie i wysokość każdej warstwy możliwe jest podanie eksperymentalnie otrzymanej zależności położenie środka danej warstwy od jej średniej gęstości. Porównywane wyniki modelowania wzięto z modelu, w którym przeprowadzono obliczenia dla 32 możliwych gęstości frakcji nadawy i 32 gęstości warstw łoża osadzarki.

W weryfikowanym modelu zależność położenia środka warstwy od jej średniej gęstości jest obliczana jako poszczególne wartości wektora Y_0 i jest funkcją składu densymetrycznego nadawy daną wektorem wejściowym U oraz sprawności wzbogacania określoną liniową zależnością $s_i = E_s + m \rho_i$. Ta zależność została wprowadzona do modelu dla zbadania odchyleń krzywych rozdziału od dystrybuanty rozkładu modelującego rozproszenie cząstek o różnych gęstościach w procesie osadzania. Tak więc model zostanie pozytywnie zweryfikowany, jeżeli możliwe jest dobranie takich wartości E_s i m , aby krzywa eksperymentalna pokryła się z krzywą wyliczaną przez model z wymaganą dokładnością. W przeprowadzanej weryfikacji została użyta inna liniowa zależność rozproszenia si od gęstości frakcji ρ_i nadawy w postaci $s_i = E + E p (\rho_i - \rho_0)$



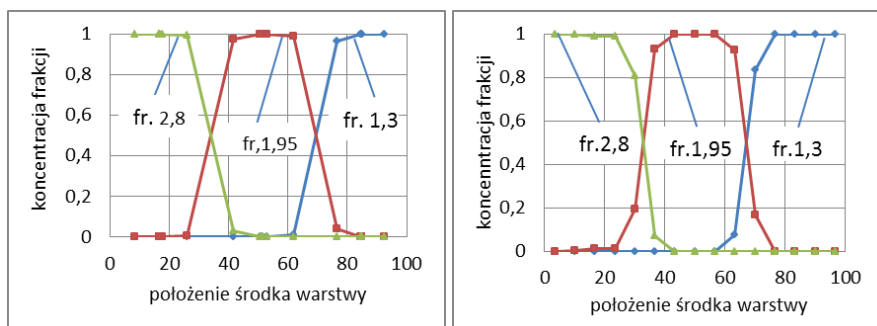
Rys. 2. Porównanie wyników pomiaru położenia środków warstw jako funkcji gęstości warstw i wyników modelowania dla różnych rozprożeń i takich samych zmian rozproszenia

Fig. 2. Comparison of the measurement results of the position of the layer centers as a function of the layer density and the modeling results for different dispersions and the same dispersion changes



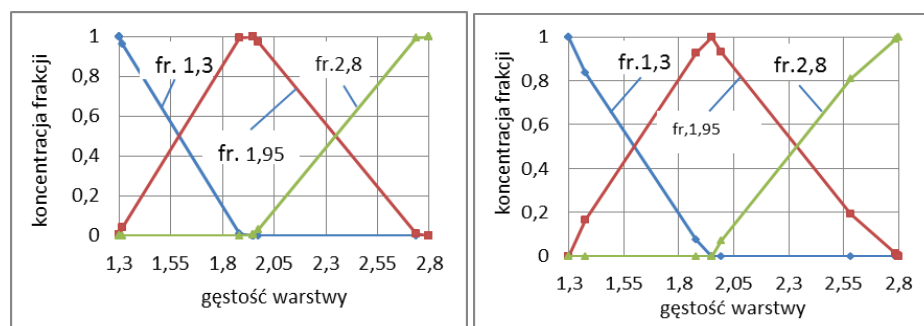
Rys. 3. Porównanie wyników pomiaru położenia środków warstw jako funkcji gęstości warstw i modelowania dla modelowanych różnych rozprożeń i różnych zmian rozproszenia

Fig. 3. Comparison of the measurement results of the position of the layer centers as a function of the layer density and the modeling results for different dispersions and different dispersion changes



Rys. 4. Wyniki modelowania (po lewej) i pomiaru (po prawej) dla koncentracji każdej frakcji gęstościowej nadawy trojskładnikowej w funkcji położenia środków poszczególnych warstw

Fig. 4. The results of modeling (left) and measurement (right) for the concentration of each density fraction of the three-component feed as a function of the location of the layer centers



Rys. 5. Wyniki modelowania (po lewej) i pomiaru (po prawej) koncentracji każdej frakcji gęstościowej nadawy trojskładnikowej w funkcji gęstości poszczególnych warstw

Fig. 5. The results of modeling (left) and measurement (right) of concentration of each density fraction of three-component feed as a function of the density of individual layers

Tab. 2. Wyniki pomiarów składu densymetrycznego nadawy naturalnej
 Tab. 2. Results of measurements of the density composition of the natural feed

gęstość frakcji	-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	1,5-1,6	1,6-1,7	1,7-1,8	1,8-1,8	+1,88	suma
masa materiału	469	1250	509,2	141,6	95,6	87,2	70,2	1525	4148
udział	0,113	0,301	0,123	0,034	0,023	0,021	0,017	0,368	1,0
średnia gęstość	1,278	1,335	1,455	1,573	1,666	1,780	1,867	2,321	1,630

Tab. 3. Wyniki pomiarów gęstości i położenia środków warstw osadzania nadawy naturalnej
 Tab. 3. Results of the density measurements and the position of the middle layers of the natural feed

numer warstwy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
gęstość warstwy	1,320	1,335	1,345	1,356	1,361	1,367	1,387	1,395	1,426	1,471	1,564	1,720	1,841	2,233	2,330	2,369
położenie warstwy	98,4	93,5	87,1	80,6	74,2	67,7	61,3	54,8	48,4	41,9	35,5	29,0	22,6	16,1	9,7	3,2

mającą tę zaletę, że dla przyjętego E i dla p z zakresu 0-1 umożliwia obliczenia dla każdego ρ_0 z zakresu gęstości frakcji nadawy. W tej zależności E jest rozproszeniem dla frakcji o gęstości ρ_0 , iloczyn pE jest zmianą rozproszenia na jednostkę gęstości frakcji nadawy, a ρ_0 jest gęstością tej wybranej frakcji nadawy, której rozproszenie wynosi E. Obliczenia dopasowania parametrów modelu do danych empirycznych prowadzone są metodą prób i błędów ze względu na iteracyjny, dyskretny i nieliniowy charakter modelu i w każdym przypadku muszą być powadzone od początkowych wartości dla obliczeń iteracyjnych. Ponadto wysokości położenia środka warstwy od jej gęstości z modelu jest obliczana dla innych wartości gęstości warstw niż wartości otrzymane doświadczalnie. Zatem dla ich porównania w tych samych punktach wymagane jest odczytanie wartości położenia środka wysokości warstwy z zależności empirycznej, ponieważ jest ona określona w większej ilości istotnie różniących się punktów niż zależność z modelu. Wyniki takich obliczeń przedstawiają rysunki 2 i 3 w sumie pokazujące 4 różne przypadki dopasowania. Jako najlepsze dopasowanie przyjmuje się sytuację, gdy pierwiastek z sumy kwadratów różnic wartości wysokości z modelu i eksperymentu podzielonej przez liczbę porównywanych punktów osiąga najmniejszą wartość. Tak przyjęty wskaźnik dopasowania jest odchyleniem standardowym błędu pojedynczego pomiaru obliczonym metodą największej wiarygodności. Ocenie podlegają także otrzymane wartości E i p, ponieważ muszą być one zbliżone do wartości występujących w rzeczywistych procesach wzbogacania. Stąd $0,03 < E < 0,35$ i $0 < p < 1$. Fizyczną interpretacją tak ocenianej zgodności eksperymentu i modelu jest średnia różnica między zmierzonym i obliczonym położeniem środkiem warstwy wyrażona w % sumy wysokości wszystkich warstw.

W przedstawianych wynikach modelowania przyjęto $\rho_0 = 2,0$. Zastosowana metoda nie pozwala na proste i szybkie znalezienie najlepszego dopasowania danych modelu i eksperymentu, lecz umożliwia wybranie dopasowania wystarczająco dobrego.

Oznaczenia na rysunkach pokazujących dopasowanie wyników modelowania i eksperymentu:

E – rozproszenie frakcji nadawy o gęstości ρ_0

p – parametr określający zmianę rozproszenia frakcji na jednostkę jej gęstości

s_t – odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru obliczone metodą największej wiarygodności

hm – modelowane położenie środków warstw

heks – zmierzone położenie środków warstw

Dla nadawy trójskładnikowej znany jest także eksperymentalny skład gęstościowy każdej warstwy. Pozwala to na dodatkową możliwość oceny modelu poprzez porównanie rozkładów poszczególnych frakcji gęstościowych otrzymanych z eksperymentu i wyliczonych z modelu.

Wyniki tego porównania przedstawiają rysunki 4 i 5 podające koncentrację cząstek poszczególnych frakcji w utworzonych warstwach w funkcji wysokości położenia środka warstwy i w funkcji średniej gęstości warstwy. Dla tego porównania istotne znaczenie ma przypomnienie, że model tworzy znacznie mniejszą ilość istotnie różniących się warstw niż ilość warstw otrzymanych eksperymentalnie. W wyniku tego warstwy zmierzone doświadczalnie odpowiadające danej warstwie z modelu są sumą kilku warstw eksperymentalnych z tą uwagą, że pierwsza i ostatnia z tej sumy warstw może być także w części składnikiem tej sumy.

4. Wyniki pomiaru rozwarstwienia nadawy naturalnej

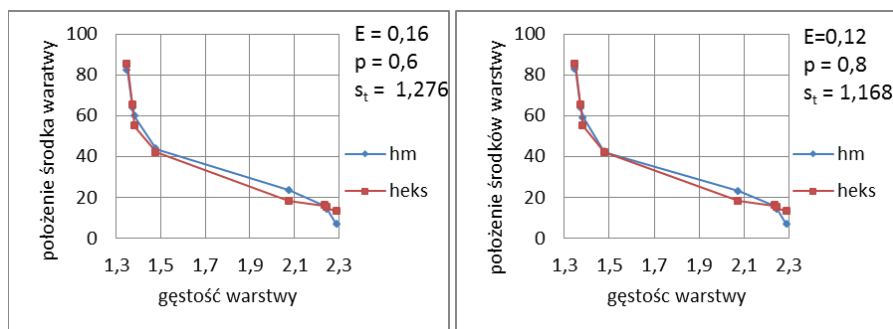
Z pobranej w jednej z kopalń nadawy do osadzarki wysiano klasę ziarnową 5–10 mm. Masa tej klasy wynosiła ok. 10 kg. Z tego materiału pomniejszając próbkę otrzymano próbkę ok. 5 kg. Materiał ten podano rozdziałowi w cieczach ciężkich dla określenia wychodu poszczególnych frakcji gęstościowych. Dla każdej frakcji zmierzono także średnią gęstość ziaren tworzących tę frakcję. Otrzymane wyniki przedstawia tabela 2.

Następnie materiał ten został poddany procesowi rozwarstwienia. Położenie środka danej warstwy jest znane z numeru kolejnej warstwy i mierzona była tylko średnia gęstość ziaren warstwy, pomijając rozdział każdej warstwy na frakcje gęstościowe jak to zrobiono dla całej nadawy.

Wiersze 2 i 3 powyższej tabeli 3 przedstawiają otrzymaną zależność położenia środka danej warstwy od średniej gęstości jej ziaren.

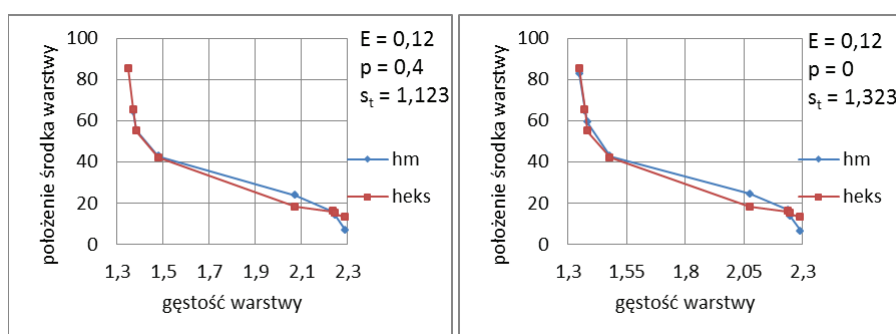
Wybrane wyniki prób dopasowania tej zależności modelowanej zestawionej z zależnością otrzymaną eksperymentalnie przedstawiają rysunki 6 i 7.

Wyraźnie widoczna gorsza zbieżność modelu dla wysokich gęstości warstw z wynikami doświadczenia dla nadawy naturalnej daje się łatwo wytłumaczyć niską precyzją wyznaczenia eksperymentalnego składu gęstościowego tej nadawy dla wysokich gęstości spowodowaną brakiem bezpiecznych cieczy ciężkich o gęstości powyżej 1,9. Sprawa ta pokazuje także jak ważna jest dla poprawnego prognozowania wyników wzbogacania pełna charakterystyka składu densymetrycznego wzbogacanego materiału. Zdecydowana



Rys. 6. Porównanie wyników pomiarów położenia środków warstw jako funkcji gęstości warstw i wyników modelowania dla różnych rozprośnień i zmian rozproszenia

Fig. 6. Comparison of the measurement results of the position of the layer centers as a function of the layer density and the modeling results for different dispersions and different dispersion changes



Rys. 7. Porównanie wyników pomiarów położenia środków warstw jako funkcji gęstości warstw i modelowania tej zależności dla jednakowych rozprośnień i różnych zmian rozproszenia

Fig. 7. Comparison of the measurement results of the position of the layer centers as a function of the layer density and the modeling results for the same dispersions and different dispersion changes

większość znanych autorowi tej pracy charakterystyk nie zawiera danych dla gęstości powyżej 2,0.

Na podstawie przedstawionych powyżej porównań można uznać, że dla nadawy naturalnej także jest potwierdzona dobra zbieżność wyników modelowania z pomiarem. Zauważalny jest fakt występowania większego rozproszenia w procesie wzbogacania dla tej nadawy spowodowany niewiele szerszą klasą ziarnową tego materiału.

5. Wnioski

1. Bardzo dobra zbieżność otrzymanych z modelu i eksperymentu zależności położenia danej warstwy od jej gęstości może być potwierdzeniem tezy, że opracowany model spełnia założenia przyjęte do jego opracowania i w związku z tym wyniki obliczeń rozwarstwienia materiału w modelu bardzo dobrze przybliżają stan rzeczywistego rozwarstwienia.

2. Średnie odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru od wyniku modelowania na poziomie poniżej 1,5% w przypadku najlepszego dopasowania dla tego typu modelowania można uznać jako wynik wystarczająco dobry, szczególnie uwzględniając podane zastrzeżenia odnośnie dokładności pomiaru i modelowania położenia środka warstwy oraz maksymalną wielkość ziarna wynoszącą 10 mm.

3. Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że przyjęta w modelu zależność rozproszenia danej frakcji gęstościowej od jej gęstości jest istotna, ponieważ dopasowanie modelu dwuparametrowego wyraźnie pokazuje zależność dokładności dopasowania od przyjętej wartości wskaźnika zmiany rozproszenia p . Dopasowanie jest w przypadkach

obydwu nadaw lepsze dla modelu, w którym rozproszenie frakcji jest zmienne.

4. Biorąc pod uwagę także inne próby dopasowania parametrów modelu do wyników przeprowadzonych eksperymentów, nie przedstawione w tym opracowaniu, można zauważyć, że uwzględnienie w modelu zmiany rozproszenia dla frakcji o różnych gęstościach jest zasadne. Dokładniejsze uzasadnienie może jednak wymagać dodatkowych badań z uwzględnieniem zastrzeżeń podanych w założeniach modelu oraz jego opisie. W ewentualnych badaniach trzeba wziąć pod uwagę także wpływ na ten parametr składu ziarnowego wzbogacanego materiału jak i niską dokładność wyznaczania empirycznych krzywych rozdziału.

5. Przyjmując zasady stosowane w fizyce do uznania modelu za w pełni dobrze doświadczalnie sprawdzony potrzeba jednak aby podobne wyniki zostały uzyskane przez przynajmniej jeszcze jednego niezależnego badacza tych zagadnień. W tym miejscu pojawia się istotny problem wynikający ze znikomego zainteresowania rozwojem i badaniem osadzarek spowodowany uznaniem tej technologii, przynajmniej dla wzbogacania węgla, jako schyłkowej i zastępowania jej cyklonami z cieczą ciężką.

Podziękowania

Adresatem szczególnych moich podziękowań jest Pani prof. dr hab. inż. Barbara Tora za zaproponowanie przeprowadzenia eksperymentalnej weryfikacji opracowanego modelu rozkładu gęstości warstw w osadzarce w laboratorium Katedry Inżynierii Środowiska Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii

AGH, zapewnienie materiałów niezbędnych do przeprowadzenia eksperymentu oraz niezwykle cenne uwagi korygujące plan doświadczeń. Podziękowania kieruję także do lab-

orantów Panów Piotra Madydy i Mateusza Dębowskiego za przygotowanie materiału do badań i bardzo życzliwą pomoc w trakcie prowadzonych w laboratorium doświadczeń.

Literatura – References

1. Głowiak S. (2019) Założenia probabilistycznego modelu rozkładu gęstości ziaren w warstwach łoża osadzarki. Inżynieria Mineralna nr 1 (43) str.211-220
2. Głowiak S. (2020) Probabilistyczny model rozkładu gęstości ziaren w warstwach łoża osadzarki. Inżynieria Mineralna nr 1 (45) str.187-198
3. Jonkers A., Lyman G.J., Loveday G.K. (1998) Advances in Modelling of Stratification in Jigs. XIII International Coal Preparation Congress Brisbane Vol.1, Paper G2 pp. 266 -275
4. Kowol D. (2010) Wpływ zamian parametrów nadawy na efekty działania pływakowego układu sterowania odbiorem produktów osadzarki. Praca doktorska Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Górnictwa i Geologii str. 124
5. Stępiński W. (1964) Wzbogacanie grawitacyjne PWN Łódź-Warszawa-Kraków str. 13
6. Woolcott L.C., Bwalya M., Mabokela L. (2015) A validation study of the King stratification model . Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy Volume 115 February pp.95-101

Experimental Verification of the Correctness of the Probabilistic Model of the Discrete Density Distribution of Layers in the Jig Bed

This paper presents the results of tests carried out in a laboratory batch jig that allows to compare the results of the experimental stratification with the modeling results using the probabilistic model of the discrete density distribution of the layers of the jig bed. The distributions of the layers with the given densities obtained from the experiment were compared in detail with the distributions obtained in the model for the same composition of the tested material. Two parameters of this model, determining the quality of enriching in each proven case, fall within the actual range of assessments of known ratings of industrial jigs. Checking of the model shows a very good possibility of its adjustment to the experimental data, which confirms the usefulness of this model as a good tool for forecasting the enrichment results in jigs.

Keywords: *hard coal enrichment, jig, dispersion of grains, modeling of the jig operation, experimental testing of grains dispersion in the jig*



Zmiany w obrazie wzbogacania osadowego wynikające z analizy probabilistycznego modelu rozkładu gęstości warstw łóża osadzarki

Stanisław GŁOWIAK¹⁾

¹⁾ Zakład Automatyki „BGG” S.c.; email: sgłowiak@gmail.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-02>

Submission date: 16-01-2022 | Review date: 22-03-2022

Abstrakt

Wyniki modelowania i doświadczalnego sprawdzenia probabilistycznego modelu rozkładu gęstości warstw w łóżu osadzarki pozwalają zauważyć istotne różnice w obrazie procesu wzbogacania w osadzarce wynikające z tego modelu i dotychczasowym rozumieniu tego procesu. Zauważone różnice mają duże znaczenie zarówno dla jego teoretycznego opisu jak i dla praktyki wzbogacania węgla. Pozwalają także na wskazanie właściwego kierunku wprowadzenia zmian w konstrukcji osadzarki. Niniejsza praca jest opisem szczegółów zauważonych różnic i ich znaczenia dla poprawnego rozumienia procesu osadzania. Wśród tych szczegółów duże znaczenie mają niezauważone do tej pory zmiany rozkładów gęstości warstw łóża i rozkładów mas w poszczególnych warstwach związane z rozpraszaniem się cząstek wzbogacanego materiału.

Słowa kluczowe: wzbogacanie surowców mineralnych, osadzanie, wodna osadzarka pulsacyjna

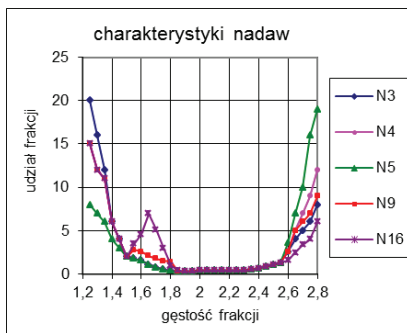
1. Wprowadzenie

Niniejszy artykuł jest ostatnią z pięciu prac tworzących pewną całość zogniskowaną na zagadnieniu rozkładu gęstości i mas warstw w łóżu osadzarki. Pierwsza z nich (Głowiak 2019) przedstawia krytyczny przegląd prac związanych z teorią krzywych rozdziału i związku tej teorii z rozpraszaniem się cząstek wzbogacanego w warstwach łóża osadzarki opisywanych pojęciami używanymi w rachunku prawdopodobieństwa. Wynika z niej konieczność znacznej korekty teoretycznego opisu tych zagadnień w istniejącej literaturze. Aby ta korekta została poprawnie wykonana konieczne jest skonstruowanie modelu matematycznego właściwie opisującego rozpraszanie się cząstek wzbogacanego w warstwach łóża osadzarki. Opis założeń do takiego modelu przedstawia druga z tych prac (Głowiak 2020). Szczegółowo przedstawiono w niej wszystkie pojawiające się ograniczenia istotne dla poprawności działania tworzonego modelu. Dokładny opis tego modelu jest zawarty w trzeciej pracy (Głowiak 2020) podającej interpretację zastosowanych w nim pojęć z rachunku prawdopodobieństwa na gruncie teorii wzbogacania grawitacyjnego. Znaczna rozbieżność wyników z modelu z opisem powszechnie przyjmowanym w literaturze jako poprawny była istotnym powodem powstania czwartej pracy (Głowiak 2022) przedstawiającej wyniki eksperymentalnego sprawdzenia poprawności modelu. Dobra zgodność modelu z wynikami eksperymentu spowodowała konieczność szerszego wyjaśnienia różnic z wynikami istniejących prac i stała się źródłem innego spojrzenia na proces wzbogacania w wodnej osadzarce pulsacyjnej przedstawionego w niniejszej pracy.

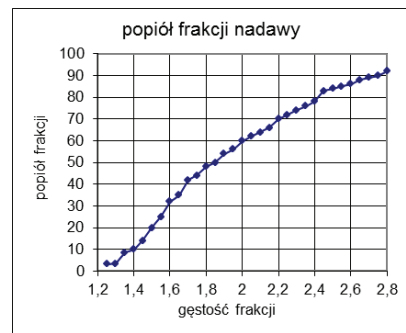
2. Porównanie założeń i realizacji modelu

Jedynym ogólnym założeniem przedstawionego probabilistycznego modelu rozkładu warstw w łóżu osadzarki mającym podstawy fizyczne jest przyjęcie, że cząstka o gęstości ρ_c znajdująca się w warstwie o średniej gęstości ρ_w znajduje się

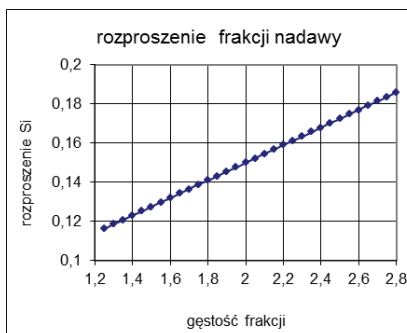
w stanie równowagi tylko wtedy, gdy średnia gęstość warstwy równa jest gęstości cząstki. W każdym innym przypadku istnieje siła wypadkowa działająca na tę cząstkę powodująca jej ruch w kierunku innych warstw. Fizycznym uzasadnieniem tego stwierdzenia są rozważania Zapały (Zapała 1988) oparte na istnieniu hipotetycznej cieczy ciężkiej o gęstości równej średniej gęstości cząstek w warstwie łóża osadzarki. Probabilistyczny charakter modelu wynika z zauważenia, że proces rozdziału cząstek w łóżu osadzarki nie może przebiegać idealnie co powoduje, że cząstka nie zawsze trafia do warstwy równowagi. Pewność trafienia jest obrazem wzbogacania idealnego nieosiągalnego w rzeczywistym procesie wzbogacania. Wszystkie inne założenie szczegółowo przedstawione w pracy (Głowiak 2020) dotyczą tylko ograniczeń zapewniających zachowanie bilansu mas rozpraszanych cząstek oraz usunięciu z tworzonego modelu fizycznie nie uzasadnionych ograniczeń gęstości warstw istniejących w modelach Zapały i Kinga (King 1987). Takim ograniczeniem jest przyjęcie w założeniach tych modeli stałych średnich gęstości warstw. Istotne jest też zauważenie, że w obu wspomnianych modelach ograniczenia gęstości warstw zostały prawdopodobnie nieświadomie wprowadzone przez autorów w wyniku nie dość dokładnie sprecyzowanych założeń do tych modeli. Trzeba także dodać, że działanie tych modeli było zgodne z nie do końca prawdziwym obrazem wzbogacania rzeczywistego wprowadzonym przez prace Trompa i Terra'y (Tromp 1937, Terra 1938). Warto także zauważyć, że zmienną losową w modelu Zapały jest gęstość cząstki trafiającej do warstwy o stałej gęstości, podczas gdy w omawianym w tej pracy modelu zmienną losową jest gęstość warstwy, do której trafiają cząstki o z góry ustalonej gęstości. Stąd wynika wzmożona troska o poprawne pokazanie wszystkich, nawet pozornie nieistotnych, szczegółów działania modelu mogących wynikać z przyjęcia zbyt ogólnych i w rezultacie niewłaściwych założeń. Poprawne wyniki działania modelu w stanach krańcowych to jest wzbog-



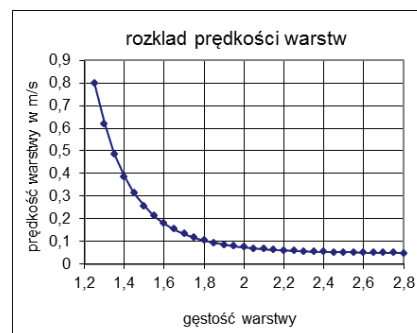
Rys. 1. Charakterystyki gęstościowe wybranych nadaw
Fig. 1. Density characteristics of selected feeds



Rys. 2. Zależność zawartości popiołu od gęstości frakcji przyjęta dla wszystkich nadaw
Fig. 2. Dependence of ash content on fraction density adopted for all feeds



Rys. 3. Zmiana rozproszenia przyjęta do modelowania
Fig. 3. Modification of dispersion adopted for modeling



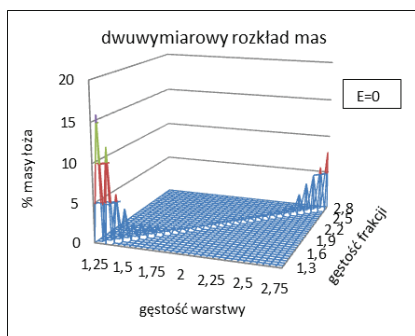
Rys. 4. Profil poziomych prędkości warstw łoża osadzarki
Fig. 4. Profile of the horizontal velocity of layers of the jig beds

gacania idealnego i całkowitego braku wzbogacania nie dają absolutnej pewności, że model działa dobrze w każdej sytuacji możliwej dla wzbogacania rzeczywistego. Pewnym testem dla poprawnego działania modelu w takich warunkach może być występowanie w obliczeniach maksymalnych wartości koncentracji cząstek frakcji gęstościowych nadawy w poszczególnych warstwach łoża osadzarki. Ta koncentracja jest szczególnie widoczna w macierzy C modelu podającej zawartość danej frakcji nadawy w poszczególnych warstwach. W wyniku sprawdzenia jaka frakcja gęstościowa nadawy posiada maksymalną koncentrację w danej warstwie w losowo wybranych z kilkudziesięciu obliczonych rozkładów okazało się, że jest to zawsze frakcja o gęstości najbardziej zbliżonej do średniej gęstości warstwy, lecz z dwoma wyjątkami wynikającymi z ograniczeń możliwości rozproszenia się frakcji w warstwie najcięższej i najlżejszej. Przy istnieniu odpowiednio dużego rozproszenia frakcje o gęstościach różnych od minimalnej i maksymalnej gęstości nadawy muszą zawsze trafić tylko w części do warstw najlżejszej i najcięższej, ponieważ istniejące w algorytmie obliczeń ograniczenia nie pozwalają im rozproszyć się w nieistniejących warstwach. Ponadto sprawdzany jest w każdym cyklu obliczeń bilans mas wszystkich warstw, który zawsze wynosi 100 % masy frakcji nadawy oraz średnia gęstość utworzonych warstw, która powinna być równa średniej ważonej wszystkich gęstości frakcji nadawy. Dodatkowym kryterium sprawdzenia poprawności modelu może być energia potencjalna cząstek łoża możliwa do obliczenia z rozkładu gęstości cząstek i mas poszczególnych warstw. Zmiana energii potencjalnej łoża wynikająca z hipotezy Mayera ma miejsce w wyniku startu obliczeń iteracyjnych z punktu gęstości średnich warstw równych

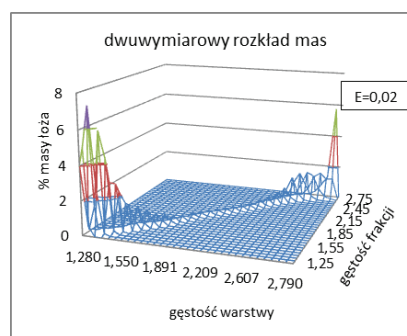
gęstości poszczególnych frakcji gęstościowych, co odpowiada wzbogacaniu idealnemu, a więc także najmniejszej energii potencjalnej cząstek łoża. Tak prowadzone obliczenia potwierdzają tezę modelu zakładającą, że wartością średnią rozkładu określającego rozpraszanie cząstek danej frakcji w powstałych warstwach jest średnia gęstość cząstek tej frakcji. W modelu Zapały ma miejsce całkowita zgodność średniej gęstości warstwy z rzeczywistą gęstością warstwy, lecz to nie wynika z działania modelu, lecz jest skutkiem przyjętych założeń, które powodują, że w łożu mogą istnieć tylko warstwy o z góry wybranej gęstości zgodnej z gęstością rozpraszanych cząstek. Dalszą konsekwencją tak przyjętego założenia modelu Zapały jest brak konieczności obliczeń iteracyjnych. Powyższe uzasadnienie istotnych cech modelu pojawia się w tym miejscu, ponieważ ta sprawa nie została pokazana wystarczająco dokładnie w opisie założeń modelu jak i w przedstawieniu samego modelu i w dalszym etapie prowadzonych rozważań nie powinna budzić żadnych wątpliwości.

Działanie osadzarki wynikające z przedstawionego modelu pozostaje także w wyraźnej sprzeczności z opracowanym w pierwszej połowie XX wieku i obecnie jeszcze używanym kryterium oceny wzbogalności węgla opisanym tylko dla wzbogacania idealnego. Kwestia ta zostanie także szerzej przedstawiona w niniejszej pracy.

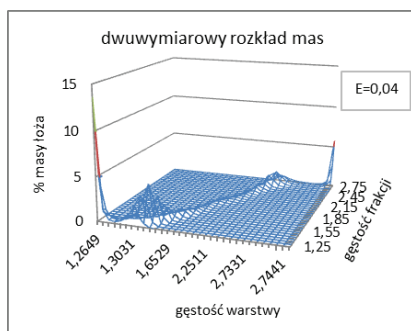
Istotna uwaga: wzbogacanie idealne (tylko $E=0$) w tym i wcześniejszych opracowaniach autora nie oznacza rozumienia tego pojęcia jak w pracy Drzymały (Drzymała 2009), gdzie jako idealne przyjmuje się takie prowadzenie wzbogacania węgla, aby uzyskać tylko frakcję gęstościową o najmniejszej zawartości popiołu, którą to frakcję uważa się jako czysty



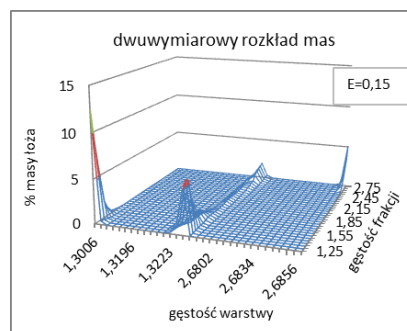
Rys. 5. Dwuwymiarowe rozkłady mas łoża dla wzbogacania idealnego
Fig. 5. Two-dimensional mass distributions of the bed for ideal enrichment



Rys. 6. Dwuwymiarowe rozkłady mas łoża dla bardzo dobrego wzbogacania
Fig. 6. Two-dimensional bed mass distributions for very good enrichment



Rys.7. Dwuwymiarowy rozkład mas łoża dla granicznej sprawności wzbogacania ofilopozomych prędkości warstw łoża osadzarki
Fig. 7. Two-dimensional mass distribution for the boundary upgrading efficiency



Rys. 8. Dwuwymiarowy rozkład mas łoża dla przeciętnej sprawności wzbogacania
Fig. 8. Two-dimensional mass distribution for average upgrading efficiency

pozyskiwany minerał. Takie rozumienie idealnego wzbogacania wynika ze znacznie szerszego rozpatrywania procesu wzbogacania mieszaniny różnych minerałów niż w przypadku wzbogacania węgla kamiennego.

3. Rozkłady gęstości warstw i mas warstw w łożu osadzarki dla różnych sprawności stratyfikacji warstw i różnych składów densymetrycznych nadawy

Przedstawiony model rozkładu gęstości warstw i mas zgromadzonych w tych warstwach jest silnie nieliniowy, co powoduje, że jego analiza wymaga sprawdzenia wyników we wszystkich interesujących przypadkach. Łącznie wykonano obliczenia dla ponad 100 różnych rozkładów obejmujących 18 różnych składów densymetrycznych nadawy, obrazujących szeroki zakres jej zmian spotykany w praktyce wzbogacania. Z tego materiału do pokazania wynikających z modelu wniosków wybrano tylko te przypadki, które najlepiej ilustrują różnice między obrazem procesu osadzania wynikającym z modelu i obecnym rozumieniem przebiegu tego procesu. Wszystkie przedstawione dalej wyniki obliczeń dotyczą nadaw, których charakterystyki są przedstawione na Rys.1.

W trakcie prowadzonych obliczeń kontrolowane były wychody produktów oraz ich jakość mierzona zawartością popiołu. We wszystkich obliczeniach przyjęto stałą zależność zawartości popiołu od gęstości. Tę zależność przedstawia Rys 2.

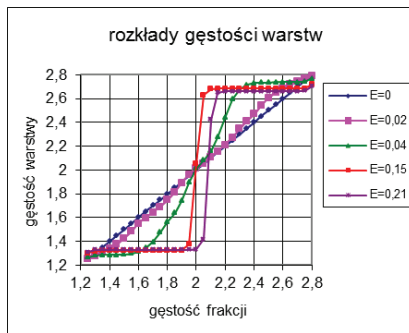
Gdyby bardzo wnikliwy czytelnik tej pracy zechciał sprawdzić poprawność obliczeń autora to dla dokonania tego będą mu potrzebne dwie charakterystyki podane na Rys. 3. i 4. Te charakterystyki są także stałe dla wszystkich obliczeń podanych w niniejszej pracy.

Jest oczywiste, że rozkłady gęstości warstw w łożu osadzarki muszą zależeć od składu gęstościowego wzbogacanego materiału i sprawności jego stratyfikacji. Aktualnie obowiązujące spojrzenie na wagę obu tych zależności jednoznacznie wskazuje na większe znaczenie składu nadawy przypisując jednocześnie jakości stratyfikacji niewielki wpływ na wynik rozwarstwienia. Tymczasem w przypadku wzbogacania węgla w osadzarkach mamy zwykle do czynienia z całkowicie inną wagą obu zależności, szczególnie jeżeli w tych rozważaniach uwzględnić także wpływ składu ziarnowego nadawy znacznie zmieniającego jakość procesu rozwarstwiania.

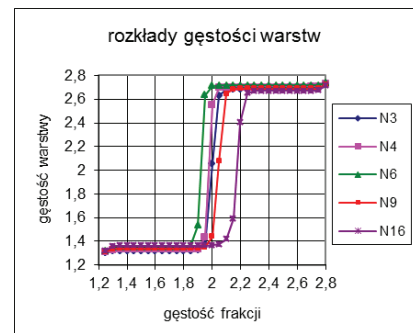
Istotny wpływ zmian rozproszenia najwyraźniej widoczny jest w dwuwymiarowych rozkładach mas poszczególnych frakcji gęstościowych nadawy, będących graficznym przedstawieniem wartości elementów a_{ij} podstawowej macierzy A modelu. Trzeba zauważyć, że empiryczny pomiar tych elementów w przemysłowej osadzarce nie jest możliwy. Na Rys. 5. i 6. przedstawione są te rozkłady dla tej samej nadawy oznaczonej N3 (Rys. 1.) i dla wzbogacania idealnego ($E=0$) oraz dla dobrze pracującego wzbogacalnika z cieżką ciężką lub osadzarki laboratoryjnej ($E=0,02$).

Wyraźnie widoczna jest niewielka zmiana rozkładu przy wzroście rozproszenia z $E=0$ do $E=0,02$. Takie zmiany w aktualnie istniejącym obrazie osadzania przyjmowane są jako prawdziwe także dla większych zmian rozproszenia. Tymczasem zmiany te dla większych rozprośnień wyglądają całkowicie inaczej i są przedstawione na Rys.7. i 8.

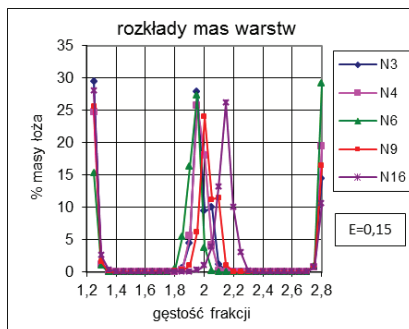
Graniczna wartość rozproszenia $E=0,04$ została przyjęta na podstawie pracy (Kowol 2010) jako najlepsza z możliwych do osiągnięcia dla nieidealnego procesu osadzania,



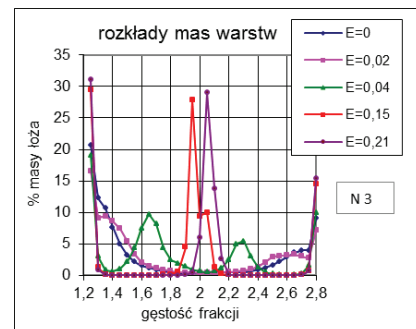
Rys. 9. Rozkłady gęstości warstw dla nadawy N3 i różnych rozprosen
Fig. 9. Distributions of layer density for feed N3 and different dispersions



Rys. 10. Rozkłady gęstości warstw dla rozprosenia E=0,15 i różnych nadaw
Fig. 10. Distributions of layer density for dispersion E=0,15 and different feeds



Rys. 11. Rozkłady mas w warstwach łoża dla różnych nadaw i tego samego rozprosen
Fig. 11. Mass distributions in the bed layers for different feeds and the same dispersion



Rys. 12. Rozkłady mas w warstwach łoża dla tej samej nadawy i różnych rozprosen
Fig. 12. Mass distributions in the bed layers for the same feed and different dispersions

natomiast $E=0,15$ jest wartością rozprosenia przyjmowaną w praktyce przemysłowej jako wynik wystarczająco dobry. Na Rys. 7. i 8. wyraźnie widoczna jest radykalna zmiana rozkładu mas w łożu osadzarki dla zakresu rozprosen $E>0,04$, przynosząca bardzo poważne skutki dla wyniku wzbogacania. W tym zakresie diagonalny charakter rozkładu mas zmienia się na rozkład, w którym istnieją dwie warstwy o skrajnych gęstościach i wysokiej koncentracji mas oraz pojawia się kilka warstw o bardzo zróżnicowanych gęstościach gromadzących większość całej masy łoża wszystkich warstw poza warstwami skrajnymi. Jednocześnie powstaje znaczna ilość bardzo cienkich warstw o bardzo małym zróżnicowaniu gęstościowym i gromadzących znikome ilości masy łoża. Szczegóły tej sytuacji zostaną poniżej pokazane na podstawie obliczonych z modelu zmian rozkładów gęstości warstw i mas poszczególnych warstw oraz ich położenia w pionowym przekroju łoża osadzarki dla różnych składów densymetrycznych nadawy i różnych rozprosen w procesie wzbogacania.

Dla wyjaśnienia szczegółów zmian zachodzących w łożu osadzarki przy zmianach jakości stratyfikacji i zmianach składu densymetrycznego nadawy wprowadza się dwie funkcje wiążące podane w opisie modelu wektory i dające wgląd w zmiany rozkładu warstw łoża.

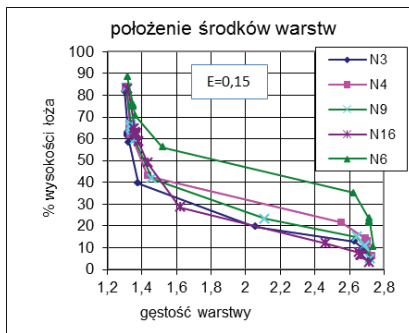
W prowadzonych w modelu obliczeniach dla każdego kroku obliczeń iteracyjnych znany jest skład densymetryczny nadawy dany wektorami R_c i U , parametry określające jakość stratyfikacji E i m oraz gęstość każdej powstałej warstwy i część masy wzbogacanego materiału zgromadzoną w tej warstwie określoną wektorem B_w . Zestawiając gęstości poszczególnych frakcji gęstościowych nadawy R_c i gęstości utworzonych warstw

R_w możemy określić dyskretną funkcję $R_w=f(R_c^T)$ pokazującą jaka gęstość ρ_{w_j} powstałej warstwy odpowiada gęstości frakcji ρ_{c_i} nadawy. Zależność ta zostaje nazwana rozkładem gęstości warstw. Zestawienie mas cząstek zgromadzonych w poszczególnych warstwach dane wektorem B_w i gęstości frakcji nadawy (wektor R_c) pozwala utworzyć inną dyskretną funkcję $B_w=f(R_c^T)$ łączącą te wielkości nazwaną rozkładem masy warstw. Zwraca się uwagę na istotny fakt, że obie funkcje są funkcjami przedstawionymi w liniowej skali na osi odciętych, która jest skalą przyjętą dla pokazania charakterystyk nadawy. Oba te rozkłady mogą być przedstawiony także inaczej jako funkcja średniej gęstości warstw. Wtedy skala na osi odciętych jest skalą nieliniową mniej korzystną dla pokazania zachodzących zmian.

Rysunki 11 i 12 przedstawiają zmiany zachodzące w rozkładach mas warstw łoża dla różnych składów gęstościowych nadawy i różnych rozprosen w procesie wzbogacania odpowiadających zmianom rozkładów gęstości warstw pokazanych na rys. 9 i 10.

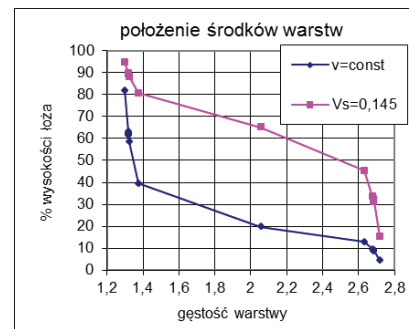
Na podstawie tych rysunków można zauważyć, że zmiany rozprosenia nie powodują proporcjonalnych do nich zmian w obu tych rozkładach.

Podane wyżej zależności mają duże znaczenie dla teoretycznych rozważań, natomiast dla praktyki wzbogacania węgla większe znaczenie mają położenia poszczególnych warstw. Rozważany model pozwala wyliczyć położenie tych warstw w pionowym przekroju łoża. Takie wyliczenia zostały użyte do eksperymentalnego sprawdzenia poprawności działania modelu, (Głowiak 2022). Rys. 13. i 14. pokazują zamiany zachodzące w położeniu geometrycznych środków warstw dla różnych składów gęstościowych nadawy, zmiany rozprosenia



Rys. 13. Położenie środków warstw dla różnych nadaw i stałego rozproszenia

Fig. 13. Layer center location for different feeds and constant dispersion



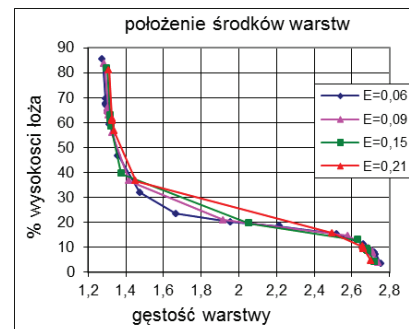
Rys. 14. Położenia środków warstw dla stałych i zmiennych prędkości warstw

Fig. 14. Layer center locations for constant and variable velocity of layers



Rys. 15. Położenie środków warstw dla nadawy N3 i niskich rozproszeń

Fig. 15. Layer center location for feed N3 and low dispersions



Rys. 16. Położenia środków warstw dla nadawy N3 i wysokich rozproszeń

Fig. 16. Layer center locations for feed N3 and high dispersions

i wpływu prędkości poziomej warstw na ukształtowanie profilu gęstości łóża.

Jak widać z powyższych wykresów zmiany położenia warstw są względnie niewielkie przy znacznych zmianach rozproszenia i duże dla zmian składu nadawy i zmian prędkości poziomej poszczególnych warstw. Na Rys. 14. widoczna jest znaczna zmiana położenia warstw generowana przez zmiany poziomych prędkości poszczególnych warstw związanych z ich profilem prędkości. Na tym rysunku pokazano sytuację, gdy wszystkie warstwy mają jednakowe prędkości i gdy ich prędkość jest zróżnicowana i zgodna z profilem z Rys. 2. Ważnym wnioskiem z porównania zmian położenia poszczególnych warstw jest konieczność stabilizowania poziomu warstwy o ustalonej gęstości dla poprawnego działania układu regulacji odprowadzania produktu ciężkiego. Ten wniosek wymaga dokładnego empirycznego sprawdzenia, ponieważ rozkład poziomych prędkości warstw jest zjawiskiem niewystarczająco zbadanym. Z drugiej strony widoczne jest pojawienie się ograniczenia dla możliwości regulacji jakości wybranego produktu wzbogacania związane z ograniczeniem możliwości precyzyjnego podziału warstw gromadzących znaczne ilości materiału, których skład gęstościowy jest silnie zależny od rozproszenia cząstek w warstwach w procesie stratyfikacji.

Zmiany rozproszenia powodują także duże zmiany koncentracji poszczególnych frakcji nadawy w wybranych warstwach. Jak duże są te zmiany pokazują Rys. 17. i 18. pozwalające także wyjaśnić przyczyny różnic w położeniach środków wysokości warstw jakie widoczne są na Rys. 15. i 16.

Powyższe wykresy pozwalają zauważyć, że warstwy o bardzo małej masie cząstek mają prawie identyczny skład gęstościowy cząstek nadawy w tych warstwach, a tylko

warstwy gromadzące większe masy cząstek mają wyraźnie zróżnicowany skład gęstościowy.

4. Zmiany w spojrzeniu na proces wzbogacania w osadzarce istotne dla teorii wzbogacania grawitacyjnego

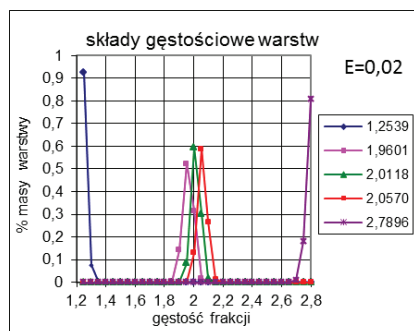
Rozproszenie prawdopodobne E_p zostało wybrane w tej pracy jako podstawowy wskaźnik oceny sprawności osadzania głównie ze względu na powszechność jego stosowania. Sprawność procesu osadzania oceniana wskaźnikami stosowanymi w przeróbce kopalin zależy według omawianego modelu tylko od procesu stratyfikacji wzbogacanego materiału jeżeli urządzenie rozdzielające rozwarstwiony materiał na dwa produkty działa prawidłowo.

Zmiana gęstości rozdziału wynikająca z nieidealnego działania urządzenia rozdzielającego zmienia wprawdzie ocenę jakości całego procesu, ale w proporcji jak S_i zależy od współczynnika m rozważanego rozkładu gęstości warstw (Głowiak 2020), a więc względnie mało. Naturalna zmiana rozproszenia od gęstości cząstki nadawy, wyraźnie widoczna w zmniejszaniu się nachylenia krzywej rozdziału, nie jest wynikiem istnienia fluktuacji gęstości rozdziału powodowanymi przez to urządzenie.

Istnienie w modelu sprzężenia zwrotnego zmieniającego średnią gęstość tworzących się warstw uzasadnia konieczność obliczeń iteracyjnych, ponieważ zmiana gęstości warstwy zmienia prawdopodobieństwo trafienia do niej cząstek o danej gęstości.

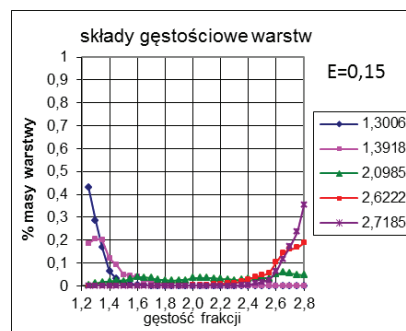
Istotne zmiany wynikające z nowego modelu zawarte są w poniższych uwagach.

Ilość rozróżnialnych gęstościowo warstw dla osadzarek przemysłowych jest niewielka i wynosi 3–6 warstw przy modelowaniu od 16 do 48 frakcji gęstościowych nadawy.



Rys. 17. Udziały frakcji gęstościowych nadawy N3 w różnych warstwach powstałych przy rozproszeniu $E=0,02$

Fig. 17. Shares of density fractions of the N3 feed in different layers formed at the dispersion $E=0.02$



Rys. 18. Udziały frakcji gęstościowych nadawy N3 w różnych warstwach powstałych przy rozproszeniu $E=0,15$

Fig. 18. Shares of density fractions of the N3 feed in different layers formed at the dispersion $E=0.15$

Istnieją dwa zasadniczo różne jakościowo procesy wzbogacania opisywane przez wskaźnik E modelu. Dla zakresu $0 < E < 0,04$, osiągalnym tylko w laboratoryjnych osadzarkach wsadowych głównie dzięki odpowiednio długim trwaniu wzbogacania obraz wzbogacania jest zbliżony do aktualnie istniejących poglądów przyjmujących, że rozproszenie ma względnie niewielki wpływ na rozkład warstw, który jest głównie zależny od składu gęstościowego nadawy. W zakresie $E > 0,04$ przebieg wzbogacania zmienia się radykalnie z powodu zmiany rozkładu gęstości warstw i przestaje być zgodny ze znanymi opisami teoretycznymi. Zmiany te nie są dobrze widoczne na wykresach wysokości położenia warstw o danej gęstości (Rys. 15. i 16.), lecz widać je bardzo wyraźnie w składach densymetrycznych poszczególnych warstw (Rys. 17. i 18.). Podkreśla się, że wszystkie przemysłowe osadzarki wzbogacające węgiel pracują właśnie w tym zakresie sprawności.

Granica między tymi dwoma typami procesu wzbogacania dostrzegalną w modelu jest diagonalny charakter macierzy A . Generalnie dla $E < 0,04$ macierze te mają charakter diagonalny (Rys. 5. i 6.) i o rozkładzie gęstości warstw wtedy głównie decyduje skład densymetryczny nadawy. Taki sam charakter macierzy widoczny jest także w innych macierzach modelu.

Diagonalny charakter macierzy A ma miejsce, gdy zdecydowaną większość masy każdej warstwy łoża tworzą frakcje gęstościowe nadawy położonych blisko przekątnej głównej macierzy A .

Można przypuszczać na podstawie rozważanego modelu, że obraz wzbogacania w innych niż osadzarka wzbogalnikach może być podobny mimo braku warstwowej interpretacji. Dla cyklonu z cieczą ciężką taka interpretacja istnieje i jest nią rozkład gęstości na promieniu cyklonu. W szerszym spojrzeniu na całość zagadnienia istotne jest także konieczne duże uśrednianie próbek nadawy i produktów wzbogacania do empirycznej oceny sprawności procesu przynoszące zmiany w ocenie pracy układu odbioru produktu ciężkiego i w ocenie wpływu zmian nadawy na zmianę stratyfikacji. Zmiany te powodują różnice między empiryczną oceną procesu wzbogacania i jego rzeczywistym przebiegiem. Powodem stosowania znacznego uśredniania w empirycznych badaniach efektywności wzbogacania jest bardzo duża zmienność wszystkich parametrów nadawy. Według badań Zapały (Zapała 1988) udział szumu białego w całkowitej zmienności udziałów poszczególnych frakcji gęstościowych nadawy i zawartości popiołu w tych frakcjach wynosi 70–90%. Obecny stan techniki pomi-

arowej stosowanej w przeróbce węgla nie pozwala właściwie ocenić wpływu uśredniania próbek na wynik pomiaru.

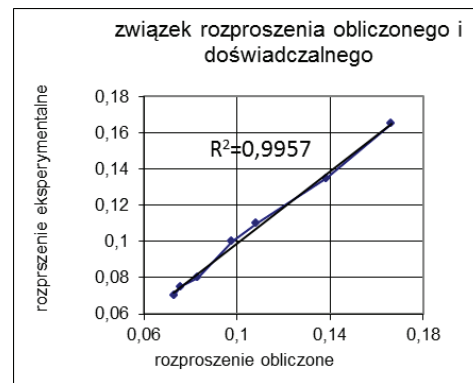
Z działania modelu wynika, że ilość różniących się od siebie krzywych rozdziału jest niewielka i równa ilości pomiarowo rozróżnialnych warstw. Krzywe te wyznacza względnie duża ilość punktów równa ilości frakcji gęstościowych nadawy w zwykle wykonywanych pomiarach mieszczących się w zakresie 8–12 frakcji. Niewielka ilość istotnie różniących się krzywych rozdziału jest także skutkiem braku możliwości dokonania w modelu racjonalnego podziału warstwy gromadzącej względnie dużą część wzbogacanego materiału na dwie lub więcej cieńszych warstw. W działaniu osadzarki taki podział zachodzi losowo w wyniku niedoskonałego działania układu regulacji odprowadzania produktu ciężkiego, co wynika z zasady jego działania. Każdy układ regulacji działa metodą prób i błędów, co inaczej wyraża się koniecznością istnienia niezerowego błędu regulacji.

5. Modelowanie wzbogacania w osadzarkach z użyciem krzywej rozdziału

Istnieje bardzo wiele prac zawierających prognozowanie wyników wzbogacania w osadzarkach opartych o zastosowanie krzywych rozdziału. Jedną z nich wyróżniającą się dużą ilością rozpatrywanych możliwości wzbogacania, jest obszerna praca Pielota (Pielot 2011) związana z analizą pracy układów różnych wzbogalników. W świetle prezentowanego modelu istnieją przynajmniej dwa powody, aby mieć wątpliwości co do poprawności wyników obliczeń uzyskanych z zastosowania krzywych rozdziału. Pierwszym z nich jest funkcja aproksymująca krzywą rozdziału. Najczęściej jako aproksymantę krzywej rozdziału stosuje się dystrybuantę rozkładu normalnego w skali liniowej lub logarytmicznej, funkcję tangens hiperboliczny lub dyskretną funkcję daną w formie tablicy otrzymanej w wyniku eksperymentu. Zdarzają się także dystrybuanty rozkładów typu gamma jak n.p. rozkładu Weibulla (Gottfried 1978). Dystrybuanta rozkładu normalnego w skali liniowej i funkcja tangens hiperboliczny nie modelują zauważalnego doświadczalnie zmniejszenia nachylenia krzywej rozdziału wraz ze wzrostem gęstości cząstek. Przyjmując w modelu $m = 0$, co odpowiada jednakowemu rozproszeniu wszystkich frakcji otrzymuje się krzywą rozdziału identyczną jak dla modelowania tej krzywej dystrybuantą rozkładu normalnego. Dystrybuanta rozkładu normalnego w skali logarytmicznej nie ma sensownego uzasadnienia te-



Rys. 19. Związek obliczonej i doświadczalnej gęstości rozdziału
Fig. 19. Relationship of calculated and experimental separation density



Rys. 20. Związek obliczonego i doświadczalnego rozproszenia
Fig. 20. Relationship of calculated and experimental dispersion

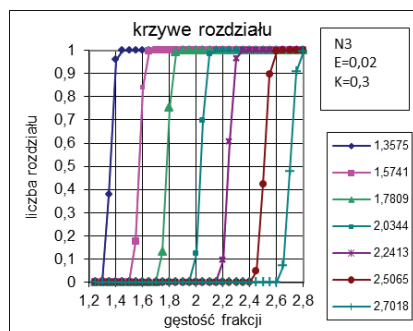
oretycznego i jej stosowanie dla osadzarek powinno być zaniechane. Szersze uzasadnienie takiej tezy zawarte jest w pracy (Głowiak i in. 2019). Modele tablicowe być może najlepiej mogłyby oddawać zmiany nachylenia krzywej rozdziału dla osadzarki, gdyby nie były stosowane zwykle w postaci uogólnionej. Wadą tych modeli jest względnie niska dokładność empirycznego wyznaczania krzywych rozdziału oraz uśrednienie wynikające z ich uogólnienia niedopuszczalne dla krzywych rozdziału dla osadzarek (Głowiak 2019).

Drugim i znacznie ważniejszym z powodów jest dowolny wybór gęstości rozdziału, podczas gdy rozważany model wskazuje na znaczne ograniczenie tej możliwości wynikające z niewielkiej liczby warstw łóża osadzarki rozróżnialnych pomiarowo pod względem ich gęstościowego zróżnicowania. Sytuacja taka jest bardzo wyraźnie widoczna na Rys. 21. i 22. Rys. 21. pokazuje 7 krzywych wybranych z dostępnych dla niskiego rozproszenia 31 krzywych różniących się bardzo niewielkimi zmianami gęstości rozdziału. Na Rys. 22 pokazano wszystkie dostępne krzywe odpowiadające podziałowi łóża na warstwy powstałe w wyniku stratyfikacji zachodzącej z dużym rozproszeniem. Tych krzywych jest tylko 4 co oznacza, że mamy do dyspozycji tylko 4 gęstości rozdziału. Jednocześnie z modelu wynika, że gęstość rozdziału jest związana z podziałem całego rozwarstwowanego łóża na dwa produkty wzbogacania. W tym miejscu konieczne jest przypomnienie związku gęstości rozdziału z gęstością podziału zdefiniowaną w poprzedniej pracy (Głowiak 2020). Gęstość podziału jest to maksymalna gęstość zakresu gęstości tej warstwy, która w całości przez urządzenie rozdzielające rozwarstwiony materiał zostanie skierowana do produktu lekkiego i jednocześnie nie trafi do niego jakakolwiek część materiału sąsiedniej warstwy.

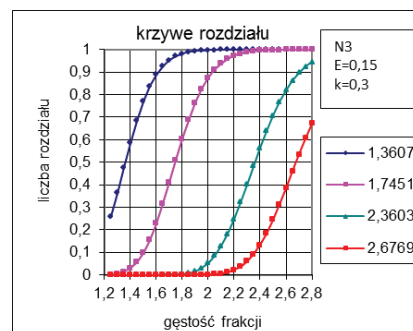
Okazuje się, że jeżeli w omawianym modelu wykreślić jedną z możliwych do obliczenia krzywych rozdziału i przyjąć, że jest wynikiem eksperymentu to można dla tej krzywej z wykresu znaleźć gęstość rozdziału i rozproszenie prawdopodobne. Porównując otrzymane w ten sposób gęstości rozdziału i rozproszenia prawdopodobne z gęstościami podziału i rozproszeniami frakcji nadawy o gęstości rozdziału obliczonych w modelu stwierdzono występowanie prawie idealnych korelacji dla tych wielkości przedstawionych na Rys. 19 i 20. Ważną cechą tej korelacji jest jej jednokierunkowość, to znaczy, że dla dowolnej istniejącej gęstości podziału zawsze można znaleźć odpowiadającą jej gęstość rozdziału. Natomiast wybierając dowolnie gęstość rozdziału znajdziemy

odpowiadającą jej obliczoną gęstość podziału tylko wtedy, gdy ta gęstość w modelu istnieje. Dowolne wybranie gęstości rozdziału w modelowaniu wzbogacania z użyciem krzywej rozdziału powoduje, że tak wybrany podział może wypaść z bardzo dużym prawdopodobieństwem w miejscu różnym od granicy warstw. Biorąc pod uwagę wymagania jakościowe zwykle narzucone w praktyce przeróbki węgla na produkty wzbogacania oraz możliwą znaczną wysokość warstwy, na której ten podział ma być dokonany o znanej tylko średniej jej gęstości widać, że jest możliwe jednoznaczne przyporządkowanie wysokości podziału warstwy tylko do gęstości podziału.

Przyporządkowanie wysokości podziału warstwy do gęstości rozdziału nie jest już w praktyce jednoznaczne, ponieważ ilość możliwych gęstości rozdziału dla tego podziału jest znacznie większa od ilości istotnie różniących się gęstości podziału. W teorii taka jednoznaczność istnieje, lecz nie jest możliwe jej praktyczne zastosowanie z powodu powstawania znacznych ilości warstw o prawie takiej samej gęstości. Różnice gęstości średniej tych warstw widoczne są w obliczeniach dopiero na piątym miejscu po przecinku. Przy mniej dokładnych obliczeniach te warstwy można pominąć ponieważ gromadzą one bardzo niewielką część masy całego łóża. Ten stan wynika z działania modelu oraz także zaważenia, że znając średnie gęstości warstw można wyznaczyć gęstości podziału, ale na podstawie znanych gęstości podziału nie jest możliwe obliczenie średnich gęstości warstw. W tym rozumowaniu ważny jest fakt, że dla każdej warstwy bez względu na jej wysokość w modelu znana jest tylko jej średnia gęstość oraz najmniejsza i największa gęstość zakresu gęstości tej warstwy. Trzeba jednak zaznaczyć, że skrajne gęstości warstwy są umowne, przyjmuje się bowiem założenie, że są one średnią arytmetyczną średnich gęstości dwu sąsiednich warstw. Doświadczalnie sprawdzenie takiej sytuacji jest niewykonalne głównie z powodu bardzo zróżnicowanej wielkości ziaren wzbogacanego węgla. Z drugiej strony powstają także warstwy, gromadzące znaczne ilości silnie wymieszanych frakcji nadawy charakteryzujące się znacznym zróżnicowaniem granicznych gęstości tych warstw. Taka sytuacja nie jest tylko teoretyczna, lecz jest często spotykana przy trójproduktowym wzbogacaniu węgla koksowego w trzecim przedziale osadzarki decydującym o jakości koncentratu. Łoże w tym przedziale tworzą praktycznie tylko trzy warstwy, dwie względnie wysokie warstwy koncentratu i przerostu oraz względnie niska warstwa frakcji kamiennych. Ponadto



Rys. 21. Krzywe rozdziału osadzarki laboratoryjnej
Fig. 21. Separation curves of a laboratory jig



Rys. 22. Krzywe rozdziału dla przeciętnej sadzarki przemysłowej
Fig. 22. Separation curves of an average industrial jig

czułość pływaka na zmianę położenia warstwy jest najmniejsza dla warstw gromadzących znaczną część masy łoża, co jest skutkiem względnie niewielkich różnic położenia średnich gęstości tych warstw. Zatem przy stałej gęstości pływaka pomiarowego będą miały miejsce znaczne fluktuacje gęstości podziału i związanej z nią gęstości rozdziału spowodowane, nie jak do tej pory się uważa, mało dokładnym pomiarem wykonywanym przez pływak, lecz wewnętrzną naturą zjawiska rozwarstwiania, którą jest istnienie warstw gromadzących znaczne masy silnie wymieszanych różnych frakcji nadawy. Zastosowanie gęstościomierza radiometrycznego może być częściowym rozwiązaniem tego problemu, ponieważ wtedy w rozważanej sytuacji mamy większe zmiany gęstości przy niewielkiej zmianie wysokości warstwy.

Istniejący w całej literaturze dotyczącej krzywych rozdziału brak wyraźnego rozróżnienia gęstości podziału i gęstości rozdziału spowodował powstanie nieprawidłowych hipotez dotyczących procesu osadzania jak np. hipotezy o możliwości odtworzenia składu gęstościowego nadawy na podstawie pomiarów położenie odpowiednio dobranych pływaków (Zapała 1988, Kowol 2010 Cierpisz 2017). Te prace wskazują na możliwość bieżącej identyfikacji składu densymetrycznego nadawy i wykorzystania tej informacji do sterowania procesem wzbogacania węgla w osadzarkach. Z przedstawianego modelu rozkładu warstw w łożu osadzarki wynika jednak, że taka możliwość nie jest osiągalna w praktyce przemysłowego wzbogacania węgla. Argumenty potwierdzające słuszność tego twierdzenia jasno wynikają z Rys. 9–12 pokazujących znaczny wpływ rozproszenia w procesie wzbogacania na rozkłady gęstości i mas warstw w łożu osadzarki. W wyniku działania tej zależności rozkłady położenia środków wysokości zależą w podobnych proporcjach od składu densymetrycznego nadawy jak i od sprawności stratyfikacji, która pozostaje wielkością niedostępną dla bieżących pomiarów w procesie wzbogacania. Znaczny wpływ na rozkłady wysokości warstw ma także pozioma prędkość warstw, która jest też niedostępna pomiarowo w przemysłowym wzbogacaniu (Rys. 14.). Odrębną częścią tego zagadnienia pozostaje brak możliwości poprawnego obliczenia średnich gęstości warstw przy użyciu krzywych rozdziału jak to usiłowano zrobić w w/w pracach.

Oceniając pracę osadzarek z wykorzystaniem krzywych rozdziału generowanych przez rozważany model trzeba pamiętać o poniższych uwagach.

Wszystkie możliwe krzywe rozdziału dla zróżnicowanego rozproszenia cząstek frakcji nadawy są asymetryczne i większość z nich jest ucięta od dołu lub z góry.

Ilość istotnie różniących się od siebie krzywych rozdziału jest niewielka i równa ilości pomiarowo rozróżnialnych warstw. Krzywe te wyznacza względnie duża ilość punktów równa ilości frakcji gęstościowych nadawy w zwykłe wykonywanych pomiarach mieszczących się w zakresie 8–12 frakcji.

6. Ocena wzbogalności węgla

Wzbogalność węgla oceniana na podstawie charakterystyki gęstościowej nadawy jest nieaktualna w świetle przedstawionego modelu, ponieważ nadawa o dużej zawartości frakcji o gęstości +2,0 przy całkowitym braku frakcji przerostowych o gęstościach bliskich gęstości rozdziału może być równie trudno wzbogalalna jak nadawa zawierająca znaczne ilości frakcji przerostowych. Ponadto dokładne obliczenie wskaźnika Birda nazywanego też wskaźnikiem NGM dla typowego rozkładu gęstości warstw wynikających z modelu jest możliwe tylko dla wzbogacania idealnego. W przypadku wzbogacania rzeczywistego można obliczyć przybliżoną wartość wskaźnika NGM tylko w kilku punktach i ilość tych punktów jest równa ilości możliwych gęstości podziału, a więc bardzo mało dla wszystkich osadzarek przemysłowych.

Dalszy fragment tych rozważań jest przyczynkiem do opisu tego zagadnienia podanego w pracy Budryka (Budryk 1949).

Poniżej podane są wyniki porównania w modelu dwu różnych nadaw zawierających tę samą ilość frakcji węglowych natomiast różniących się znacznie zawartością kamienia i przerostu. Wykresy na Rys. 23. i 24. podają obliczone wartości wskaźnika Birda dla wzbogacania idealnego i rzeczywistego. Rozproszenie wzbogacania rzeczywistego opisane jest wartościami parametrów $E=0,15$ i $m=0,3$. Wskaźnik Birda oznaczony wB zdefiniowany jest następująco:

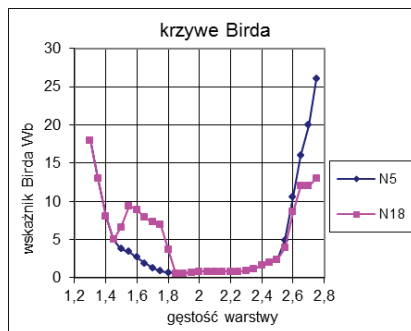
$$wB = 100(u_1 - u_2)/u_3 \text{ gdzie:}$$

u_1 – skumulowany udział w nadawie frakcji o gęstości separacji powiększonej o 0,1

u_2 – skumulowany udział w nadawie frakcji o gęstości separacji pomniejszonej o 0,1

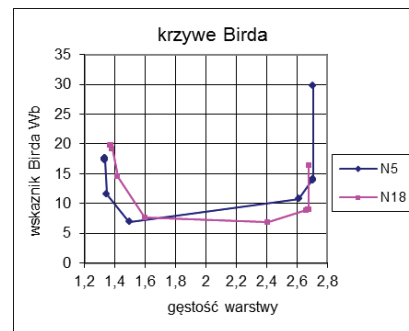
u_3 – skumulowany udział w nadawie frakcji o gęstości mniejszej od 2,0

Szczególne zastrzeżenie w świetle modelu budzi we wskaźniku Birda odrzucenie frakcji nadawy o gęstości większej od 2,0, ponieważ te frakcje zwykle stanowią zdecydowaną większość materiału klasyfikowanego jako odpad i dodatkowo charakteryzujących się największym rozproszeniem w warstwach łoża osadzarki. Z porównania wykresów wskaźnika Birda na Rys. 23. i 24. widać, że wyraźne różnice



Rys. 23. Krzywe Birda dla wzbogacania idealnego ($E_p=0$) dla dwu różnych nadaw

Fig. 23. Bird curves for perfect enrichment ($E_p=0$) of two different feeds



Rys. 24. Krzywe Birda dla wzbogacania rzeczywistego ($E_p=0,15$) dla dwu różnych nadaw

Fig. 24. Bird curves for real enrichment ($E_p=0,15$) of two different feeds

dla wzbogacania idealnego obu nadaw stają się pomijalnie małe dla wzbogacania rzeczywistego. Możliwość tego rodzaju bezpośredniego porównania wynika z twierdzenia o równoważności wzbogacania rzeczywistego i idealnego różnych nadaw podanego w pracy (Głowiak 2020). Warto zauważyć także, że istotną wartością tego wskaźnika wynika tylko z różnicy u_1-u_2 , która jest stosując terminologię używaną w pracy Stępińskiego (Stępiński 1964) rzędnią punktu charakterystyki częstości nadawy dla gęstości frakcji odpowiadającej tej różnicy. Natomiast iloraz $100/u_3$ wynikający z konieczności przeskalowania charakterystyki nadawy po odrzuceniu frakcji $+2,0$ jest powodem braku możliwości normalizacji tego wskaźnika i istotnej jego zależności od składu nadawy. Ta zależność może być łatwo usunięta przyjmując $u_3=100\%$, ale to oznacza brak odrzucenia frakcji nadawy o gęstości większej od $2,0$ i uwolnienie tego wskaźnika od nieistotnych dla niego zmian składu nadawy. Jak można zauważyć z powyższych rozważań zamiar Birda niezależnienia wprowadzonego przez niego wskaźnika od zawartości w nadawie frakcji $+2,0$ zaowocował całkowicie odwrotnym skutkiem. Trzeba jednak wziąć pod uwagę inną możliwość interpretacji wskaźnika Birda wynikającą z czasu, w którym on powstał. Na przełomie lat dwudziestych i trzydziestych XX wieku prawie całość wydobywanego węgla była urabiana ręcznie co powodowało, że ilość frakcji $+2,0$ w nadawie wynosiła kilka procent (Tromp 1937). W wyniku tego prawie całkowita zmienność wskaźnika Birda zawarta była w czynniku u_1-u_2 , ponieważ wtedy iloraz $100/u_3$ jest prawie stały i niewiele większy od jedności. W ten sposób ujawnił się drugi istotny argument dla zaniechania stosowania wskaźnika Birda w aktualnych warunkach wzbogacania węgla kamiennego.

W tym miejscu warto podać interpretację krzywej Birda wynikającą bezpośrednio z powyższego wyjaśnienia. Ta krzywa jest tylko przeskalowaną i odpowiednio uśrednioną charakterystyką częstości nadawy opisaną nie jak to zwykle się robi dla zawartości popiołu (Stępiński 1964), lecz dla gęstości poszczególnych frakcji gęstościowych. Współczynnikiem skalującym jest iloraz $100/u_3$, a uśrednienie wynika z różnicy u_1-u_2 . Ta różnica jest średnią bieżącą charakterystyki częstości o zakresie uśredniania $0,2$. Powyższe rozważania potwierdzają trafność uwagi Budryka o istotnym wpływie rozproszenia na ocenę wzbogacalności.

7. Zmiany w spojrzeniu na proces wzbogacania węgla w osadzarce istotne dla praktyki osadzania i konstrukcji osadzarki

Uwagi dotyczące tego zagadnienia są wynikiem połączenia sytuacji możliwych do dostrzeżenia tylko w przedstawionym modelu z działaniem konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych osadzarki oraz praktyki stosowania tej maszyny w procesie wzbogacania węgla znanych autorowi tej pracy z wieloletniego doświadczenia w regulowaniu punktów pracy poszczególnych podzespołów nowych lub modernizowanych osadzarek.

Bez żadnej wątpliwości najważniejszą czynnością w procesie wzbogacania węgla w wodnej osadzarce pulsacyjnej jest wytworzenie takiego pionowego ruchu wody, który zapewni najlepszą stratyfikację. Tutaj w praktyce realizacji tej czynności napotykać dwa zasadnicze problemy. Pierwszy z nich to brak wystarczającej wiedzy jak taki ruch ma wyglądać mimo wielu różnych eksperymentalnych badań. Obecnie istniejąca wiedza sprowadza się do powiązania wyników wzbogacania z rodzajem zastosowanego cyklu pulsacji. W subiektywnej ocenie autora niniejszej pracy jest to zdecydowanie za mało, ponieważ istotne są także czasowe parametry tych cykli oraz związane z nimi rozluźnianie wzbogacanego materiału. Jeżeli ta wiedza będzie znana to potrzebne są narzędzia do skutecznego zrealizowania takiego ruchu. Najważniejszym z tych narzędzi jest powietrzny zawór pulsacyjny, jeżeli analizę ograniczyć do osadzarek beztłokowych obecnie jedynie stosowanych maszyn w przemyśle węglowym.

8. Wymagania dotyczące konstrukcji powietrznego zaworu pulsacyjnego

Obecnie nie istnieje konstrukcja sterowanego elektrycznie zaworu pulsacyjnego zapewniającego odpowiednią mechaniczną powtarzalność ruchu zaworu niezbędną dla utrzymania stabilności parametrów cyklu pulsacji. Ten stan wynika głównie ze względnie dużej bezwładności ruchomych elementów zaworu i dynamicznych właściwości pneumatycznych siłowników tłokowych najczęściej używanych jako element napędowy zaworu. Ze względu na wymaganą dużą prędkość ruchu zaworu konieczne jest stosowanie urządzenia amortyzującego w krańcowych położeniach zaworu. Urządzenia amortyzujące będące elementem konstrukcji siłownika pneumatycznego nie zapewniają wymaganej długookresowej mechanicznej powtarzalności jego działania. Rozwiązaniem tego problemu jest radykalne zmniejszenie masy ruchomych części zaworu w połączeniu z zastosowaniem dodatkowej amortyzacji w uszczelnieniach zaworu. Innym wariantem rozwiązania może być zastosowanie specjalnych siłowników

hydraulicznych, których najpoważniejszymi wadami są wysoka cena oraz trudne do spełnienia techniczne wymagania dla ich serwisowania w zakładzie przerobczym. Brak właściwego rozwiązania tego zagadnienia potwierdza tezę o nie zwracaniu uwagi przy projektowaniu osadzarki na ważne detale konstrukcji, ponieważ różnego rodzaju zawory pulsacyjne sterowane elektrycznie są stosowane od ponad 50 lat.

9. Stabilizacja poziomu wody w komorze powietrznej

Drugim do tej pory nie rozwiązany problem jest pomiar i stabilizacja poziomu wody w podsitowej komorze powietrznej osadzarki. Ważność tego zagadnienia została dostrzeżona w pracach teoretycznych z lat 70 ubiegłego wieku (Innouchi 1979). Zmiany średniego w cyklu pulsacji poziomu wody w komorze powietrznej są zasadniczym powodem występowania istotnych różnic poziomu wody i jej prędkości w przedziale roboczym osadzarki. Główną przyczyną trudności pomiaru jest obecność piany na powierzchni wody w komorze powietrznej oraz brak możliwości pomiaru pośredniego poprzez pomiar kilku ciśnień w wybranych punktach słupa wody. Także bezpośredni pomiar zmian poziomu wody w przedziale osadzarki nie jest możliwy z powodu znacznych zakłóceń generowanych głównie przez zmiany ilości podawanej równocześnie wraz z nadawą wody górnej. Istotność tej sprawy dla stabilizacji oddziaływania wody na cząstki wzbogacanego materiału jest szerzej wyjaśniona w pracy (Głowiak 2005).

10. Klasyfikacja ziarnowa nadawy

Trzecim i w praktyce najtrudniejszym istotnym warunkiem osiągnięcia wysokiej skuteczności osadzania, wynikającym także z pracy (Surowiak 2006), jest konieczność wąskiej klasyfikacji ziarnowej materiału poddawanego wzbogacaniu w osadzarkę. Wniosek ten pozostaje w wyraźnej sprzeczności w praktykę wzbogacania węgla w osadzarkach nie mającą żadnego teoretycznego uzasadnienia. Praktyka ta opiera się na porównaniu znaczenia klasyfikacji ziarnowej przy wzbogacaniu rud metali i węgla kamiennego. Błądność wniosków wyciągniętych z tego porównania wynika z oczywistego faktu braku możliwości skutecznego rozdzielania frakcji gęstościowych o stosunkowo wysokiej gęstości i względnie dużego ich ziarnowego zróżnicowania, jak to ma miejsce w przypadku wzbogacania rud, z możliwością uzyskania takiego rozdzielania w przypadku węgla. Jednakże ta możliwość jest okupiona stosunkowo niską efektywnością procesu, szczególnie wyraźnie widoczną w przypadku wzbogacania węgla w szerokiej klasie ziarnowej jak np. 0–70 mm. Biorąc jeszcze pod uwagę najczęściej spotykaną bardzo wysoką zawartością frakcji ziarnowych 0–2 mm (spotykane przypadki to zawartość tej frakcji ziarnowej w nadawie nawet do 40%) wyraźnie widać, że praktyka taka nie ma technicznego uzasadnienia. Próby jej uzasadnienia ekonomicznego można uznać za wątpliwe, głównie ze względu na sposób rozliczeń w kopalni i w zakładzie przerobczym. Jednocześnie konieczne jest zauważenie, że wszystkie eksperymentalne badania związane z wpływem udziału poszczególnych frakcji ziarnowych na przebieg wzbogacania potwierdzają tezę o zdecydowanie negatywnym oddziaływaniu wzrostu udziału frakcji drobnych na skuteczność wzbogacania w osadzarkach. Nie przeszkadza to jednak w praktyce wzbogacania skierowaniu

tych frakcji do osadzarek. Sytuacja ta wskazuje na zapaść teoretycznych i eksperymentalnych badań nad wzbogacaniem frakcji ziarnowych z zakresu 0,5–2 mm. Jest to całkowicie niezrozumiałe w zestawieniu z istniejącą od paru dziesiątków lat nadprodukcją drobnych ziaren w procesie urabiania wynikającej z dominacji udziału kombajnów w tym procesie i niczym nieuzasadnionym przekonaniem, że wzbogacanie tych ziaren jest wystarczająco skuteczne. Jedynym pozytywnym zjawiskiem ostatnio zauważalnym w tym zakresie jest wzrost stosowania strugów węglowych w kopalni "Bogdanka" (Dyczko 2018).

11. Stabilizacja poziomu warstw o wysokiej gęstości

Aczkolwiek według powyższych rozważań o całkowitej sprawności procesu osadzania decyduje sprawność stratyfikacji trzeba ocenić jak na ten proces wpływa rozdzielanie rozwarstwowanego materiału na dwa produkty wzbogacania. W prawidłowo działającym automatycznym urządzeniu rozdzielającym rozwarstwiony materiał obserwuje się prawie idealną stałość wysokości warstwy produktu ciężkiego mierzoną pływakiem o stałej gęstości (średnia odchyłka regulacyjna nie przekracza 10 mm w pojedynczym cyklu pulsacji lub 1 mm dla odchyłek uśrednionych w okresie jednej minuty dla średniej wysokości łoża około 500 mm). To może być rozumiane jako wystarczająco precyzyjne utrzymywanie poziomu frakcji ciężkich przy zmiennym składzie gęstościowym nadawy i także zmiennym natężeniu jej dopływu.

Jednakże w świetle omawianego modelu precyzyjny pomiar położenia warstwy o gęstości podziału nie jest możliwy przy użyciu pływaków i także gęstościomierza umieszczonego pod progiem przelewowym jak to jest pokazane w pracy Cierpisa (Cierpisz 2012). Stwierdzenie to wynika bezpośrednio z faktu tworzenia się warstw gromadzących znaczną ilość wzbogacanego materiału składających się z frakcji nadawy o bardzo zróżnicowanych gęstościach przy braku możliwości precyzyjnego i stabilnego podziału takich warstw na dwa produkty wzbogacania.

Taka sytuacja jest podstawową przyczyną losowych fluktuacji gęstości rozdziału, których główną i pierwotną przyczyną jest dalekie od optymalnego rozluźnienie łoża osadzarki. Powszechna jest sytuacja grupowania się cząstek łoża praktycznie w 3–5 warstwach z najważniejszymi tego skutkami tj. niską jakością koncentratu i odpadów oraz koniecznością produkowania półproduktu.

12. Uwagi o gęstości rozdziału

Gęstość rozdziału jest bardzo specyficznym pojęciem sprawiającym wiele problemów zarówno w teorii jak i praktyce wzbogacania i dlatego wymaga kilku szczegółowych wyjaśnień. W swej pracy dotyczącej teorii wzbogacania grawitacyjnego Budryk, poszukując związku gęstości rozdziału ze znanymi z teorii pojęciami, zadaje istotne pytanie dotyczące teoretycznej interpretacji gęstości rozdziału pozostawiając je bez poprawnej odpowiedzi (Budryk 1949). Pytanie to brzmi: czym jest właściwie ciężar właściwy (gęstość) separacji. W stanie wiedzy z 1949 roku Budryk mógł udzielić takiej poprawnej odpowiedzi: gęstość separacji jest równa gęstości rozdziału dla wzbogacania idealnego i takiego wzbogacania rzeczywistego, w którym krzywa rozdziału jest symetryczna. W świetle omawianego modelu ta odpowiedź jest następują-

ca: gęstość rozdziału i także separacji jest to graniczna wyższa gęstość warstwy, określonej gęstością średnią i dwiema gęstościami krańców zakresu gęstości, która w całości trafia do produktu lekkiego z warunkiem, że do tego produktu nie trafiają cząstki tworzące niższą (cięższą) warstwę. Próbę odpowiedzi na to pytanie Budryka można znaleźć także w innych pracach, (Cierpisz 2012, Kowol 2010), lecz przedstawiają one tylko teoretyczną możliwość dla nieskończenie cienkich warstw, nie pozwalającej na odpowiednie sprawdzenie eksperymentalne. Jest to wyraźnie widoczne w przedstawionym modelu, w którym istnieją warstwy gromadzące znaczne ilości wzbogacanego materiału zawierającego frakcje o bardzo zróżnicowanych gęstościach. W tych warstwach nie można teoretycznie wyodrębnić nieskończenie cienkich warstw o zróżnicowanej gęstości. Porównanie tych dwu pozornie różnych odpowiedzi pokazuje także ważną teoretyczną różnicę między nimi. Z potencjalnie możliwej odpowiedzi Budryka wynika, że gęstość rozdziału jest gęstością cząstki nadawy, natomiast odpowiedź wynikająca z modelu wiąże tę gęstość z gęstością warstwy. Sprawa ta jest istotna dla rozumienia przebiegu procesu osadzania, gdzie w końcowej jego fazie podziałowi ma dwa produkty podlega nie materiał o densymetrycznym składzie nadawy, lecz łożo osadzarki, którego charakterystyka warstwową jest różna od takiej charakterystyki nadawy.

Teoretycznie nieuporządkowanym zagadnieniem jest zależność gęstości rozdziału od rozproszenia. Gęstość rozdziału jest gęstością tej frakcji nadawy, która po połowie trafi do obydwu produktów wzbogacania. Rozproszenie frakcji gęstościowej nadawy liczbowo równej gęstości rozdziału jest przybliżonym rozproszeniem prawdopodobnym E_p dla procesu wzbogacania określonego tą krzywą rozdziału. Tak określone E_p jest przybliżone, gdy każda frakcja gęstościowa ma inne rozproszenie i dokładne, gdy rozproszenia wszystkich frakcji są jednakowe. Przybliżoność E_p jest skutkiem przyjmowania przy jego wyznaczeniu z krzywej rozdziału, że $E_p = (\rho_{75} - \rho_{25})/2$ także dla sytuacji, gdy $\rho_{75} - \rho_{50} \neq \rho_{50} - \rho_{25}$, co zawsze zachodzi przy różnym rozproszeniu poszczególnych frakcji gęstościowych nadawy.

W tle rozważanego zagadnienia pojawia się niska dokładność empirycznego wyznaczenia krzywej rozdziału. Zdziwiający jest historyczny fakt niezwykle szybkiego przejścia od sformułowania zasady tworzenia krzywej rozdziału (Tromp 1937) do jej zastosowania do oceny skuteczności procesu wzbogacania (Terra 1938) bez przeprowadzenia szczegółowych badań pozwalających ocenić stosowanie w praktyce postaci funkcji możliwie dokładnie aproksymującej empiryczną krzywą rozdziału. Powyższa uwaga wynika z zestawienia w/w prac Trompa i Terra'y z jednoczesnym brakiem w literaturze z tego okresu prac związanych z dokładnością empirycznego wyznaczenia krzywej rozdziału. W opinii autora taka praca była potrzebna i mogła się pojawić tylko wyniku starannie przeprowadzonych badań laboratoryjnych, ponieważ Tromp i Terra nie podali prawidłowych związków tej krzywej z pojęciami istniejącymi w rachunku prawdopodobieństwa, które zastosowali do teoretycznej interpretacji wyników swoich prac. Trzeba tutaj dodać, że takie prawidłowe wyjaśnienie pojawiło się dopiero 50 lat później w pracy Zapaly (Zapała 1988). Ta sprawa wyraźnie pokazuje meandry rozwoju teorii wzbogacania grawitacyjnego, ponieważ w tym okresie pojawiła się znaczna ilość prac związanych z krzywymi rozdziału,

w tym także normy dotyczące empirycznego wyznaczenia tych krzywych, które stały się podstawą dla doświadczalnej oceny skuteczności wzbogacania stosowanej także obecnie. Nie można zapominać, że istnieją także inne rzadziej używane metody oceny procesu wzbogacania oparte o krzywą rozdziału takie jak wskaźnik Driessena (Belugou i in. 1950) i wskaźnik Ar (Swamson i in. 2008) dokładniej charakteryzujące sprawność procesu wzbogacania.

W praktyce wzbogacania węgla w osadzarkach pojęcie gęstości rozdziału nie jest używane przez personel obsługujący te maszyny jak i dozór kontrolujący ich pracę. Jest tak dlatego, że żaden z parametrów istotnych dla oceny produktów przemysłowego wzbogacania nie ma jednoznacznego i bezpośredniego powiązania z gęstością rozdziału. Istotne jest także to, że poznanie gęstości rozdziału nie jest zasadniczym celem badania krzywej rozdziału. Nie mniej ważny jest fakt, że ta gęstość jest niezwykle rzadko badana, ponieważ podlega znacznej zmienności w wyniku niekontrolowanych zmian ilości i składu nadawy oraz znacznych wahań rozproszenia powodowanych głównie zmianami składu ziarnowego nadawy. Nie bez znaczenia jest także wysoki koszt eksperymentalnego wyznaczenia krzywej rozdziału.

W teorii gęstość rozdziału jest używana do modelowania wyników wzbogacania przy użyciu krzywych rozdziału, obliczania zbędnego i błędnego wskaźnika jakości wzbogacania nazywanego imperfekcją (Głowiak i in. 2019) oraz obliczania krzywej rozdziału z krzywej uogólnionej. W omawianym modelu gęstość rozdziału jest użyta tylko dla pokazania związku działania modelu z obliczanymi przez ten model krzywymi rozdziału. Z historii wprowadzenia do literatury pojęcia rozproszenia prawdopodobnego E_p wynika, że gęstość rozdziału była i jest koniecznym dodatkowym parametrem charakteryzującym jakość wzbogacania. Rozproszenie E_p zmienia się dla innego podziału tego samego rozwarstwowanego materiału i dlatego gęstość rozdziału związana jest ściśle z przyjęciem rozproszenia prawdopodobnego jako miary skuteczności wzbogacania. Wspomniane już wyżej wskaźniki Driessena i Ar nie są wprost związane z wartością tej gęstości. Sprawa użycia krzywej rozdziału do oceny skuteczności wzbogacania w przemysłowej osadzarce ma jeszcze jeden ważny aspekt wspomniany w rozważaniach o ograniczeniach tej krzywej polegający na istnieniu tylko jednej lub dwu pełnych krzywych przy podziale rozwarstwowanego łoża na całkowitą liczbę gęstościowo zróżnicowanych warstw. To zagadnienie pojawiło się pośrednio już w podstawowej pracy Trompa, niestety bez właściwego wyjaśnienia.

13. Propozycja zaniechania opisu zjawisk zachodzących w procesach wzbogacania grawitacyjnego z zastosowaniem funkcji ciągłych

W podręcznikach wzbogacania grawitacyjnego jak np. (Stępiński 1964) szczegółowo przedstawione jest przekształcenie dyskretnych wartości empirycznych pomiarów charakterystyki nadawy w funkcje ciągłą, natomiast brak jest uzasadnienia dla wykonania tego przekształcenia. W nowszych podręcznikach w tym zakresie nie zaszły istotne zmiany, co można zauważyć w opracowaniu Drzymały (Drzymała 2009). Być może dawniej takim uzasadnieniem dla stosowania funkcji ciągłych była praktyka przybliżonych obliczeń wykreslnych i względy dydaktyczne. Obecnie takie

uzasadnienie straciło sens, szczególnie z powodu niestnienia funkcji ciągłych dostatecznie dokładnie aproksymujących przebieg funkcji dyskretnej opisujących rozkłady frakcji gęstościowych w nadawie oraz powszechnego stosowania obliczeń cyfrowych. Ponadto w opisie tych działań pomięto kwestie dokładności przekształcenia empirycznej funkcji dyskretnej w funkcji ciągłą oraz dokładności wykonywanych pomiarów i obliczeń. Opis wzbogacania opierający się tylko na funkcjach dyskretnych w żadnej mierze nie jest gorszy od opisu ciągłego, a jego zaletą jest to, że pokazuje prawidłowo sytuacje, które w modelu ciągłym nie są możliwe do prawidłowego rozważenia. Przykładem może być fakt, że z rozważań ciągłych krzywych rozdziału nie wynika możliwość powstawania warstw gromadzących znaczne ilości wymieszanych frakcji urobku. Taka sytuacja jest wyraźnie widoczna z modelowania dyskretnego dla różnej liczby frakcji gęstościowych. Zwiększenie ich liczby zwiększa tylko dokładność obliczeń gęstości i mas poszczególnych warstw bez istotnej zmiany ich rozkładów. To zwiększanie liczby frakcji ma jednak poważne ograniczenie polegające na pogorszeniu dokładności obliczenia mas frakcji w warstwach w miarę zbliżania się rozkładu dyskretnego do rozkładu ciągłego. Tego rodzaju ograniczenie widoczne jest już dla 32 frakcji przy konieczności większej liczby iteracji i jest ono podane w opisie modelu.

Warto także zauważyć, że używana w różnych zastosowaniach krzywa rozdziału jako funkcja ciągła nie istnieje, ponieważ ta krzywa jest tylko wykresem kilku lub kilkunastu liczb rozdziału wynikających z pomiaru lub obliczenia. Liczby te są znane tylko dla dyskretnych gęstości frakcji charakterystyki nadawy i mają tę właściwość, że mogą odpowiadać gęstości frakcji nadawy, której nie ma w jej składzie densymetrycznym. Tendencja rysująca się z porównania obliczeń w modelu rozkładów mas dla różnej liczby frakcji gęstościowych nadawy wyraźnie pokazuje, że nieciągły rozkład gęstości frakcji nadawy może generować zupełnie niespodziewany w rozważaniach funkcji ciągłych rozkład mas i gęstości warstw dla rozprożeń najczęściej spotykanych w praktyce wzbogacania węgla. W tej sytuacji pojawia się zasadnicze pytanie jaką korzyść przynosi stosowanie opisu ciągłego. W opinii autora tej pracy opis ciągły nie wnosi żadnej istotnej korzyści i wynika tylko z przyzwyczajenia do jego stosowania. Zauważając, że celem poszukiwania matematycznego opisu zjawiska jest znalezienie możliwie prostego opisu najlepiej przedstawiającego modelowane zjawisko, zastosowanie opisu dyskretnego w tym przypadku wydaje się być naturalne. Oczywiście takie podejście do zagadnienia nie wyklucza istnienia wyjątkowych sytuacji, w których zastosowanie opisu ciągłego przynosi pewne korzyści. Stąd wniosek, że głównie stosowanym opisem matematycznym procesu wzbogacania grawitacyjnego powinny być funkcje dyskretne. W przedstawionym modelu jedyną użytą funkcją ciągłą jest dystrybuanta rozkładu normalnego, a jej użycie jest uzasadnione tylko dokładnością modelowania procesu wzbogacania. W rezultacie modelowania otrzymuje się wartości obliczanych zmiennych tylko w konkretnych punktach, co jest skutkiem znajomości empirycznej charakterystyki nadawy tylko w pewnej liczbie punktów. Użycie w tym miejscu funkcji dyskretnej prowadziłoby do utraty zachowania bilansu masy frakcji nadawy rozpraszanych w różnych warstwach.

Przedkładana propozycja ma oparcie w naukowej przeszłości w postaci przejścia do opisu funkcjami dyskretnymi

zjawisk rozpatrywanych w automatyce (Niederliński 1983), które zaczęło się ok. 50 lat temu. Ta zmiana została wymuszona gwałtownym rozwojem techniki cyfrowej i pojawieniem się wielu nowych możliwości jakie ona stwarza. Niestety w technice wzbogacania surowców mineralnych nic podobnego się nie wydarzyło i przy obecnej tendencji zmian najprawdopodobniej rychło się nie wydarzy. Taki stan może być wynikiem zdominowania tych zagadnień przez sposób myślenia zbyt silnie związany z problemami środowiska górniczego, które nie jest skłonne do szybkiego i trafnego reagowania na istotne zamiany zachodzące w jego otoczeniu.

14. Najważniejsze wnioski wynikające z analizy działania modelu

Istnieją dwa zasadniczo różniące się między sobą obrazy zjawisk zachodzących w procesie wzbogacania, prawdopodobnie nie ograniczające się do wodnych osadzarek pulsacyjnych, istotnie związanych ze skutecznością stratyfikacji materiału w łozu osadzarki. Szczególnie ważny jest obraz dla rozprożeń $E_p > 0,04$ do tej pory niewystarczająco opisany w literaturze. W tym zakresie całkowicie zmienia się rozkład gęstości i mas warstw w łozu osadzarki negatywnie wpływając na skuteczność wzbogacania.

W przedstawionym dyskretnym modelu istotnego znaczenia nie ma ilość frakcji gęstościowych nadawy, która zmienia tylko dokładność obliczeń, a pozostaje bez wpływu na różnice w rozkładach gęstości poszczególnych warstw w łozu osadzarki. Można przypuszczać, że istnieje optymalna dla modelowania ilość frakcji gęstościowych wynikająca z pogarszania się dokładności obliczeń mas poszczególnych frakcji w warstwach łoza wraz ze wzrostem ilości frakcji w modelowaniu.

Ważną cechą modelu jest możliwość całkowitego rozdzielania analizy dwu procesów równoległe zachodzących w osadzarce to jest procesu stratyfikacji wzbogacanego materiału i procesu podziału rozwarstwowanego materiału na dwa produkty wzbogacania.

Przedstawione w tej pracy wyniki działania modelu wyraźnie wskazują na istnienie w procesie osadzania sprzężenia zwrotnego zmieniającego gęstość warstw. Jest ono niezauważone w istniejących opisach tego procesu. Z przedstawionych rozważań nie wynikają przesłanki związane z dynamicznymi własnościami tego sprzężenia, co także jest skutkiem niedostatecznego zbadania dynamiki procesu osadzania.

Zjawiska dostrzeżone w modelu pozwalają wskazać prawidłowe kierunki zmian w konstrukcji osadzarek oraz w praktyce stosowania procesu osadzania we wzbogacaniu węgla kamiennego.

Biorąc pod uwagę możliwości poprawy sprawności wzbogacania w osadzarce wynikające z rozważanego modelu w zestawieniu z działaniem cyklonu w cieczą ciężką, który także daje się dobrze opisać tym modelem, trzeba uznać znaczną przewagę sprawności cyklonu okupioną dużo wyższymi kosztami wzbogacania. Głównym źródłem tej przewagi jest możliwość skutecznego wzbogacania w szerszej niż w osadzarce klasie ziarnowej wynikająca z wysokich wartości sił separujących działających przy bardzo dużym rozluźnieniu wzbogacanego materiału.

Aktualny stan teorii wzbogacania grawitacyjnego bardzo przypomina sytuację istniejącą w rachunku prawdopodo-

bieństwa około 100 lat temu, kiedy istniało wiele niepowiązanych ze sobą gałęzi tego rachunku. Dopiero prace Kołmogorowa doprowadziły ten rachunek do stanu uporządkowanej teorii stanowiącej pełnoprawną gałąź matematyki.

Tego rodzaju unifikująca praca byłaby bardzo potrzebna dla uporządkowania wielu wzajemnie niespójnych modeli istniejących w zagadnieniach wzbogacania grawitacyjnego.

Literatura – References

1. Belugou M. Ulmo M. (1950) Représentation des résultats d'une épuration. Conférence Internationale sur la Préparation des Charbons Paris Juin 1950 A3 p. 16-20
2. Budryk W. (1949) Wyniki działania płuczek i wialni w świetle teorii Przegląd Górniczy 1949 nr 9 (620) s. 1021 -1028
3. Cierpisz S. (2012) Automatyczna regulacja procesu wzbogacania węgla w osadzarkach. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice s. 13-15, 28-33, 53-81, 89-106
4. Cierpisz S., Joostberens J., Kowol D. 2010 Model układu odbioru produktów w procesie wzbogacania węgla w osadzarkach. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa Nr 1 (467) Styczeń 2010 s. 15-19
5. Cierpisz S. (2017) A dynamic model of coal products discharge in a jig. Minerals Engineering 105 (2017) 1-6 p.1-3
6. Drzymała J. (2009) Podstawy mineralurgii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 48-51
7. Dyczko A. (2018) Metodyka oceny wpływu zanieczyszczenia urobku na efektywność procesu produkcji węgla kamiennego na przykładzie LW Bogdanka S.A. Praca doktorska AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii s.135-140
8. Głowiak S. (2019) Powody konieczności korekty pewnej części teorii wzbogacania grawitacyjnego. Inżynieria Mineralna nr 1 (43) s.199-209
9. Głowiak S. (2020) Założenia probabilistycznego modelu rozkładu gęstości ziaren w warstwach łoża osadzarki. Inżynieria Mineralna nr 1 (43) s.211-220
10. Głowiak S. (2020) Probabilistyczny model rozkładu gęstości ziaren w warstwach łoża osadzarki. Inżynieria Mineralna nr 1 (45) s.187-198
11. Głowiak S. (2022) Doświadczalne sprawdzenie poprawności modelu dyskretnego rozkładu gęstości ziaren w łożu osadzarki. Inżynieria Mineralna 1 (47) s. abc-xyz
12. Głowiak S., Tora B. On the desirability of abandoning the use of imperfection as an indicator of the effectiveness of gravity separation coal in water pulsation jigs XIX International Coal Preparation Congress Congress Proceedings Vol.1 s. 285-295
13. Gottfried B.S. (1978) A generalization of distribution data for characterizing the performance of coal cleaning equipment. Mineral Processing p.1-20
14. Jinnouchi Y. Kawashima S. (1978) How to Predict and Optimize the Pulsation in the Air-Pulsated Jigs VIII International Coal Preparation Congress Donieck B5 p.105-136
15. King R.P. (1987) A quantitative model for gravity separation unit operations that rely on stratification. APCOM 87. Proceedings of the Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries, Volume 2 Metallurgy. Johannesburg SAIMM 87 p.141-151
16. Kowol D. (2010) Wpływ zmian parametrów nadawy na efekty działania pływakowego układu sterowania odbiorem produktów osadzarki. Praca doktorska Politechnika Śląska w Gliwicach Wydział Górnictwa i Geologii s. 68-81, 88-94
17. Niederliński A. (1983) Systemy i sterowanie. Wstęp do automatyki i cybernetyki technicznej. PWN Warszawa s.256-361
18. Pielot J. (2011) Wielokryterialna optymalizacja produkcji układów technologicznych grup wzbogacalników grawitacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, s.57-140
19. Stępiński W. (1964) Wzbogacanie grawitacyjne PWN Łódź-Warszawa-Kraków s. 16- 39
20. Surowiak A. (2006) Wpływ rozkładu właściwości fizycznych i geometrycznych ziaren na dokładność rozdziału w osadzarkach na przykładzie węgla. Rozprawa doktorska AGH, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii Kraków s. 136-146
21. Swanson A., Atkinson B., Weale W. (2008) Design and Operational Data for the Optimum Utilisation of Large Diameter Dense Medium Cyclone XV International Coal Preparation Congress and Exhibition, China University of Mining and Technology Press Pekin p. 297

22. Terra A. (1938) Essai d'une theorie de lavage. Reveue l'Industrielle Minerale nr 425 p. 383-403
23. Tromp K.F. (1937) Neue Wege für Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohlen. Glückauf nr 6 s.125-131, nr 7 s.151-156
24. Zapała W. (1988) Opracowanie i cyfrowe badania symulacyjne algorytmów sterowania procesu wzbogacania węgla z wykorzystaniem pomiaru rozkładu frakcji densymetrycznych w łożu osadzarki Praca doktorska. Politechnika Śląska, Instytut Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Gliwice s. 48-68

Changes in the Image of Sedimentary Enrichment Resulting from the Analysis of the Operation of the Probabilistic Model of the Distribution of the Density Layers in the Jig Bed

The results of modeling and experimental verification of the probabilistic model of layer density distribution in the jig bed allow to notice significant differences in the image of the enrichment process in the jig resulting from this model and the understanding of this process so far. The noticed differences are of great importance both for its theoretical description and for the practice of coal enrichment. They also allow to indicate the right direction of changes in the construction of the jig. This work is an overview of the observed differences and their significance for the correct understanding of the enrichment process in the jig. Among these details, the so far not noticed changes in the density distributions of the bed layers and the distribution of masses in individual layers related to the dispersion of particles of the enriched material are of great importance.

Keywords: *enrichment of minerals, coal separation process in a jig, modeling of enrichment in a pulsed water jig*



Silicites of the Blovice Complex (Western Bohemia) – their Probable Genesis, Position and Utilization

Jiří BERÁNEK^{1)*}, Dana VRUBLOVÁ¹⁾, Roman KAPICA²⁾,
Markéta LAŠTŮVKOVÁ¹⁾

¹⁾ VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Institute of Combined Studies in Most, Dělnická 21, Most, Czech Republic

²⁾ VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of Geodesy and Mine Surveying, 17. listopadu 15, Ostrava – Poruba, 708 00, Czech Republic

*Corresponding author: jiri.beranek1@vsb.cz

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-03>

Submission date: 06-01-2022 | Review date: 12-03-2022

Abstract

This article deals with silicites (lydites) and their characteristics in the environs of Western Bohemian villages of Skašov, Týniště and Kbelnice (former Plzeň – jih county). These rocks form long and narrow lenticular bodies in adjacent rocks of the so called Blovice complex (the southern part of Bohemicum, the Teplá – Barrandian part). However, the origin of silicites has not been fully clarified so far. Authors of many studies differ in their opinion – whether these rocks originated either in shallow waters or deep (oceanic) ones, which processes made for this kind of silicites, whether microorganisms were involved, et cetera. In the past, these rocks were quarried because of their excellent properties – hardness, strength as well as a minimum inhibition and utilized for soling forest ways as well as roads and for various constructions including basements, walls and even whole houses – residential and farming ones. In the area, there are many evidences of quarrying lydites in the form of various pits and abandoned quarries with remnants of technology (ramps, service buildings, etc.). The article is supplemented (by / with) original photos as well as simplified maps within the frame of this text.

Keywords: Silicite (lydite), Blovice complex, accretionary wedge, rock genesis, quarrying the stone, utilization

1. Introduction

Silicites (lydites) form a part of the so called Bílovice complex which represents the south – western part of Bohemicum, concretely the Teplá – Barrandian zone. Silicites represent a very important occurrence of the Late Neoproterozoic in this region; it is obvious that recurrent processes of magmatism, erosion, sedimentation, accretion, and tectonics used to take part there. These processes were active until the Middle or even Upper Cambrian (see below).

Nevertheless, the boundary of the Upper Proterozoic and Cambrian towards NE is mainly tectonic one [6] and new views of the regional paleogeography (i.e., accretion wedge at the Gondwana northern margin) are based on recent and more precious methods of absolute dating.

The origin of silicate bodies – however – remains the subject of theories. Some authors prefer the origin in shallow waters (the so-called photic zone), others suppose deep ones near subaquatic sources of magmas. A possible role of microorganisms is widely debated as well.

In the past, silicites were intensively quarried with one important advantage – rocks were accessible in local quarries as the most suitable material for constructional purposes (beddings, walls and even whole buildings. The main advantage of the rock was an easy cleavability and possibility to put fitting pieces together.

Nowadays, silicites form prominent rocky walls and knobs which give the landscape its character. Signs of former quarrying can be seen almost everywhere.

The article describes these remnants of quarrying locations in the area covering roughly 10 km², situated in

the Blovice complex central part lying SE from the town of Přeštice.

Besides maps and original photos, the article includes citations from old municipal chronicles which mention (though sporadically) quarrying the stone and utilizing it.

Actual remnants of silicate quarries in the area are maybe the last reminders of once intensive human activities here.

2. The geological past

The absolute dating of the Blovice complex is not very exact even if recent studies based on fragmental zircons from (meta)greywackes shifted or knowledge regarding the development and age of rocks in question.

The authors of study [4] regard the Blovice complex a metamorphosed accretion wedge situated at the northern margin of Gondwana. This wedge was formed during the Cadomian orogenesis; the maximum of zircon samples corresponds with the Late Cryogenian and Early Ediacaran. In the Bohemian Massif, the Cadomian era was not limited only to the Neoproterozoic – cyclic periods of magmatic events, erosion, sedimentation accretion and tectonic phenomena was probably prolonged to the Upper Cambrian (499 Ma) since zircons of this age are dominant in some samples. Moreover, it is highly probable that most materials underwent accretion about 527 Ma with following phases of plutonism. According to the authors of study mentioned above, Cambrian samples give the evidence existing forearc basins which covered the accretion wedge. These processes were controlled through the oceanic subduction which occurred in the terminal phase, followed by opening the Rheic ocean (490–480 Ma) and di-



Fig. 1. A rare silicite rock with rough laminar texture
Rys. 1. Rzadka skała krzemianowa o szorstkiej warstwowej teksturze



Fig. 2. cracked silicate with secondary quartz (left) and rare flow folds in the same type of stone (right)
Rys. 2. Krzemian spękany z wtórnym kwarcem (po lewej) i rzadkimi fałdami płynięcia w tym samym typie kamienia (po prawej)

vergent tectonic processes. The terranes of Cadomian age then become parts of the Cadomian orogeny.

3. The question of genesis

The issue of silicites and their origin is still the matter of debates. Generally, these rocks are considered silicified, fine grained oceanic sediments which occurred near hydrothermal vents, probably in the presence of microorganisms. Some other authors prefer the origin of silicites in shallow waters (photic zone) due to their palaeontological content and locally depicted “stromatolitic” structures [11, 13, 14]. Nevertheless, it is necessary to regard the area where silicites originated – the Ediacaran period should provide some samples of its typical biota. Unfortunately, there is no reliable evidence of it in the Bohemian Massif [12].

On the other hand, it is necessary to allow for a tight relationship between submarine magmas (spilites) and their basaltic character [8]. This solution is, for instance, preferred by Dubanská et al. [3].

Cílek et al. [1] assume silicates used to originate near hot submarine resources where magma was in contact with seawater. During this process, alkali were released and dissolved silicium in adjacent rocks. Microorganisms were probably involved too. Under these conditions, materials coagulated into silicate bodies. Cílek also explains why silicites of a later datation do not occur. Sea sponges and radiolarites build their skeletons of silicium dioxide – therefore this material was not later available.

Dick et al. [2] also suppose that hydrothermal vents near active ridges inside sea basins [5] had a potential to host mi-

crobial life – together with abiotic processes, this circumstance could make for the origin of silicites.

4. The stone and its properties

Silicites of the Blovice complex are grey or black-grey (because of graphite content), mostly massive but sometimes with laminar textures (Fig. 1).

Due to their hardness and resistance, these rocks underwent a fragile deformation only [7]; during two orogenic cycles (Cadomian and Alpine) they were fractured, which resulted in many chaotic crackles and crevices from microscopic ones to several decimeters, always filled with white quartz.

However, the question of fragile deformation is not so clear; plastic ones had taken place as well – it is obvious in Fig. 2 (right). The sample was found in the chaotic terrain westwards of Týniště. Subtle flow folds have amplitudes from 5 to 10 millimeters.

Planes of separation are often covered with limonite. Mrázek and Pouba [9, 10] emphasize a higher content of Fe, V and U. Sources [11, 13, 14] then mention microfossils as written above.

In the slightly indented terrain of the Plzeň upland, silicites represent distinct landscape dominants – from particular rocks to long rock walls which copy particular silicate bodies. Most of these bodies SW – NE oriented and walls are often higher than 20 meters.

As the locally available material, silicites became very popular among local people. The hardness and durability



Fig. 3. The wall of residential house, where silicate pieces are combined with adobes. Especially northern walls below slopes had to be reinforced because of abrupt strong floods

Rys. 3. Ściana domu mieszkalnego, gdzie kawałki krzemianu są połączone z cegłą. Zwłaszcza północne ściany poniżej stoków musiały zostać wzmocnione z powodu nagłych, silnych powodzi



Fig. 4. The piece of touchstone with lines of gold. The stone in the form of finely brushed enables to distinguish gold from common metals and even roughly assess its purity

Rys. 4. Kamień probierczy z liniami złota. Kamień w formie drobno szcztokowanej pozwala odróżnić złoto od metali nieszlachetnych, a nawet z grubsza ocenić jego czystość

(together with an easy workability) predestined silicites for constructional works – roads, basements, and even houses both farming and residential ones. The stone was often combined with other materials, i.e., bricks, adobes, etc. (Fig. 3).

It is also useful to mention another silicate utilization – it is important for jewelers and goldsmiths as the touchstone (Fig. 4).

5. Selected locations – a brief description

SKAŠOV – the quarry is located about 600 m to NNW from the northern part of village. The chaotic rocky terrain in the middle of an old spruce forest represents a remnant of silicate quarry. There is a dominant rocky tor, simply called “Rock” (Fig. 5).

Direct witnesses of quarry activities do not live; however, it is obvious that working there had to be long and intensive, providing lots of stone. From the surrounding debris, suitable pieces were taken out or boulders were cleaved, and particular pieces were tried in order to obtain the best result.

Nowadays, there is a remnant of reinforced concrete pillar, originally carrying a stone crusher. Many local people believe that the crusher was installed during World War II or shortly later. This conjecture may be supported by the current condition of pillar: its concrete is strongly deteriorated – it is obvious that builders used a minimum of concrete filled with fine silicate gravel pieces. The structure is reinforced with thin and corroded iron wires; surface effects of suffusion are well visible (honeycombs, deep dents) which corresponds with a war scarcity of any quality concrete (Fig. 6).

The Municipal chronicle of Skašov provides another important guideline – besides traditional social reports, the early 1936 report writes [16]:

“The state road between Towns of Přeštice and Nepomuk was reinforced with gravel and rolled. Many Skašov inhabitants were involved in crushing the stone in the Kaiser’s quarry and others transported it”.

Had the owner possessed any industrial crusher, he would not have needed and paid so much manual work.

TÝNIŠTĚ – the silicite quarry near Týniště is now hidden in the spruce forest; the area was certainly utilized for a long time. Towards Skašov there are numerous pits of different depth and diameter or trenches (Fig. 7). People obviously used to pick suitable pieces of stone from debris below rocks here (the so-called wild digging). Today, the debris is buried below the forestland.

The Municipal chronicle mentions reinforcing the state road as well. The chronicler writes [15]: “This year (1936), the Management of state roads has begun repairing the route between Přeštice and Nepomuk. The road metal for rolling the surface between Újezd and Skašov was provided by Mr. V. Kastner owning the rock called “On doomsday hill”. That work employed many local people; this had a good impact on improving social circumstances for the period works were going on”.

KBELNICE – The quarry near the village of Kbelnice was founded in the 1950’s and then operated by the “Zapadokámen Plzeň” national enterprise. Nowadays, the surrounding area is covered with a young mixed forest, while the



Fig. 5. A typical silicate rock in the Skašov forest
Rys. 5. Typowa skała krzemianowa w lesie Skašov



Fig. 6. The pillar of former stone crusher and its detail
Rys. 6. Fundament dawnej kruszarki kamienia i jego detal



Fig. 7. Remnants of wild digging near Týniště. A typical pit in the forest (left) and debris around one of rocks (right)
Rys. 7. Pozostałości "dzikiego" wydobycie w okolicach Týniště. Typowy dół w lesie (po lewej) i gruz wokół jednej ze skał (po prawej)

central part is utilized as the deposit of biomass. At the entrance to the former quarry, a well-preserved concrete pillar of crusher is visible as well as the operational building (now probably a vacation object). The Municipal chronicle of Letiny (Kbelnice forms one of its parts) does not provide any information regarding the quarry. However, it is known that the quarry was utilized very intensively. Recently, the information plate has been installed, providing brief data of general character, unfortunately without any geological features (Figs. 8,9).

6. Selected properties of silicates and some other building stones

Technical parameters of a quarry stone are very important for its application. While advantages of silicate have been mentioned above, it is useful to allude some other local sources. In this particular case, we can compare silicates with basaltic rocks of the České středohoří mountains. Rocks are utilized as

reinforcing materials and for building communications. It is necessary to emphasize that the medieval Borough of Ústí nad Labem was built of local basalts and trachytes, locally with blocks of soft sandstones.

Fig. 10 documents essential differences in the stone quality. Silicates are compact, hard but well workable (left). Basaltic rocks of the České středohoří mountains differ in their quality from place to place. The photo in the middle is a good example of mechanical loosening of the original laccolith due to unloading in the course of vertical deepening, now 90 meters below the surrounding terrain. The sone is nonetheless still suitable for reinforcing roads and railway lines. The right photo explains why the České středohoří protected land area (PLA) is so much affected by both abandoned and active quarries. In the past, pitmen were not constrained to consider environmental rules. In a case of bad stone quality, they simply opened another quarry inside a nearby hill. The Soutěský quarry represents the typical example of a failed work. The

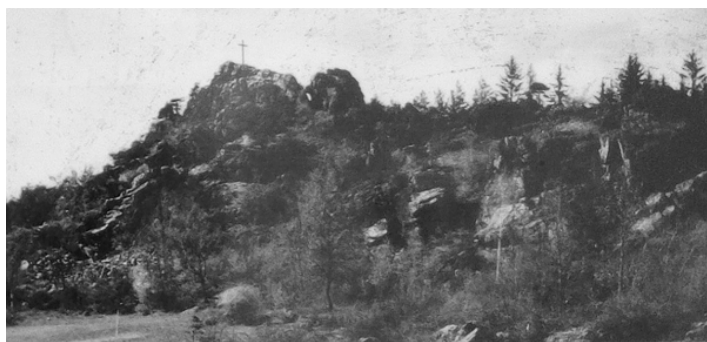


Fig. 8. A rare photo of Kbelnice quarry from the information plate
Rys. 8. Unikalne zdjęcie kamieniołomu Kbelnice (z tabliczki informacyjnej)



Fig. 9. The former quarry and its present day situation
Rys. 9. Dawny kamieniołom i jego obecna sytuacja



Fig. 10. A compact silicite rock (left). Fissured trachytes in the center of Ústí na Labem (middle) and weathered basalts in the Soutěšský quarry near the town of Děčín (right)

Rys. 10. Zwarta skała krzemionkowa (po lewej). Spękane trachyty w centrum Ústí na Labem (w środku) i zwiertzałe bazalty w kamieniołomie Soutěšský w pobliżu miasta Děčín (po prawej)

only one advantage was the layer of column basalt. After 1990, the private owner used to produce decorative garden accessories (cobble stones, pavements, mullions, lamps, stools, etc.). The activity has recently been finished.

Nowadays, several large quarries still work as private facilities (Dobkovičky, Libochovany, Ústí nad Labem, etc.). Here is necessary to express one aggravating thing; until 1990 the rule was valid that quarries are not allowed to change the contour of horizon. Since then, private companies do not observe this rule and exploit their sources “without any mercy”.

Finally, the table of selected properties of various rocks is included (more sources).

7. Conclusion

The Blovice Neoproterozoic complex of the Teplá – Barandian zone is a part of former accretion wedge at the northern margin of Gondwana. Cyclic activities were connected with subduction which disappeared at the Cambrian - Ordovician

boundary. The convergent character of plate tectonics here was changed into the divergent one.

The Blovice complex contains (meta)greywackes, spilites, basalts, andesites, slates and bodies of silicites – hard and durable rocks. According to some opinions, they were formed near submarine volcanic eruptions or hydrothermal vents via silicification in a presence of microorganisms. The depth of water is still questionable – authors cannot agree whether silicites originated in shallow photic zones or near abyssal sources of heat.

Today, silicites of the Blovice complex are found in the form of long and narrow lenticular bodies inside adjacent rocks.

Owing to their good mechanical properties (hardness, durability and good cleavability), silicites were utilized as building materials for local purposes as well as reinforcing metal, even to the end of 1980’s.

The article describes three abandoned quarrying sites.

Tab. 1. Table of selected properties of various rocks is included (more sources)

Tab. 1. Zestawienie wybranych właściwości skał

ROCK	Classified as	Example	Volume weight (kg.m ⁻³) ČSN 721154	Absorbing power ČSN 721155	Pressure resistance (MPa) ČSN 721163
igneous	plutonic (leucocratic)	granite	2500	0,7	90
igneous	plutonic (melanocratic)	diorite, gabbro	2800	0,7	90
igneous	effusive (compact)	andesite	2500	5,5	80
igneous	effusive (porous)	trachyte	2000	3	80
sedimentary	clastic (compact)	sandstone (compact)	2500	5	40
sedimentary	clastic (porous)	sandstone (porous), marl	1800	15	15
sedimentary	chemogenic	silicite	~2500	<1	
metamorphic	carbonate	crystalline limestone, marble	2600	0,8	40
metamorphic	siliceous	gneiss	2500	1	60

Two of them had rather industrial character, the third one was used for local “wild” digging activities. In 1936, quarrying and manufacturing the stone was organized in the private quarry between Skašov and Týniště in order to repair the local state road.

Nowadays, quarries are abandoned but their remnants and numerous pits prove human activities in this countryside.

8. Acknowledgements

Simona Trísková, Martin Šoltys

Literatura – References

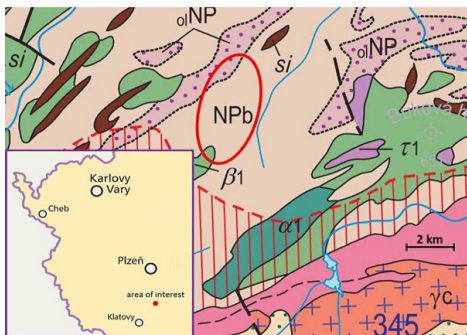
1. CÍLEK, Václav, Zdenka SŮVOVÁ, Jan TUREK, et al. Krajem Joachima Barranda: cesta do pravěku země české. Illustrated by Jiří SVOBODA, Illustrated by Dominika LIZOŇOVÁ, Illustrated by Arnošt HANÁK. Praha: Dokořán, 2020. ISBN 978-80-7363-991-4. (Through the countryside of Joachim Barrande)
2. DICK, G. J., ANANTHAMARAN, K., BAKER, B. J., LI, M., REED, D. C., SHEIK, C. S. The microbiology of deep-sea hydrothermal vent plumes: ecological and biogeographic linkages to seafloor and water column habitats. *Frontiers Microbiol.*, 2013, 4, 124, 1 – 16., DOI:10.3389/fmicb.2013.00124.
3. DUBANSKÁ, V., DUBANSKÝ, V., HEJL, V., MAŠTALKA, A. Geochemie buližníků z oblasti Českého Masívu. Praha: Academia, NČSAV, 1977 (The geochemistry of silicites in the area of Bohemian Massif)
4. HAJNÁ, J., ŽÁK, J., DÖRR, W. Time scales and mechanisms of growth of active margins of Gondwana: A model based on detrital zircon ages from the Neoproterozoic to Cambrian Blovice accretionary complex, Bohemian Massif. *Elsevier: Gondwana Research*, 2017, 42, 63 – 83. DOI: 10.1016/j.gr.2016.10.004.
5. CHÁB, J. et al. Stručná geologie základu Českého masívu a jeho karbonského a permského pokryvu. Praha: Česká geologická služba, 2008. ISBN 978-80-7075-703-1. (A brief geology of the Bohemian Massif basement and its Carboniferous and Permian cover)
6. CHÁB, J. et al. Geologická mapa České republiky 1 : 500 000, Praha: ČGS, 2007 (Geologic map of the Czech Republic 1 : 50000)
7. MERGL, Michal. Vycházky za geologickými zajímavostmi Plzně a okolí. Mariánské Lázně: KOURA publishing, c2000. ISBN 80-902527-1-0.
8. (Walking through the geologic features of Plzeň and its environs)
9. MÍSAŘ, Z et al. Geologie ČSSR I, Český masiv. Praha: SPN, 1983. (ČSSR geology)
10. MRÁZEK, P. Metalogenetické procesy v západočeském svrchním proterozoiku. Praha: Věst. Ústř. Úst. geol., 61, 4, 233 – 241. (Metalogenetic processes in the Western Bohemian Neoproterozoic)
11. MRÁZEK, P., POUBA, Z. Relations between Fe-V-U mineralizations and stromatolites. In: POUBA, Z. edit. Korelace proterozoických a paleozoických stratiformních ložisek. Praha: Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha, 3, 59 – 76. (Correlating the Proterozoic and Paleozoic stratiform deposits)

12. STÁRKOVÁ, M. – HALODOVÁ, P. – MRÁZOVÁ, Š. Origin of Neoproterozoic silicites with stromatolitic structures in the Brdy area. Praha: Geoscience Research Reports, 2018, 5, 1, 57 – 62. ISSN 0514-8057. DOI:10.3140/zpravy.geol.2018.25.
13. VAVRDOVÁ, M. Existovala v Čechách ediakarská fauna? Praha: Vesmír 94, 2015, 1. (Did the Ediacaran fauna exist in Bohemia?)
14. VAVRDOVÁ, M. Jak hluboké bylo v Čechách ediakarské moře? Praha: Vesmír 97, 2018, 2. (How deep was the Ediacaran Sea in Bohemia?)
15. VAVRDOVÁ, M. – MRÁZEK, P. Microfossils in Late Proterozoic silicites from Western Bohemia, Czechoslovakia. Praha: Věst. Ústř. Úst. geol, 66, 337 – 347.

Municipal Chronicles:

1. <https://www.portafontium.eu/chronicle/soap-pj/00425-obec-tynistie-1945-1969> (access: 2022-05-16)
2. <https://www.portafontium.eu/chronicle/soap-pj/00357-obec-skasov-1923-1935> (access: 2022-05-16)
3. <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map> (access: 2022-05-16)

The cutout of the geological map comes from the source [6].



The area of interest and its position in the Western Bohemia combined with detailed geologic map. Particular symbols represent: $\alpha 1$ – andesites, $\beta 1$ – basalts, γc – granites, tonalites, olNP – olistostroms, NPb – schists, greywackes, si – silicites (small bodies not mapped), $\tau 1$ – Neoproterozoic metamorphites, 345 – approximate age of igneous rocks from zircon and monazite. Γ ПТ П – contact aureole of pluton.

Krzemiany kompleksu Blovice (Czechy Zachodnie) – ich prawdopodobna geneza, pozycja i wykorzystanie

W artykule omówiono odmianę alotropową krzemu – silicyt (lydit) i jej charakterystykę występujących w okolicach zachodnioczeskich wsi Skašov, Týniště i Kbelnice (dawny powiat pilzneński-jih). Skály te tworzą długie i wąskie ciała soczewkowate w sąsiednich skalach tzw. kompleksu Blovice (południowa część Bohemicum, część Teplá – Barrandian). Jednak pochodzenie silicitów nie zostało dotychczas w pełni wyjaśnione. Autorzy wielu opracowań różnią się w swoich opiniach – czy skály te powstały w wodach płytkich czy głębokich (oceanicznych), jakie procesy dokonały się dla tego rodzaju krzemianów, czy w grę wchodziły mikroorganizmy i tak dalej. W przeszłości skály te były wydobywane ze względu na swoje doskonałe właściwości – twardość, wytrzymałość, były wykorzystywane do podbudowy dróg leśnych oraz do różnych konstrukcji w tym piwnic, murów, a nawet całych domów – mieszkalnych i gospodarczych. W okolicy znajduje się wiele śladów wydobywania lyditów w postaci różnych dołów i opuszczonych kamieniołomów z pozostałościami technologii (rampy, budynki usługowe itp.). Artykuł jest uzupełniony oryginalnymi zdjęciami oraz uproszczonymi mapami.

Słowa kluczowe: *odmiany alotropowe krzemionki, Silicit (lydit), złożo Blovice, geneza skály, wydobywanie kamienia, wykorzystanie*



Dividend Policy of Listed Energy Companies in Poland

Maria SIERPİŃSKA *

*Corresponding author: msierpínska@o2.pl; Akademia Ekonomiczno-Humanistyczna, Warszawa, Poland

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-04>

Submission date: 10-01-2022 | Review date: 22-03-2022

Abstract

The discussed problem of dividend policy in energy companies is extremely important in the context of the need to restructure the sector and move away from coal as an energy carrier in favor of renewable sources. In this light, the strategy of distribution into profits retained in the company and profit transferred to shareholders becomes important. The dividend policy is shaped by many macro- and microeconomic factors. In the current economic situation, factors such as the overall economic situation, inflation and the stock market situation, the net profit generated, the level of corporate debt, or the need to maintain financial liquidity play a significant role in it. The dividend policy affects the capital structure and the cost of its acquisition, which determines the profitability of restructuring projects. The research hypothesis is that the lack of a stable dividend policy is a significant cause of the undervaluation of energy companies on the stock exchange. The market valuation of the companies studied was much lower than their book value. However, the calculated Pearson linear correlation coefficients do not confirm this hypothesis. The dividend rate is only one of many factors that contribute to the undervaluation of energy companies on the stock exchange. It diminishes the possibility of obtaining equity capital on the stock exchange in the form of a new series of shares, and at the same time maintains a rational capital structure.

Keywords: profit distribution, determinants of dividend policy, dividend rate, market indexes

1. Introduction

The net profit generated by the company is divided into retained profit, reinvested profit, and profit that is transferred as dividends, royalties, and other payment distribution methods. Companies listed on the Polish stock exchange transfer an average of 30% of net profit to shareholders. In the period of high net profits, some funds may be transferred to shareholders through a share buyback. The shareholder benefits not only from the dividends themselves but from the increase in their prices. While stock prices are not directly influenced by the company, it can indirectly influence them by paying dividends. Profit distribution decisions are strategic; retained profit is a source of financing for development projects. It also impacts the property and capital situation and the level of debt. The capital market can perceive the dividend policy as a signal of the company's financial condition. Significant payouts are well received, and failure to pay out signals the company's deteriorating financial condition. Dividend policy is one of many different factors that influence stock prices, and the solution to the problem of its impact on share prices has been the subject of research and scientific discussions for many years.

The article attempts to evaluate the dividend policy in energy companies in the context of the average values from the WSE stock exchange in Warsaw and the fuel and gas sector.

The research hypothesis is that energy companies do not pursue a stable dividend policy, and dividend yields are higher than the average of the stock market. Such a lack of a stable dividend policy is one of the reasons for the undervaluation of energy companies on the stock exchange.

2. The dividend policy and the ways of its implementation

The issue of dividend policy and its importance to shareholders and companies is an ambiguous issue. Thus far, it has

not been clearly defined due to different approaches of individual groups of stakeholders towards the distribution of net profit. The dividend payment policy is generally the decisions made regarding the distribution of net profit into retained profit, reinvested profit and the profit paid to shareholders. The dividend policy is defined as all long-term profit sharing decisions, as defined in the pre-planned distribution key. These payments can be made from the current net profit and retained profit from previous periods in the form of a separate dividend or supplementary capital. Quoting Lintner's global research on dividends (1962), Kwiatkowski (2018) noted that companies determine the amount of dividend payments primarily based on the amounts of previous payments. This is due to the judgment of company managers who believe that investors have more confidence in companies with stable dividend payment policies. He also noted that the basic factor influencing the change in the amount of the payment is the change in the amount of the company's net profit. According to Lintner, as profits increase or decrease, companies adjust the amount of dividends to a less than proportional degree. In other words, dividends are "sticky", which in the literature is referred to as "dividend smoothing".

The dividend policy is the result of different preferences of shareholders and depends on economic priorities, as on well as the current and future financial situation of the company. Nevertheless, the management boards of companies propose such a profit distribution so that too low retained profit does not hamper the company's development. Retained profit increases the possibilities of implementing development projects, and therefore the company's ability to generate profits in the future. The retained profit also shapes the level of debt. It allows for financing development projects with equity, which reduces financial risk. This is important in the case of large net profit

Tab. 1. Basic stock exchange indexes for the stock market, fuel, gas, and energy sectors in Poland in the years 2010–2020. Source: own study based on data taken from Stock Exchange Annals - "Sector indexes" (x, the company generated losses)

Tab. 1. Podstawowe wskaźniki giełdowe dla rynku akcji, sektorów paliw i gazu oraz energetycznego w Polsce w latach 2010–2020. Źródło: własne

Years	WSE stock market			Fuels and gas			Energy		
	P/BV	P/E	Dividend yield ratio DYR	P/BV	P/E	Dividend yield ratio DYR	P/BV	P/E	Dividend yield ratio DYR
2010	1.16	18.2	2.4	1.07	12.3	0.7	1.30	10.6	1.6
2011	1.06	12.5	2.5	0.74	7.9	1.0	1.23	7.2	4.8
2012	0.89	11.7	3.9	0.88	15.5	0.7	0.98	6.9	7.3
2013	0.96	15.8	3.6	0.75	14.9	2.7	0.75	8.2	6.1
2014	1.09	29.9	3.1	0.78	x	3.4	0.88	10.8	5.7
2015	1.05	18.3	2.3	0.96	20.1	3.0	0.63	29.8	7.5
2016	0.82	17.3	3.4	1.24	49.0	2.5	0.58	110.6	6.0
2017	1.09	39.2	2.3	1.29	8.3	2.7	0.65	8.5	3.9
2018	0.98	12.7	2.5	1.25	8.7	2.3	0.61	13.2	3.8
2019	0.86	11.0	2.9	0.93	10.4	3.7	0.52	12.2	3.0
2020	0.67	24.8	3.6	0.71	10.6	1.3	0.59	x	4.2

Tab. 2. The P/BV ratio of energy companies on the stock market in Poland in 2010–2020. Source: own study based on the Stock Exchange Annals Tables 14. Sector indicators (all companies) (- data not available)

Tab. 2. Wskaźnik C/WK spółek energetycznych na rynku giełdowym w Polsce w latach 2010–2020. Źródło: własne

Companies	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CEZ	1.82	0.26	1.48	0.66	1.24	0.92	0.88	1.08	1.25	1.13	1.14
Enea	1.07	0.76	0.64	0.53	0.56	0.39	0.35	0.40	0.31	0.23	0.20
Energa	-	-	-	0.84	1.14	0.60	0.43	0.57	0.36	0.28	0.38
Kogeneracja	1.68	1.00	1.21	0.63	-	0.75	1.00	0.88	0.41	0.34	0.31
PGE	1.09	1.80	0.82	-	0.80	0.61	0.48	0.49	0.40	0.31	0.29
Tauron	0.77	0.59	0.49	0.43	0.49	0.27	0.31	0.30	0.20	0.15	0.26
ZEPAK	-	-	0.42	-	0.35	0.12	0.30	0.34	-	0.23	0.51

fluctuations in particular periods. Securing a company against underinvestment affects both its market perception and its competitive position.

The optimal policy comes down to establishing such proportions of the dividend that maximize the added value of the company. Despite many years of research, decisions on dividend payments and their impact on the price and value of the company have not been clearly defined (Frankfurter, Wood, 20021). This discussion was called the dividend puzzle. Black argued that the deeper the analysis of the issue of dividend, the more they resemble puzzles whose pieces do not fit together (Black, 1976). According to Black, in the dividend policy is treated as the fundamental puzzle of finance. Therefore, many mutually exclusive theories and hypotheses have been published, in which the authors attempt to explain the dividend policy. Currently, the literature on the subject offers several leading theories explaining the relationship between the payment of dividends and the price of the company's shares and its value.

The basic determinant of the company's current and future ability to meet the needs of its stakeholders is its market value. Dividends are of particular importance to shareholders in terms of their impact on the company's value. Shareholders expect an optimal return rate on the invested capital, which depends on the level of dividends paid and the increase in share prices. Most researchers believe that the choice of dividend policy and any amendments to it is met with a certain reaction of investors, which affects the company's market value. Investors' reaction to a change in dividend policy is the market's assessment of the event, as reflected in an increase or decrease in additional returns realized by shareholders.

3. Determinants of the dividend policy

The variety of factors that determine the dividend policy makes it practically impossible to establish a fixed set for a specific company. These factors are systematized in the literature according to various criteria. Kowerski (2011) distinguishes the determinants related to the age and sector of companies and the dividend in the preceding year as fundamental, market, and fundamental market. Most often, however, these determinants are divided into micro- and macroeconomic, as well as capital market determinants.

Microeconomic factors affecting the dividend policy include cash flow and availability, net profit and its stability, the need to maintain control over the enterprise, the management board's unwillingness to increase debt, return on equity, capital structure, planned share buyback, investors' preferences as to dividends, the life cycle of the enterprise, as well as available investment projects. In turn, macroeconomic factors determining the distribution of the company's profit include inflation, growth of the gross domestic product (GDP), investment dynamics, national currency, dynamics of export and imports, and others, such as economic sentiment, fluctuations in market indexes (P/E, P/BV) or capital market situation (Jabłoński, Kuczowicz, 2016).

The study of selected macroeconomic factors by Jabłoński and Kruczowicz (2016) was based on the analysis of the correlation between GDP growth, investment rate, and economic sentiment index (PMI) and the amount of dividends paid by 48 companies listed on the Warsaw Stock Exchange in the years 2002–2013. The Pearson linear correlation coefficient was used in the study, which in effect showed that there was no significant correlation between macroeconomic factors and the amount

ab. 3. The P/E ratio of energy companies on the stock market in Poland in 2010–2020. Source: Stock Exchange Yearbooks, Tables 14 and 22, Sector indicators (all companies)

Tab. 3. Wskaźniki C/Z spółek energetycznych na rynku giełdowym w Polsce w latach 2010–2020. Źródło: Stock Exchange Yearbooks, Tables 14 and 22, Sector indicators (all companies)

Companies	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CEZ	8.4	12.2	11.2	6.6	13.4	12.5	11.6	16.9	25.0	18.6	19.7
Enea	17.0	9.8	9.7	8.1	7.5	5.5	x	5.7	5.0	3.5	x
Energa	-	-	-	x	9.8	6.0	18.2	8.3	4.1	6.7	x
Kogeneracja	11.3	9.0	12.0	5.2	x	11.0	10.3	7.0	12.5	8.7	3.3
PGE	14.0	13.4	6.2		9.5	x	8.9	5.2	13.4	7.5	x
Tauron	14.3	8.1	5.5	5.5	7.8	4.2	x	4.2	3.7	13.9	x
ZEPAK	-	-	4.3		15.6	12.6	x	3.8		x	x

Tab. 4. Dividend rate of energy sector companies in Poland in 2010–2018. Source: own study based on data from the Stock Exchange Annals – Tables: "Companies according to market value"

Tab. 4. Stopa dywidendy spółek sektora energetycznego w Polsce w latach 2010–2018. Źródło: własne na podstawie Stock Exchange Annals – Tables: "Companies according to market value"

Companies	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CEZ	6.9	6.6	6.7	7.7	6.9	8.9	3.0	6.6	6.1
Enea	1.6	2.4	9.2	2.6	3.8	4.2	2.2	-	-
Energa	-	-	-	7.5	4.3	11.4	5.4	1.5	-
Kogeneracja	3.2	5.0	5.1	-	-	-	6.9	7.7	6.8
PGE	3.0	4.8	10.0		5.8	6.1	2.4	-	-
Tauron	-	2.8	6.5	4.6	3.8	5.2	-	-	-
ZEPAK	-	-	-	-	2.6	13.3	-	8.5	-

of dividend. Gajdka (2013) notes that if investors see great opportunities for economic growth, the probability of dividend payment will be lower. On the other hand, in the event of an economic slowdown, investors will prefer a dividend payout to retain the net profit in the company for investment purposes. Also, Brav, Graham, Harvey, and Michaely (2008) argue that investors are willing to accept low dividends in the event of high investment rates.

An important macroeconomic factor influencing dividend policy is inflation expressed in price increases. Companies react to high double-digit inflation and to price drops (deflation). Both of these phenomena affect the company's financial result and the implementation of its investment program. In the case of inflation, dividend companies often suspend dividend payments to allocate the financial result to investments in assets that would allow maintaining the real value of capital (Skousen, 2011). In periods when inflation is low, companies pursue a stable dividend policy and pay dividends every year. In periods when there is elevated inflation, investors expect not only growing profits, but also an increase in dividends that is roughly comparable to the rate of profits (Brigham, Houston, 2005).

The propensity of companies to pay dividends increases with the improvement of the economic situation on the capital market (Kowerski, 2011). Moreover, the probability of dividend payment increases when stock exchange investors value higher the companies that pay dividends, both in relation to companies that do not pay dividends (Baker, Wurgler, 2004) and companies purchasing their own shares (Pieloch-Babiarz, 2017).

In energy companies, the ownership structure can have a significant impact on the dividend policy. In several companies, the State Treasury has controlling blocks of shares. As Kaźmierska-Jóźwiak (2016) notes, in a situation where the Treasury is a significant shareholder of the enterprise, decisions regarding the distribution of the company's net profit and dividend payment are often determined by the state's fi-

nanacial needs and policy. Due to its generally substantial needs, the Treasury aims to increase dividend payout ratios, even to the point of "financial drain" of companies. The impact of the company's ownership structure on decisions regarding dividend payments was investigated by, e.g., Michaely and Roberts (2012)]. Based on a study of 8,751 British companies, the authors indicate that companies with a government shareholder pay higher dividends, which is due to the higher probability of a problem in such an agency. In the case of state-owned companies, the risk is even doubled: it occurs not only between the management staff and the politicians who supervise them, but also between politicians, who are "ultimate" owners of companies, and the society (Kwiatkowski 2018).

One of the determinants of the dividend policy is the company's life cycle. The enterprise life cycle theory is that a company begins to pay dividends as it moves from high growth to low growth. The decline in the company's growth rate, profitability, and systematic risk determines the transition from immaturity to maturity in the life cycle. In the early stages of development, companies need funds for investments. Therefore, they rarely pay dividends, as opposed to mature companies, where the need for financial resources is lower. As investment opportunities decrease along with the development of companies, the demand for investment outlays is reduced and more funds are left for the payment of dividends (Sierpińska-Sawicz, 2015).

In their investigations of dividend decision factors, many researchers took into account the investment opportunities of companies (measured by the ratio of the market value to the book value of assets, or the annual growth rate of assets). Development companies that prefer to keep a large share of their profits pay low dividends. Kowerski (2011) emphasizes that with the transition to the next phases of the life cycle, the investment opportunities of companies decrease, resulting in a reduction in capital expenditure. This means that more funds are retained for dividend payments. Damodaran notes that offering a high-

Tab. 5. Pearson coefficient for dividend yield and the P/BV ratio. Source: own calculations

Tab. 5. Współczynnik Pearsona dla stopy dywidend i relacji C/WK. Źródło: własne

Variable	Correlation coefficients are significant at $p < 0.05000$ N = 9 (the missing data was removed on a case-by-case basis)			
	Mean	Standard deviation	P/BV	Div. rate
P/BV	0.622800	0.195349	1.000000	0.172079
DIY	6.051609	1.660037	0.172079	1.000000

er dividend does not add to the company's value if it invests in bad projects. On the other hand, a company implementing good projects increases its value, even when it does not pay dividends to its shareholders (Damodaran, 2017).

The way a company finances itself determines its dividend policy in many different ways. Payments to shareholders are one way to achieve the optimal capital structure. A large share of debt in financing should influence lowering the level of dividends, as large debt is a specific obligation of the management board to allocate the generated cash first of all to its servicing. A company with easy access to a wide variety of capital sources can provide larger payouts to shareholders. Thus, the greater the share of debt in the capital structure, the lower the dividend payment ratios (Cwynar, Cwynar 2007, Pieloch-Babiarz, 2018). In some situations, creditors can limit the payment of dividends to shareholders to protect their interests. The provisions of bond or loan agreements include covenants, e.g., on limiting the payment of profit dividends, to ensure the company's ability to service the debt (Sierpińska-Sawicz, 2018). In conclusion, it should be emphasized that the dividend payment policy is always the result of a number of factors with different impact strengths, which should be assessed considering the sectoral conditions. In energy companies, the dividend policy will be most influenced by the economic situation, inflation and government anti-inflation measures, the ownership structure, the financial results and the need to invest in renewable energy sources.

4. Data sources and stock market ratios used in the study

Data used to evaluate the dividend policy were taken from the Stock Exchange Annals. There are 12 companies from the energy sector listed on the Warsaw Stock Exchange. Only seven of them paid dividends in the years 2010-2018. In the first three years (2010-2012), the dividend was also paid by Będzin, but it was omitted in the investigation due to the short period of dividend payment. In 2019 and 2020, none of the energy companies (except the Czech company CEZ) paid dividends, hence the research period for energy companies regarding the dividend rate is shorter than for the entire stock exchange and the fuel, gas, and energy sectors. Until 2013, the value of the dividend for shares of the CEZ company was given in PLN, using the Czech koruna converter on the last day of December. In the years 2014-2020, the value of the dividend in the Stock Exchange Annals is given in korunas. Similarly, for other foreign companies listed on the Warsaw Stock Exchange, the dividend per share is given in the domestic currency of the dividend payer.

To evaluate the dividend policy, the price-to-book value ratio (P/BV), the price-to-equity ratio (P/E) and the dividend yield ratio (DYR) were used. The years when the company had a negative financial result and the P/E ratio was not calculated are marked with the x symbol in the tables. The P/BV ratio, i.e., the market price of a share to its book value, shows how many zlotys must be paid on the stock exchange for each zloty of the

company's assets after paying off all its debts. The value of the ratio below 1 indicates that the company's market is undervalued and its assets are poorly used. Values above 1 indicate the market reaction to the implementation of the investment program. Companies with a ratio greater than 1 have greater opportunities to issue a new series of shares on the stock exchange. Therefore, the P/BV ratio is, in a sense, a measure of whether the company has favorable investment opportunities (Sierpińska, 2012). If the company has negative equity, i.e., when its debts are greater than the assets, then 0 is given in the stock exchange statistics.

The P/E ratio, that is, the market price of shares to net profit per share, is based on the profits generated by the companies in a given period. Usually, profits earned in four consecutive quarters are considered. The index determines the number of years after which the capital used for the purchase of shares will be returned, assuming that the company will generate similar profits. The dividend yield ratio (DYR) presents the ratio of the dividend paid per share to the market price of the share. It communicates the value of the dividend per price unit of a single share.

5. Research results

Table 1 presents the basic stock exchange indexes for the stock market, the fuel and gas sector, and the energy sector. As observed, these indicators show considerable variation over time. The price-to-book value ratio of the WSE stock market is higher than for the fuel and gas sector and for the energy sector. In the last two years of the companies analyzed period, the analyzed were valued the lowest by the market. In 2020, the average market value of the companies was only 67% of their book value. In the fuel sector, the ratio was similar and amounted to 71%. Companies in the energy sector were valued very poorly. In 2019, their market value was only 52% of their book value, while their stock market value was 86% (93% for fuel and gas companies). In 2020, despite the pandemic and the decline in the corporate financial results of listed companies, the market valued energy producers higher than a year before. The P/BV ratio for the stock market decreased by 22% compared to 2019, while for the fuel and gas sector it decreased by 24%.

The P/E ratio supplements the missing information, and therefore its is meaningful for a potential share buyer. It indicates the period of return on investment in the shares of listed companies. For the entire stock market, it ranged from 11 to 30 years. Based on the profits generated, in 2016, investors would have to wait almost 50 years for the return on capital invested in shares in the fuel and gas sector, and more than 100 years for investments in the energy sector. The P/E ratio is influenced by various factors, not only profitability that influences the share price but also the market situation.

In the Polish stock market, the average value of the dividend yield is calculated for the entire stock market and for individual sectors. The dividend rate is of interest mainly to investors who invest in stocks to receive recurrent income rather than to

profit from the increase in the value of the stock. In 2010-2020, the dividend rate ranged from 2.3% to 3.9%. The average for the period in question was 3.2%. In the energy sector, it was 4.9%. The lowest rate in this sector, 1.6%, was reached in 2010 and the highest was 7.5% – in 2015. The higher than average dividend rate for the entire stock exchange could be due to the share of the State Treasury in these companies.

Table 2 presents the P/BV ratios for individual companies. The Czech company CEZ, which paid dividends every year, was valued the highest by the market. On the other hand, Enea and Tauron recorded a drastic drop in value. In 2010, the market value of these companies was estimated at approximately their book value. In the last year of the analyzed period, the market value of Enea constituted only 20% of its book value, and that of Tauron – 26%. Throughout the period in question, the market significantly below its book value, despite ongoing investments. In 2019, it was only 15%. Energa also recorded a significant drop in value. In 2014, its market value was higher than the book value by 14%, and in 2019, its value decreased and amounted only to 28% of the book value. In 2010, the market value of Kogeneracja was 68% higher than its book value, despite the ongoing economic crisis, and in 2020 it was only 31% of the book value. It seems that the reasons for such a low valuation of energy companies are large fluctuations in their financial results, the lack of a long-term dividend policy, and the economic situation. Shareholders are never sure whether they will receive dividends. The companies pursue a residual dividend policy and allocate the rest to dividends after determining the amount of funds needed for investments.

The level of indebtedness of companies and the need to maintain debt servicing capacity also contributed to the abandonment of dividend payments in some years. In the period analyzed, the debt of energy companies was systematically growing. Tauron's overall debt ratio in 2019 was 54%, while in 2010 it dropped to 37%. In Enea in 2019, debt accounted for 53% of financing and in 2010 it was only 23%. ZEPAK debts financed 62% of assets and in the Czech company CEZ 64% (Kowalik 2021).

The policy on the structure of financing sources is reflected in the P/E ratio. The data in Table 3 inform about the large fluctuations in the return period on capital invested in shares of energy companies. The capital invested in the shares of Enea in 2010 could yield in 17 years, and in 2020 – in 3.5 years. The increase in profit did not increase share prices, the level of which depends not only on financial results but primarily on the economic situation, the level of interest rates, inflation, capital market conditions, and other microeconomic factors.

Table 4 shows the dividend rate for the investigated energy companies. CEZ paid dividends every year and its yield was even and quite high compared to the dividend rates of other energy companies. The average rate for this company was 6.6%. In Polish energy companies, the dividend rate was highly diversified. In Enea in 2010 it was 1.6% and in 2012 it was 9.2%. Similarly, in PGE in 2010, the dividend rate was 3.0%, and in 2012 it was more than three times higher and amounted to 10.0%. In ZEPAK, the dividend rate in 2014 was 2.6% and a year later 13.3%. In the following year, the company stopped paying dividends. The presented dividend rates indicate the lack of a stable dividend policy and do not meet the expectations of investors who focus on recurring income from shares.

To reinforce the verification of the hypothesis presented in the introduction, the correlation between the dividend rate and the P/BV ratio was analyzed. The results of the calculation are presented in Table 5.

The analysis covers the years 2010-2020 and takes into account the financial data of seven companies, for which geometric means of the examined indicators were calculated. The Pearson correlation coefficient was determined and statistical significance was tested, at the significance level $p = 0.05$. The Pearson linear correlation coefficient is $r = 0.17$ and shows a very low positive correlation. The lack of a statistically significant linear dependence of the variables studied indicates that the value of companies is determined by many factors, and the dividend rate is only one of them, and not the most important one.

Apart from the dividend value per share, the level of the dividend rate was influenced by changes in share prices, which are influenced by, e.g., stock market situation. Since 2017, the largest energy companies, Enea, PGE, and Tauron, have not paid dividends. The funds were allocated to investment projects and debt service. The failure to pay dividends was also influenced by factors such as the COVID-19 pandemic, lower financial results, and the need to restructure the sector toward renewable energy sources. Also, the level of dividends was undoubtedly influenced by the State Treasury's share in the four largest energy companies (Enea, Energa, Tauron, and PGE).

6. Summary

In conclusion, it should be emphasized that energy companies listed on the WSE exchange market do not pursue a stable dividend policy. This is reflected in the P/BV and P/E indexes. The dividend policy in energy companies is the result of various premises that companies follow when distributing net profit. The lack of a stable dividend policy in the investigated companies is one of the determinants of their undervaluation on the stock exchange. Such companies are often taken over by companies that are stronger in terms of capital. However, the participation of the State Treasury in these companies reduces the risk of takeover. When the sector needs restructuring, companies need to construct strategies of profit distribution, investing, and selection of financing sources adequate to their investment needs. These strategies can provide a stable operating platform in a dynamically changing environment. Only strategies consistent with the company's development needs can ensure business continuity on the market.

As the pulse of the economy, the energy sector ensures the stable functioning of business and households, but is a large emitter of CO₂, which increases the costs of manufacturing energy. The energy sector requires considerable outlays for a swift and deep restructuring. Individual companies have different financing opportunities, and their level of indebtedness also varies. Companies that have greater opportunities to raise capital in the debt market could allocate a greater part of their net profit to shareholders in the form of dividends. The shareholding structure also plays an important role in the dividend policy. The State Treasury, being a significant shareholder in energy companies, stopped collecting dividends in 2018–2020 (except for Energa). This is noteworthy in cases where dividends are a source of state budget revenues.

Literatura – References

1. Baker, M., Wurgler, J., 2004. Appearing and Disappearing Dividends: the Link to Catering Incentives, *Journal of Financial Economics*, No.73 (2), s. 271-288
2. Black, F., 1976. The dividend puzzle. *The Journal of Portfolio Management*, Vol. 2(2), pp. 5-8. DOI: 10.3905/jpm.1976.408558
3. Brav, A., Graham, J.R., Harvey, C.R., Michaely, R. 2005. Payout Policy in the 21st Century. *Journal of Financial Economics*, No.77 (3), pp. 483–527 DOI :org/10.1016/j.jfineco.2004.07.004
4. Brigham, E.F., Houston J.F., 2005. *Podstawy zarządzania finansami*, PWE, Warszawa
5. Gajdka, J., 2013. *Behawioralne finanse przedsiębiorstw*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź
6. Cwynar, A., Cwynar, W. 2007. Kreowanie wartości spółki poprzez długoterminowe decyzje finansowe, *Polska Akademia Rachunkowości*, Warszawa
7. Damodaran, A., 2017. *Finanse korporacyjne, Teoria i praktyka*, Helion, Gliwice
8. Frankfurter, G.M., Wood, Jr. B. G., 2002. Dividend Policy Theories and Their Empirical Tests. *International Review of Financial Analysis*, Vol.11, Iss.2, pp. 111-138, DOI.org/10.1016/S1057-5219(02)00071-6
9. Jabłoński, B., Kuczowic, J., 2016. Makroekonomiczne determinanty polityki dywidend, *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, no. 287, pp. 77-89
10. Kaźmierska-Józwiak, B., 2016. Struktura własności a skłonność do wypłaty dywidendy, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, no. 4(82), part 2, pp.171-178. DOI: 10.18276/frfu.2016.4.82/2-13
11. Kowalik, M. 2021. Zarządzanie poziomem zadłużenia spółek energetycznych w kontekście zmian na rynku energii, *Rynek Energii*, no. 4, pp. 16-25 DOI: org/10.29227/IM-2021-01-16
12. Kowerski, M., 2011. *Ekonomiczne uwarunkowania decyzji o wypłatach dywidend przez spółki publiczne*, Konsorcjum Akademickie Wydawnictwo WSE w Krakowie-WSliZ w Rzeszowie-WSZiA w Zamościu, Kraków-Rzeszów-Zamość
13. Kwiatkowski, J., 2018. Struktura akcjonariatu a polityka wypłacania dywidend spółek prowadzących działalność badawczo-rozwojową w Polsce, *International Business and Global Economy*, no. 37, pp. 286 -298. DOI: 10.4467/23539496IB.18.020.9393.
14. Michaely, R., Roberts, M.R. 2012. Corporate Dividend Policies. Lessons from Private Firms. *The Review of Financial Studies*, Vol. 25, Issue 3, pp. 711-746, DOI.org/10.1093/rfs/hhr108
15. Lintner, J., 1962. Dividends, earnings, leverage, stock prices and the supply of capital to corporations, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 44(3), pp. 243-269, DOI.org/10.2307/1927792
16. Pieloch-Babiarz, A., 2017. Determinants of Payout Policy and Investment Attractiveness of Companies Listed on the Warsaw Stock Exchange. *Equilibrium Quarterly of Economics Economic Policy*, no. 12 (4), pp. 675-691. <http://dx.doi.org/10.24136/eq.v12i4.35>
17. Pieloch-Babiarz, A., 2018. Zróżnicowanie determinant wypłaty dywidendy przez przemysłowe spółki notowane na giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie w latach 2001-2017, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, no. 2 (92), pp. 313 -224, <http://dx.doi.org/10.18276/frfu.2018.92-27>
18. Sierpińska, M., Jachna, J., 2012. *Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*, WN PWN, Warszawa
19. Sierpińska-Sawicz, A., 2015. Cykl życia spółki a polityka dywidend i poziom realizowanych inwestycji, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, no. 855, *Finanse, Rynki Kapitałowe, Ubezpieczenia*, Issue 74, Vol.1, pp.193-202, <http://dx.doi.org/10.18276/frfu.2015.74/1-17>
20. Sierpińska-Sawicz, A., 2018. Covenants as barriers limiting enterprises use of bank loans, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, Vol. 34, Issue 4, pp. 165-180, DOI: 10.24425/122588
21. Skousen, M., 2011. *Struktura produkcji. Giełda, kapitał, konsumpcja*, Fijorr Publishing, Warsaw

Polityka dywidend giełdowych spółek energetycznych w Polsce

Podjęty w artykule problem polityki dywidend w spółkach energetycznych jest niezmiernie istotny w warunkach potrzeby restrukturyzacji sektora, odejścia od węgla jako nośnika energii na rzecz źródeł odnawialnych. W tych warunkach ważna staje się strategia podziału zysku na część zatrzymaną w przedsiębiorstwie i część wytransferowaną do akcjonariuszy. Polityka dywidend kształtowana jest przez wiele czynników makro- i mikroekonomicznych. W obecnej sytuacji gospodarczej niemałą rolę mają w niej takie czynniki: jak inflacja, koniunktura gospodarcza i koniunktura na rynku giełdowym, poziom wygenerowanego zysku netto, poziom zadłużenia spółek czy też konieczność utrzymania płynności finansowej. Polityka dywidend wpływa na strukturę kapitału i na koszt jego pozyskania co decyduje o opłacalności podejmowanych przedsięwzięć restrukturyzacyjnych. W badaniu założono, że brak stabilnej polityki dywidend jest istotną determinantą niedowartościowania spółek energetycznych na giełdzie. Wycena rynkowa tych spółek była dużo niższa niż ich wartość księgową. Obliczone współczynniki korelacji liniowej Pearsona nie potwierdzają jednak tej hipotezy. Stopa dywidend jest tylko jednym z wielu czynników mających wpływ na niedowartościowanie spółek energetycznych na giełdzie. Wpływa ono na ograniczenie możliwości pozyskania kapitału własnego na giełdzie w postaci emisji kolejnej serii akcji a równocześnie na utrzymanie racjonalnej struktury kapitału.

Keywords: podział zysku, determinanty polityki dywidend, stopa dywidend, wskaźniki rynkowe



Investigation of Unexploded Aircraft Ammunition from WW2 in Connection with Construction Proceedings

Václav ŠAFÁŘ¹⁾, Hana STAŇKOVÁ¹⁾, Jiří POSPÍŠIL¹⁾, Maria BUDAYOVÁ²⁾

¹⁾ Václav Šafář, Ing., Ph.D., Hana Staňková, doc. Ing. Ph.D., Jiří Pospíšil, Ing., Ph.D., VŠB TU Ostrava; email: vaclav.safar@vsb.cz, hana.stankova@vsb.cz, jiri.pospisil@vsb.cz

²⁾ Maria Budayová, Ing., Primis spol. s r.o.; email: maria.budayova@primis.cz

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-05>

Submission date: 12-02-2022 | Review date: 29-03-2022

Abstract

In the period 1939–1946, the territory of the Czech Republic was mapped for the purpose of renewing topographic maps of the territory of the Third Reich, and aerial reconnaissance (AR) of the CR territory was also carried out by the Allies. The AR was conducted in two directions. The first was to search for enemy targets, and the second was to verify the results of bombing these targets. Allied data indicated that up to 20% of the bombs did not explode. This unexploded aerial ammunition is to this day a threat to construction in the outskirts of towns and cities. This paper discusses the procedures for processing archival aerial photographs of bombed areas in the Czech Republic and the identification of unexploded ammunition on these images.

Keywords: aircraft, ammunition, AR, misfire

1. Introduction

After the release of the contents of the national archive of aerial photographs at the Military Geographic and Hydrometeorological Office (formerly the Military Topographic Institute Dobruška), the problem of the use and processing of historical images in the Czech Republic was and is being dealt with by a number of private researchers, geodetic companies, law firms, and research institutes (Research Institute for Soil and Water Conservation (VÚMOP v.v.i.), Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography (VÚGTK v.v.i.), and others). In the past, a historical orthophoto map was prepared for the Ministry of the Environment (its organisation CENIA) from approximately 21 000 images taken between 1952 and 1957. Some of the authors of this paper participated in the creation of this historical orthophoto. To this day, this orthophoto has been the largest comprehensive body of work made from archival aerial photographs in the entire area of the Czech Republic. At present, the exact procedures of processing archival aerial photographs employing digital aerial photogrammetry are mainly dealt with in the Czech Republic by the company PRIMIS, which, within its internal development, is looking for the optimisation of processing procedures of archival aerial photographs within the framework of applied research. The company is dedicated to processing images from the Second World War period and works closely with the main wartime image processor in Europe, Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH, including jointly written scientific publications such as [1]. The aim of the project entitled Locating Unexploded Aerial Munitions of World War II (funded under the security research of the Ministry of Interior – code VI3VS/778) is primarily to compile the methodology for the accurate location of unexploded aerial ammunition (individual bombs) from archival aerial photographs taken by the RAF and US AAF and possibly the Luftwaffe using the exact procedures of modern digital photogrammetry. The

expected accuracy of the location of unexploded bombs is 2.5 metres (RMSE). Thus, in general, the result will be an increase in the safety of citizens and technical infrastructure by deploying the Institute of Bomb Survey in locations where unexploded aerial ammunition is likely to be present. This survey constitutes a licensed trade that can only be carried out by qualified persons according to the Trade Licensing Act. However, with few exceptions, this procedure is not used or is used only at the request of the builder or investor. However, building authorities, in their role as promoters of spatial analysis documents, which could order the survey to be carried out, do not usually have the qualified experts to carry out these activities. Unfortunately, even the new wording of the Building Act does not have a precise instrument requiring the investor to carry out a mandatory pyrotechnical survey or defining the places where it is indispensable to carry out such a survey. It is then common for unexploded ammunition to be found only in the course of earthworks, usually when the working attachment of construction machinery comes into physical contact with such ammunition. Subsequently, the ammunition could be initiated, and the explosion could have tragic consequences.

2. Current status of unexploded ammunition survey

At present, there is no comprehensive database of information on pyrotechnic loads in the Czech Republic that would accurately define (with known accuracy of localisation of potential unexploded ammunition) possible sites of finds. Records of air raids, bomb craters and potential unexploded ammunition areas can thus be found in various archives and historical publications dealing with air battles. However, the data given in these sources usually do not provide a precise (at least at the level of RMSE = 5 m) identification of the location to which the data refers. Hence, the data are traceable, interesting from a historical perspective, but practically unus-



Fig. 1. Historical drawing of craters in the cadastral map of the eastern part of Pardubice
 Rys. 1. Historyczny rysunek kraterów na mapie katastralnej wschodniej części Pardubic

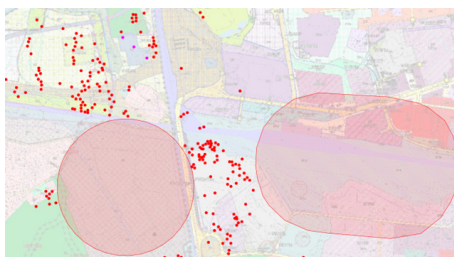


Fig. 2. Transfer of data from archive documents to the current ground plan of the station area and the Paramo plant
 Rys. 2. Przeniesienie danych z dokumentów archiwalnych do aktualnego planu terenu stacji i zakładu Paramo

able to identify areas with possible unexploded ammunition. However, other data that can be processed to identify potential unexploded aerial ammunition sites are records kept, both in the form of plotting on maps and in the form of verbal descriptions by the personnel of the sanitation crews and official authorities of the Third Reich, such as the record in Fig. 1 and Fig. 2. It shows an example of a bombing record integrated from various sources into the current mapping. Data entry and data addition to contemporary map bases for exploded bombs can also be done by automated searches for exploded ammunition from archival aerial photographs. These searches have been done, for example, by authors at Leibniz University of Hannover [2] and [3] and by authors at J. E. Purkyně University in Ústí nad Labem [4] and [5]. However, the collective of authors dealing with the aforementioned security research project only deals with the identification of unexploded ammunition. The craters caused by exploded ammunition are identified in the framework of the task only for the purpose of comparing the number of dropped bombs with the number of bombs in the bomb racks of a given bomber type. The authors are not aware of any technology for locating unexploded aerial ammunition based on an automated procedure, either on CNN or by assessing the characteristics of lidar clouds or clouds obtained by correlating archival aerial imagery and creating a digital terrain model current as of the date of the imagery, i.e., after bombing inspection by aerial imagery. Another part of the data to be processed is the modern records of the Bomb Disposal Squad of the Police of the Czech Republic (BDSPCR), analysed in detail in [6]. In this work, the author processed all BDSPCR records from the actions carried out and recorded in Excel spreadsheets by the Bomb Squad from 2011 to 2017. These data include the obligation to record the location of the discovery or action in the WGS84 system, but nowhere is it noted with what accuracy these data are report-

ed. The resulting table integrating presumably all recorded data was not made available by the DP developer. The work related to the research project entitled “Interactive map of pyrotechnic loads and risk” (No. VI20152018038) is not publicly available except for the article [7].

2.1. Existing database of *Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH*

Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH has the exclusive representation for the scanning and exploitation of aerial photographs from the Second World War from the Canadian National Air Photo Library Ottawa, the American National Archives and Records Administration Washington, The National Collection of Aerial Photography, the Bundeswehr Archives, and a number of smaller archival institutions. The company is thus providing the supply of aerial photographs of the Second World War within Europe after the release of the war archives. The archive is organised as a database of scanned images and is subdivided by the territory of European countries. Successively acquired archival images and materials are systematically sorted and filed, including bomber crew reports and bombing success evaluations, crew lists, and other historically interesting information. However, aerial photographs are most important for identifying unexploded ammunition. The aerial photographs are organised in a database, and Fig. 3 shows the recorded basic data.

Each physical object number (analogue image form) is assigned an ID number; these numbers are usually identical. The next number identifies a block of images, followed by the BILDNR, which is the image number in a given imaging mission; the approximate scale figure is the next column in the database. Important data are the approximate (+- 50 m) coordinates of the image centre in the WGS84 coordinate system in Mercator’s transverse cylindrical conformal view. From the approximate scale and the image centre, the image radi-

	A	B	C	D	E	F	H	I	J	K	L
1	OBJECTID	ID	SORTIE_ID	BILDNR	DATUM	MASSTAB	X	Y	RADIUS_BIL	Shape_Leng	Shape_Area
2189	2188	2188	25302	67	14.5.1943	14000	4870348	5477361	1540	9676	7450601
2190	2189	2189	25302	68	14.5.1943	14000	4869746	5477056	1540	9676	7450601
2191	2190	2190	25302	69	14.5.1943	14000	4869139	5476762	1540	9676	7450601
2192	2191	2191	25302	70	14.5.1943	14000	4868540	5476452	1540	9676	7450601
2193	2192	2192	25302	71	14.5.1943	14000	4867964	5476100	1540	9676	7450601
2194	2193	2193	25302	72	14.5.1943	14000	4867387	5475750	1540	9676	7450601
2195	2194	2194	25302	73	14.5.1943	14000	4866808	5475404	1540	9676	7450601
2196	2195	2195	25302	74	14.5.1943	14000	4866225	5475066	1540	9676	7450601
2197	2196	2196	25302	75	14.5.1943	14000	4865619	5474768	1540	9676	7450601
2198	2197	2197	25302	76	14.5.1943	14000	4865013	5474470	1540	9676	7450601
2199	2198	2198	25302	77	14.5.1943	14000	4800794	5546057	1540	9676	7450601
2200	2199	2199	25302	78	14.5.1943	14000	4800236	5546567	1540	9676	7450601
2201	2200	2200	25302	79	14.5.1943	14000	4799791	5547145	1540	9676	7450601
2202	2201	2201	25302	80	14.5.1943	14000	4787378	5528974	1540	9676	7450601
2203	2202	2202	25302	81	14.5.1943	14000	4788117	5528515	1540	9676	7450601
2204	2203	2203	25302	82	14.5.1943	14000	4788641	5529146	1540	9676	7450601
2205	2204	2204	25302	83	14.5.1943	14000	4772329	5539430	1540	9676	7450601
2206	2205	2205	25302	84	14.5.1943	14000	4772477	5540163	1540	9676	7450601
2207	2206	2206	25302	85	14.5.1943	14000	4772624	5540896	1540	9676	7450601
2208	2207	2207	25302	86	14.5.1943	14000	4772772	5541629	1540	9676	7450601
2209	2208	2208	25302	87	14.5.1943	14000	4772919	5542363	1540	9676	7450601
2210	2209	2209	25302	88	14.5.1943	14000	4773067	5543096	1540	9676	7450601
2211	2210	2210	25302	89	14.5.1943	14000	4773214	5543829	1540	9676	7450601

Fig. 3. Sample of information from the database of aerial photographs from the Czech Republic

Rys. 3. Przykład informacji z bazy zdjęć lotniczych z Czech

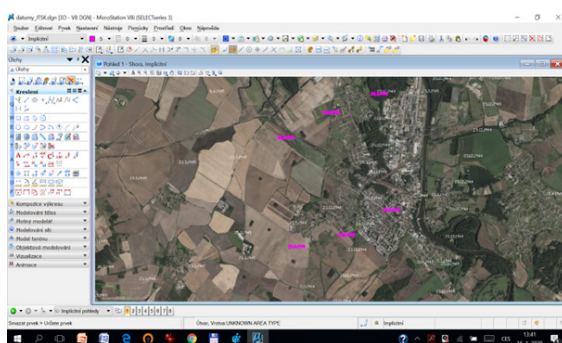


Fig. 4. The date of photographing (in purple) is the centre of the picture - area Neratovice 23.3.1945

Rys. 4. Data wykonania zdjęcia (na fioletowo) to środek zdjęcia - okolica Neratovice 23.3.1945

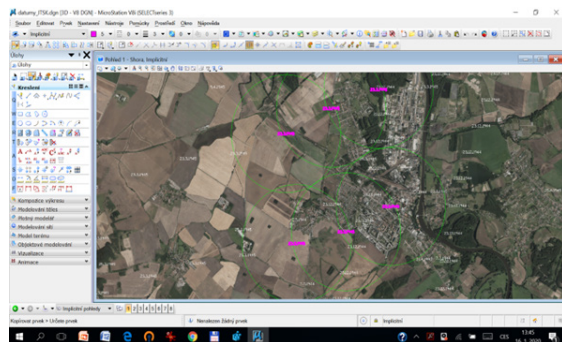


Fig. 5. Images with the marked circular circumference

Rys. 5. Obrazy z zaznaczonym kołowym obwodem

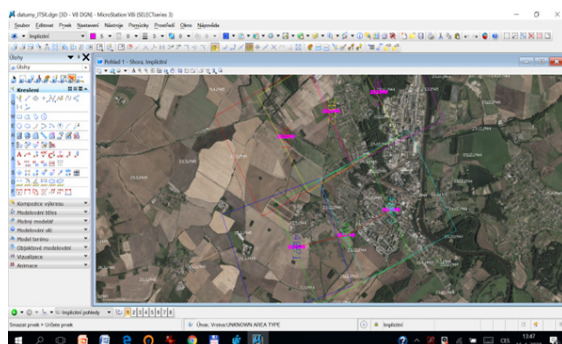


Fig. 6. Images redrawn to approximate real position according to the direction of the image base

Rys. 6. Obrazy przerysowane do przybliżonej rzeczywistej pozycji zgodnie z kierunkiem podstawy obrazu



Fig. 7. Identification of terrain objects in the historical and contemporary orthophoto
Rys. 7. Identyfikacja obiektów terenowych w ortofotomapy historycznej i współczesnej

us (RADIUS_BIL) is calculated according to the camera type and its focal length, which is then transferred to a graphical CAD drawing, for example, to a dgn file. The perimeter and area of this circle is then tabulated. This table is linked via the image ID to other crew records of their success rates etc.

2.2. Analysis of the process of selecting suitable aerial archive images

After a thorough analysis of the content of the database supplied by Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH, the data from the aerial image archive database was converted into three datasets of dgn drawings at Primis spol. s r.o. to facilitate the work with the information and ensure ease of reference. The first drawing consists of a graphical set with defined centres and radii of images from the whole area of the Czech Republic. The second drawing contains information about the day of imaging for each image. The date is placed at the approximate coordinates of the image centre. The third dataset consists of 257 dgn files, where each file contains all images that were taken on a given day. The file name encoded the date when the image was taken. The datasets, or individual drawings, were transformed from the WGS system to the national system of the Czech Republic to the SJTSK coordinate system so that the WMS services of the administrators of national and local geoportals could be used (for example, by calling the orthophoto service of the Czech Republic©, base maps, cadastral maps and other mapping documents from the State Administration of Land Surveying and Cadastre) in the search and selection of sets of images suitable for the identification of unexploded ammunition. The procedure for selecting suitable aerial archive images was specified based on the prepared datasets. The analysis of this procedure was carried out by several practical tests of the following procedure:

1. After receiving a request for the creation of the pyrotechnical survey documents, a new empty dgn file is created in the SJTSK coordinate system
2. The file is accompanied by a file with imaging data and a file with the approximate circular perimeter of the image as a reference drawing, or if the requirement is to study the raid from a specific day, a dgn file from that day can be attached as a reference, see Fig. 4.
3. For easier reference, it is also advisable to attach raster orthophoto files to the file, for example, as a WMS service of the State Administration of Land Surveying and Cadastre see Fig. 5.

4. The contents of the reference datasets are then visually checked, and the selected graphical information is copied into the open empty file.

5. According to the image centres and the lines connecting these centres, the circular image perimeter defined in the database is replaced by the actual square image perimeter of Fig. 6.

At present, approximately 112,000 aerial war photographs are documented in these drawings. From this data, among other things, the Allied war effort can be seen. If we compare that in the national archive of aerial photographs at the Military Geographic and Hydrometeorological Office in Dobruška, there are approximately 1 million images in 80 years from 1934 to the present (if we do not count the war period itself), the annual average of images taken is 12,500. It is very likely that around 130,000 wartime images were taken from the territory of the Czech Republic, which means that almost twice as many images were taken annually during the war. The images, however, are not distributed over the territory at an average density but are concentrated on strategic targets in the area of the Czech Republic, such as refineries, railway stations, airfields, or arms factories. This implies that in some areas of interest, one location of the earth's surface is covered by 30 to 40 images (mainly the Most area).

2.3. Procedure for selecting starting points for aerotriangulation

2.3.1. Procedure for deriving starting points by time series

The landscape changes dynamically with time due to human intervention. Evidence of this fact is, for example, geoportals, which allow observing on one monitor at the same time orthophotos from the present time and orthophotos from 1953, the production of which involved most of the members of the design team of another participant from the company Primis spol. s r.o. Historical orthophotos from 1953 are part of most geoportals of regional offices, and the data source is CENIA, the Czech Environmental Information Agency. One of the methods of obtaining the starting points is to interpret the points in a backward time series. The search for terrain objects interpretable on a historical image and, at the same time, identifiable and interpretable on a contemporary orthophoto is shown in Fig. 7.

The challenge of identifying these points is the content of the image itself, see Fig. 8.



Fig. 8. Sample aerial photo after the bombing of the production plant
Rys. 8. Przykładowe zdjęcie lotnicze po zbombardowaniu zakładu produkcyjnego



Fig. 9. Detail of a part of the image of the bombed-out production plant
Rys. 9. Fragment fragmentu obrazu zbombardowanego zakładu produkcyjnego

Selecting identical points (in the new background and in the historical image) to serve as starting points for AT or for image transformation is not easy in a bombed city; see detail in Fig. 9.

The selected points must have good natural signalling in both backgrounds. If we choose a corner of a building as a starting point, it is necessary to remember that the redrawing is done on the terrain in the current orthophoto. Therefore, it is necessary to identify and correctly interpret the starting point by the position of the intersection of the building and the terrain. Such a procedure will yield accurate results when establishing the basis for locating unexploded aerial ammunition. However, in some cases, the coordinates read from the orthophoto map can be replaced by the interpretation of points from the CR real estate cadastre if the viewer is used with the point quality information turned on (Fig.10).

Familiar interpretive features existing in the images and in reality will help us in locating the points.

2.4. Creating orthophotos from several sets of images of the same area as the way to find unexploded aerial munitions

After the aerotriangulation is completed and the digital terrain model - DTM is created (in case of successful calculation by standard aerotriangulation procedures), orthophoto maps from several time periods (raids) are created on the site. Based on the determined values of the parameters of the internal orientation of the images (or in the absence of fiducial marks on the wartime aerial photographs), based on the approximate internal orientation of the images, a procedure for selecting the starting points for the calculation of aerial aerotriangulation (AT) by correlation procedures is constructed and optimised, or in the case of failure of this procedure, these points are used to perform image transformations. If it is not possible to determine the interior orientation parameters

and deploy the standard procedures leading to the creation of orthophoto aerotriangulation procedures, alternative procedures of image redrawing and orthophoto mosaic creation using image transformations have been studied. However, for both aerotriangulation and image transformation methods, identical principles apply for the selection of starting points for these production procedures leading to the creation of a measurement basis by reprocessing aerial wartime imagery.

2.5. Standard orthophoto creation procedures

After determining the elements of the external orientations described in the previous paragraph, it is advisable to perform radiometric corrections on individual images for orthorectification of wartime images, i.e. correction of image defects caused by light aberrations of the aerial camera lens, terrain reflections, illumination of the terrain by the Sun at different angles, and imaging at different times of the year and with different flight parameters.

The next sub-stage of processing is orthorectification. To orthogonalise the images to the real terrain, a digital terrain model (DTM) is required. In the photogrammetric software (ImageStation-OrthoPro by Hexagon, INPHO by Trimble), the images are orthorectified after loading the external parameters of the images and the DTM. After the orthorectification, a visual inspection of the redrawn images is carried out to check the geometric quality based on the check points and to mark the faulty areas as well as the areas with image deformations. The digital terrain model from the selected pair of wartime aerial images is corrected stereoscopically at these marked locations, but only if it differs significantly in height from the current situation. For example, in the area of Pardubice, there have generally been only insignificant changes in terrain heights since the wartime, except the transport constructions of the last few decades. These possible repairs of the

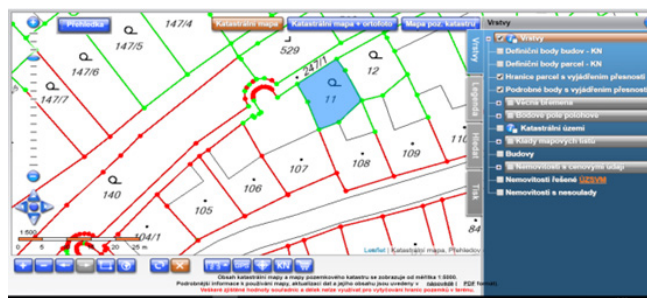


Fig. 10. Sample from the real estate cadastre with quality code points displayed
 Rys. 10. Próbkę z katastru nieruchomości z wyświetlonymi punktami kodowymi jakości

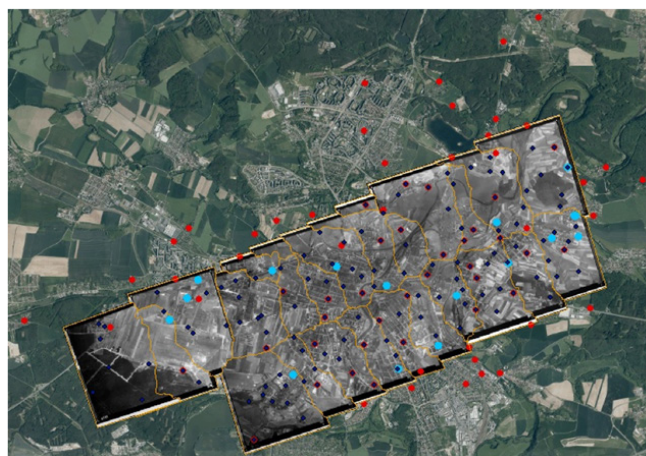


Fig. 11. Schematic of the distribution of points used in the case of mission 60_0572
 Rys. 11. Schemat rozmieszczenia punktów zastosowanych w przypadku misji 60_0572

DTM to the wartime condition are followed by redrawing and checking the orthorectification of the repaired sites. Next, the redrawn (orthorectified) images are combined into a single unit called a mosaic.

The mosaicking software automatically generates the connecting lines, called seamlines. The connecting lines define the part of the image that will be used in the final mosaic. A visual inspection of the automatic seamlines is performed and corrected in places causing any inadequacies. The following rules apply for the creation of the seamlines: all lines must be connected to each other; the shape of the line must be rather simple; lines that are generally chosen lead along natural dividing elements – along roads, boundaries, field furrows; in the inner city, lines are mainly along roads. The resulting mosaic is cut into individual map sheets or can be used as a whole, depending on the size of the area to be processed.

The final visual inspection of the created orthophoto maps focuses on the marked areas around the cut lines with image errors, on the compensation of contrast and brightness between images, on the removal of impurities, on the size of the resulting resolution and on the positional accuracy of the orthophoto maps.

2.6. Procedures for creating an orthophotomosaic

In the Mission 60-0572 test area, an orthophoto mosaic was created in two ways to verify the resulting accuracy of the tested procedures.

The first procedure is an orthophotomosaic created from georeferenced imagery, which in the above procedure fully re-

places the orthorectified imagery that is the direct input to the mosaicking process.

The second procedure was to create a mosaic from the calculated aerotriangulation using a standard procedure

Figure 11 shows a view of the resulting mosaic of mission 60-0572, where the individual input images are taken at a scale of 1:9500. The orange lines are the seamlines that were generated in the mosaicking process from the georeferenced imagery.

Dark blue shows the points that were used as identical points for each image in the georeferencing process by projective transformation. Pale blue marks points that were measured in the field and used to check the accuracy of the resulting mosaic. The red points are the other points measured in the field at the Pilsen site.

3. Conclusion

In order to fulfil the main objective of the project, which is mainly to create a procedure for the interpretation and identification of unexploded ammunition sites for the benefit of the investor or the builder, and to avoid possible serious consequences in the event of accidental initialisation of unexploded aerial ammunition, it is necessary to create orthophoto mosaics of the same area, which must be compiled from images showing the state before and after each bombing.

Since each reconnaissance mission was created under different weather conditions (with different percentages of cloud cover) and on a different scale, it is advantageous to have multiple missions from before and after individual raids. In par-

ticular, in the case of a reconnaissance flight conducted just after an air raid, it is common for the area to be fogged from destroyed targets, which may make it impossible to identify unexploded ammunition in part of the area surveyed. An example of this is the bombing of a selected part of the city of Pilsen, which occurred to varying degrees on 15.4.1945, 17s.4.1945, 18.4.1945 and 25.4.1945. The created orthophoto mosaics (and individual images) of adequate accuracy from multiple time series are a suitable and unique basis for the evaluation of unexploded ammunition sites. The first phase

of the evaluation and interpretation of possible unexploded ammunition sites is shown in Figure 12.

Unfortunately, we are not able to determine from the photographs whether, for example, a month or a year after the bomb was dropped and did not explode, the bomb was not dug up and deactivated, because, in the post-war years, there were practically no records kept of this work, from which it would be possible to locate and time the actual digging of the aerial munitions. The aim this year is to excavate, based on our methodology, unexploded aerial ammunition.

Literatura – References

1. Meixner, P. and Eckstein, M.: MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF WWII RECONNAISSANCE PHOTOS, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B8, 973–978, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-973-2016>, 2016
2. Kruse, C., Rottensteiner, F., and Heipke, C.: MARKED POINT PROCESSES FOR THE AUTOMATIC DETECTION OF BOMB CRATERS IN AERIAL WARTIME IMAGES, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W13, 51–60, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-51-2019>, 2019
3. Clermont, D., Kruse, C., Rottensteiner, F., and Heipke, C.: SUPERVISED DETECTION OF BOMB CRATERS IN HISTORICAL AERIAL IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W16, 67–74, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W16-67-2019>, 2019
4. Dolejš, M., Samek, V., Veselý, M., Elznicová, J.: DETECTING WORLD WAR II BOMBING RELICS IN MARKEDLY TRANSFORMED LANDSCAPES (CITY OF MOST, CZECHIA), Applied Geography, Volume 119, 2020, ISSN 0143-6228, available as of 16 April 2021 at <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102225>
5. Dolejš M., Pacina J., Veselý M., Brétt D.: AERIAL BOMBING CRATER IDENTIFICATION: EXPLOITATION OF PRECISE DIGITAL TERRAIN MODELS, ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020; 9(12):713. available as of 16 April 2021 at <https://doi.org/10.3390/ijgi9120713>
6. Šťastný, F.: PYROTECHNICKÁ ZÁTĚŽ ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY, SOUVISEJÍCÍ RIZIKA A ASANACE, ČVUT, Fakulta biomedicínského inženýrství, 2018, available as of 16 April 2021 at <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/80808/FBMI-DP-2018-Stastny-Filip-prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
7. Fröhlich, T., Melicharová, M., Pokorný, T.: SBĚR A ZPRACOVÁNÍ VSTUPNÍCH DAT O PYROTECHNICKÉ ZÁTĚŽI NA ÚZEMÍ SOUČASNÉ ČESKÉ REPUBLIKY, Konference krizového řízení a řešení krizových situací, 14.-15.9.2017, Uherské Hradiště available as of 16 April 2021 at https://criscon.cz/doc/Sbornik_UH_2017.pdf

Niewybuchy amunicji do samolotów z II wojny światowej w związku z postępowaniem budowlanym

W latach 1939–1946 dokonano mapowania terytorium Republiki Czeskiej w celu odnowienia map topograficznych terytorium III Rzeszy, a rozpoznanie lotnicze (AR) terytorium CR było prowadzone przez aliantów. AR był prowadzony w dwóch kierunkach. Pierwszym było poszukiwanie celów wroga, a drugim weryfikacja wyników bombardowania tych celów. Dane alianckie wskazywały, że do 20% bomb nie wybuchło. Ta niewybuchowa amunicja lotnicza do dziś stanowi zagrożenie dla budownictwa na obrzeżach miast. W artykule omówiono procedury przetwarzania archiwalnych zdjęć lotniczych obszarów zbombardowanych w Czechach oraz identyfikacji niewybuchów na tych zdjęciach.

Słowa kluczowe: samolot, amunicja, AR, niewybuch



The Influence of Economic Factors on World Copper Production

Igor ČERNÝ¹⁾, Michal VANĚK²⁾, Jiří KUBESA³⁾

¹⁾ VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of Economics and Control systems; email: igor.cerny@vsb.cz

²⁾ VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of Economics and Control systems; email: michal.vanek@vsb.cz

³⁾ VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Department of Economics and Control systems; email: jiri.kubesa@vsb.cz

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-06>

Submission date: 01-02-2022 | Review date: 28-03-2022

Abstract

Copper is a very important mineral that has a wide application in industry, especially in the electrical industry and energy industry. With the increase in electromobility, its potential will grow in the future. Any shortage of copper on the world market could thus endanger modern industry. Therefore, the authors decided to deal with the influence of economic factors (price, population, GDP and cumulative inflation) on copper production and with creation of suitable econometric models that best expressing the relationship between production and economic factors for the period 2010-2019 in their article. The influence of economic factors on world copper production is examined using the Pearson correlation coefficient. It was found that copper production is inversely proportional to the price of copper, it is a strong dependence. In contrast, the correlation between copper production and other factors is very strong and positive. Using econometric modeling, it was discovered that exponential regression is the best expression for the relationship between copper production and its price and logarithmic regression most appropriate for the relationship between copper production and all other economic factors.

Keywords: *econometric model, world copper production, economic factors, Pearson correlation coefficient*

Introduction

Copper has been known since prehistoric time. It has been mined for more than 5000 years. Mankind has used the metal since at least 9000 BC in the Middle East. A copper pendant dated to 8700 BC was found in Iraq. Scientists believe only iron from meteorites and gold were used by people earlier than copper. The idea that there was a Copper Age between the Neolithic and Bronze Age was inspired by the discovery of the use of native copper in prehistoric North America. Its currency in European prehistory owes much to the 1861 observations by William Wilde that copper tools preceded the use of bronze in Ireland [1].

Copper is widely used in the electrical industry. The possible shortage of copper on the market is thus an important aspect affecting the development of electromobility and the entire energy infrastructure. In addition to many other uses, copper is used in plumbing and for cookware. Brass and bronze are two important copper alloys. Copper compounds are toxic to invertebrates and are used as algicides and pesticides. Copper compounds are used in analytical chemistry, as in the use of Fehling's solution to test for sugar. American coins contain copper. Sometimes copper appears in its native state. It is found in many minerals, including malachite, cuprite, bornite, azurite, and chalcopyrite. Copper ore deposits are known in North America, South America, and Africa [2].

Literary sources that deal with copper are very rich and varied. The inspiration of the authors of the article was those sources that model the interrelations between copper parameters (price, supply, demand, etc.) and determinants that influence these parameters. These literary sources are also very

rich and diverse. These include, for example, modelling the supply of recycled material (copper) on historical consumption [3], analysing factors determining the level and dynamics of world copper prices by testing hypotheses on the dependence of fluctuations in the world copper market [4], a theoretical model of copper price cartel behaviour during the boom and recession [5], modelling GDP forecasts for various commodities including copper [6], modelling of the impact of financial and economic crises on copper mining companies' performance indicators [7], reviewing the dynamic transformational characteristics of the joint impact of gold and oil on long-term copper returns [8], forecasting copper production by 2035 in Chile on the basis of knowledge of potential mining projects, reserves and resources [9], determining the chaotic behaviour of copper prices over a long period using annual prices [10], analysis and quantification of how the mining industry in Chile affects other macroeconomic variables [11], modelling of the price and income elasticity of minerals [12], analysis of determinants of countries' competitiveness in attracting mining investment [13] and analysis of causality between metal prices [14].

Due to the importance of copper for the current and future development of the domestic and world economies, as well as the lack of quantification of the impact of selected economic factors on world copper production according to different types of regressions in the scientific literature, the authors of the article decided to take a closer look at this issue.

The macroeconomic findings show that demand (or world production) for any raw material depends not only on its price, but also on the population, the GDP, the price of other

Tab. 1. Time series of economic factors and world copper production between 2010 and 2019

Tab. 1. Światowa produkcja miedzi a czynniki ekonomiczne w latach 2010–2019

Period	Price (CZK/kg)	Population	GDP per capita (\$)	Inflation (%)	Cumulative inflation (%)	Copper production (t)
2010	183.83	6,956,823,603	13,904.63	3.36	100.00	15,900
2011	151.05	7,041,194,301	14,275.46	4.81	104.81	16,100
2012	153.29	7,125,828,059	14,554.85	3.69	108.68	16,900
2013	148.90	7,210,581,976	14,857.76	2.59	111.49	18,300
2014	142.19	7,295,290,765	15,189.65	2.35	114.11	18,500
2015	116.79	7,379,797,139	15,516.99	1.43	115.74	19,100
2016	141.71	7,464,022,049	15,837.38	1.50	117.48	20,100
2017	154.55	7,547,858,925	16,253.39	2.18	120.04	20,000
2018	130.73	7,631,091,040	16,636.42	2.44	122.96	20,400
2019	139.51	7,713,468,100	16,911.19	2.18	125.59	20,400

Tab. 2. Indicator of strength of correlation by Evans (1996)

Tab. 2. Wskaźniki siły korelacji wg Evans (1996)

correlation coefficient (R) value	strength of correlation
between ± 0,8 to ± 1,00	very strong correlation
between ± 0,6 to ± 0,79	strong correlation
between ± 0,4 to ± 0,59	moderate correlation
between ± 0,2 to ± 0,39	weak correlation
between ± 0,0 to ± 0,19	very weak correlation

products and services and other economic factors [15]. Two objectives are formulated in the article.

The first objective is to determine the impact of economic factors on world copper production. The second objective is to create econometric models that best express the dependence of world copper production on economic factors. The period 2010 to 2019 was chosen for the period under investigation. Economic factors were chosen as the factors examined: the average annual world price of copper, the size of the world's population, the size of world GDP per capita in purchasing power parity, and cumulative inflation expressing the impact of other prices of products and services.

Within the first objective, 2 hypotheses were proposed:

- H1: The correlation between world copper production and its average annual price is negative and moderately strong.
- H2: The correlation between world copper production and world population, world GDP per capita, cumulative inflation is very strong and positive.
- Within the second objective, 2 hypotheses were proposed:
- H3: An econometric model representing the relationship between world copper production and its average annual price is best expressed by power regression.
- H4: An econometric model representing the relationship between world copper production and other economic factors (population, GDP, cumulative inflation) is best expressed by linear regression.

Materials

The data were used from publicly available Internet servers and databases such as World Bank, US Government, the Observatory of Economic Complexity. The data base (see Table 1) for the realization of both research objectives consists

of a time series of economic factors under the study (average annual copper price, world population size, world GDP per capita in purchasing power parity, annual inflation, cumulative inflation) and a time series of world copper production between 2010 and 2019.

The input data clearly shows that economic factors such as population, GDP and cumulative inflation represent growing purely monotonous functions between 2010 and 2019. At the same time, the trend of world copper production is a growing function with a slight decline in 2017. Based on these inputs, the authors defined the hypothesis H2 and H4. On the contrary, the time series of average annual copper prices is very volatile. Hypotheses H1 and H3 were therefore established from this finding.

Methods

Correlation analysis was used to achieve the first objective of the article. The method of correlation analysis determines the strength of impact of the investigated economic indicators on the EU internal demand for critical raw materials. Correlation analysis expresses the degree of linear dependence of two random variables. It is often referred to the Pearson's correlation coefficient as a means of quantifying the degree of independence [16]. The coefficient is defined as follows:

$$R(X, Y) = E \left(\frac{X - E(X)}{\sqrt{D(X)}} \cdot \frac{Y - E(Y)}{\sqrt{D(Y)}} \right) \quad (1)$$

Where, there are

X, Y – random variables; E – mean value; D – variance; R (X, Y) – Pearson's correlation coefficient.

Pearson's correlation coefficient ranges from –1 to 1. A value of 1 implies that a linear equation describes the relationship between X and Y perfectly, with all data points lying on a line for which Y increases as X increases. A value of –1

Tab. 3. Correlation analysis of world copper production and economic factors under analysis

Tab. 3. Analiza korelacji produkcji miedzi w świecie i wskaźników ekonomicznych

	Price	Population	GDP per capita	Cumulative inflation
World copper production	-0.64	0.97	0.96	0.97

Tab. 4. Determination coefficient by econometric models and types of regression

Tab. 4. Wyznaczone współczynniki korelacji dla modeli regresyjnych

Econometric model / Regression	Exponential	Linear	Logarithmic	Power
Copper production=f(price)+u	0,4233	0,409	0,3843	0,3977
Copper production=f(population)+u	0,9277	0,9377	0,9428	0,9336
Copper production=f(GDP)+u	0,9078	0,9194	0,9303	0,92
Copper production=f(cumulative inflation)+u	0,9319	0,9345	0,9372	0,9365

implies that all data points lie on a line for which Y decreases as X increases. A value of 0 implies that there is no linear correlation between the variables.

The calculation of the Pearson correlation coefficient was performed in MS Excel using the PEARSON() function. The outputs of the first objective are processed in the Table 3.

The evaluation of the H1 and H2 hypotheses was carried out according to the correlation strength indicator (Table 2) by the Evans classification (1996).

Econometric modelling was used to achieve the second objective of the article. Econometric models are statistical models used in econometrics. An econometric model specifies the statistical relationship that is believed to hold between the various economic quantities pertaining to a particular economic phenomenon. An econometric model can be derived from a deterministic economic model by allowing for uncertainty, or from an economic model which itself is stochastic. However, it is also possible to use econometric models that are not tied to any specific economic theory.

In general, the econometric model can be written as follows

$$y_t = f(b_0, b_1, \dots, b_n, x_t) + e_t \quad (2)$$

Where there are

y_t – dependent (explained) variable. In our case, it is a world-class copper production; x_t – independent (explanatory) variable. In our case, it is one of the economic factors (price, population, GDP, cumulative inflation); b_0, b_1, \dots, b_n – regression coefficients. Regression coefficients are determined by regression analysis; e_t – residual component. If the residual component equals zero it is obtained a functional relationship between the explained and explanatory variables.

As already mentioned, different types of regression analyses are used to determine regression coefficients. It depends on the relationship between the explained and the explanatory variable. Therefore, we distinguish linear or nonlinear types of regression. The authors used four types of regressions in the article. They also used MS Excel graphics tools to perform them. These were regressions exponential, linear, logarithmic and power.

The exponential regression

$$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1 \cdot x \quad (3)$$

The linear regression

$$y = b_0 + b_1 \cdot x \quad (4)$$

The logarithmic regression

$$y = b_0 + b_1 \cdot \ln(x) \quad (5)$$

The power regression

$$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1 \cdot \ln(x) \quad (6)$$

As a measure of the quality of the econometric model, a coefficient of determination is used in mathematical statistics. The coefficient of determination, commonly referred to as R^2 ("R square") in its basic form expresses what proportion of the variability of the explained variable the model explains. The coefficient of determination can take values at most 1 (or expressed as a percentage of 100%), which means a perfect prediction of the values of the explained variable. Conversely, a value of 0 (or 0%) means that the model does not provide any information for recognizing the explained variable, it is completely useless. The results of the second objective of the article are shown in Table 4 and Figures 1, 2, 3 and 4.

Results and Discussion

The results of the implementation of the first objective of the article (Table 3) show that the correlation between the world's copper production and its price is negative and strong (0.64). This leads to the rejection of the H1 hypothesis due to the finding of a strong correlation. However, the value of this correlation is located at the bottom edge for a strong correlation. For all other economic factors, there was recorded positive and very strong correlation (>0.95) with world copper production. The H2 hypothesis was therefore accepted.

Under the second objective, four econometric models (the first column of Table 4) were created to express the dependence of world copper production on the economic factors under investigation. Each model was created according to four types of regressions (exponential, linear, logarithmic

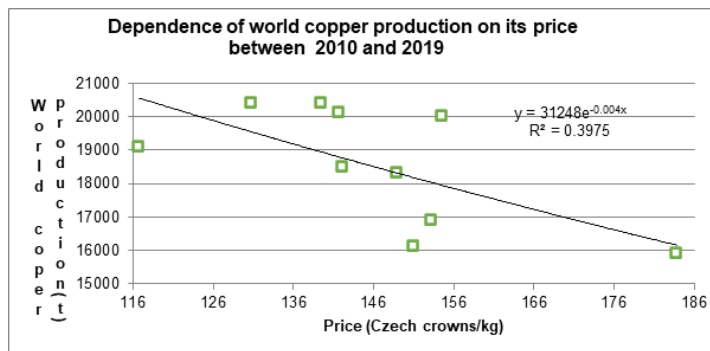


Fig. 1. The best econometric model of the dependence of world copper production on its price
Rys. 1. Najlepszy model ekonometryczny zależności produkcji miedzi i jej ceny

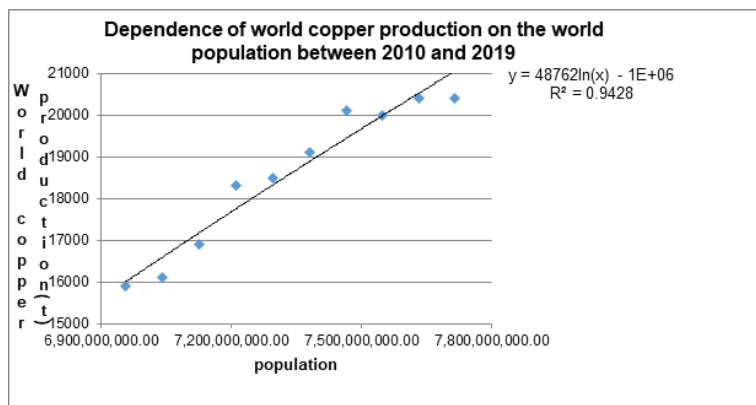


Fig. 2. The best econometric model of the dependence of world copper production on world population
Rys. 2. Najlepszy model ekonometryczny zależności produkcji miedzi od populacji na świecie

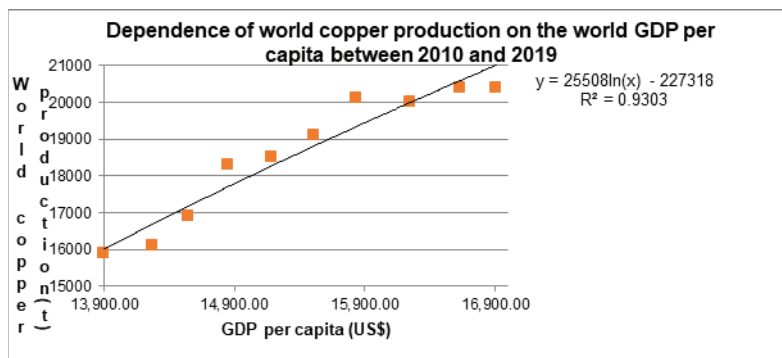
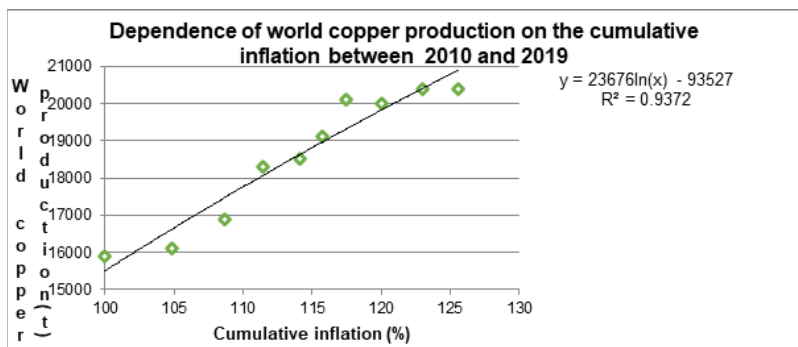


Fig. 3. The best econometric model of the dependence of world copper production on world GDP per capita
Rys. 3. Najlepszy model ekonometryczny zależności produkcji miedzi od światowego produktu narodowego brutto (GDP)



Tab. 1. Time series of economic factors and world copper production between 2010 and 2019
Tab. 1. Światowa produkcja miedzi a czynniki ekonomiczne w latach 2010–2019

and powerful). Thus, a total of 16 econometric models were created, for each economic factor of 4 models. The quality of these models was assessed according to the coefficient of determination R^2 (Table 4).

The results of the second objective of the article clearly show that the values of the coefficient of determination for all econometric models expressing the dependence of world copper production on its price are very low and do not change much according to the type of regression used. The best determination coefficient value was achieved by an econometric model created by exponential regression (Table 4-green highlighted, Figure 1). The H3 hypothesis cannot therefore be accepted. In contrast, the determination coefficient values for all econometric models expressing the dependence of world copper production on all other economic factors studied are very high and practically do not differ at all according to the type of regression used (Table 4). The best determination coefficient values for all other economic factors were achieved by econometric models created by logarithmic regression (Table 4-green highlighted). The H4 hypothesis must be rejected. The best econometric models, including their equations, are shown in Figures 1, 2, 3 and 4.

The results of the research clearly show a significant difference between the effect of the price on world copper production (Table 3) and the influence of other factors on this production. Factors such as the world's population, world GDP, and cumulative inflation are proving to have a significant impact on world copper production. Based on econometric modelling, it showed out that the price as an economic factor according to the coefficient of determination insufficiently explains (Table 4) the impact on the overall world copper production between 2010 and 2019. In contrast, all other factors according to this coefficient almost perfectly explain (Table 4) their impact on world copper production.

By comparing the application of different types of regression through the coefficient of determination, only small differences (Table 4) between them were found. However, account should be taken of the fact that if the research had been carried out for another time period, the regression coefficient values would have been different. However, this is the prob-

lem of all econometric models. The authors believe that, given the stable growth of copper production in the world, as well as the growth of economic factors such as the world's population, world GDP, and cumulative inflation (Table 1), these differences will be minimal.

According to the results of the research, the authors concluded that the average annual world price of copper, given its volatility, insufficiently explains its impact on world copper production and therefore do not recommend using it in one-dimensional econometric models to predict the development of world copper production. On the contrary, according to the authors, all econometric models explaining the impact of other factors studied on world copper production can be used for practical use for its prediction.

Conclusion

The research carried out clearly shows that between 2010 and 2019 there is a very strong relationship between world copper production and economic factors such as the world population, world GDP per capita in purchasing power parity and cumulative inflation. Econometric models that express this relationship regardless of what type of regression has been used show a very high determination coefficient value. Although for another period of time, economic models would have slightly different regression coefficients, given the stability of these economic factors and world copper production, these factors explain this production quite sufficiently. Therefore, the authors recommend using these econometric models for short and medium-term predictions and updating them regularly after this time.

Research has also clearly shown that the average annual world copper price does not adequately explain the impact on world copper production. Econometric models expressing the influence of the world copper price on its production have a very low coefficient of determination. Therefore, they are not suitable for prediction. The authors believe that this is mainly due to price volatility over time, caused by uneconomic factors such as political interests, lobbying interests and other factors.

Literatura – References

1. PEARCE, M. The 'Copper Age'-A History of the Concept. *Journal of World Prehistory*. Sep 2019, 32(3), pp. 229-250. Available from: doi: 10.1007/s10963-019-09134-z.
2. HERRERO, M.J., R. MARFIL, J.I. ESCAVY, M. SCHERER, X. ARROYO, T. MARTIN-CRESPO and S.L. DE ANDRES. Hydrothermal activity within a sedimentary succession: aragonites as indicators of Mesozoic Rifting (Iberian Basin, Spain). *International Geology Review*. Jan 2020, 62(1), pp. 94-112. doi: 10.1080/00206814.2019.1636317.
3. FU, X., M. S. UELAND and E. OLIVETTI. Econometric modeling of recycled copper supply. *Resources Conservation and Recycling*. Jul 2017, 122, pp. 219-226. Available from: doi:10.1016/j.resconrec.2017.02.012.
4. KAPUSTINA L., O. FALCHENKO and A. DREVALEV. Relationship between world copper market and economic cycle. *International Relations 2017: Current Issues of World Economy and Politics*. 2017, pp. 464-473.
5. GUZMAN, J.I. The International Copper Cartel, 1935-1939: the good cartel?. *Mineral Economics*. May 2018, 31(1-2), pp. 113-125. Available from: doi: 10.1007/s13563-017-0126-7.
6. SAMKOV, T.L. Forecast model of Russia's Gross domestic product depending on financial Instruments of trade in energy and commodities. *Problemele Energetici Regionale*. 2018, 1, pp. 136-151. Available from: doi: 10.5281/zenodo.1217303.
7. BAZHENOV, O., A. OYKHER and D. BAEV. The impact of financial and economic crises on the performance indicators of copper mining enterprises. *Advances in Social Science Education and Humanities Research*. 2019, 240, pp. 133-140.
8. LI, Y., X. GAO, S. AN, H. ZHENG and T. WU. Network approach to the dynamic transformation characteristics of the joint impacts of gold and oil on copper. *Resources Policy*. Mar. 2021, 70, No. 10967. Available from: doi: 10.1016/j.resourpol.2020.101967.
9. LAGOS, G., D. PETERS, M. LIMA and J. J. JARA. Potential copper production through 2035 in Chile. *Mineral Economics*. Jul 2020, 33(1-2), pp. 43-56. Available from: doi: 10.1007/s13563-020-00227-2.
10. CORTEZ, C.A.T., J. COULTON, C. SAMMUT and S. SAYDAM. Determining the chaotic behaviour of copper prices in the long-term using annual price data. *Palgrave Communications*. Jan. 2018, 4, No. 8. Available from: doi: 10.1057/s41599-017-0060-x.
11. MEDINA, J.P. Mining development and macroeconomic spillovers in Chile. *Resources Policy*. Mar 2021, 70 (101217). Available from: doi: 10.1016/j.resourpol.2018.06.008.
12. FERNANDEZ, V. Price and income elasticity of demand for mineral commodities. *Resources policy*. Dec 2018, 59, pp. 160-183. Available from: doi: 10.1016/j.resourpol.2018.06.013.
13. JARA, J.J. Determinants of country competitiveness in attracting mining investments: An empirical analysis. *Resources Policy*. Jun 2017, 52, pp. 65-71. Available from: doi: 10.1016/j.resourpol.2017.01.016.
14. SHAMMUGAM, S., A. RATHGEBER and T. SCHLEGL. Causality between metal prices: Is joint consumption a more important determinant than joint production of main and by-product metals? *Resources Policy*. Jun 2019, 61, pp. 49-66. Available from: doi: 10.1016/j.resourpol.2019.01.010.
15. BURDA, M. C. and Ch. WYPLOSZ. *Macroeconomics: a European text*. Seventh edition. Oxford: Oxford University Press. 2017, 598, ISBN 978-0-19-873751-3.
16. MARTIN, F. F. and H. CASTRO. Raw material depletion and scenario assessment in European Union - A circular economy approach. *Energy Reports*. 2020, 6(1), 417-422. Available from: doi: 10.1016/j.egy.2019.08.082.

Wpływ czynników ekonomicznych na światową produkcję miedzi

Miedź jest bardzo ważnym minerałem, który ma szerokie zastosowanie w przemyśle, zwłaszcza w elektrotechnice i energetyce. Wraz ze wzrostem elektromobilności jej potencjał będzie rósł w przyszłości. Wszelki niedobór miedzi na rynku światowym mógłby zatem zagrozić nowoczesnemu przemysłowi. W związku z tym autorzy postanowili zająć się wpływem czynników ekonomicznych (cena, ludność, PKB i skumulowana inflacja) na produkcję miedzi oraz stworzyć odpowiednie modele ekonometryczne, wyrażające zależność między produkcją a czynnikami ekonomicznymi dla okresu 2010-2019. Wpływ czynników ekonomicznych na światową produkcję miedzi badany jest za pomocą współczynnika korelacji Pearsona. Stwierdzono, że produkcja miedzi jest odwrotnie proporcjonalna do ceny miedzi, jest to silna zależność. Natomiast korelacja między produkcją miedzi a innymi czynnikami jest bardzo silna i pozytywna. Korzystając z modelowania ekonometrycznego, odkryto, że regresja wykładnicza jest najlepszym wyrażeniem relacji między produkcją miedzi a jej ceną, a regresja logarytmiczna najbardziej odpowiada relacji między produkcją miedzi a wszystkimi innymi czynnikami ekonomicznymi. .

Słowa kluczowe: model ekonometryczny, światowa produkcja miedzi, czynniki ekonomiczne, współczynnik korelacji Pearsona



Procesowe podejście do systemowego zarządzania pomysłami pracowniczymi

Mariusz SANGÓRSKI¹⁾

¹⁾ KGHM Polska Miedź S.A.; email: Mariusz.Sangorski@kghm.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-07>

Submission date: 03-01-2022 | Review date: 02-03-2022

Abstrakt

Celem pracy jest zaprezentowanie procesowego podejścia do systemowego zarządzania pomysłami pracowniczymi. Istotą prezentowanego podejścia jest przedstawienie systemu zarządzania pomysłami pracowniczymi (ZPP) jako procesu z jawnie określonymi: wejściami, wyjściami oraz wymaganiami. Wymagania sformułowano na podstawie badań literaturowych dotyczących determinant sukcesu przedsięwzięcia, jakim jest zarządzanie pomysłami pracowniczymi. Sukces zdefiniowano jako osiągnięcie celów, które opisano jako elementy wyjściowe procesu zarządzania pomysłami. Ponieważ jedną z głównych determinant sukcesu jest zaangażowanie pracowników, jako wymagania odnoszące się do tej determinanty omówiono motywatory i demotywatory zaangażowania. Wartością dodaną pracy jest nie tylko prezentacja mapy uniwersalnego procesu zarządczego wraz z towarzyszącym jej opisem wymagań ale i wykaz możliwych do zastosowania mierników skuteczności procesu (KPI). Wykorzystanie mierników, dostarczających obiektywnych informacji na temat efektów procesu pozwala na całościowe zarządzanie procesem lub też na skoncentrowanie się na jego konkretnych, najbardziej wartościowych dla adresatów, kierunkach. Praca dostarcza także prostego narzędzia diagnostycznego do identyfikacji możliwych przyczyn niewystarczająco efektywnego funkcjonowania systemu pomysłów w dowolnej organizacji.

Słowa kluczowe: pomysły pracownicze, system sugestii pracowniczych, program pomysłów pracowniczych, zarządzanie innowacjami

1. WSTĘP

Zarządzanie to sztuka osiągania celów czyli sprawiania, za pomocą świadomych działań ukierunkowanych na zasoby, że cel zaplanowany do osiągnięcia zostanie osiągnięty (parafraza definicji Gryffina (Griffin, 2005, s.6)). W zakresie działań zarządczych znajdują się wszystkie aktywności, bez których osiągnięcie celu jest niemożliwe, począwszy od rozważenia celu, poprzez planowanie sposobu jego osiągnięcia aż do sprawdzenia, że cel został osiągnięty.

Zarządzanie zawsze jest ukierunkowane i zawsze dotyczy jakiegoś konkretnego obszaru lub aspektu – czyli ma miBęjsze w kontekście, w którym umieszczony jest cel, który ma być osiągnięty. Przykładowo, jeśli celem jest poprawa efektywności energetycznej przedsiębiorstwa aspektem tym jest energia (czyli mówimy o zarządzaniu energią, patrz ISO 50001) a jeśli celem jest ochrona zdrowia pracowników aspektem tym jest BHP (patrz ISO 45001). Jeśli natomiast celem jest doskonalenie i rozwój przedsiębiorstwa, aspektem tym jest innowacyjność i zaangażowanie pracowników. W niniejszej pracy autor prezentuje procesowe podejście do tej właśnie kwestii, aby udzielić odpowiedzi na pytanie: jakie działania należy podjąć aby osiągnąć korzyści płynące ze skutecznego zarządzania tym aspektem. Działania te są zaprezentowane w postaci ogólnego modelu procesu zarządzania pomysłami pracowniczymi (ZPP), uwzględniającego, oprócz aktywności, także związane z nimi wymagania, których spełnienie implikuje sukces zarządzania i których niespełnienie implikuje jego porażkę. Wiedza ta powinna ułatwić zarówno projektowanie nowego jak i doskonalenie funkcjonującego systemu.

2. SKUTECZNE ZARZĄDZANIE POMYSŁAMI

2.1. SZPP – cel funkcjonowania

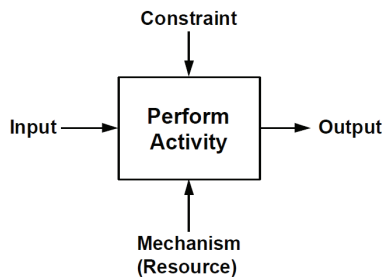
Przed podjęciem jakiegokolwiek aktywności zarządczej, służącej przecież osiągnięciu celu, należy precyzyjnie określić ten cel, bowiem zarządzanie bez poprawnie zdefiniowanego celu jest, z definicji, bezcelowe.

Celem nadrzędnym procesu ZPP czyli tym, którego osiągnięciu ten proces służy, jest zwykle strategiczny cel biznesowy: generowanie zysku poprzez zdobycie lub utrwalenie przewagi konkurencyjnej. W aspekcie zarządzania innowacyjnością i zaangażowaniem pracowników cel nadrzędny osiągnięty jest dzięki skutecznemu wykorzystywaniu wewnętrznego, intelektualnego i motywacyjnego potencjału pracowników – to jest więc cel operacyjny procesu ZPP. Osiągnięcie tego celu przynosi organizacji korzyści sprzyjające osiągnięciu celu strategicznego. Korzyści te można rozważyć w trzech aspektach:

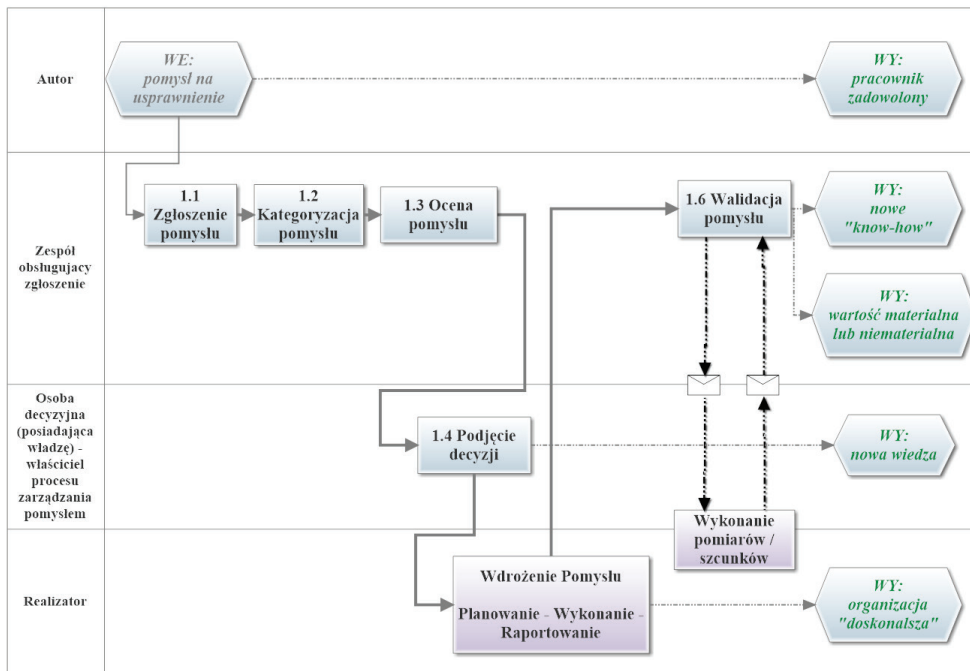
- Korzyści bezpośrednich – będącym efektem wykorzystania innowacyjności pracowniczej;
- Innowacyjności – będącym efektem ujawnienia wiedzy, do której organizacja nie ma łatwego dostępu;
- Zaangażowania – będącym efektem wzrostu motywacji do uczestniczenia w doskonaleniu organizacji.

W opracowaniu (Dekier, Grycuk, 2014, wykres 3] korzyści te zostały wskazane jako najczęstsze powody wdrażania systemu sugestii, zatem można uznać, że zarządzający są świadomi potencjału skutecznego zarządzania pomysłami pracowniczymi.

Warunkiem osiągnięcia korzyści jest prawidłowe funkcjonowanie dobrze zaprojektowanego, prawidłowo wdrożonego, skutecznie utrzymywanego i doskonalonego procesu – w takich okolicznościach pracownicy chętnie będą dzielili się swoją wiedzą doświadczeniem, będą wydajniej i bezpieczniej pracowali i będą z tego tytułu bardziej zadowoleni.



Rys. 1. Reprezentacja IDEF0 przedstawiająca model funkcjonalny procesu „ICOM” (źródło: (Presley, Liles, 1998, rysunek 1)
Fig. 1. IDEF0 representation of the functional process model “ICOM” (source: Pres-ley, Liles, 1998, figure 1)



Rys. 2. Mapa procesu zarządzania pomysłami pracowniczymi (opracowanie własne)
Fig. 2. Schema of the suggestion management process (own work)

2.2. Model procesu ICOM

W normie ISO 9000 [PN-En ISO 9000, 2015, def. 3.4.1] „proces” zdefiniowany jest następczo: to „zbiór działań wzajemnie powiązanych lub wzajemnie oddziałujących, które wykorzystują wejścia procesu do dostarczenia zamierzonego rezultatu”. Najprościej mówiąc: proces to działanie które przekształca to co na wejściu w to, co na wyjściu. Produkt procesu w zamierzeniu jest materializacją osiągnięcia jego celu.

Aby opisać proces ZPP autor skorzystał z metodyki modelowania opisowego procesów IDEF0 (Presley, Liles, 1998) opracowanej pod koniec lat siedemdziesiątych przez Siły Powietrzne USA. Tworzone z użyciem tej metodyki modele procesów określane są czasem jako modele ICOM, co jest akronimem opisującym tę przyjęty sposób opisu: (Input - wejście, Constraints - ograniczenia, Output - wyjście, Mechanism - mechanizm). Ideę tę pokazano na rys. 1.

Korzystając z modelu ICOM można opisać dowolny proces, wskazując w jaki sposób (z użyciem jakiego mechanizmu) to co na wejściu procesu przetwarzane jest w to, co na wyjściu – czyli jak osiągnąć zamierzony cel. Proces funkcjonuje w określonym kontekście, który jest opisany za pomocą ograniczeń: wymagań dotyczących procesu i jego produktu oraz reguł biznesowych, definiujących granice kontekstu.

Przykładem ograniczeń w rozważanym procesie są zapisy dotyczące prawa autorskiego ale i obowiązujące w organizacji polityki i regulaminy, a także konkretne wymagania dotyczące samego procesu, np. struktura informacyjna zgłoszenia pomysłu lub maksymalny czas oczekiwania na rozważenie zgłoszonego pomysłu.

2.3. Mapa procesu ZPP

Każdy proces zarządzania pomysłami pracowniczym z założenia służy temu samemu celowi: osiągnięciu korzyści płynących z aktywnego współuczestniczenia pracowników w doskonaleniu organizacji. Można także założyć, że każdy proces zarządzania pomysłami pracowniczymi przebiega w taki sam sposób – oczywiście na poziomie ogólnym dotyczącym mechanizmu. Oznacza to, że w każdym wypadku rozważany proces będzie miał te same kroki procesowe (podprocesy) choć konkretny sposób ich realizacji będzie dopasowany do charakterystyki organizacji, jej kultury, dojrzałości, zwyczajów, struktury i wykorzystywanych narzędzi.

Autor założył, że istnieje pewien wzorcowy sposób przebiegu procesu opisany wymaganiami, będącymi pochodną determinant sukcesu zarządzania, co oznacza, że istnieje prawidłowa odpowiedź na pytanie: jakie wymagania muszą być spełnione, aby zmaksymalizować prawdopodobieństwo

Tab. 1. Proces główny opisany wg. modelu ICOM (praca własna)
 Tab. 1. Main process described with ICOM methodology (own work)

ZARZĄDZANIE POMYSŁEM PRACOWNICZYM	
Cel 1	Uzyskane korzyści (materialne, niematerialne) będące bezpośrednim efektem wykorzystania pomysłu: <ul style="list-style-type: none"> • w obszarze wskazanym, • w obszarach innych niż wskazany, • w miejscu wskazanym, • w miejscach innych niż wskazane.
Wejście	Pomysł usprawnienia (w głowie autora).
Wyjście (produkt)	Osiągnięte korzyści (materialne, niematerialne) będące efektem wykorzystania pomysłu.
Miernik skuteczności	Informacja o wielkości osiągniętych korzyści (miernik podprocesu walidacji pomysłu).
Ograniczenia	<ul style="list-style-type: none"> • Wymagania związane z aktami prawnymi, normatywami i regulacjami wewnętrznymi organizacji; • Skuteczność procesu rozpowszechniania dobrych praktyk w organizacji.
Cel 2	Zadowolenie autora pomysłu – dla zwiększenia jego zaangażowania w proces doskonalenia organizacji oraz poprawy wydajności i bezpieczeństwa jego pracy.
Wejście	Pomysł usprawnienia (w głowie autora).
Wyjście (produkt)	Autor pomysłu jest zadowolony.
Miernik skuteczności	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamika wzrostu ilości skutecznie zgłaszanych pomysłów; • Dynamika wzrostu ilości praktycznie wykorzystanych pomysłów.
Ograniczenia	<ul style="list-style-type: none"> • Wymagania dotyczące czasu procedowania pomysłu (tzw. „rozsądny termin”); • Wymagania dotyczące komunikacji z autorem – m.in. maksymalny czas pomiędzy jednostkami informacyjnymi, kompletność informacji (tak, aby autor był świadomy tego, co się z jego pomysłem dzieje); • Skuteczność procesu zarządzania pomysłem.
Cel 3	Uzyskana nowa wiedza.
Wejście	Pomysł usprawnienia (w głowie autora).
Wyjście (produkt)	Udokumentowana informacja nt. możliwych do osiągnięcia (w określonych okolicznościach) korzyści.
Miernik skuteczności	Ilość pomysłów skutecznie obsłużonych (udokumentowanych, wykorzystanych, chronionych prawnie).
Ograniczenia	<ul style="list-style-type: none"> • Wymagania dot. zarządzania informacją; • Wymagania Ustawy Prawo własności przemysłowej (PWP).

sukcesu zarządzania pomysłami pracowniczymi. Pytanie to można też sformułować inaczej: niespełnienie jakich wymagań spowoduje, że osiągnięty rezultat będzie inny od najlepszego możliwego do osiągnięcia.

Na rysunku 2 przedstawiona jest mapa procesu zarządzania pomysłami pracowniczymi uwzględniająca cały cykl życia pomysłu (stąd podprocesy operacyjne: „wdrożenie pomysłu” i „wykonanie pomiarów” – które nominalnie nie przynależą do procesu zarządzania). Ujawnione są w niej główne kroki procesowe (ogólny mechanizm procesu), wejście i wyjścia procesu oraz główne role w procesie.

Opisy zilustrowanych wyżej procesów znajdują się w tabeli 1 (proces główny) i w tabeli 2 (podprocesy procesu głównego). Opisy te uwzględniają cel każdego procesu, jego produkt, ich możliwe mierniki oraz odpowiednie ograniczenia.

Poprawna identyfikacja celu każdego procesu jest kluczowa z punktu widzenia zarządzania, bowiem tylko sparametryzowanie tego celu pozwala weryfikować jego osiągnięcie a więc umożliwia poprawne zarządzanie informacją nt. skuteczności zarówno przebiegu procesu jak i jakości zarządzania procesem. W celu szybkiej oceny przebiegu procesu można posłużyć się opisanymi, jako przykładowe, miernikami. Jeśli natomiast proces i podprocesy nie są opisane i opomiarowane czyli miarodajna, bazująca na faktach, ocena ich funkcjonowania nie jest możliwa – jest to pierwsza, bardzo znacząca przesłanka wskazująca na źródła nieoptymalnego funkcjonowania systemu – o ile są co do tego wątpliwości.

Aby każdy proces wytwarzał pożądaną produkt odpowiedniej jakości, musi on przebiegać w określony sposób i, choć szczegółowy opis tego sposobu wykracza poza zakres niniejszej pracy, to możliwe jest przyporządkowanie mu ograniczeń (w tym wymagań), których naruszenie (w przypadku wymagań – ich nie spełnienie) oznacza nieskuteczność procesu.

Krytycznie ważnym miernikiem każdego rozważanego wyżej procesu jest ilość skutecznie i zgodnie z wymaganiami obsłużonych pomysłów – mierzona bezwzględnie (ilościowo) i względnie (w stosunku do wszystkich pomysłów które znalazły się na wejściu danego procesu – tzw. backlog). Wersja ilościowa tego wskaźnika opisuje wydajność procesu natomiast wersja jakościowa (względna) opisuje efektywność procesu.

Informacje dodatkowe nt. możliwych mierników można znaleźć w (Gerlach, Brem, 2017, tabela 6] i w (Lasrado, Arif, Rizvi, 2015).

Należy pamiętać, że powinno się stosować wyłącznie mierniki, które są wykorzystywane w celu dodania wartości do procesu (tzn. funkcjonują procesy zarządcze w których ta informacja jest wykorzystywana w konkretnym celu) – zatem ta kwestia powinna być przedmiotem szczególnie starannego rozważenia. Oczywiście, fundamentem systemu mierzenia (także efektywności procesów) jest zapewnienie odpowiedniej jakości pomiarów i kalkulacji, uwzględniającej odpowiednio skuteczne mechanizmy weryfikacji danych wejściowych.

Z uwagi na przyjęty poziom szczegółowości opisu procesu głównego nie uwzględniono w nim podprocesów dodatkowych.

Tab. 2. Podprocesy procesu głównego opisane wg. modelu ICOM (praca własna)
 Tab. 2. Main process sub-processes described with ICOM methodology (own work)

1.1 ZGŁOSZENIE POMYSŁU	
Cel	Pomysł udokumentowany w sposób umożliwiający jego dalsze procedowanie.
Wejście	Pomysł usprawnienia (w głowie autora).
Wyjście (produkt)	Pomysł udokumentowany zgodnie z wymaganiami (zbiór informacji dotyczących pomysłu i autora umożliwiający dalsze procedowanie).
Miernik skuteczności	<ul style="list-style-type: none"> Ilość pomysłów poprawnie udokumentowanych Ilość pomysłów wymagających korekty; Ilość pomysłów odrzuconych z powodu niespełnienia wymagań odn. do ich udokumentowania; Ilość pomysłów poprawnie udokumentowanych do ilości pomysłów niepoprawnie udokumentowanych.
Ograniczenia	Wymagania dotyczące zawartości kwestionariusza (fizycznego lub elektronicznego) wykorzystywanego do dokumentowania pomysłu (zwykle wzór karty zgłoszenia pomysłu lub odpowiednia konstrukcja formularza elektronicznego).
1.2 KATEGORYZACJA POMYSŁU	
Cel	Ujawniona wiedza (własność intelektualna) chroniona zgodnie z Ustawą PWP.
Wejście	Pomysł udokumentowany zgodnie z wymaganiami.
Wyjście (produkt)	Dokumentacja pomysłu uzupełniona o informację, czy pomysł spełnia wymagania Ustawy PWP – dla zastosowania odpowiedniego scenariusza procedowania (m.in. uwzględniającego kwestie ochrony własności intelektualnej).
Miernik skuteczności	<ul style="list-style-type: none"> ilość pomysłów podlegających ustawowej ochronie prawnej; ilość pomysłów podlegających ustawowej ochronie prawnej w stosunku do wszystkich pomysłów skutecznie zgłoszonych.
Ograniczenia	Kryteria kwalifikacji jako przedmiot ochrony praw zgodnie z Ustawą PWP.
1.3 OCENA POMYSŁU	
Cel	Przyporządkowane do pomysłu parametry określające jego wartość dla organizacji.
Wejście	Pomysł udokumentowany zgodnie z wymaganiami (uzupełniony o wynik kategoryzacji).
Wyjście (produkt)	<ul style="list-style-type: none"> Dokumentacja pomysłu uzupełniona o wyniki oceny jego potencjału (wartości biznesowej); Rekomendacja dotycząca decyzji biznesowej dotyczącej pomysłu.
Miernik skuteczności	Stosunek korzyści szacowanych (wartości oczekiwanej) do korzyści rzeczywiście osiągniętych (zmierzonych w procesie walidacji pomysłu).
Ograniczenia	<ul style="list-style-type: none"> Kryteria oceny pomysłu; Kryteria priorytetyzacji.
1.4 PODJĘCIE DECYZJI	
Cel	Nadany pomysłowi status odzwierciedlający biznesową wartość pomysłu.
Wejście	Pomysł udokumentowany zgodnie z wymaganiami (uzupełniony o wynik oceny).
Wyjście (produkt)	Nadany pomysłowi status prawny (wymaganie) związany z jego dalszą obsługą.
Miernik skuteczności	Ilość decyzji określonego rodzaju (statystyka).
Ograniczenia	Katalog decyzji możliwych do podjęcia.
1.5 WALIDACJA POMYSŁU	
Cel	Zweryfikowane wyniki szacowanych do osiągnięcia – dla oceny procesu zarządzania (w tym zastosowanych metodyk i kryteriów) oraz rzeczywistego potencjału pomysłu.
Wejście	Kompletna dokumentacja pomysłu (w tym szacunki dot. planowanych do osiągnięcia korzyści).
Wyjście (produkt)	Informacja o wielkości osiągniętych korzyści.
Miernik skuteczności	Stosunek korzyści osiągniętych do szacowanych/zaplanowanych do osiągnięcia.
Ograniczenia	<ul style="list-style-type: none"> Metodyka walidacji; Kryteria oceny.

ych (wspierających), których prawidłowy przebieg warunkuje skuteczność procesu głównego. Przykładowe podprocesy w sposób uproszczony opisano w tabeli 3.

2.4. Autor pomysłu jako podmiot zarządzania – aspekt nagradzania i komunikacji

Proces zarządzania pomysłami pracowniczymi można rozważyć z co najmniej dwóch perspektyw. Każda perspektywa determinowana jest odrębnym celem do osiągnięcia, co związane jest z orientacją procesu na różnych jego klientów. Kiedy celem jest osiągnięcie korzyści związanych z organizacją, klientem jest organizacja, reprezentowana przez jej przed-

Tab. 3. Podprocesy wspierające (praca własna)
 Tab. 3. Supporting sub-processes (own work)

Podproces	Cel podprocesu
Okresowy przegląd systemu zarządzania.	Oceniona skuteczność procesu potrzebna do jego doskonalenia.
Okresowy przegląd pomysłów „zaparkowanych” (zakwalifikowanych jako pomysły do wdrożenia w przyszłości).	Oceniony pod kątem jego możliwego wykorzystania potencjał ujawniony i udokumentowany.
Szkolenie (uzupełnianie wiedzy i trening umiejętności).	<ul style="list-style-type: none"> • Ułatwienie potencjalnym autorom kreowania i opisywania pomysłów; • Ułatwienie osobom wspierającym autorów (mentorom) i obsługującym proces (administratorom, ekspertom itp.) ich pracy.
Komunikowanie efektów funkcjonowania systemu.	Budowanie powszechnej świadomości wartości systemu (wzmacnianie motywacji wewnętrznej).
Promowanie systemu zarządzania.	
Finansowanie systemu, zarządzanie zasobami.	Umożliwiona alokacja zasobów niezbędnych do skutecznego funkcjonowania systemu.

stawiciele. Przykładowo – jeśli rozważanym efektem zastosowania pomysłu jest poprawa bezpieczeństwa pracy, klientem procesu zarządzania pomysłami jest organizacja reprezentowana przez przedstawiciela odpowiedzialnego za proces poprawy bezpieczeństwa pracy (np. głównego inspektora BHP), podczas gdy inni członkowie organizacji są interesariuszami tego procesu.

Proces ZPP ma jednak i inny cel, nie bezpośredni i nie oczywisty ale nie mniej ważny: jest nim zwiększenie zaangażowania pracowników w doskonalenie organizacji. W tym przypadku klientem procesu jest autor pomysłu a wszyscy inni interesariuszami. Taka perspektywa postrzegania procesu ZPP stawia autora pomysłu w jego centrum pozwalając skoncentrować się na aspekcie jego motywacji.

Żaden pracownik nie podzieli się swoim doświadczeniem jeśli nie będzie odpowiednio zmotywowany. Zatem chcąc doskonaląc organizację przy wykorzystaniu potencjału pracowniczego organizacja powinna motywować swoich pracowników do doskonalenia oraz, co równie ważne, nie demotywować ich do tego. Obie perspektywy są jednakowo ważne bowiem obie są źródłem wymagań do procesu ZPP, równocześnie nie zawsze brak motywatora jest demotywujący, tak jak i brak demotywatora jest motywujący.

W tabeli 4 opisane są przykładowe czynniki motywujące i demotywujące pracowników do uczestnictwa w doskonaleniu organizacji opracowane na podstawie: (Gerlach, Brem, 2017), (Yasuda, 1990), (Productivity Press Development Team, 1992), (Bassford, Martin, 1996), (Lasrado, 2014), (Hatcher, Ross, Collins, 1991).

Z uwagi na wiele odmiennych podejść do tematu podsumowanie przedstawione w tabeli reprezentuje autorską interpretację zapisów źródłowych. Dodatkowo, informacje w tabeli nie są wartościowane (tzn. nie jest określona ich waga), jednak elementy opisane czcionką pogrubioną oznaczają kwestie pojawiające się wyraźnie częściej.

Jak widać, znacznie więcej czynników motywuje do zaangażowania na rzecz doskonalenia organizacji niż demotywuje, jednak siła demotywatorów jest zwykle większa niż siła motywatorów – dlatego eliminacja demotywatorów jest zadaniem tak samo ważnym jak tworzenie środowiska sprzyjającego wzrostowi zaangażowania. Z zestawienia wynika, że najsilniej motywującym i demotywującym aspektem funkcjonowania procesu ZPP jest jego transparentność, odpowied-

ność i sprawność (szybkość procedowania) oraz traktowanie autora pomysłu jak partnera. Oznacza to, że staranne zaprojektowanie procesu i zapewnienie zasobów do jego sprawnego funkcjonowania a także życzliwe i skuteczne wsparcie tworzy solidny fundament procesowy do osiągnięcia zamierzonych korzyści. Kluczowe jest zwłaszcza uczciwie traktowanie autorów pomysłów. W tym kontekście nagradzanie należy traktować jako demonstrację wagi tego, czym dla zarządzających jest aktywny udział pracowników w doskonaleniu organizacji – nie zaś jako źródło dodatkowych korzyści.

Choć uważa się, że nagrody materialne, szczególnie finansowe, mają największy wymiar motywacyjny, to, jak wykazano w [Wagas, Saleem, 2014], zależność między zaangażowaniem a nagradzaniem za zaangażowanie jest zbliżona dla nagród materialnych (monetaryzowalnych) i niematerialnych, oscylując w obu przypadkach między 30 a 34%. W organizacjach o utrwalonej kulturze zorientowanej na rozwój (w „organizacjach uczących się”), w których pracownicy są wynagradzani wystarczająco, aby czuć się ekonomicznie bezpiecznie, dominujące są motywatory wewnętrzne, wynikające z wyznawanych w organizacji wartości czy reprezentowanych postaw, np. chęć poprawy dobrostanu organizacji postrzeganej jako organizm społeczny czyli dobro wspólne (Yasuda, 1990), (Productivity Press Development Team, 1992). W organizacjach stymulujących pracowników za pomocą motywatorów zewnętrznych (np. premii) – dominujący motywator będzie miał wymiar materialny, najczęściej czysto finansowy. Spośród osób, które w roku 2013 wzięły udział w badaniu opinii nt. systemów sugestii pracowniczych (Dekier, Grycuk, 2014).], ponad 80% uczestników wskazało nagrody jako najsilniejszy motywator do zgłaszania pomysłów. Wśród tych nagród dominowały nagrody wyłącznie finansowe (45% badanych), finansowo-rzeczowe (30%) i wyłącznie rzeczowe (20%).

Zdaniem autora, pracownicy wkładający dodatkowy, ponadnormatywny wysiłek na rzecz organizacji, powinni mieć świadomość, że ten wysiłek jest dla organizacji ważny i cenny. Sposoby osiągnięcia tego celu są co najmniej trzy:

- Zaprojektowanie procesu ZPP i zapewnienie zasobów tak, aby proces przebiegał sprawnie (czyli pomysły były procedowane w jak najkrótszym czasie – czas pomiędzy kolejnymi krokami procesowymi nie powinien przekraczać 10 dni roboczych);

Tab. 4. Przykładowe czynniki wpływające na zaangażowanie pracowników w doskonalenie organizacji (praca własna)
 Tab. 4. Examples of the factors having an impact on employee organization im-provement engagement (own work)

Motywatory	Demotywatory
Nagradzanie za zgłaszane pomysły	
Atrakcyjność nagród	Nagrody bez wartości dla autora
Chęć poprawy warunków pracy	
Uczynienie pracy łatwiejszą	
Chęć uczestniczenia w rozwiązywaniu problemów	
Widoczne zaangażowanie przełożonych w utrzymanie systemu	Manifestacyjna niechęć do systemu
Zachęcanie i wspieranie	Zniechęcanie i przeszkadzanie
Transparentny proces oceny pomysłów	Nieznane kryteria oceny pomysłów
Kryteria oceny pomysłów ukierunkowana na poprawę dobrostanu organizacji (odpowiedniość kryteriów)	Niezrozumiałe, bezsensowne kryteria oceny
Szybkie procedowanie	Przedłużające się procedowanie
Utrzymywanie stałego kontaktu z autorem	Brak komunikacji
Podmiotowe, partnerskie traktowanie autora	Przedmiotowe traktowanie autora
Uznanie ze strony środowiska	
Satysfakcja z powodu wdrożenia proponowanego rozwiązania	
Pozytywny wpływ na ocenę pracowniczą	
Dobra atmosfera w pracy	Zła atmosfera pracy
Sprzyjająca kultura organizacyjna	Niesprzyjająca kultura organizacyjna
Rywalizacja	
Możliwość samorozwoju	
Łatwość zgłoszenia pomysłu	
Szacunek, życzliwość	Brak szacunku
Chęć dzielenia się wiedzą	
Możliwość wspólnego rozwiązywania problemów	

Tab. 5. (praca własna)

Tab. 5. (own work)

Kryterium oceny	Tak	Nie	Nie wiem
W organizacji funkcjonuje proces Zarządzania Pomysłami Pracowniczymi (ZPP).			
Proces ZPP jest formalnie ustanowiony (np. poprzez zarządzenie).			
Proces ZPP jest opisany (np. za pomocą mapy lub procedury) - na tyle szczegółowo, aby możliwe było zrozumienie jego przebiegu i skuteczne nim sterowanie.			
Każdej aktywności realizowanej w ramach procesu ZPP przyporządkowana jest rola z jawnie określonym zakresem obowiązków i władzy.			
Proces ma swojego właściciela - osobę, która posiada pełną władzę nad niezbędnymi do jego skutecznego funkcjonowania zasobami.			
Przebieg procesu ZPP jest zrozumiały dla jego klientów i interesariuszy.			
Proces ZPP jest opomiarowany miarą ilościową - istnieje możliwość oceny wydajności procesu.			
Proces ZPP jest opomiarowany miarą jakościową - istnieje możliwość oceny efektywności procesu.			
Wyniki pomiarów procesu są wykorzystywane do jego doskonalenia (na ich podstawie podejmowane są odpowiednie decyzje i działania).			
Do oceny pomysłu wykorzystywane są udokumentowane i dostępne kryteria oceny.			
Do podjęcia decyzji dot. pomysłu wykorzystywane są udokumentowane kryteria priorytetyzacji.			
Autor pomysłu jest na bieżąco informowany nt. statusu jego pomysłu.			
Proces przebiega płynnie, nie ma zbędnych opóźnień ani zatorów.			

- Zapewnienie odpowiedniej komunikacji z autorem pomysłu tak, aby ten wiedział, na jakim etapie jest jego pomysł (informacja powinna być kompletna z perspektywy autora i przekazywana zgodnie z harmonogramem procedowania, czyli nie rzadziej niż co 10 dni);
- Upewnienie autora pomysłu, że jest kimś ważnym w organizacji, jego praca jest dla organizacji cenna i organizacja jest tego świadoma – również poprzez uczciwą partycypację w osiągniętych dzięki wykorzystaniu pomysłu korzyściach.

Zdaniem autora, zorientowanie procesu ZPP przede wszystkim na autora pomysłu powinno, w dłuższym horyzoncie czasowym, przynieść organizacji większą wartość niż skoncentrowanie się na natychmiastowych korzyściach, które z tytułu funkcjonowania procesu może odnieść organizacja. Ludzie, którzy robią coś dlatego, że chcą zawsze będą skuteczniejsi niż ci, którzy robią bo im się za to płaci – ponieważ siła motywacji wewnętrznej zawsze jest większa niż siła motywacji zewnętrznej (Badubi, 2017).

3. OCENA PROCESU ZARZĄDZANIA POMYSŁAMI PRACOWNICZYMI

Aby możliwe było doskonalenie procesu konieczna jest ocena jego funkcjonowania. W [Lasrado, Gomiscek, 2015] zaprezentowano kompletne narzędzie do pomiaru dojrzałości systemu (uwzględniającego nie tylko proces ale i inne, niezbędne do osiągnięcia zamierzonego rezultatu, elementy). Narzędzie to składa się ze 107 kryteriów oceny (sformułowanych jako przesądzenia) zebranych w pięć grup

tematycznych a jego wykorzystanie daje dobry, szczegółowy obraz dojrzałości organizacji w zakresie zarządzania pomysłami pracowniczymi. Zakres niniejszej pracy nie pozwala na zaprezentowanie tego narzędzia, ale jeśli czytelnik jest zainteresowany szybką, uproszczoną oceną warstwy procesowej systemu (czyli procesu – z perspektywy priorytetyzacji działań doskonalących) może to zrobić w oparciu o kryteria opisane w tabeli 5.

Odpowiedź „tak” należy udzielić, jeśli osobie korzystającej z kwestionariusza znany jest dowód materialny zgodny z rozważanym kryterium.

Udzielona odpowiedź „nie” lub „nie wiem” wskazuje na obszar, który powinien być poddany szczegółowej analizie w pierwszej kolejności.

4. PODSUMOWANIE

Skuteczne zarządzanie pomysłami pracowniczymi jest taką samą sztuką, jak skuteczne zarządzanie czymkolwiek innym. W opracowaniach (Yasuda, 1990), (Productivity Press Development Team, 1992), (Bassford, Martin, 1996), (Lasrado, 2014), (Ostrowski, 2017), (Santos, Afonesca, Lopes, Felix, Murmura, 2018), (Lasrado, Arif, Rizivi, Urdzik, 2016) opisano wiele przypadków praktycznego funkcjonowania systemu sugestii pracowniczych oraz wymagania, których spełnienie może przyczynić się do zwiększenia skuteczności systemu. Warto zaznaczyć, że funkcjonowanie procesu ZPP jest wymaganiem normatywnym wielu norm dotyczących systemów zarządzania (np. ISO 14001/ISO 45001, 7.4.2; ISO 50001, 7.4), jest także przedmiotem normatywu międzynarodowego (ISO 30401, 2018) zawierającego wiele praktycznych wskazówek dotyczących jego skutecznego funkcjonowania.

Literatura – References

1. Griffin, R. W. (2005). Podstawy zarządzania organizacjami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
2. PN-EN ISO 9000:2015 (2015). Systemy zarządzania jakością. Podstawy i terminologia.
3. A. Presley, D. H. Liles (1998). THE USE OF IDEF0 FOR THE DESIGN AND SPECIFICATION OF METHODOLOGIES. Automation & Robotics Research Institute. The University of Texas at Arlington, Dostęp: https://www.researchgate.net/publication/2447898_The_Use_of_IDEF0_for_the_Design_and_Specification_of_Methodologies
4. USTAWA z dnia 30 czerwca 2000 r. Prawo własności przemysłowej. Dz. U. 2001 Nr 49 poz. 508.
5. Dekier, Ł., Grycuk, A. (2014). PROGRAMY SUGESTII PRACOWNICZYCH, Doświadczenia polskich przedsiębiorstw. Stowarzyszenie Lean Management Polska, Wrocław. Dostęp: <http://leanpolska.org/wp-content/uploads/Raport-SLMP-Programy-sugestii-pracowniczych-2014.pdf>
6. D. Ostrowski (2017). Assessment of Employee Engagement in the Implementation of an Employee Suggestion Program in Company X – Research Results. Eco-nomic and Environmental Studies Vol. 17, No. 4 (44/2017), 985-1002. Dostęp: <http://dx.doi.org/https%3A//doi.org/10.25167/ees.2017.44.22>
7. G. Santos, J. Afonesca, N. Lopes, M. J. Felix, F. Murmura (2018). Critical success factors in the management of ideas as an essential component of innovation and business excellence. International Journal of Quality and Service Sciences, Vol. 10 No. 3. Dostęp: www.emeraldinsight.com/1756-669X.htm

8. F. Lasrado, M. Arif, A. Rizivi, C. Urdzik (2016). Critical success factors for employee suggestion schemes: a literature review. *Organizational Analysis*, Vol. 24 No. 2, 2016, pp. 315-339. Emerald Group Publishing Limited, 1934-8835, DOI 10.1108/IJOA-04-2014-0753.
9. Y. Yasuda (1990). *40 Years, 20 Million Ideas. The Toyota Suggestion System*. Japan Management Association.
10. Productivity Press Development Team (1992). *Kaizen Teian, Developing Systems for Continuous Improvement Through Employee Suggestion*. Japan Human Relations Association. Taylor & Francis Inc; Edycja 1.
11. R.L. Bassford, C.L. Martin (1996). *Employee Suggestion Systems. Boosting Productivity and Profits*. Crisp Publications Inc.
12. F. Lasrado (2014). *Sustaining Creativity and Innovation in Organizations: A Tool Kit: Employee Suggestion System*. Trafford Publishing.
13. L. Hatcher, T.L. Ross, D. Collins (1991). Attributions for participation and nonparticipation in Gainsharing-Plan Involvement System. *Group & Organization Studies*, Volume: 16 issue: 1, page(s): 25-43. Dostęp: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/105960119101600103>
14. Z. Wagas, S. Saleem (2014). The Effect of Monetary and Non-Monetary Rewards on Employee Engagement and Firm Performance. *European Journal of Business and Management*. ISSN 2222-1905 (Paper) ISSN 2222-2839 (Online). Vol.6, No.31, . Dostęp: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/EJBM/article/viewFile/16530/16937>
15. R. M. Badubi (2017). Theories of Motivation and Their Application in Organizations: A Risk Analysis. *International Journal of Innovation and Economic Development* Volume 3, Issue 3, Pages 44-51 Dostęp: <http://researchleap.com/wp-content/uploads/2017/08/04.-Theories-of-Motivation-and-their-Application-in-Organisations-A-Risk-Analysis.pdf>
16. F. Lasrado, B. Gomiscek (2015). A TOOL TO MEASURE MATURITY OF AN EMPLOYEE SUGGESTION SCHEME. University of Wollongong in Dubai, Faculty of Business. *Management and Production Engineering Review*, Volume 6 • Number 2 • June 2015 • pp. 4–13. DOI: 10.1515/mper-2015-0011
17. ISO 30401 (2018). *Knowledge management systems — Requirements*.
18. S. Gerlach, A. Brem (2017). Idea management revisited: A review of the literature and guide for implementation. *International Journal of Innovation Studies*, Volume 1, Issue 2, Pages 144-16.
19. Dostęp: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096248717300048>
20. F. Lasrado, M. Arif, A. Rizvi (2015). The determinants for sustainability of an employee suggestion system. *International Journal of Quality & Reliability Management* 32(2):182-210. Dostęp: https://www.researchgate.net/publication/271713350_The_determinants_for_sustainability_of_an_employee_suggestion_system.

Process Approach to Systemic Management of Employee Ideas

This work aims to demonstrate a process approach to the systemic management of employee ideas. The essence of the proposed method is demonstrating the employee suggestion system as a process with explicitly defined input, outputs and requirements. The author formulated requirements based on literature research of the success determinants of the management of employee ideas. Success was defined as achieving the goals that were described as starting points in the idea management process. As one of the main determinants of success is employee involvement, motivating and demotivating factors of commitment are discussed as requirements based on this determinant. The added value of the work is not only the presentation of the universal management process map with the accompanying description of the requirements but also the list of the ready to use key performance indicators. Using of KPI that provide objective information about the effects of the process allows managers the overall management of the process or focusing on its specific, most valuable for recipients, directions. The work also provides a simple diagnostic tool to identify possible causes of an ineffective idea system in any organization.

Keywords: *employee ideas, employee suggestion system, employee suggestion scheme, innovation management*



Studies and Research on the Recovery of Copper from Industrial Waste Solutions by the Cementation Method

Daniela Ionela CIOLEA¹⁾, Oana Daniela ILCIUC¹⁾, Marius BERCA²⁾

¹⁾ University of Petroșani, 332006 Petroșani, Hunedoara, Romania

²⁾ Technical University of Cluj Napoca, 400114 Cluj Napoca, Cluj, Romania

* Author for correspondence: cdipentrucci@yahoo.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-08>

Submission date: 18-01-2022 | Review date: 13-03-2022

Abstract

The paper brings original contributions in the particularly complex field of copper recovery from industrial wastewater. The purpose of this experimental research is to recover copper metal powder from wastewater with low copper ion content, by the method of cementation using a scrap iron electrode and to calculate the yield of copper cementation, influenced by the following parameters: initial concentrations of copper ions, pH values and contact time. Recipes were experimentally studied by the cementation method for the recovery of copper from industrially used solutions using iron waste, without consumption of other reagents or energy. Work recipes were designed and one chose three different concentrations: for each solution of prepared concentration: 0.5% CuSO₄, 1% CuSO₄ and 3% CuSO₄, and one performed laboratory experiments at two types of pH (natural pH obtained by dissolving CuSO₄ * 5H₂O in water, pH = 2 (adjustment with 0.1 M sulfuric acid solution). The optimal conditions for each recipe have been identified, based on the experimental data obtained from the monitoring of each experiment, to the WTW Multi 350i multiparameter and AAS ZEE nit 700 Analytik Jena spectrometer. The calculation of the yield of obtaining copper powder for each day of the experiment and for each recipe together, the other experimental data led us to the conclusion that the optimal variant for our study is: concentration of 0.5%, at an initial pH of 3.6 after 3 days of experiment and yield of 95.23%.

Keywords: *the recovery of copper, wastewater treatment, copper cementation method*

1. Introduction

Copper is one of the most valuable and widely used metals in the industry. It is an essential metal for organisms, but in excessive concentrations it can be very toxic for both humans and animals (Peña M.M., Lee J., Thiele D.J., 1999). Copper is a heavy metal found in large quantities in wastewater due to its various applications in industrial sectors, such as the manufacture of printed circuit boards, the metal finishing industry, galvanizing, electrolysis, painting, wood preservation, printing operations, etc. Copper can reach the environment from mines, farms, industrial installations through wastewater discharged into rivers, lakes, but also from natural sources, such as: volcanoes, degraded vegetation, forest fires (Mubarak A., 2006). Copper was the first metal used in undetermined amounts by man. The oldest craftsmen who worked with copper soon found that it is easy to form into sheets with a hammer and sheets in turn worked into other shapes that became more and more complex as their skill increased.

Through the project (<https://umfcd.ro/cercetare...SARS-COV-2>) PN-III-P2-2.1-SOL-2020-2-0208 Development of innovative solutions for the protection of personnel (exposed professionally) and the population against contamination with the virus SARS-CoV-2, studies of impregnation of cotton or medical equipment made of cotton fabric. Various impregnation recipes were used that allowed to obtain "in situ" the nanoparticles of copper and zinc oxides for the impregnation of cotton fabrics, in different concentrations and ratios. The stability of the impregnation of the nanoparticles was confirmed by chemical analysis and analysis by scanning tissues

of the tissues after 1, 3 or 5 washes. It has proved to be a good enough stability and it is expected that even after 10 washes an amount of about 40–50% of the initially impregnated amount will still be fixed on the fabric. The washes involve a pH-neutral detergent for 30–50 minutes at a temperature of 30–40°C (<https://umfcd.ro/cercetare...SARS-COV-2>) PN-III-P2-2.1-SOL-2020-2-0208).

Copper is present in normal human serum (the liquid part of the blood) at concentrations of 120–140 µg/l. Signs of toxicity will be observed if the copper concentration increases significantly above this level. All copper compounds are potentially toxic. Thus, man can be exposed to copper by breathing air, drinking water, food he consumes, by skin contact with copper or its compounds (Solomon F., 2009).

The use of copper to kill algae, fungi and mollusks proves to be very toxic to aquatic organisms. In fact, copper is one of the most toxic metals to aquatic organisms and ecosystems. Copper recovery from wastewater is achieved by various methods, such as bioadsorption, ion exchange, membrane filtration, reverse osmosis, chemical precipitation, electrochemical processes, photocatalysis, cementation (Gunatilake S.K., 2015).

Each of these methods has its own advantages and disadvantages. Unfortunately, some of these methods are difficult to use widely or expensive to apply. The use of the cementation method for the recovery of copper from metallic wastewater can be considered as a relatively simple, inexpensive and environmentally friendly method. Contamination of metal-treated water is a serious problem for many industrial sectors.

Tab. 1. Physico-chemical parameters of synthetic CuSO₄ solutions
 Tab. 1. Parametry fizyko-chemiczne syntetycznych roztworów CuSO₄

CuSO ₄ concentration	pH initial	ORP (mV)	EC (μS/cm)	TDS (mg/l)	Salinity (‰)
0.5%	3.6	+ 178.6	2480	1588	1.3
	2	+ 269	4570	2970.5	2.4
1%	3.4	+ 189.3	4250	2762.5	2.3
	2	+ 267.6	6190	4023.5	3.4
3%	3.0	+ 211.3	10290	6688.5	5.8
	2	+ 267.9	11910	7741.5	6.8

Tab. 2. Cu²⁺ values determined on the AAS ZEENIT 700 spectrometer
 Tab. 2. Wartości Cu²⁺ wyznaczone na spektrometrze AAS ZEENIT 700

Time hours	CuSO ₄ 0.5% pH=2.0	CuSO ₄ 0.5% pH=3.6	CuSO ₄ 1% pH=2.0	CuSO ₄ 1% pH=3.4	CuSO ₄ 3% pH=2.0	CuSO ₄ 3% pH=3.0
0	2092.19	2092.19	4184.38	4184.38	12553.14	12553.14
24	628.66	627.33	3187.86	3177.44	4841.17	4601.41
48	488.31	487.35	626.92	623.33	4654.42	1749.41
72	182.26	140.15	483.41	481.71	1841.82	952.12
96	32.81	16.84	91.76	181.65	323.8	904.85
120	10.14	6.51	16.03	19.41	175.5	310.04

There are many different techniques used to treat wastewater to reduce metal content. A common technique involves raising the pH of the wastewater to an alkaline level to induce precipitation of the metal. Although this method reduces the metal content of wastewater, the resulting solid sludge will require additional treatment (Moscatello N., Swayambhu G., Jones G.H., Jiale Xu, Ning Dai, Pfeifer B.A., 2018).

Unlike organic contaminants, heavy metals are not biodegradable and tend to accumulate in living organisms and many of their ions are known to be toxic or carcinogenic (Fenglian Fu, Qi Wang, 2011). Copper has many practical uses in our society and is often found in coins, electric cables and pipes. However, too much copper can cause adverse health effects.

2. Materials And Methods

Cementation consists in the precipitation of metals from a solution of its salts by another electropositive metal (sacrificial metal) by spontaneous electrochemical reduction to its metallic state (Peng C., Liu Y., Bi J., Xu H., Ahmed A.S., 2011). The cementation method has several advantages, such as the recovery of metals in relatively pure metallic form, simple control requirements, low energy consumption and is generally a low cost process (Nassef E., El-Taweel Y.A., 2015). Cementation of copper on iron is done by a series of short-circuited electrochemical cells, in which electrons reduce the transfer of Cu²⁺ from the iron surface through the growing copper deposit. Copper ions are reduced from the surface of the copper deposit. Iron, which supplies electrons, is oxidized in the anodic places on its surface (EL-Ashtouky E.S.Z., Abdel A.M.H., 2013). However, it seems that cementing using an iron electrode is the simplest and most reasonable method for recovering copper. Therefore, it produces copper metallic sediments, which are suitable for metallurgical processes.

1.1 Equipment used

Determination of physico-chemical parameters

Using the WTW Multi 350i multiparameter, the following physico-chemical parameters were measured:

- electrical conductivity (EC);
- total dissolved solids (TDS);
- salinity;

- pH;
- redox potential (ORP).

Before the analyzes were performed, the apparatus was calibrated using standard solutions for pH and conductivity.

1.2 Determination of heavy metals

Heavy metals were analyzed by flame atomic absorption spectrometry (AAS-F) using the AAS ZEENIT 700 Analytik Jena apparatus. The device allows the analysis of the following heavy metals: Ni, Cd, Cr, Pb, Zn, Cu, Fe, using the lamp specific to each metal. The detection limit of the method is between 0.01–0.08 mg/l, depending on the metal. Prior to analysis, the water samples were acidified to pH 2 (using 65% HNO₃) and filtered.

1.3 Cementation method-use of iron electrode

Procedure: studying the scientific information presented in the specialized articles, regarding the cementation method for the recovery of copper from used solutions, one observes the following:

- the mode of work is specific to a laboratory work (small amounts of used copper solutions 0.1–10 l, using continuous mixing and sometimes heating).
- the influence of the pH of the used copper solution on the recovery yield or efficiency (natural pH was helped with 0.1 M H₂SO₄ solution up to pH 2).
- the working method designed for the experimental part simplifies the laboratory equipment (without agitation, without heating, with initial pH adjustment of CuSO₄ solutions prepared in the laboratory at a pH of 2, Fig. 1) and one sought to identify the optimal conditions for copper deposition in a reasonable time.

One prepared 3 solutions of different concentrations of CuSO₄ of 0.5%, 1%, 3% by dissolving the calculated amounts of CuSO₄·5H₂O for 250 ml volumetric flasks (stock solutions), (Table 1) and the parameters were measured with multiparameter WTW Multi 350i.

One monitored day by day, the changes of previously measured parameters, with WTW Multi 350i but also the amount of copper deposited (Fig. 2), along with determining the daily

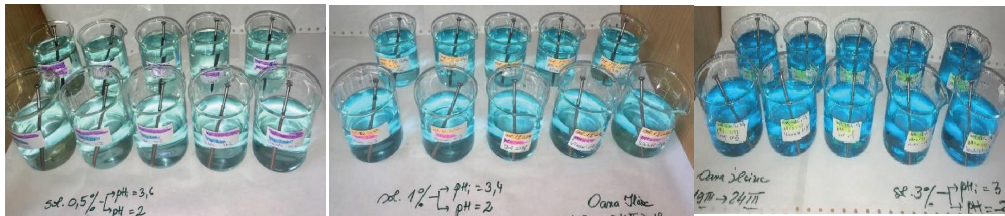


Fig. 1. Samples 3 solutions of different concentrations of CuSO_4 prepared for analysis
Rys. 1. Próbkę 3 roztworów o różnych stężeniach CuSO_4 przygotowane do analizy

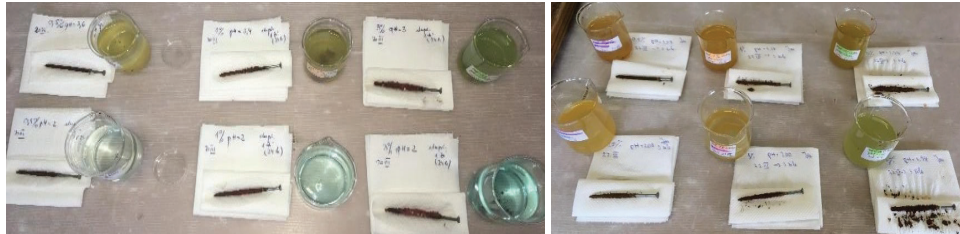


Fig. 2. Samples with the amount of copper deposited on the iron, from different days of the experiment
Rys. 2. Próbkę z ilością miedzi osadzonej na żelazie, z różnych dni eksperymentu

Tab. 3. Yield values for the 3 solutions

Tab. 3. Wartości uzysków dla 3 eksperymentów

Concentration (%)	pH	Optime time (days)	η _{optimal}
0.5	3.6	3	95.23
	2	3	85.71
1	3.4	3	76.2
	2	4	97.62
3	3	3	86.83
	2	4	96.4

concentration of copper ions remaining in solution at AAS ZEE nit 700 spectrometer, so one could calculate the efficiency and daily efficiency of experiments (Table 2).

3. Results

One started the experiment by preparing 3 solutions of different concentrations, of 0.5% CuSO_4 , 1%, 3% by dissolving the calculated amounts of $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ for 250 ml rated flasks. One monitored the changes in previously measured parameters with WTW Multi 350i but also the amount of copper deposited, along with determining the daily concentration of copper ions remaining in solution at the AAS ZEE nit 700 spectrometer, so one could calculate the daily efficiency and effectiveness of our experiments.

For each concentration solution prepared: 0.5% CuSO_4 , 1% CuSO_4 and 3% CuSO_4 were performed laboratory experiments at 2 different pH:

- the natural pH obtained by dissolving CuSO_4 in water;
- pH = 2 (adjustment with 0.1 M sulfuric acid solution).

The variation of salinity is observed, for the 3% pH 2 solution, which is fluctuating, reaching 6.8‰. The variation of the concentration of copper ions is observed, for the 3% solution (12553.14 mg/l) at pH 2, which is decreasing, reaching 175.5 mg/l. It is observed that after 4 days from the experiment, the concentration of copper ions reaches 323.8 mg/l, which gives us the possibility to identify an optimal time for the experiment (Fig. 3).

The synthesis yield is defined as the ratio between the practical mass obtained by copper powder (dry) and the terrorist mass (Călțaru M., Bădicioiu M., 2007).

It is observed that after 4 days the copper recovery efficiency stabilizes at 96.4%. It should be noted that after the first day of the experiment (24 h), the yield is almost 89% (Fig. 4). Which demonstrates the effectiveness of the iron waste used in the cementation method.

Table III shows yields over 95%, for all 3 optimal variants, but the time to obtain the optimal yield will differentiate the overall optimal variant, which one propose to be: concentration of 0.5%, at an initial pH of 3.6 after 3 days of experiment and yield of 95.23%.

4. Discussion

The results obtained for the variation of pH, EC, salinity, copper ion concentration and yield is the follow:

0.5% copper sulphate solution of initial pH = 3.6

The pH variation for the 5 days of the experiment is fluctuating, falling between 3.6–4.1 with an average of 3.88 (note that pH = 4.1 is obtained after 4 days). The variation of the EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) for the 5 days of the experiment is increasing, ranging between 2480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ –2860 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with an average of 2693.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (note that EC = 2860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is obtained after 5 days). The variation of salinity (‰) for the 5 days of the experiment is increasing, ranging between 1.3–1.5‰, with an average of 1.4‰ (note that S = 1.5‰ is obtained after 5 days). The variation of the copper ion concentration (mg/l) for the 5 days of the experiment is decreasing from 2092.19 mg/l to 6.51 mg/l (on the 5th day) which demonstrates that in these conditions the method cementation also helps us in solving the problem of the concentration of copper ions in the used

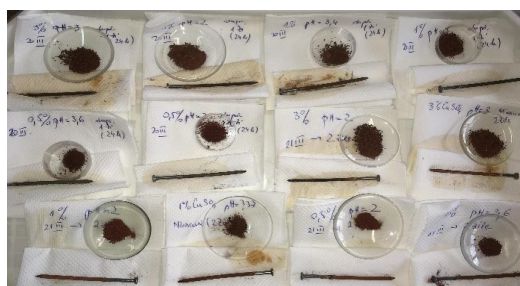


Fig. 3. Samples with the amount of copper deposited on the iron, from different days of the experiment
Rys. 3. Próbkę z ilością miedzi osadzonej na żelazie, z różnych dni eksperymentu



Fig. 4. The amount of copper powder obtained after one day of experiment
Rys. 4. Ilość miedzi otrzymanego po jednym dniu eksperymentu

industrial solution because after 5 days it reaches values below 10 mg/l (a decrease of about 322 times). The calculated synthesis yield is 95.23% after 3 days of experiment.

0.5% copper sulfate solution at adjusted pH = 2

The pH variation for the 5 days of the experiment is increasing, ranging between 2–3.8 with an average of 3.35 (note that pH = 3.8 is obtained after 3 days). The variation of the EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) for the 5 days of the experiment is decreasing starting from 4570–2960 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with an average of 3370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (note that EC = 2960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is obtained after 2 days). The variation of salinity (‰) for the 5 days of the experiment is decreasing, starting from 2.4–1.5‰, with an average of 1.7‰ (note that S = 1.5‰ is obtained after 2 days). The variation of the concentration of copper ions (mg/l) for the 5 days of the experiment is decreasing from 2092.19 mg/l to 10.14 mg/l (on the 5th day), which demonstrates that in these conditions the cementation method also helps us in solving the problem of the concentration of copper ions in the used industrial solution because after 5 days it reaches a value of about 10 mg/l (a decrease of about 209 times). The calculated synthesis yield is 85.71% after 3 days of experiment.

Analyzing the data obtained for the two pH at the 0.5% CuSO_4 solution, it is observed that the optimal conditions for cementation would be for the initial pH = 3.6, because the yield is 95.23%, after 3 days of experiment.

1% copper sulphate solution at initial pH = 3.4

The pH variation for the 5 days of the experiment is fluctuating, falling between 3.4–3.77 with an average of 3.61 (note that pH = 3.77 is obtained after 3 days). The variation of the EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) for the 5 days of the experiment is increasing, ranging between 4250–5040 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with an average of 4691 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (note that EC = 5040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is obtained after 5 days). The variation of salinity (‰) for the 5 days of the experiment

is increasing, falling between 2.3–2.7‰, with an average of 2.51‰ (note that S = 2.7‰ is obtained after 5 days). The variation of the concentration of copper ions (mg/l), for the 5 days of the experiment is decreasing from 4184.38 mg/l to 19.41 mg/l (on the 5th day) which proves that in these conditions the cementation method it also helps us in solving the problem of the concentration of copper ions in the used industrial solution because after 5 days it reaches a value below 20 mg/l (a decrease of about 215 times). The calculated synthesis yield is 76.2% after 3 days of experiment.

1% copper sulphate solution at adjusted pH = 2

The pH variation for the 5 days of the experiment is increasing, ranging between 2–3.65 with an average of 3.12 (note that pH = 3.65 is obtained after 5 days). The variation of the EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) for the 5 days of the experiment is decreasing starting from 6190–5480 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with an average of 5383.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (note that EC = 5480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is obtained after 5 days). The variation of salinity (‰) for the 5 days of the experiment is decreasing, starting from 3.5–3‰, with an average of 2.9‰ (note that S = 3‰ is obtained after 5 days). The variation of the copper ion concentration (mg/l) for the 5 days of the experiment is decreasing from 4184.38 mg/l to 16.03 mg/l (in the 5th day) which proves that under these conditions the method cementation also helps us in solving the problem of the concentration of copper ions in the used industrial solution because after 5 days it reaches a value of about 16 mg/l (a decrease of about 261 times). The calculated synthesis yield is 97.62% after 4 days of experiment.

Analyzing the data obtained for the two pH at the 1% CuSO_4 solution, it is observed that the optimal conditions for cementation would be for adjusted pH = 2, because the yield is 97.62%, after 4 days of experiment.

Solution 3% copper sulfate initial pH = 3

The pH variation for the 5 days of the experiment is fluctuating ranging from 3–3.75 with an average of 3.42 (note that pH = 3.75 is get after 2 days). The variation of the EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) for the 5 days of the experiment is fluctuating, falling between 10290–11980 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with an average of 11418 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (note EC = 11980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is obtained after 5 days). The variation of salinity (‰) for the 5 days of the experiment is increasing, falling between 5.8–6.9‰, with an average of 6.46‰ (note that S = 6.9‰ is obtained after 3 days). The variation of the copper ion concentration (mg/l) for the 5 days of the experiment is decreasing from 12553.14 mg/l to 310.04 mg/l (on the 5th day) which demonstrates that under these conditions the method cementation also helps us in solving the problem of copper ion concentration in the industrialized solution because after 5 days it reaches a value of 310 mg/l (a decrease of about 40 times). The calculated synthesis yield is 86.83% after 3 days of experiment.

3% copper sulphate solution at adjusted pH = 2

The pH variation for the 5 days of the experiment is increasing, falling between 2–3.43 with an average of 2.96 (note that pH = 3.43 is obtained after 4 days). The variation of the EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) for the 5 days of the experiment is fluctuating starting from 11910–11960 $\mu\text{S}/\text{cm}$, with an average of 11421 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (note that EC = 11960 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is obtained after 5 days). The variation of salinity (‰) for the 5 days.

5. Conclusions

The cementation method can recover copper from industrial waste solutions. This study aimed to make a number of original contributions to the particularly complex field of recovery of copper from industrial wastewater by the method of cementation.

The best known reaction for obtaining copper in the laboratory is between iron and copper sulfate. This can be used to obtain copper by depositing it on the piece of metal iron inserted in the industrial water.

95.23% yield of obtaining copper powder indicates the optimal variant at the concentration of 0.5% with an initial pH of 3.6 after 3 days of experiment.

Experimentally it is possible to recover metallic copper powder from wastewater with low copper ion content, by the cementation method using a scrap iron electrode, without consuming other reagents or energy.

6. Acknowledgments

Faculty of Environmental Science and Engineering, Babes-Bolyai University, Cluj Napoca for the WTW Multi 350i multiparameter and AAS ZEEnit 700 Analytik Jena spectrometer. Faculty of Mining University of Petrosani for research in the Ecopedology Laboratory.

Literatura – References

1. Călțaru M., Bădicioiu M., 2007, Cercetări privind extracția cuprului cu membrane lichide pe support solid de timp fibră tubulară, *Revista de Chimie*, 58, pp. 1112-1116
2. Fenglian Fu, Qi Wang, 2011, Removal of heavy metal ions from wastewaters. A review, *Journal of Environmental Management*, 92, pp. 407-418
3. Gunatilake S.K., 2015, Methods of removing heavy metals from industrial wastewaters, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 1, pp. 2912-1309
4. <https://umfcd.ro/cercetare-si-dezvoltare/proiecte/proiecte-nationale/dezvoltarea-de-solutii-inovative-pentru-protectia-personalului-expus-profesional-si-a-populatiei-impotriva-contaminarii-cu-virusul-SARS-COV-2> Moscatello N., Swayambhu G., Jones G.H., Jiale Xu,
5. Mubarak A., 2006, Removal of copper from dilute solutions by cementation on zinc in baffled batch-agitated vessels, *Chem Biochem Eng*, 20, pp. 79-83
6. Nassef E., El-Taweel Y.A., 2015., Removal of Copper From Wastewater By Cementation From Simulated Leach Liquors, *J Chem Eng Process Technol*, 6, pp. 1-6
7. Ning Dai, Pfeifer B.A., 2018, Continuous removal of copper, magnesium, and nickel from industrial wastewater utilizing the natural product yersiniabactin immobilized within a packed-bed column, *Chemical Engineering Journal*, pp. 173-179
8. Peña M.M., Lee J., Thiele D.J., 1999, A delicate balance: homeo static control of copper uptake and distribution, *J. Nutr.*, 129, pp.1251-1260
9. Peng C., Liu Y., Bi J., Xu H., Ahmed A.S., 2011, Recovery of copper and water from copper-electroplating wastewater by the combination process of electrolysis and electrodialysis, *Journal of Hazardous Materials*, 189, pp. 814-820
10. Solomon F., 2009, Impacts of Copper on Aquatic Ecosystems and Human Health, *Environment & Communities*, pp. 25-28
11. EL-Ashtoukhy E.S.Z., Abdel A.M.H., 2013, Removal of copper from aqueous solutions by cementation in a bubble column reactor fitted with horizontal screens, *International Journal of Mineral Processing*, pp. 65-69.

Badania nad odzyskiwaniem miedzi z roztworów odpadów przemysłowych metodą cementacji

Artykuł dotyczy szczególnie złożonej dziedziny odzyskiwania miedzi ze ścieków przemysłowych. Celem badań eksperymentalnych jest odzyskanie proszku miedzi metalicznej ze ścieków o niskiej zawartości jonów miedzi metodą cementacji z użyciem elektrody złomowej oraz obliczenie wydajności cementacji miedzi, na którą mają wpływ następujące parametry: początkowe stężenia jonów miedzi, wartości pH i czas kontaktu. Receptury zostały eksperymentalnie zbadane metodą cementacyjną do odzyskiwania miedzi z przemysłowo stosowanych roztworów przy użyciu odpadów żelaznych, bez zużycia innych odczynników i energii. Opracowano receptury pracy i wybrano trzy różne stężenia: dla każdego roztworu o przygotowanym stężeniu: 0,5% CuSO₄, 1% CuSO₄ i 3% CuSO₄ oraz wykonano eksperymenty laboratoryjne dla dwu wartości pH (naturalne pH uzyskane przez rozpuszczenie CuSO₄·5H₂O w wodzie, pH = 2 (regulacja 0,1 M roztworem kwasu siarkowego). Optymalne warunki dla każdej receptury zostały określone na podstawie danych doświadczalnych uzyskanych z monitorowania każdego eksperymentu. Badania przeprowadzono na spektrometrze WTW Multi 350i i AAS ZEnit 700 Analytik Jena. Obliczenie wydajności otrzymywania miedzi dla każdego eksperymentu i dla każdej receptury łącznie, doprowadziły do wniosku, że optymalnym wariantem eksperymentu jest: stężenie 0,5%, przy początkowym pH 3,6 po 3 dniach doświadczenia, uzyskano wydajność 95,23%.

Słowa kluczowe: odzyskiwanie miedzi, oczyszczanie ścieków, metoda cementacji



Informacja o oszczędności energii i jej rola w procesie podejmowania decyzji zarządczych

Mariusz SANGÓRSKI¹⁾

¹⁾ KGHM Polska Miedź S.A.; email: Mariusz.Sangorski@kghm.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-09>

Submission date: 09-01-2022 | Review date: 12-03-2022

Abstrakt

Pojęcie „oszczędności energii” często bywa rozumiane jako różnica w zużyciu energii w dwóch różnych okresach – „bazowym” i „raportowania”. Takie intuicyjne rozumienie, choć jest reprezentowane w niektórych normatywach (krajowych ale i międzynarodowych) jest niezgodne z definicją „oszczędności” wyrażoną w aktach prawnych i może prowadzić do podejmowania – nawet w najlepszej wierze – błędnych decyzji zarządczych. W tym kontekście, prawidłowe (czyli mające sens biznesowy) określenie wielkości osiągniętych oszczędności jest kluczowe dla podjęcia decyzji, których rezultatem, w konsekwencji skutecznie przeprowadzonych działań proefektywnościowych, ma być poprawa efektywności energetycznej przedsiębiorstwa. W niniejszej pracy autor przedstawił rozważania dotyczące różnorodnego podejścia do pojęcia „oszczędności” w różnych standardach zarządczych i operacyjnych w celu zrozumienia mechanizmu jej określania. Wartością dodaną pracy, oprócz ustalenia formuły, której wykorzystanie umożliwi prawidłowe określenie oszczędności, jest przedstawienie łatwej w zastosowaniu metody oceny jakości informacji o oszczędności z perspektywy jej przydatności zarządczej.

Słowa kluczowe: oszczędność energii, energetyczna linia bazowa, okres bazowy, okres raportowania

1. WSTĘP

1.1. Kontekst ogólny

„Oszczędność energii” jest miernikiem rezultatu działań, zamierzonych lub nie, wpływających na poprawę (lub pogorszenie) efektywności energetycznej. Zatem rozważając pojęcie „oszczędności energii” powinno rozważać się kwestie poprawy efektywności energetycznej rozumianej jako cel do osiągnięcia, określony m.in. europejskich (DYREKTYWA 2006/32/WE, 2006), (Dyrektywa 2012/27/UE, 2012), (Dyrektywa 2018/2002, 2002) krajowych aktach legislacyjnych (Ustawa efektywności energetycznej, 2016).

Dlaczego należy poprawiać efektywność energetyczną? Ponieważ przedsiębiorstwo lepiej gospodarując zużywaną energią poprawia swoją pozycję na rynku, umożliwiając sobie przetrwanie, więc ochronę swoich pracowników. To ważny powód – ale ważniejszym jest ochrona środowiska, którego stan ma wpływ na wszystkich.

Poprawę efektywności energetycznej można traktować jako proces, którym „oszczędność”, będąca wskaźnikiem skuteczności podejmowanych działań, jest jednym mierników skuteczności (KPI) tego procesu. Tam, gdzie taka informacja jest wykorzystywana do podejmowania decyzji, powinna ona odzwierciedlać rzeczywistość. Czy jest możliwe, że wyznaczona, nawet zgodnie normami, wielkość oszczędności będzie informacją niskiej jakości i, jako taka, będzie nie tylko nieprzydatna ale zarządczo szkodliwa? Tak, to możliwe. Stan taki może być rezultatem zaistnienia kilku czynników, którymi mogą być:

- brak świadomości adresata do czego wiedza oszczędności jest mu potrzebna więc czego tak naprawdę chce się dowiedzieć;
- różne rozumienie określenia „oszczędność” – to zarówno przez adresatów informacji jak jej autorów;
- nieweryfikowanie jakości informacji przez jej odbiorców – czyli przyjmowanie informacji „na wiarę”.

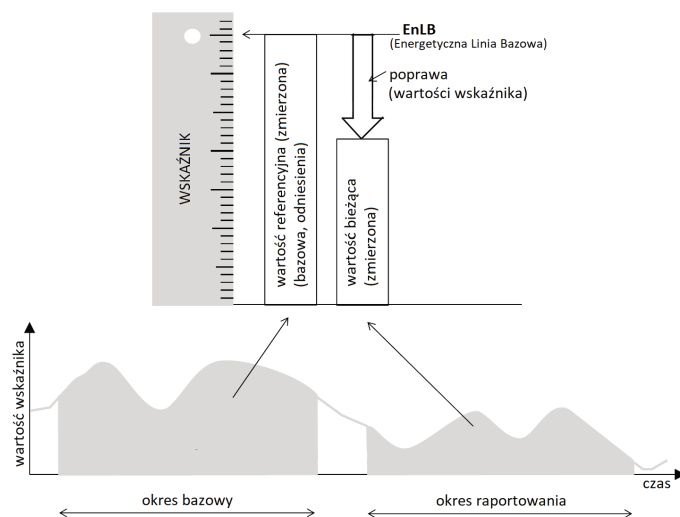
Nietrafione decyzje skutkują obniżeniem wartości przedsiębiorstwa, zmniejszeniem jego konkurencyjności oraz, co najważniejsze, postępującą degradacją postaw pracowniczych, dlatego niniejszej pracy zaprezentowano sposób obsługi ryzyka związanego niskiej jakości informacją zarządczą.

Sposób ten bazuje na zrozumieniu czym jest „oszczędność” – jej aspekcie prawnym, normatywnym pragmatycznym – co pozwala na opisanie sposobu jej określenia oraz dostarczenie kryteriów oceny jakości przedstawianej informacji „oszczędności”, których zastosowanie może wpłynąć pozytywnie na skuteczność zarządzania.

Bazę pojęć wykorzystywanych niniejszej pracy stanowi norma PN-EN ISO 50001:2018-09, ponieważ do tej normy odwołuje się Ustawa efektywności energetycznej (Ustawa efektywności energetycznej, 2016).

1.2. Poprawa efektywności energetycznej

Efektywność energetyczna to „stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii” (DYREKTYWA 2006/32/WE, art. 3b, 2006). Poprawa efektywności to „zwiększenie efektywności końcowego wykorzystania energii dzięki zmianom technologicznym, gospodarczym lub zmianom zachowań” (tamże, art. 3c), podobnie jak (ISO/IEC 13273-1, 2015) (ISO 17742:2015, 2015). Odwrotnością efektywności jest energochłonność którą można zdefiniować jako „stosunek wkładu energii do uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii”. Obie miary są równoprawne (Dyrektywa 2012/27/UE, art. 3.1, 2012) choć odzwierciedlają nieco inną perspektywę postrzegania celu stosowania miary: przy efektywności uwagę kierujemy na zwiększenie wydajności przy stałym zużyciu energii, przy energochłonności koncentrujemy się na zmniejszeniu zużycia energii potrzebnym do wytworzenia jednostki produktu procesu. Organizacja powinna zdecydować, którą miarę wykorzystywać przy



Rys. 1. Koncepcja określenia zmiany wartości wskaźnika na podstawie porównania jego wartości zmierzonych w dwóch różnych okresach (źródło (ISO 50006, 2014), rysunek 3 po edycji autora)

Fig. 1. Concept of determining the change of the EnPI based on comparing of the measured EnPI value from different periods (source: (ISO 50006, 2014), fig 3 edited by author)

świadomości jej percepcji przez jej użytkowników. KGHM, gdzie celem nadrzędnym jest zmniejszenie zużycia energii przy niezmiennym wolumenie produkcji wykorzystywana jest „energochłonność”.

Co zatem oznacza sformułowanie „poprawa efektywności” czyli także „poprawa energochłonności”: czy możemy mówić poprawie energochłonności jeśli uległa ona zmniejszeniu (np. rok do roku)? Czy zwiększenie energochłonności oznacza jej pogorszenie? Niekoniecznie.

Porównanie różnych wartości wskaźnika źródłowego (tu: energochłonności) jest przeprowadzane najczęściej dziedzinie czasu, np. rok do roku (czyli porównujemy wartości średnioroczne dwóch różnych, zwykle kolejnych lat). Nazwijmy rok wcześniejszy okresem bazowym następujący po nim okresem raportowania. Porównujemy zatem np. średnioroczną wartość okresu bazowego (wartość referencyjną, bazową, odniesienia – określaną także jako Energetyczna Linia Bazowa, EnLB (PN-EN ISO 50001:2018-09, 2019), def. 3.4.7) okresu raportowania (wartość bieżąca, zmierzona) wynikiem porównania jest ich różnica. Takie podejście prezentowane jest normie ISO 50006 (ISO 50006, 2014), skąd pochodzi ilustrujący je rysunek 1.

Rysunek wymaga kilku wyjaśnień.

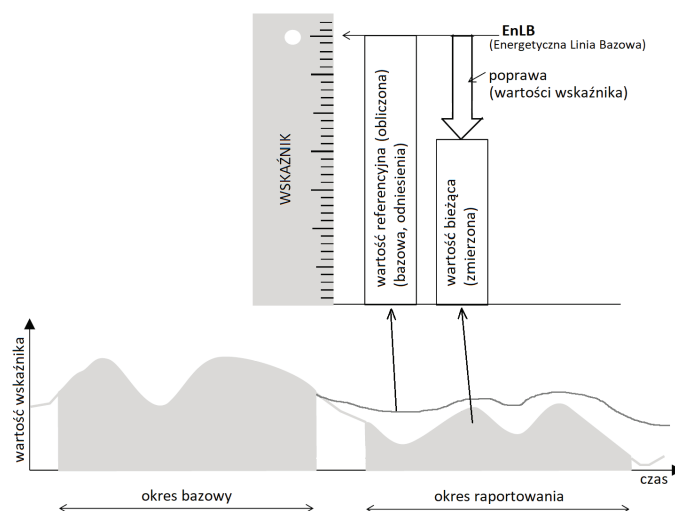
W oryginalnej normie ISO 50006 (która nie ma statusu Polskiej Normy) na określenie różnicy między wartościami wskaźników użyto słowa “improvement”. Mimo, że określenie to nie jest poprawne (punktu widzenia analizy, której dalej) pozostawiono je (choć przekreślone) dla zachowania zgodności oryginałem, dodano jednak określenie prawidłowe („zmiana”).

Drugą kwestią jest wyjaśnienie pojęcia „Energetycznej Linii Bazowej, EnLB”, które PN-EN ISO 50001:2018-09 zdefiniowane jest następująco: „odniesienie(-a) ilościowe stanowiące podstawę do porównywania wyniku energetycznego” (PN-EN ISO 50001:2018-09, 2019, def. 3.4.7). Oznacza to, że EnLB jest po prostu wartością odniesienia, do której porównywana jest wartość bieżąca. Zaznaczyć należy, że choć EnLB bazuje na danych ustalonego okresu, ten nie jest definitywnie ustalony.

Wyjaśnienia wymaga jeszcze pojęcie „wyniku energetycznego” zdefiniowanego następująco: „wynik energetyczny - wymierny(-e) rezultat(-y) związany(-e) efektywnością energetyczną, wykorzystaniem energii zużyciem energii” (PN-EN ISO 50001:2018-09, 2019, def. 3.4.3), co oznacza, że przez „wynik energetyczny” należy rozumieć jakąkolwiek miarę związaną zarządzaniem energią: jej zużycie (konsumpcję), efektywność jej wykorzystania lub sposób jej wykorzystania.

Zdefiniowany sposób wyżej opisany nowy wskaźnik wyników, którym jest zmiana energochłonności jest wskaźnikiem ilościowym, którego wartość „odpowiada na pytanie”: „ile wartość zmieniła się rozważanym okresie”. przypadku energochłonności możemy powiedzieć, np. że ciągu roku energochłonność wzrosła (zmieniła się + wartość). Oczywiście, zwiększenie energochłonności nie jest pożądane jednak stwierdzenie, że skoro energochłonność się zwiększyła to oznacza, że się pogorszyła, nie jest uprawnione. Zamiana stwierdzenia „niepożądane” na ocenę „pogorszenie” jest zmianą typu oceny (ilościowej na jakościową) może prowadzić do błędnych decyzji zarządczych. Prawidłowa ocena jakościowa musi opierać się na wskaźniku jakościowym, bazującym na porównaniu dwóch wartości wskaźnika źródłowego (energochłonności) odzwierciedlającego identyczne warunki pomiarowe. Kwestia dokonywania porównania identycznych warunkach pomiarowych jest kwestią fundamentalną jako taka traktowana jest wielu standardach „jakościowych”: (ISO 17742:2015, 2015), (ISO 50006, 2014), (ISO 17741, 2016), (IMPVP, 2010), (ASHRAE Guideline 14, (2002), (UNIDO, (2015), (Energy Baseline Methodologies for Industrial Facilities (2017). Uzyskanie takich warunków dwóch różnych okresach jest mało prawdopodobne dlatego należy porównywać wartości tego samego okresu, okresu raportowania. Ale aby dokonywać porównania potrzebne są dwie różne wartości mamy tylko jedną, energochłonność zmierzona okresie raportowania. Skąd wziąć drugą wartość? Trzeba ją oszacować, obliczyć.

Wartość ta ma odpowiadać na pytanie: jaka byłaby wartość wskaźnika, gdyby proces funkcjonował tak jak okresie wcześniejszym (poprzednio zwanym okresem bazowym ale teraz już nie) ale warunkach jak okresie raportowania. Aby



Rys. 2. Koncepcja określenia poprawy wartości wskaźnika na podstawie porównania jego wartości obliczonej i zmierzonej – obu w okresie referencyjnym (źródło (ISO 50006, 2014, rysunek 3) po edycji autora)

Fig. 2. Concept of determining the EnPI value improvement based on comparing of the EnPI value calculated and measured from reporting period (source: (ISO 50006, 2014, fig 3) edited by author)

obliczyć tę wartość należy opisać sposób funkcjonowania procesu okresie wcześniejszym – np. za pomocą modelu matematycznego odzwierciedlającego zależność zmiennej zależnej (tu: energochłonności) od czynników, które na tę energochłonność wpływają – modelowaniu określane są one jako zmienne niezależne, mogą nimi być np. czynniki pogodowe (temperatura, ciśnienie), wydajność procesu wyrażona wolumenem produkcji itp. Różnica między wartością energochłonności rzeczywistej (zwaną wartością zmierzoną) okresie raportowania obliczoną, hipotetyczną energochłonnością okresie raportowania (zwaną też wartością przewidzianą lub estymowaną) jest wartością nowego wskaźnika – jest to wskaźnik jakościowy nazywany poprawą, tu: poprawą energochłonności.

Koncepcja ta, tyle, że użyciem różnego nazewnictwa, jest powszechnie stosowana opisana standardach – oprócz wskazanych wcześniej także (ISO 17743 (2019), (ISO 50047, (2016), (ISO 50015, (2014) (M&V Guidelines, (2015). Konsternację może budzić stwierdzenie, że obie koncepcje (ilościowa jakościowa) opisane są normie ISO 50006:2014 – jest to efekt konstrukcji normy, która będąc zamiarze autorów, źródłem szczegółowej wiedzy nt. stosowania metody oceny wyniku energetycznego na podstawie porównania wartości wskaźników: bieżących bazowymi, jest równocześnie wewnętrznie niespójna (co jest przyczyną wprowadzania błęd czytelników podchodzących do norm literalnie).

Koncepcję wskaźnika jakościowego ilustruje rysunek 2 przedstawiający odpowiednio zmodyfikowaną wersję rysunku 1.

Czy zatem jest możliwe, że energochłonność uległa zwiększeniu mimo to nastąpiła jej poprawa? Jak najbardziej. Zwykle jest tak dlatego, że skutkiem zrealizowanych działań proefektywnościowych energochłonność zmniejszyła się porównaniu do energochłonności, którą charakteryzowałby się proces gdyby tych działań nie przeprowadzono. Dokonanie oceny jakościowej na podstawie wskaźnika ilościowego takiej sytuacji doprowadziłoby do wniosku, że przeprowadzone działania proefektywnościowe były nieskuteczne – co przecież rozważanej sytuacji nie miało miejsca.

Nieprawidłowy wniosek może skutkować nieprawidłową decyzją (np. „należy zaniechać działań proefektywnościowych”) której szkodliwość dla organizacji pozostaje poza dyskusją. Skoro energochłonność się poprawiła skąd zatem jej wzrost? rozważanym przypadku zwiększenie energochłonności mogło być efektem wpływu jakiegoś czynnika związanego procesem (np. pogorszeniem warunków jakich proces był realizowany).

1.3. Oszczędność energii - przegląd normatywów

Bezpośrednim rezultatem poprawy efektywności jest zawsze poprawa zużycia energii, definiowana podobnie jak poprawa energochłonności. Miernik tej poprawy to „oszczędność energii” aktach prawa międzynarodowego jest zdefiniowana następująco: „ilość zaoszczędzonej energii ustalona poprzez pomiar lub oszacowanie zużycia przed po wdrożeniu jednego lub kilku środków poprawy efektywności energetycznej przy jednoczesnym zapewnieniu normalizacji warunków zewnętrznych wpływających na zużycie energii;” (DYREKTYWA 2006/32/WE, 2006, art. 3d). Ustawie efektywności energetycznej „oszczędność energii” została zdefiniowana podobnie: „ilość energii stanowiącą różnicę między energią potencjalnie zużytą przez obiekt, urządzenie techniczne lub instalację danym okresie, przed zrealizowaniem jednego lub kilku przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej, energią zużytą przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację takim samym okresie, po zrealizowaniu tych przedsięwzięć po uwzględnieniu znormalizowanych warunków zewnętrznych wpływających na zużycie energii;” (Ustawa efektywności energetycznej, 2016, art. 2.10).

Autor niniejszej pracy (oraz ustawodawcy krajowi) uznają, że definicje te, jako mające wartość praktyczną, są definicjami wzorcowymi – nawet, jeśli inne definicje oszczędności pojawiły się wcześniej.

Pojęcie „oszczędności” bywa rozumiane odmiennie od zamierzeń autorów Dyrektyw UE polskiego ustawodawcy: intuicyjnie (jako rezultat nieprawidłowej interpretacji wskaźnika ilościowego) lub zgodnie ze standardami międzynarodowymi, tym normami ISO, których to pojęcie jest definiowane różnie. Można zatem, posługując się standar-

Tab. 1. Podsumowanie prezentowanych w standardach zarządzania energią podejść dot. oszczędności
 Tab. 1. Summary of the energy management standards approaches to determine energy saving

nazwa standardu	stosowana w standardzie nazwa wskaźnika efektywności	typ wskaźnika	formuła wyznaczania wartości wskaźnika efektywności
ISO 50001:2018 [8]	poprawa wyniku energetycznego	ogólny	$\Delta E = EnB$ - improvement in energy efficiency/consumption
		ilościowy	$\Delta E =$ Reference EnPI value - current EnPI value
		jakościowy	$\Delta E =$ expected energy consumption - actual energy consumption
PN-EN 16212:2012 [18]	poprawa efektywności energetycznej, oszczędność energii (całkowita, autonomiczna, indukowana prawnie, dodatkowa)	ilościowy	ΔE top-down = reference energy consumption (from the base year)- energy consumption in the considered period
		jakościowy	ΔE bottom-up = energy consumption in the absence of end-user-actions - energy consumption after end-user actions
ISO 50006:2014 [7]	poprawa wyniku energetycznego	ilościowy	$\Delta E =$ Total energy consumption of baseline period - Total energy consumption of reporting period
		ilościowy	$\Delta E =$ Reference EnPI value - current EnPI value
		jakościowy	$\Delta E = E_{rep_est} - E_{rep_act}$
		jakościowy	$\Delta E =$ normalized EnB - Energy reported actual
		ilościowy	$\Delta E =$ expected energy consumption - Energy reported actual
		jakościowy	$\Delta E =$ Energy reported estimated - Energy reported actual
		ilościowy	$\Delta E =$ Reference EnPI - current EnPI
ilościowy	$\Delta E = EnB$ - current EnPI		
ISO 13273-1:2015 [5]	poprawa efektywności energetycznej, oszczędności energii	jakościowy	$\Delta E =$ energy consumption following implementation of an energy performance improvement action
ISO 17741:2016 [9]	oszczędności energii	jakościowy	$\Delta E =$ Adjusted energy baseline - energy consumption during the reporting period
ISO 17742:2015 [6]	poprawa efektywności energetycznej, uznane oszczędności, oszczędności energii zrealizowane, oczekiwane	jakościowy	$\Delta E =$ energy baseline - energy consumption
ISO 17743:2016 [14]	oszczędności energii	ilościowy	$\Delta E_{unadj.} =$ Energy baseline - energy consumption during the reporting period
		jakościowy	$\Delta E_{adj.} =$ Adjusted energy baseline - energy consumption during the reporting period
ISO 50046:2019 [15]	oszczędność energii	ilościowy	$\Delta E = EnB$ - (predicted) energy consumption
ISO 50047:2016 [16]	oszczędność energii	jakościowy	$\Delta E =$ EnB after adjusting - (predicted) energy consumption
		jakościowy	$\Delta E =$ normalized EnB - (predicted) energy consumption
		ilościowy	$\Delta E = EnB$ - (predicted) energy consumption
ISO 50015:2014 [17]	poprawa wyniku energetycznego	jakościowy	$\Delta E = EnB$ - measurable results of energy efficiency, or energy consumption related to energy use
ASHRAE [11]	oszczędności, oszczędności energii, "uniknięte" użycie energii	jakościowy	$\Delta E =$ preretrofit baseline - postretrofit reporting period
Energy Baseline Methodologies for Industrial Facilities [13]	oszczędności energii, poprawa wyniku energetycznego	jakościowy	$\Delta E =$ Expected consumption - Actual consumption
		jakościowy	$\Delta E = EnB$ with adjustments - Actual consumption
UNIDO [12]	oszczędność, oszczędności energii	ilościowy / jakościowy	$\Delta E = EnB$ - considered consumption (actual or future)
M&V Guidelines [19]	oszczędności	jakościowy	ΔE (Savings) = (Baseline Energy – Post-Installation Energy) ± Adjustments
The Uniform Methods Project [20]	oszczędności: projektowane, przejęte, ocenione, brutto, netto	ilościowy / jakościowy	Energy Savings = (Baseline-Period Energy Use – Reporting-Period Energy Use) ± Adjustments

dami, określić oszczędność energii nie będzie ona informacją zgodną definicją wzorcową ani miarodajną jej wykorzystanie może spowodować błędne decyzje zarządcze.

Zgodnie Dyrektywą (Dyrektywa 2012/27/UE, 2012), Ustawą (Ustawa efektywności energetycznej, 2016) normą ISO 50001 (PN-EN ISO 50001:2018-09, 2019) ogólna formuła pozwalająca określić poprawę wyniku energetycznego (oszczędności, poprawy efektywności lub energochłonności - ΔE) może zostać zapisana następująco:

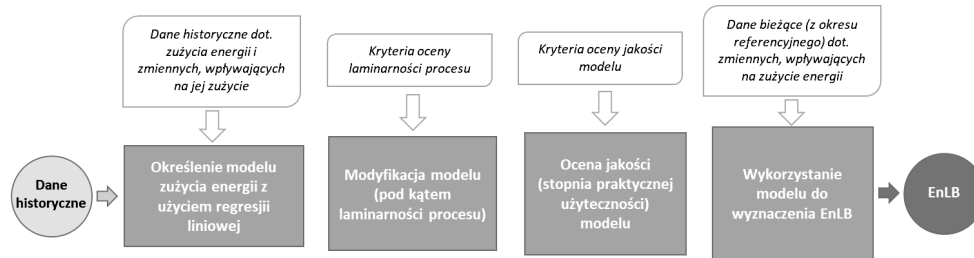
$$\Delta E = \text{wartość EnLB (obliczona)} - \text{wartość bieżąca (zmierzona)} \quad (1)$$

Różnice określaniu „oszczędności” mają swoje źródło różnej terminologii, różnie określanej EnLB różnie przyjmowanej wartości bieżącej.

W tabeli 1 zaprezentowano wyniki analizy przykładowych norm standardów, odnoszących się do kwestii oszczędności. Ponieważ większość tych standardów nie ma swoich polskich wersji, autor zachował oryginalne sformułowania. Celem prezentacji tych informacji jest zdemontowanie, jak bardzo standardy odnoszące się do tej samej kwestii (poprawy wyniku energetycznego wyrażonej przez poprawę efektywności lub oszczędność energii) wykorzystujące jedno dwóch dostępnych podejść (lub oba na raz): ilościowe lub jakościowe, są ze sobą niespójne na poziomie słownictwa na poziomie rozumienia koncepcji jako takiej. Niespójność ta może prowadzić do nieporozumień, jeśli komunikacja między stronami bazuje na literalnym podejściu do pojęć zamiast na zrozumieniu ich desygnatów.

Rys. 3. Opis mechanizmu generowania EnLB (opracowanie własne)

Fig. 3. Mechanism of creating the Energy Baseline (own work)



Tab. 2. Kryteria oceny jakości informacji odnośnie do oszczędności „ex ante”

Tab. 2. Criteria for assessing the quality of information on ex-ante savings

Kryterium oceny (opis wymagania)	Materiałny dowód spełnienia wymagania
Określenie oszczędności szacowanej do osiągnięcia polega na porównaniu zużycia energii - obliczonego dla przebiegu rozważanego procesu bez modyfikacji - z obliczonym dla przebiegu procesu zmodyfikowanego. Obliczenia dotyczą tego samego okresu (raportowania) i warunków w przyszłości (po zrealizowaniu działań proefektywnościowych).	1. Metodyka określania oszczędności jest udokumentowana i zawiera m.in. opis sposobu obliczania zużycia energii. 2. Metodyka obliczania zużycia energii jest udokumentowana i zawiera m.in.: - opis sposobu tworzenia modelu zużycia energii, - opis sposobu oceny jego jakości (praktycznej przydatności), - opis wykorzystania modelu.
Formuła wykorzystana do obliczenia zużycia energii w okresie raportowania (dla przebiegu procesu bez modyfikacji i zmodyfikowanego) - model zużycia energii - opisuje zależność zużycia energii od czynników, mających wpływ na to zużycie.	3. Model zużycia energii ma postać umożliwiającą ocenę spełnienia wymagania.
Model zużycia energii bazuje na danych (dot. zużycia energii i czynników mających wpływ na to zużycie) z okresu, w którym proces zużywający rozważaną energię przebiegał wzorcowo, laminarnie (tzn. bez zakłóceń) lub też wykorzystywany jest mechanizm detekcji i prawidłowej eliminacji zakłóceń.	4. Metodyka budowy modelu zużycia energii zawiera opis kryteriów oceny przebiegu procesu od kątem jego wzorcowości lub laminarności . 5. Proces i rezultat oceny przebiegu procesu (wzorcowego lub laminarnego) w oparciu o kryteria oceny jest udokumentowany. 6. Jeśli wykorzystywany jest mechanizm detekcji i eliminacji złążeń to jest on udokumentowany.
Model zużycia energii jest odpowiedniej jakości (praktycznie przydatny) tzn. określone przy jego wykorzystaniu zużycie energii jest miarodajne.	7. Metodyka budowy modelu zużycia energii zawiera opis kryteriów oceny jakości (praktycznej przydatności modelu zużycia energii).

Tab. 3. Kryteria oceny jakości informacji odnośnie do oszczędności „ex post”

Tab. 3. Criteria for assessing the quality of information on ex-post savings

Kryterium oceny (opis wymagania)	Materiałny dowód spełnienia wymagania
Określenie oszczędności osiągniętej polega na porównaniu zmierzonego zużycia energii z obliczonym zużyciem energii - w tym samym okresie (raportowania) - czyli dla warunków z okresu raportowania.	1. Metodyka określania oszczędności jest udokumentowana i zawiera m.in. opis sposobu określania EnLB. 2. Metodyka określania EnLB jest udokumentowana i zawiera m.in.: - opis sposobu tworzenia modelu zużycia energii, - opis sposobu oceny jego jakości (praktycznej przydatności), - opis wykorzystania modelu do określenia EnLB.
Formuła wykorzystana do obliczenia zużycia energii w okresie raportowania (model zużycia energii) opisuje zależność zużycia energii od czynników, mających wpływ na to zużycie.	3. Model zużycia energii ma postać umożliwiającą ocenę spełnienia wymagania.
Model zużycia energii bazuje na danych (dot. zużycia energii i czynników mających wpływ na to zużycie) z okresu, w którym proces zużywający rozważaną energię przebiegał laminarnie, tzn. bez zakłóceń lub też wykorzystywany jest mechanizm detekcji i prawidłowej eliminacji zakłóceń.	4. Metodyka budowy modelu zużycia energii zawiera opis kryteriów oceny laminarności przebiegu procesu. 5. Proces i rezultat oceny laminarności przebiegu procesu w oparciu o kryteria oceny jest udokumentowany. 6. Jeśli wykorzystywany jest mechanizm detekcji i eliminacji złążeń to jest on udokumentowany.
Model zużycia energii jest odpowiedniej jakości (praktycznie przydatny) tzn. określona przy jego wykorzystaniu EnLB jest miarodajna.	7. Metodyka budowy modelu zużycia energii zawiera opis kryteriów oceny jakości (praktycznej przydatności modelu zużycia energii).

Ponieważ podejście jakościowe jest jedynym, którego wykorzystanie zapewnia wsparcie skutecznego procesu decyzyjnego obszarze zarządzania energią, tabeli 1 oznaczono je kolorem zielony. Zaznaczyć należy, że kwalifikacja stosowanego podejścia jako ilościowe lub jakościowe bazuje na analizie treści standardu prezentuje stanowisko autora zestawienia.

Problematyka systemowego zarządzania energią Polsce bazuje na normie międzynarodowej ISO 50001 więc występujące tej normie słownictwo powinno być wykorzystywane takim samym znaczeniu jak normie. Jednakże normie tej nie ma szczegółów technicznych dotyczących konkretnych metodyk, należy po nie sięgnąć do jakiegoś normatywu technicznego. Naturalnym wyborem powinna być norma ISO 50006, która jednak nie znajduje się w zbiorze Polskich Norm jej spójność wewnętrzna normą ISO 50001 jest dyskusyjna [Aktualnie (4 kwartał 2021 r) norma ISO 50006 znajduje się fazie aktualizacji która ma na celu także poprawę jej spójności]. Status Polskiej Normy ma inny, europejski standard: PN-EN 16212 (PN-EN 16212, (2012). normie tej zaprezentowane są obydwa podejścia do określania oszczędności: ilościowe (metoda „top-down”) jakościowe (metoda „bottom-up”), pozostawiając użytkownikowi wybór metody (domyśle, wygodniejszej do zastosowania) różnicując rezultat jej zastosowania jedynie określeniem rodzaju oszczędności (całkowita, autonomiczna, indukowana prawnie, dodatkowa).

Jak widać, systemie standaryzacyjnym panuje umiarkowany porządek, zatem zamiast bezrefleksyjnie trzymać się normatywów należy zrozumieć praktyczną przydatność koncepcji oceny jakościowej procesu poprawy efektywności energetycznej – zgodnie definicją wzorcową – ją właśnie stosować.

1.4. Określanie oszczędności – przypadek KGHM Polska Miedź. S.A.

KGHM Polska Miedź S.A. od 2016 roku funkcjonuje system zarządzania energią (SZE) oparty na normie ISO 50001 (dokładnie PN-EN ISO 50001:2012), którego zgodność wymaganiami zaktualizowanej normy ISO 50001:2018 potwierdzono odpowiednim certyfikatem roku 2020. ramach SZE podczas corocznego przeglądu energetycznego określana jest oszczędność osiągnięta roku poddawanych przeglądowi (raportowania). Oszczędność ta jest wynikiem porównania zużycia energii wykorzystanej roku raportowania (zmierzonej wartości bieżącej) energetyczną linią bazową (EnLB) – wg formuły (1). EnLB reprezentuje, zgodnie definicją wzorcową oszczędności, estymowane okresie raportowania zużycie en-

ergii procesie funkcjonującym tak, jak przebiegał on wtedy, gdy nie zachodziły nim żadne zmiany (przypomnijmy: świadome lub nieświadome).

Do wygenerowania EnLB wykorzystywany jest model zużycia energii (jako rezultat regresji liniowej), bazujący na danych okresu referencyjnego, odzwierciedlających laminarny przebieg analizowanego procesu. Przebieg tego procesu przedstawiony jest na rys. 3.

Bardziej szczegółowy opis wykorzystywanej KGHM metodyki można znaleźć (Sangórski, Wierzbic, 2020).

2. OCENA INFORMACJI „OSZCZĘDNOŚCI”

Spośród zdefiniowanych aktach legislacyjnych normatywnych „oszczędności”, oparciu kryteria celu wykorzystania tej informacji, można wyróżnić jej dwa główne typy:

- oszczędność osiągniętą (jako rezultat zmian które zaszły procesie), tzw. „ex post”;
- oszczędność szacowaną do osiągnięcia (jako potencjalny rezultat wprowadzenia zmian do procesu) – tzw. „ex ante”.

W tabeli 2 i 3 przedstawione są dwie grupy kryteriów oceny jakości informacji, których wykorzystanie pozwoli sprawdzić, czy informacja otrzymana jest tą oczekiwaną – czyli czy można ją wykorzystać procesie zarządzczym.

3. PODSUMOWANIE

Osoba skoncentrowana na skutecznym zarządzaniu powinna podejmować decyzje na podstawie faktów, zgodnie wyrażoną ISO 9000 zasadą zarządzania (PN-EN ISO 9000, 2015, 2.3.6). Jest to nie tylko fundament zarządzania dyktowany zdrowym rozsądkiem ale wymaganie dwóch kluczowych dla zarządzania energią norm: ISO 9001 ISO 50001. Autor zgadza się ze stwierdzeniem, że „Jest bardziej prawdopodobne, że decyzje podejmowane na podstawie analizy oceny danych informacji dostarczą pożądaných wyników” (PN-EN ISO 9000, 2.3.6.1).

Fakty to nie tylko informacje historyczne ale miarodajne oszacowania oraz, co najważniejsze, świadomość prawidłowo zdefiniowanego celu.

W kontekście zarządzania energią „oszczędność” można traktować jako kluczowy wskaźnik wydajności (KPI, (Parmenter (2016)) procesie poprawy efektywności energetycznej przedsiębiorstwa – dobrze więc, aby wskaźnik ten był reprezentatywny, miarodajny praktycznie przydatny.

Literatura – References

1. DYREKTYWA 2006/32/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/WE. Dostęp: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0032>
2. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylecia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE. Dostęp: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/AUTO/?uri=CELEX:32012L0027&qid=1607414070714&rid=1>
3. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2018/2002 z dnia 11 grudnia 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej. Dostęp: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/AUTO/?uri=CELEX:32018L2002&qid=1607413459409&rid=1>
4. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej, (2016). Dz. U. 2016 poz. 831, (2016.05.20), Dostęp: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20160000831>
5. ISO/IEC 13273-1, (2015). Energy efficiency and renewable energy sources — Common international terminology — Part 1: Energy efficiency, (2015.06.01).
6. ISO 17742, (2015). Energy efficiency and savings calculation for countries, regions and cities.
7. ISO 50006, (2014). Energy management systems — Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) — General principles and guidance.
8. PN-EN ISO 50001:2018-09, (2019). Systemy zarządzania energią. Wymagania i wytyczne dotyczące stosowania.
9. ISO 17741, (2016). General technical rules for measurement, calculation and verification of energy savings of projects.
10. IMPVP, (2010). Międzynarodowy Protokół Oceny i Weryfikacji Efektywności. Konceptje i opcje określania oszczędności energii i wody. Efficiency Valuation Organization. Wolumin 1 (wrzesień 2010). Dostęp: www.evo-world.org
11. ASHRAE Guideline 14, (2002). Measurement of Energy and Demand Savings, ISSN 1046-894X.
12. UNIDO, (2015). United Nations Industrial Development Organization Practical guide for implementing an energy management system. Dostęp: https://www.industrialenergyaccelerator.org/wp-content/uploads/IEE_EnMS-Practical-Guide.pdf
13. Energy Baseline Methodologies for Industrial Facilities (2017). Northwest Energy Efficiency Alliance REPORT #E13-265, (2013.10.17). Dostęp: <https://studylib.net/doc/13991093/energy-baseline-methodologies-for-industrial-facilities>
14. ISO 17743 (2019). Energy savings — Definition of a methodological framework applicable to calculation and reporting on energy savings.
15. ISO 50046, (2019). General methods for predicting energy savings.
16. ISO 50047, (2016). Energy savings - Determination of energy savings in organizations.
17. ISO 50015, (2014). Energy management systems — Measurement and verification of energy performance of organizations — General principles and guidance.
18. PN-EN 16212, (2012). Obliczanie efektywności energetycznej i oszczędności energii -- Metody wyznaczania maksymalnych i minimalnych wartości.
19. M&V Guidelines, (2015). Measurement and Verification for Performance-Based Contracts Version 4.0. US Department of Energy. Dostęp: https://www.energy.gov/sites/default/files/2016/01/f28/mv_guide_4_0.pdf
20. M. Li, H. Haeri, A. Reynolds: The Uniform Methods Project: Methods for Determining Energy Efficiency Savings for Specific Measures, (2012.01-2016.01). Dostęp: <https://www.energy.gov/eere/about-us/ump-home>
21. M. Sangórski, A. Wierzbic, (2020). Using computer software for energy saving determination in complex business processes – a case study of KGHM Polska Miedź S.A.. Informatyka ekonomiczna, 2020 /4 (58) s.127-41. Dostęp: http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-dfd1571a-fb92-47e2-b1ac-090627b38217/c/127-141_Sangorski_Wierzbic_Using_computer_software_for_energy.pdf
22. D. Parmenter (2016). Kluczowe wskaźniki wydajności. Tworzenie, wdrażanie i stosowanie. OnePress.
23. PN-EN ISO 9001 (2015). Systemy zarządzania jakością. Podstawy i terminologia.

Information on Energy Savings and its Role in the Process of Making Management Decisions

The concept of "energy savings" is often understood as the difference in energy consumption in two different periods - "baseline" and "reporting". Such an intuitive understanding, even demonstrated in national or international standards, is inconsistent with the definition of "savings" expressed in legal acts and may lead to making wrong management decisions even in the best faith. In this paper, the author presents considerations on the various approaches to the concept of "savings" in different management and operational standards to understand the mechanism of its determination. The added value of the work is the presentation of an easy-to-use method of assessing the quality of information about savings from the perspective of its management usefulness and guidelines on determining savings correctly.

Keywords: *energy performance improvement, energy saving, energy baseline, baseline period, reporting period*



Zarządzanie podczas sytuacji awaryjnych na przykładzie podziemnej kopalni rudy miedzi

Przemysław ZGRZEBSKI¹⁾, Mirosław LASKOWSKI²⁾, Marcin DANIS³⁾

¹⁾ Imgr inż.; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Szkoła Doktorska, KGHM Polska Miedź S.A., O/ZG Polkowice-Sieroszowice; email: przemyslaw.zgrzebski@kghm.com; ORCID 0000-0001-9283-5950

²⁾ mgr inż.; KGHM Polska Miedź S.A., O/ZG Polkowice-Sieroszowice

³⁾ mgr inż.; KGHM Polska Miedź S.A., O/ZG Polkowice-Sieroszowice; email: marcin.danis@kghm.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-10>

Submission date: 17-01-2022 | Review date: 20-03-2022

Abstrakt

Górnictwo stanowi tę gałąź przemysłu, gdzie w trakcie normalnej działalności produkcyjnej mogą występować zdarzenia awaryjne o katastrofalnych skutkach. Podczas nagłych wypadków z udziałem ludzi, akcje ratownicze prowadzone są w ustawowo określonym trybie. Ale to nie jedyne sytuacje kryzysowe, które mogą wystąpić w kopalni. W większości z nich nie mamy narzuconych scenariuszy działań. W artykule opisano wykorzystanie podejścia PCDA z elementami Problem Solving podczas zarządzania sytuacją awaryjną w jednej z podziemnych kopalń rudy miedzi.

Słowa kluczowe: zagrożenia naturalne, górnictwo podziemne, zarządzanie podczas awarii, cykl PDCA

1. WPROWADZENIE

Działalność górnicza wiąże się z koniecznością prowadzenia prac w obszarze występowania zagrożeń naturalnych. Jednym z nich jest zagrożenie wodne (Trembecki 1995), spowodowane obecnością wód podziemnych w otoczeniu wyrobisk podziemnych kopalń (Kortas 2013, Kortas 2019).

Klasyfikację stopni zagrożenia wodnego, sposób prowadzenia robót górniczych oraz stosowanie odpowiednich działań profilaktycznych określają w Polsce przepisy branżowe (Dz.U. z 2012 r., nr 94 poz. 841, Dz.U. z 2017 r., poz. 1247).

Kiedy jednak mimo prowadzenia działań rozpoznawczych wielkości potencjalnego zagrożenia oraz stosowania szeregu rozwiązań profilaktycznych dochodzi do wystąpienia awarii, konieczne jest przejście kopalni ze stanu pracy zwykłego - normalnego, w stan pracy awaryjnej, lub inaczej kryzysowej. Zmiany w podejmowanych działaniach dotyczą nie tylko obszarów dotkniętych bezpośrednio skutkami awarii, lub potencjalnie zagrożonych. Działania muszą obejmować całą kopalnię, a w niektórych przypadkach również kopalnie sąsiadujące. Bywa, że konieczna jest współpraca kierownictwa kopalni, ze względu na brak sił i środków własnych do likwidacji zagrożenia, z jednostkami

i instytucjami zewnętrznymi (Taraszkiewicz-Łyda 2016). Dotyczy to przede wszystkim niewielkich zakładów górniczych oraz wystąpienia katastrof przekraczających możliwości operacyjne kopalni.

Działania zarządcze podczas sytuacji kryzysowej obejmują swoim zakresem zarazem próby ograniczenia niekorzystnego zjawiska, jak również zabezpieczenia w przypadku nasilenia się, lub powtórzenia awarii. Są to zarówno akcje ratownicze, jak i profilaktyczne, podejmowane podczas awarii oraz w czasie usuwania jej negatywnych skutków. W tym rozumieniu działania te można określać jako zarządzanie w trybie awaryjnym, lub zarządzanie kryzysowe.

W zarządzaniu kryzysowym, a w szczególności podczas podejmowania decyzji mających na celu przeciwdziałanie

niekorzystnym skutkom zagrożeń, warto wykorzystywać wiedzę z zakresu teorii organizacji i zarządzania (Ściborek 2015). Takie podejście umożliwia w sposób usystematyzowany: planowanie, realizację, ocenianie i dokonywanie zmian w ramach obranego kierunku postępowania oraz na przygotowywanie scenariuszy awaryjnych.

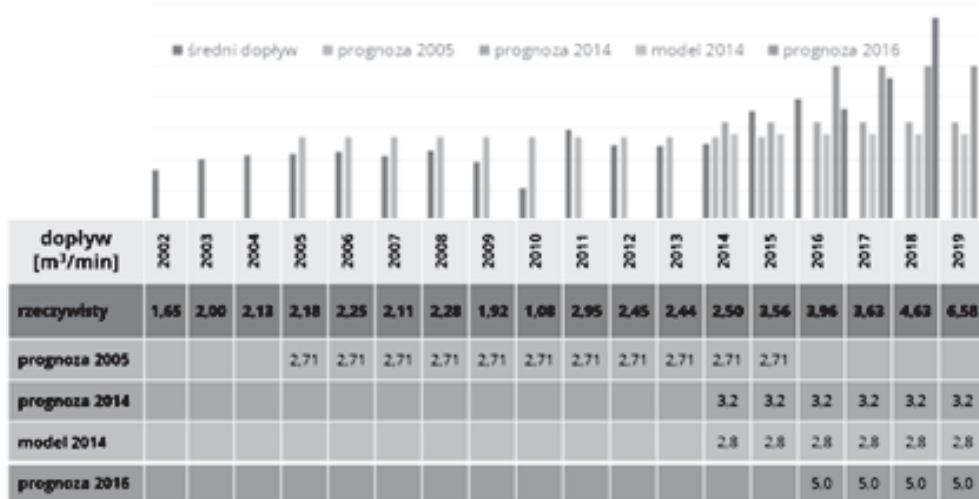
Zarządzanie kryzysowe, w tym podejmowanie koniecznych decyzji, kojarzy się najczęściej z prowadzonymi akcjami ratowniczymi po tąpnięciu, czy wyrzucie gazów i skał. Podejmowane są próby ratowania życia załóg górniczych. Jednak zakres tego pojęcia w górnictwie jest szerszy i obejmuje także działania zarządcze dotyczące usuwania negatywnych skutków awarii oraz przygotowania się na rozszerzenie jej skali, lub powtórzenie.

Opis działań, w tym zakres planowania i wdrażania niezbędnych, prowadzonych w czasie występowania awarii wodnej w jednej z podziemnych kopalń rudy miedzi, stanowi przykład kroków podejmowanych w oparciu o wiedzę z zakresu zarządzania oraz zwalczania zagrożeń naturalnych w górnictwie. Podstawowym celem było, żeby awaria wodna nie zmieniła się w katastrofę wodną. Opisany przykład może być wykorzystywany przy tworzeniu scenariuszy zarządzania również w przypadku awarii, będących skutkiem innych zagrożeń naturalnych w kopalniach podziemnych. Daje także rekomendacje dla działań prewencyjnych do wdrożenia po zażegnaniu sytuacji kryzysowej.

W omawianym przykładzie zarządzanie podczas sytuacji awaryjnej wykorzystano metodologię opartą na cyklu PDCA z elementami Problem Solving. Dobre zaplanowanie działań, począwszy od właściwego doboru składu zespołów, wdrożenie, sprawdzenie i wprowadzenie korekt podczas sytuacji kryzysowej, zwiększa szansę na skuteczność podejmowanych w zakresie opanowanie awarii.

2. OPIS PROBLEMU

Rozpoznanie zagrożenia wodnego, przed wystąpieniem



Rys. 1. Średni dopływ oraz prognozy dopływu dla złoża Sierszowice
Fig. 1. Average inflow and inflow forecasts for the Sierszowice deposit



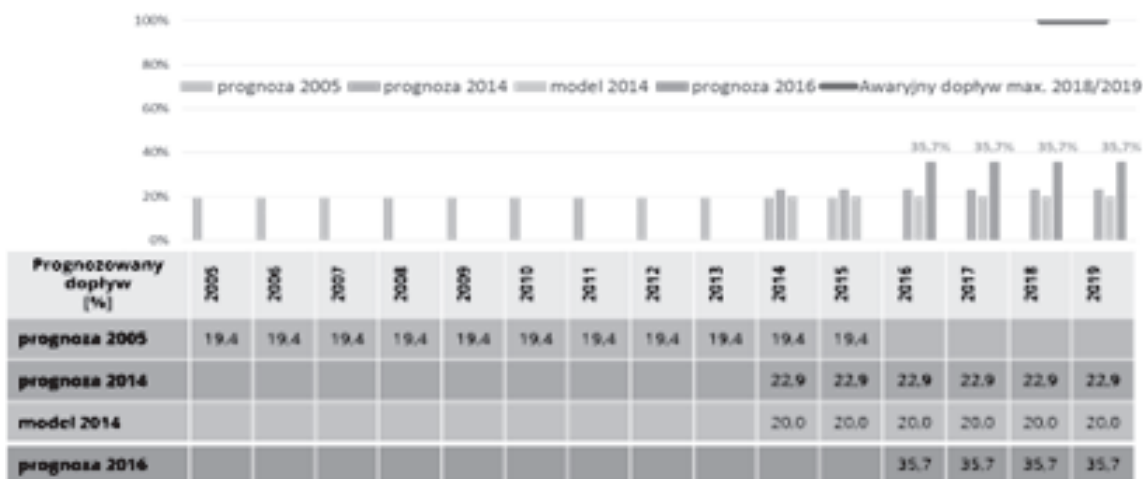
Rys. 2. Lokalizacja miejsca zwiększonego dopływu wody
Fig. 2. Location of the site of increased water discharge

awarii, w Zakładach Górniczych Polkowice-Sierszowice prowadzano w oparciu o obowiązujące przepisy oraz akty wewnętrzne KGHM Polska Miedź. S.A., które to regulowały szczegółowe zasady. Przykładem aktu wewnętrznego obowiązującego przed awarią jest: „Technologia bezpiecznego prowadzenia robót górniczych w podziemnych zakładach górniczych KGHM Polska Miedź S.A. w warunkach II i III stopnia zagrożenia wodnego” z 2 stycznia 2018 r.

Złoże rudy miedzi w polu gdzie wystąpiła awaria zostało zaliczone do I stopnia zagrożenia wodnego przez Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego w 2012 roku. Podstawą do podjęcia decyzji była „Dokumentacja Zaliczenia nr 2/2012 PS części złoża, wyrobisk oraz otaczającej je przestrzeni w granicach Obszaru Górniczego „Sierszowice I” do I i II stopnia zagrożenia wodnego” sporządzona zgodnie z wymogami rozporządzenia w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz.U. z 2012 r., nr 94 poz. 841). W uzasadnieniu zaliczenia stwierdzono m. in., że sumaryczny dopływ wód do wyrobisk drążonych w obrębie Obszaru Górniczego „Sierszowice I” nie ulega większym zmianom na przestrzeni ostatnich lat mimo znaczącego zwiększenia powierzchni rozcięcia złoża i oscyluje w granicach 2-3 m³/min. Przedstawiony obraz świadczy o dominującej roli dopływów z zasobów statycznych

serii wapienno-dolomitowej Ca1 oraz piaskowców czerwonego spągowca. Dopływ do wyrobisk pojawia się w momencie wykonania wyrobisk, a następnie stosunkowo szybko zanika w obrębie rozciętego już złoża. Ubytek dopływów jest rekompensowany pojawianiem się nowych, co utrzymuje bilans na zbliżonym poziomie. Wielkość średnich dopływów na przestrzeni lat wraz z wykonanymi przed awarią prognozami (Gurwin i in. 2016, Materiały KGHM 2020, Staśko i in. 2014, Materiały KGHM 2014) przedstawia rys. 1. Zaprojektowany system odwadniania kopalni zapewniał przed wystąpieniem awarii odbiór rzeczywistych i prognozowanych dopływów, wraz z wymaganą rezerwą.

W 2016 roku sporządzono, w oparciu o model numeryczny oraz obliczenia analityczne, prognozę dopływu naturalnego wód z górotworu do kopani. Uzyskane wyniki wskazywały, że w perspektywie do 2019 r. należy oczekiwać dopływów zasadniczo zbliżonych do rejestrowanych w latach 2015–2016 lub nieznacznie je przekraczających, tj. w przedziale 4,0–5,0 m³/min. Ponadto stwierdzono, że w przypadku złoża Sierszowice zasilanie dopływu pochodzi głównie z poziomu dolomitu głównego i w niektórych polach należy się spodziewać wód wysoko zasolonych. Ewentualny wzrost dopływu wiązałby się



Rys. 3. Prognozy dopływu dla złoża Sieroszowice oraz maksymalny dopływ podczas awarii wodnej
 Fig. 3. Inflow forecasts for the Sieroszowice deposit and the maximum inflow during a water accident

z udroźnieniem wyrobiskami nowych połączeń hydraulicznych, co w świetle dotychczasowych doświadczeń byłoby sytuacją wyjątkową. Wbrew prognozom pod koniec 2019 roku wystąpił awaryjny, znaczący wzrost dopływu wód kopalniach do wyrobisk górniczych dwóch pól eksploatacyjnych zlokalizowanych w Obszarze Górniczym Sieroszowice. Pogłódową lokalizację przedstawiono na rys. 2.

3. AWARIA WODNA

Wzmożony dopływ wód kopalniach do wyrobisk górniczych zaczął być obserwowany w ostatnich dniach października 2019 r., a na początku listopada nastąpiło już gwałtowne zwiększenie dopływu wód zasolonych do jednego z pól eksploatacyjnych złoża Sieroszowice.

Dopływ ten wynoszący początkowo 0,4 m³/min. wzrósł trzydziestokrotnie (do ok. 12 m³/min.) w ciągu zaledwie jednego miesiąca. Maksymalny zarejestrowany dopływ wynosił 14,0 m³/min. (rozpoczął się 25.11.2019r. i trwał około miesiąca) i znacząco przekraczał nawet najwyższe prognozowane wartości. Udział procentowy prognoz w porównaniu do najwyższego zaobserwowanego dopływu przedstawia rys. 3. Sumaryczny ustabilizowany od dłuższego czasu dopływ do dwóch pól eksploatacyjnych, które zostały objęte zasięgiem wpływu zwiększonego dopływu, przed awarią wynosił 1,2 m³/min., a zdolność odwodnieniowa istniejącego systemu lokalnego 1,5 m³/min. (przy normalny użytkowaniu; awaryjnie można było zwiększyć wydatek systemu).

Dopływ wód kopalniach do objętych awarią wodną pól eksploatacyjnych złoża Sieroszowice posiadał dynamiczną, zmienną w czasie charakterystykę. Trudno było na początku ocenić dalszy rozwój zjawiska wyłącznie na podstawie rejestrowanych parametrów dopływu, bo obserwowany był wyłącznie gwałtowny, skokowy wzrost. Maksymalny, zarejestrowany dopływ ok. 14 m³/min. to wartość, której zakład górniczy nie był w stanie odpompować. W trybie awaryjnym należało podjąć szereg natychmiastowych działań w celu opanowania skutków wzmożonego dopływu. Wynikająca z bilansu wodnego różnica w stosunku do lokalnych zdolności odwodnieniowych w tym rejonie (tj. ok. 9,0 m³/min.) stanowiła nadmiar, który gromadził się w wyrobiskach górniczych, z

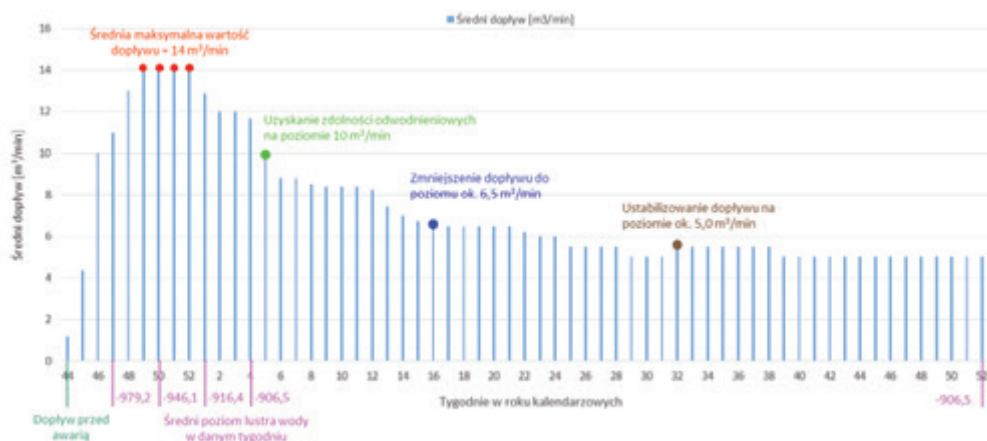
wydatkiem ok. 4,0–5,0 m³/min. Z czasem dopływ ulegał zmniejszeniu i od 23.01.2020 mieścił się w zakresie 9,1–9,8 m³/min. Taki dopływ można już było w całości odprowadzać na powierzchnię poprzez istniejący system odwadniania kopalni (Materiały KGHM 2020).

W Raporcie powstałym w pierwszym etapie awarii, dotyczącym zdiagnozowanych przyczyn awarii związanej ze zwiększonym dopływem wody do wyrobisk z O/ZG Polkowice-Sieroszowice” opracowanym przez Zespół powołany przez KGHM, wskazane zostały dwie prawdopodobne przyczyny powstania kontaktu hydraulicznego z dolomitem głównym (warstwą) wodonośną możliwość rozszczelnienia się zlikwidowanego ok. 50 lat temu otworu odwierconego z powierzchni, lub migracja poprzez spękania poeksploatacyjne w warstwach nadłożowych, głównie w strefie fleksury Jakubowa.

Skala awarii i wyzwania z jakimi przyszło się zmierzyć zarządzającym, uświadamia wartość wzmożonego dopływu oszacowana w okresie od początku awarii do końca roku 2020. Na powierzchnię, tylko z obszaru objętego awarią, wypompowano w tym czasie prawie 3,7 mln m³ wody. Pozostała część została zdeponowana w wyrobiskach górniczych przy ustabilizowanym lustrze wody. Powierzchnia rozlewiszka ograniczona jest ustalonymi podczas akcji liniami oporu. Poziom lustra wody podniósł się w omawianym okresie o 73 m.

4. DECYZJE I DZIAŁANIA PODEJMOWANE W SYTUACJI KRYZYSOWEJ

Najważniejszym elementem zarządzania podczas awarii w kopalni Polkowice-Sieroszowice były decyzje i działania podejmowane w sytuacji kryzysowej. Mając świadomość powagi sytuacji zarządzający zdecydowali się na zastosowanie metodyki oparte na cyklu PCDA. Takie podejście wymaga zdecydowanie więcej pracy, częstszych spotkań, szczególnie raportowania z dużą częstotliwością oraz zaangażowanie znacznych zasobów kadrowych. Jednak jest to cena, którą trzeba i należy zapłacić, za zwiększenie skuteczności podczas prowadzenia aktywności w sytuacji kryzysowej. Zarządzający zgodnie z pętlą PCDA skoncentrowali się na: ocenie zagrożeń-



Rys. 4. Średni dopływ wody z górotworu do pól objętych awarią w tygodniach 2019 i 2020 roku
 Fig. 4. Average water inflow from rock mass to the fields affected by the accident in the weeks 2019 and 2020

nia, powołaniu zespołów kryzysowych, zbudowaniu strategicznego planu działania, stworzeniu planu operacyjnego, realizacji planu operacyjnego, kierowaniu i nadzorze nad wszystkimi działaniami, monitorowaniem i raportowaniem rozwoju sytuacji awaryjnej i realizacji zaplanowanych działań oraz dokonywaniu niezbędnych korekt.

4.1. Ocena zagrożenia

Najważniejszą kwestią podczas podejmowania decyzji w sytuacji kryzysowej jest ocena stanu zagrożenia. Podczas awarii wodnej w kopalni Polkowice-Sieroszowice w pierwszej kolejności dokonano pomiarów wydatków z jakimi następuje wzmożony dopływ wód do wyrobisk górniczych. Ponieważ woda dostawała się do wyrobisk w wielu miejscach i to znajdujących się w znacznej od siebie odległości, wydatek był możliwy do oszacowania poprzez pomiar wysokości lustra wody i znajomość objętości zalewanych wyrobisk górniczych, którym kopalnia dysponowała z wcześniej wykonanych pomiarów przez własne służby miernicze. Wydatek z jakim zalewane były wyrobiska górnicze stanowił różnicę dopływu i rzeczywistego wydatku systemu odwadniającego w rejonie awarii. Na tej podstawie sporządzono tak zwane mapy zalewania. Mapy te zawierały kluczowe dla funkcjonowania kopalni informacje, to jest prognozowane daty docierania lustra wody do strategicznych z punktu widzenia ruchu zakładu górniczego miejsc. Mapy sporządzano w układzie wariantowym w zależności od przyjętego scenariusza rozwoju dopływu oraz możliwości systemu odwadniającego. Należy zaznaczyć, że konsekwencje wzmożonego dopływu wody wykraczają daleko poza zalany wodą obszar. Przykładem może być przewietrzanie wyrobisk. Jeśli niezbilansowany dopływ wody do wyrobisk górniczych utrzymałby się przez dłuższy czas na krytycznym poziomie, to nastąpić mogło zalewanie najniższej zlokalizowanej części wiązki wyrobisk doprowadzających powietrze do oddziałów wydobywczych położonych daleko poza strefą bezpośredniego zagrożenia.

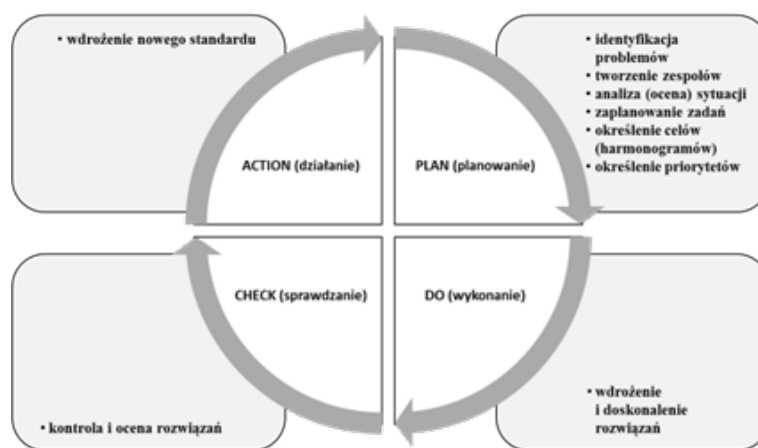
Wyprowadzić stąd można szerszy wniosek. Choć opisywany przypadek związany jest z awarią wodną, to równie dobrze może on odnosić się do wielu innych zdarzeń, których efektem będzie utrata drożności głównych wyrobisk kopalni. Czy będzie to zalanie wyrobisk wodą, czy też zatamowanie przekroju wyrobisk. Może to nastąpić przez opadające do wyrobiska pod wpływem grawitacji skały stropowe, dynam-

iczne przemieszczenie się urobionego materiału skalnego pod wpływem tąpnięcia, wyrzutu, czy wreszcie zalanie wodą dopływającą z górotworu. W każdym takim przypadku, w efekcie końcowym następuje dysfunkcja wyrobiska. Jeśli głównym przeznaczeniem wyrobiska będzie przewietrzanie, negatywnym skutkiem będzie zaburzenie w działaniu sieci wentylacyjnej - zalanie głównych dróg wentylacyjnych, np. prowadzących prądy rejonowe. Dodatkowo pojawić się może wzrost zagrożeń aerologicznych, poprzez wzrost wilgotności, temperatury, zmiany składu chemicznego powietrza kopalnianego. Z tego punktu widzenia specyfika kopalni Polkowice-Sieroszowice, gdzie złożę soli kamiennej zalega nad złożem rudy miedzi oraz perspektywa budowy wyrobisk wentylacyjnych na poziomie solnym, stanowić może dobrą alternatywę przewietrzania w sytuacjach awaryjnych.

Końcowym efektem oceny stanu zagrożenia było powstanie listy ryzyk, z podziałem na lokalne i te dotyczące całej kopalni oraz sąsiednich zakładów górniczych. Na liście znalazło się między innymi: zalanie pola objętego awarią oraz wyrobisk przyległych, przekroczenie poziomu krytycznego, po którym rozpocznie się zalewanie innych wyrobisk kopalni, konieczność alokacji produkcji, zaburzenia sieci wentylacyjnej, zaangażowanie dodatkowych zasobów. Każde z wyszczególnionych na liście ryzyk było monitorowane osobno przez członków powstałych na potrzeby zwalczania zagrożenia zespoły oraz kierowników zadań.

4.2. Strategiczny plan działania

Kolejnym krokiem było przypisanie ról i odpowiedzialności w zakresie zwalczania i powstrzymania stwierdzonego zagrożenia ze strony wzmożonego dopływu wody do wyrobisk górniczych. Powołane zostały zespoły kryzysowe w Centrali KGHM oraz w kopalni Polkowice-Sieroszowice (Zespół ds. Zagrożenia Wodnego O/ZG Polkowice-Sieroszowice oraz Zespół ds. Monitorowania Zagrożenie Wodnego) ze ściśle określonym zakresem kompetencji i wskazanymi obszarami działania. Ze względu na dynamiczny charakter dopływu ustalono zwiększoną, do kilku razy na dobę, częstotliwość raportowania stanu związanego zarówno z monitorowaniem rozwoju zalewania, jak i wszystkich podejmowanych działań. Opracowano strategiczny plan w zakresie zwalczania i powstrzymania stwierdzonego zagrożenia od nadmiernego dopływu wody do wyrobisk górniczych. Głównymi filarami tego planu



Rys. 5. Wykorzystanie zmodyfikowanego podejścia PDCA Problem Solving podczas awarii wodnej. Opracowanie graficzne własne na podstawie (Obora 2010)
 Fig. 5. Use of the modified PDCA Problem Solving approach during a water accident. Own graphic design based on (Obora 2010)

Tab. 1. Zmodyfikowane na potrzeby zarządzania w sytuacji kryzysowej w kopalni Polkowice-Sierszowice podejście PDCA Problem Solving
 Tab. 1. The PDCA Problem Solving approach modified for the purposes of crisis management in the Polkowice-Sierszowice mine

Faza cyklu PDCA	Etapy procesu rozwiązywania problemów	Przykładowe odpowiedniki podczas sytuacji kryzysowej w kopalni Polkowice-Sierszowice
PLAN (planowanie)	identyfikacja problemów	Analiza sytuacji, potwierdzania głównych kierunków działań, identyfikacja problemów (na podstawie gromadzonych informacji), podejmowanie decyzji o wdrażaniu rekomendowanych działań
	tworzenie zespołów	Zespół KGHM ds. Zagrożenia Wodnego, Kopalniany Zespół ds. Monitorowania Zagrożenia wodnego
	analiza (ocena) sytuacji	izoliniowa mapa zalewania, priorytetowa lista ewakuacji infrastruktury technicznej,
	zaplanowanie zadań	Plan strategiczny, plan operacyjny, harmonogramy, wykresy Gantta
	określenie celów harmonogramów	poziomy wydatków systemu odwadniającego po realizacji każdego z etapów
	Określenie priorytetów	uszeregowanie zadań według przyjętych przez kierownictwo listy kryteriów
DO (wykonanie)	wdrożenie i doskonalenie rozwiązań	realizacja planów operacyjnych przez zespoły realizacyjne (kierownicy liniowi), raportowanie (komentarze i wnioski od kierowników liniowych)
CHECK (sprawdzanie)	kontrola i ocena rozwiązań	monitoring (montaż detektorów do automatycznego pomiaru poziomu lustra wody), system spotkań zespołów i ustalenie zakresu i częstotliwości raportowania, hierarchiczny układ adresatów (odbiorców)
ACTION (działanie)	wdrożenie nowego standardu	formułowanie rekomendacji poprawiających skuteczność działań, lub rozwiązań napotykanym problemom

były: unikanie strat infrastruktury technicznej, zwiększenie wydatku systemu odwadniającego, zabezpieczenie wyrobisk przed zalaniem, ograniczenie dopływu wody z górotworu. Zadania podzielono na: krótkoterminowe (cel: zwiększenie wydatku systemu odwadniającego w rejonie awarii), średnioterminowe (cel: zwiększenie wydatku i uelastycznienie sytemu odwadniania odbierające wodę z rejonu awarii) oraz długoterminowe (cel: zwiększenie wydatku i uelastycznienie sytemu odwadniania kopalń Polkowice-Sierszowice i Rudna).

4.3. Realizacja planu

W początkowym etapie kluczowe znaczenie miały szybkość i trafność decyzji. Oczywiście towarzyszyła temu bardzo duża presja i odpowiedzialność osób je podejmujących. Nie mniej ważne było stworzenie zespołów realizacyjnych, odpowiedzialnych za każdy element planu strategicznego i

przekazanie zarządzania nimi pracownikom charakteryzujących się dużą wiedzą, doświadczeniem, odpornością na stres oraz sprawnością działania w warunkach kryzysowych. Zapisy planu strategicznego, rozwinięto i przeniesiono do planu operacyjnego. Choć zapisy tego planu bardzo precyzyjnie określały wszystkie niezbędne zadania do wykonania, to w celu poprawy skuteczności, kierownicy zespołów realizacyjnych (kierownicy liniowi) otrzymali pewną swobodę w działaniu. Sam plan zapisano w postaci wykresu Gantta i na bieżąco aktualizowano.

Ochrona mienia kopalni i ewakuacja zagrożonej zalaniem infrastruktury

Sporządzono zestawienie elementów infrastruktury, które znajdują się w strefie bezpośredniego zagrożenia zalaniem. Na podstawie wariantowej mapy zalewania określono dokładne daty (co do dnia) kiedy woda będzie zbliżać się do poszcz-

zególnych wyrobisk – maszyn i urządzeń wymienionych w zestawieniu. Lista miała układ priorytetowy, gdzie wszystkie jej elementy były podzielone na te, które można przenieść i uruchomić w innym miejscu w każdym momencie, kończąc na tych, które z punktu widzenia utrzymania płynności ruchu zakładu górniczego muszą pracować jak najdłużej to możliwe. W ten sposób powstał plan przenoszenia (ewakuacji) infrastruktury. Po czasie można powiedzieć, że był on bardzo skuteczny, bo jego realizacja nie doprowadziła do zaburzeń w pracy kopalni oraz nie doszło do uszkodzenia (zalania) żadnego kluczowego, wysokokosztowego urządzenia, pomimo faktu objęcia strefą zalania niektórych z wymienionych w nim maszyn i urządzeń.

Aby zwiększyć retencję powstającego poprzez niezbilansowany dopływ wody z górotworu zbiornika i wydłużyć czas na zrealizowanie zaplanowanych działań, należało maksymalnie wykorzystać dostępną przestrzeń wyrobisk górniczych. W związku z tym zaplanowano budowę pięciu tam wodnych na wiązce najniższej położonych wyrobisk łączących się z upadowymi prowadzącymi bezpośrednio do podszycia szybu SW-4. Zadaniem tego zabezpieczenia było powstrzymanie zagrożenia przyłania się wody przez punkty krytyczne i rozprzestrzenienie się rozlewiska na dużej powierzchni, obejmującej kluczowe wyrobiska oraz zainstalowane w nich maszyny i urządzenia. Harmonogram zalewania ściśle określał ile czasu miały do dyspozycji służby kopalni na wszystkie zadania związane z projektowaniem, zatwierdzeniem i budową tam wodnych.

Usprawnienie istniejące, lokalnej i kopalnianej infrastruktury odwodnieniowej

Głównym celem tego zadania było jak najdłuższe zalewanie wyrobisk i maksymalne wykorzystanie dostępnej retencji, tak aby umożliwić prowadzenie działań zasadniczych. Skupiono się na usprawnieniu istniejącej infrastruktury odwodnieniowej w rejonie pól eksploatacyjnych objętych awarią oraz na optymalnym wykorzystaniu jej potencjału. Do niezbędnego minimum skracając czas postojów, ograniczając się w zasadzie do usuwania awarii. Aby maksymalnie wykorzystywać system odwodnieniowy wymianę zużytych i uszkodzonych elementów prowadzono niemal wyłącznie równolegle podczas prac naprawczych, przez dodatkowo do tego celu oddelegowanych pracowników z innych miejsc kopalni.

Budowa sieci nowych rurociągów oraz pompowni

Istniejąca sieć rurociągów kopalnianych nie była w stanie wypompować całej wody dopływającej z górotworu na poziomie maksymalnym, to jest 14 m³/min. Dlatego zaprojektowano całkowicie nowy system, bilansujący zarówno dopływy ze wszystkich oddziałów eksploatacyjnych kopalni oraz tego objętego awarią, wraz z dodatkową rezerwą. Budowa nowej sieci rurociągów oraz pompowni i połączenie ich z siecią istniejącą miało w założeniu umożliwić wypompowanie całej wody dopływającej z górotwory i przetransportowanie jej do głównych komór pomp. Całość tego zadania podzielono na sześć etapów. Każdy z nich miał przypisany szczegółowy zakres, to jest rodzaj i średnice rurociągów, trasę, po której ma przebiegać, długość, elementy dodatkowej infrastruktury, pompownie, zbiorniki retencyjne itd. Najistotniejszy był zaplanowany czas zakończenia etapu. Szczególnie, że wiele za-

dań było ze sobą zsynchronizowanych, a zwiększanie wydatku systemu odbywało się stopniowo i wynikało z zakończenia prac kolejnych etapów. Dla budowy sieci nowych rurociągów i pompowni oraz połączenia ich z istniejącym systemem stworzono szczegółowy harmonogram i opracowano wykres Gantta. W trakcie realizacji tego zadania na bieżąco odbywała się aktualizacja informacji o postępie prac oraz kontrola zgodności z harmonogramem. Sporządzano również listę ryzyk, które mogły wpłynąć na powstanie opóźnień. Generalnie z sześciu zadań, cztery odpowiadały za zwiększenie i zbilansowanie wydajności systemu odwadniania, a pozostałe dwa za zwiększenie niezawodności i redundancji. W tym miejscu należy podkreślić, że realizacja tego zadania była całkowicie bezprecedensowa. Skala prac z jaką przyszło się zmierzyć nigdy nie miała miejsca w całej, kilkudziesięcioletniej historii kopalni. W sumie wybudowano w kopalni Polkowice-Sieroszowice 27,5 km rurociągów o średnicach od 315 mm do 600 mm, część w wykonaniu wysokociśnieniowym oraz 16 stanowisk pompowych. A wszystko to w czasie ok. 3 miesięcy. Wymagało to zaangażowania znacznych zasobów kadrowych oraz stanowiło olbrzymie wyzwanie logistyczne. Ponieważ system odwodnieniowy jest połączony z infrastrukturą sąsiedniej kopalni Rudna, to i tam konieczne były prace do wykonania. Wybudowano między innymi rurociąg o średnicy 400 mm i 4,6 km długości.

Ograniczenie dopływu wody z górotworu

W celu powstrzymania, lub ograniczenia dopływu wody z górotworu zaplanowane zostały zadania realizowane zarówno z powierzchni, jak i z poziomu podziemnych wyrobisk górniczych. Opierając się na przesłankach co do charakteru i przyczyny powstania awarii zaplanowane zostało wiercenie i iniekcja otworów z powierzchni oraz z poziomu wyrobisk górniczych. Dodatkowo, zapobiegawczo, czasowo wstrzymano postęp robót eksploatacyjnych w znajdującym się najbliższej odległości od rejonu wzmożonego wypływu wody oddziale górniczym.

Monitorowanie i raportowanie stanu zagrożenia

Każdy z powstałych zespołów miał w obowiązku raportować realizację przypisanych zadań. Raportowanie miało układ hierarchiczny i podlegało agregacji informacji. Kończym odbiorcą wszystkich raportów był Prezes Zarządu KGHM Polska Miedź. S.A.

Między innymi w celu bieżącego monitorowania rozwoju awarii, postępu budowy infrastruktury oraz pracy systemu odwadniania powołano dział dyspozytorów maszynowych tak zwanych dyspozytorów „wodnych”. Znalazł się on w strukturze działu odpowiedzialnego za transport poziomy oraz obsługę i eksploatację rurociągów.

Korekty: reakcje na pojawiające się problemy

Podstawowe filary planu strategicznego były niezmiennie przez cały okres awarii. Ale elementy planu operacyjnego podlegały ciągłej ocenie w ramach cyklu PDCA i korektom. Przykładem może być podział zasadniczych etapów planu, na podetapy, w których wykorzystywano, w trybie doraźnym, istniejące elementy infrastruktury. Posłużenie się do celów odwodnieniowych nieczynnymi chwilowo rurociągami klimatyzacyjnymi pozwalało na budowanie nowych

ciągów odwaniających bez strat na wydatku. Ważna, o czym jeszcze będzie mowa, była swoboda w podejmowaniu decyzji kierowników liniowych. Działania korygujące stanowią podstawę poprawności działania cyklu PDCA, więc nie można nawet w sytuacjach awaryjnych i centralizacji zarządzania w kryzysie z tego etapu zrezygnować. W ramach cykli raportowania kierownicy liniowi zgłaszali rekomendację zmian i działań naprawczych. Skracanie procesu decyzyjnego poprawia szybkość działania, ale można powodować straty na innych odcinkach, a w efekcie końcowym w całej operacji.

5. WYKORZYSTYWNIĘ CYKLU PDCA W ZARZĄDZANIU PODCZAS SYTUACJI KRYZYSOWEJ

Przedsiębiorstwa zmuszone są do reagowania na zmieniające się warunki. Często potrzebę wprowadzania zmian dostrzegają dopiero podczas wystąpienia sytuacji kryzysowej. Pożądanym stanem jest zarządzanie przedsiębiorstwem w sposób antykryzysowy tak, aby unikać takich sytuacji, a w momencie ich wystąpienia podejmować szybkie i skuteczne kroki. Taka praktyka nastawiona jest na poprawę zarówno działań, jak i procesów (Starosta 2016). Zarządzanie podczas wystąpienia sytuacji kryzysowych nakierowane jest na ograniczenie jej rozmiarów i minimalizację negatywnych skutków. W przypadku awarii wodnej w kopalni Polkowice-Sierszowice zastosowano metodykę cyklu PDCA z elementami Problem Solving (Asaka i Ozeki 1990). Źródłem tej metodyki jest tak zwana pętla Deminga, czyli cykl PDCA - akronim angielskich słów: plan (planuj) ► do (wykonaj) ► check (sprawdź) ► action (reaguj) (Myszewski 2009, Hamrol 2017). W założeniach metodycznych istotą podejścia PDCA Problem Solving jest wykorzystywanie pętli Deminga w procesie ciągłego doskonalenia organizacji poprzez rozwiązywanie

uświadamianych sobie przez pracowników coraz to nowych, kolejnych problemów (Obora 2010). Zastosowanie metodyki opartej na cyklu PDCA sprawia, że zarządzany proces podlega ciągłej systematycznej poprawie, a koncertuje się przede wszystkim na wskazywaniu najlepszych rozwiązań (O'Shea i in. 2016). Schematycznie przedstawiono cykl PDCA na rys. 5.

W sytuacji kryzysowej etapy procesów rozwiązywania problemów należało zmodyfikować. Specyfiką działań w sytuacji kryzysowej jest konieczność podejmowania błyskawicznych decyzji. W tej sytuacji praca dużych zespołu nie zawsze bywa efektywna. Stąd też konieczność pozostawiania swobody decyzji kierownikom zespołów realizacyjnych. Działania związane z zatrzymaniem wzmoczonego dopływu oraz mitygacją negatywnych skutków omawianej awarii wodnej w kopalni Polkowice-Sierszowice zostały podzielone na szereg zadań. Problemy każdego z nich z osobna były rozwiązywane w oparciu o podejście PDCA Problem Solving. Zestaw działań łączył się w program zarządzania w sytuacji kryzysowej. Adresowanie poszczególnych etapów procesu rozwiązywania problemów i przypisanie im konkretnych odpowiedników przedstawiono w tabeli 1.

6. WNIOSKI

W sytuacjach awaryjnych ważna jest szybkość reakcji. Nie należy jednak rezygnować ze sformalizowanych działań. Przykład kopalni Polkowice-Sierszowice pokazuje jak ważne jest uwzględnienie wszystkich etapów cyklu PDCA. I choć mogło by się wydawać, że z niektórych elementów da się zrezygnować, oszczędzając czas lub zasoby kadrowe, to decyzyja taka wiąże się z podjęciem zbyt dużego ryzyka. Kiedy gra toczy się o bezpieczeństwo ludzi i majątek firmy nie wolno wybierać drogi na skróty.

Literatura – References

1. Asaka, T., Ozeki, K., 1990. Handbook of Quality Tools: The Japanese Approach, Productivity Press, Cambridge [w]: Obora H. (2010): Podejście PDCA Problem Solving w rozwiązywaniu problemów organizacji, Acta Universitatis Lodzianis, Folia Oeconomica 234/2010, str. 323-333
2. Gurwin J., Duda R., Wcisło M., Motyka J. (konsultant), 2016. Prognoza dopływu naturalnego wód z górotworu do kopalni rud miedzi KGHM Polska Miedź S.A. ze szczególnym uwzględnieniem dopływu do wyrobisk górniczych kopalni „Polkowice-Sieroszowice” w latach 2016-2025, praca niepublikowana
3. Hamrol A., 2017. Zarządzanie i inżynieria jakości, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa
4. Kortas G., 2013. Long- and Short-Term Process Indicated by the Displacement of the Chamber Roof in the Monumental Wieliczka Salt Mine. Archives of the Mining Sciences, vol 58, issue 1, p. 119-130
5. Kortas G., 2019. Szkodliwe oddziaływanie wód w podziemnych kopalniach soli. Przegląd Górniczy, Nr 07/2019, str. 37-45
6. Materiały własne KGHM, Praca zbiorowa, grudzień 2019. Raport dotyczący zdiagnozowanych przyczyn awarii związanej ze zwiększonym dopływem wody do wyrobisk w O/ZG Polkowice-Sieroszowice, Zespół powołany przez Prezesa KGHM, praca niepublikowana
7. Materiały własne KGHM, 2020. Dokumentacja KGHM Polska Miedź S.A. realizacji zaleceń określonych w Decyzji Dyrektora OUG we Wrocławiu z dnia 27 listopada 2019 r., (styczeń 2020), materiały niepublikowane
8. Materiały własne KGHM, Praca zbiorowa, 2014. Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem odwodnień w celu wydobywania rud miedzi ze złoża „Sieroszowice”, Zakład Studiów i Analiz Geologicznych (NAG) KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR we Wrocławiu, praca niepublikowana
9. Myszewski J. M., 2009. Po prostu jakość. Podręcznik zarządzania jakością, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Akademia Leona Koźmińskiego, Warszawa
10. O’Shea M., Pawellek G., Schramm A., 2016. Problem solving with a method – A step-by-step guide for a journey from the problem to the solution, ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 111, Issue 12, December 2016, pages 839-842
11. Obora H., 2010. Podejście PDCA Problem Solving w rozwiązywaniu problemów organizacji, Acta Universitatis Lodzianis, Folia Oeconomica 234/2010, str. 323-333
12. Praca zbiorowa pod kierunkiem Staśko S., 2014. Numeryczny model hydrogeologiczny 3D (regionalny), uwzględniającego strefę oddziaływania górnictwa rud miedzi LGOM, praca niepublikowana
13. Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz.U. z 2012 r., nr 94 poz. 841)
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz.U. z 2017 r., poz. 1247)
15. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz.U. z 2014 r., poz. 1129 z późn. zm.)
16. Starosta A., 2016. Cykl PDCA w zarządzaniu antykrzysowym na przykładzie polskich przedsiębiorstw, Nauki o Zarządzaniu, 1(26)/2016, str. 142-151
17. Ściborek Z., 2015. Zarządzanie kryzysowe a teoria organizacji i zarządzania. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. Nr 3, str. 23-30
18. Taraszkiewicz-Łyda M., 2016. Ocena ryzyka kryzysowego kopalni w ramach systemu zarządzania kryzysowego. Wiadomości Górnicze, R. 67, nr 6, str. 404-407
19. Trembecki A., 1995. Zagrożenia wodne w górnictwie. Wydawnictwo Śląsk, Katowice

Emergency Management on the Example of an Underground Copper Ore Mine

Mining is the branch of industry where catastrophic accident events may occur in the course of normal production activities. During emergencies involving people, rescue operations are carried out in a statutory manner. But these are not the only emergencies that may occur in the mine. In most of them we do not have any imposed action plans. The paper describes the use of the PCDA approach with Problem Solving elements when managing an emergency in one of the underground copper ore mines.

Keywords: natural hazards, underground mining, emergency management, PDCA cycle



Current Aspects of Decarbonisation in the Czech Republic and Possibilities of Replacement of Coal Energy Sources by Renewable Sources of Electric Energy

Vladimír LAPČÍK^{1*)}, Martin LAPČÍK²⁾, Vladimír LAPČÍK jr.³⁾

¹⁾ Prof. Eng. Ph.D.; Department of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VSB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Czech Republic; e-mail: vladimir.lapcik@vsb.cz, (+420) 597 325 289;

²⁾ Mgr.; Department of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VSB – Technical University of Ostrava, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Czech Republic; e-mail: martin.lapcik.st@vsb.cz;

³⁾ Bc.; Department of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic;

* corresponding author; email: vladimir.lapcik@vsb.cz

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-11>

Submission date: 21-01-2022 | Review date: 27-03-2022

Abstract

The European Green Deal is a set of policy initiatives by the European Commission with the overarching aim of making Europe climate neutral in 2050. An impact assessed plan will also be presented to increase the European Union's greenhouse gas emission reductions target for 2030 to at least 50% and towards 55% compared with 1990 levels. The European Green Deal has goals extending to many different sectors, including construction, biodiversity, energy, transport and food. For the European Union to reach their target of climate neutrality, one goal is to decarbonise their energy system by aiming to achieve net-zero greenhouse gas emissions by 2050. Article deals with current aspects of decarbonisation in the Czech Republic and possibilities of replacement coal energy sources by renewable sources of electric energy. Paper describes present situation in branch of production of electric energy and possible scenarios for reduction of coal energy sources in the Czech Republic.

Keywords: greenhouse effect, the European Green Deal, decarbonization, renewable sources of electric energy, coal energy sources

Introduction

The concept or phenomenon of the greenhouse effect is commonly used to describe two different things: the natural greenhouse effect, which is the greenhouse effect that occurs naturally on Earth, and the additional (anthropogenic) greenhouse effect, which originates in human activity and is most likely causing the global climate change [1].

Current scientific knowledge proves that human activity (greenhouse gas production) affects the Earth's climate system. Greenhouse gases are multi-atomic gases that absorb the Earth's thermal radiation, which is causing the heat up of the lower layer of atmosphere and the Earth's surface. These are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), partially and fully fluorinated hydrocarbons (HFC, PFC) and sulfur hexafluoride (SF₆). And last, but not least we cannot forget the water vapor [1].

Because each of the greenhouse gases has a different ability to influence the climate, there is a so-called global heating potential for each greenhouse gas, and for comparison purposes, the greenhouse gas content is given in terms of CO₂ equivalent (CO₂, eq.).

Today the statistics are used to prove the global warming and its consequences, before that the statistics were used to prove the coming of another ice age. It therefore depends on which data and from which period we select. However, it also depends on the interpretation of this data. The greenhouse effect allows the Earth to reach a temperature at which life

is possible. Nevertheless, in the different geological periods the Earth naturally faced the cold and warm periods. The problem seems to be elsewhere: Colder periods are repeated at regular intervals (less than a quarter of a billion years) and are many times shorter than warm periods. According to experts, the ice ages in the Quaternary were mainly caused by interventions from space. At the same time, the temperature fluctuated and in the interglacial times it was often even higher than it is today. We currently live in an interglacial period, which is longer than the previous ones. And about 6,000 years ago, it was a few degrees Celsius warmer than it is today which was one of the most important reasons why the humanity was able to switch from hunter-gatherer culture to modern agricultural one.

One of the major multi-atomic gases that causes the greenhouse effect, is already mentioned carbon dioxide. It enters the atmosphere during the volcanic activity, respiration of organisms, decomposition of organic matter and also during the combustion of fossil fuels, from other industrial activities and from road transport (anthropogenic influence). Recent research shows that 10.9 Gt of carbon is released annually from so-called "dead" wood. These are the dead trees whose wood is left in its original place and not processed. Part of the carbon is released into the soil and another part into the atmosphere. The amount of carbon released from this "dead" wood roughly corresponds to global emissions from fossil fuels [5].

Tab. 1. Global average greenhouse gas emissions by electricity generation technology (source ICCT)
 Tab. 1. Średnie globalne emisje gazów cieplarnianych według technologii wytwarzania energii elektrycznej (źródło ICCT)

	gram eq. CO ₂ / kWh	gram eq. CO ₂ / MJ
coal	1001	278
oil	840	233
natural gas	469	130
nuclear energy	16	4
bioenergy	230	64
geothermal energy	45	13
solar (photovoltaic)	46	13
solar (concentrated)	22	6
wind energy	12	3
marine energy (waves etc.)	8	2
water power	4	1



Fig. 1. NordLink power cable [15]
 Rys. 1. Kabel zasilający NordLink [15]

On the other hand, the carbon dioxide level in the atmosphere decreases during the growth of organic matter, deposition of organic substances in the sediment and during the forming of calcium shells (coral reefs, etc.). It is therefore a natural carbon cycle in nature. Through human activity, its content in the atmosphere rises.

Before the Industrial Revolution, the concentration of carbon dioxide in the Earth's atmosphere reached about 280 ppm (parts per million). It was a good amount - good in the sense that we were used to it. The molecular structure of carbon dioxide holds the heat near the planet's surface. The heat which would otherwise return to space. That means that the civilizations developed in the specific heat conditions thanks to this specific concentration of carbon dioxide. The average global temperature was about 14°C. That decided where we build our cities, what crops we will grow and consume, on which water sources we will be dependent, and even how we will respond to changing weather and changing seasons in the higher latitudes. [2].

As soon as the coal, gas and oil began to be burned for energy purposes, the carbon dioxide level began to grow. In the first measurements in the late 50s of the last century, the concentration of CO₂ was already increased to 315 ppm. In 2007, it was about 380 ppm and the CO₂ content in the atmosphere was growing roughly by two ppm per year [2]. It

is assumed that the extra heat (a few watts per square meter of land surface), captured by the CO₂, is enough to warm the planet considerably [2].

The effects of a further increase in the concentration of carbon dioxide in the atmosphere cannot be precisely determined, however, some experts assume that the temperature will continue to rise because the warming will not show up in the atmosphere until after time. However, that would mean that we are unable to stop the global climate change.

In the last few years, a number of studies have emerged that tell us that we should not exceed the level of 450 ppm of CO₂. If this value is exceeded, in the following centuries the ice sheet in Greenland and West Antarctica will probably melt down and the ocean levels will then rise dramatically. We have to point out that 450 ppm is still an estimate (which does not include a varied mix of others less significant gases such as methane and nitrogen oxides). However, the 450 ppm of CO₂ will become a point which humanity will try to avoid. A point that is fast approaching. If the concentrations continue to rise by two ppm per year, we only have 35 years left [2].

In 2011 the concentration of CO₂ in the atmosphere was 390.9 ppm, today it is already 419 ppm. While maintaining current trends, the concentration of CO₂ in the atmosphere will increase to 560 ppm by the end of the 21st century [3].

Greenhouse gas emissions from various technologies of electricity production, decarbonisation of energy production

According to the latest report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), which was published on August 9th, 2021, a global temperature rise will reach 3 possibly 4°C in comparison to the temperature before the beginning of the industrial era [6]. Therefore, it seems that the temperature rise will be higher than 1.5°C presented in so-called Paris Agreement (2015) six years ago. In 1997 which is 24 years ago, the so-called Kyoto Protocol was adopted, under which the world community has committed itself to reducing the greenhouse gas emissions by 5.2% per year 2010 compared to the 1990 level. Unfortunately, this goal was not achieved, and the greenhouse gas emissions including the carbon dioxide are still rising.

Developed countries, especially the European Union, are aware that specific actions must be taken. The European Commission is proposing a "Green Deal" (the European Green Deal), which turns out to have its passionate supporters and opponents. But both groups believe that it will be possible to reduce the current, high consumption-oriented way of life. However, some experts do not believe in this [3] and argue that it is too late to prevent a 2°C increase in temperature. According to them, this should have started about 50 years ago, when the first warnings which were published in the reports of so-called "Club of Rome" came [3].

According to qualified estimates of climatologists, when the temperature rises by 2°C, it will cause the large droughts every 10 to 12 years in our latitudes (the so-called millennial summer will appear, which we faced, for example, in 2003, then in 2015 and 2018). If the temperature rises by 4°C, then a great drought appears in our latitudes every 3 to 4 years.

It should be noted that increasing the temperature by 1°C will reduce the world's production of four basic crops (rice, corn, wheat, soybeans) by 5%, the temperature increase of 2°C will reduce the worldwide production of these crops by 7 to 10%.

It is assumed that if the European Union reaches the climate neutrality in 2050, the result will be only a small reduction in global temperature. In 2050, it could be in the range of 0.02–0.05°C and in 2100 then 0.05 to 0.15°C [4].

Let's have a look at how electricity generation contributes to greenhouse gas emissions from various sources (CO₂ equivalent per kWh or MJ was used). Table 1 lists the global average greenhouse gas emissions by electricity generation technologies. Obviously in our conditions (as a landlocked country we do not have marine energy) the lowest emissions of greenhouse gases in the production of electricity are generated by using the water resources (4g CO₂,eq./kWh, or 1 g CO₂, eq./MJ), using the wind energy (12g CO₂, eq./kWh, or 3g CO₂, eq./MJ) and by using the nuclear energy (16 g CO₂, eq./kWh, or 4g CO₂, eq./MJ). The production of electrical energy from photovoltaic solar power plants is equal to 46g CO₂, eq./kWh, or 13g CO₂, eq./MJ. The highest greenhouse gas emissions arise from the production of electricity in coal power plants (1001g CO₂, eq./kWh, or 278g CO₂, eq./MJ), when using natural gas, it is then 469g CO₂,eq./kWh, or 130 g CO₂, eq./MJ.

The European Green Deal and its implementation in the Czech Republic

However, despite the rather grim above forecasts of some experts, that certainly are not optimistic, there are a number of measures (proposed under the European Green Deal) which should reverse the above adverse development.

It should be noted that Europe accounts for only about 9% of greenhouse gases from the total world production of these substances, however, introduces the strictest measures against production of these emissions in the world.

The European Green Deal is a set of policy initiatives of European Commission, whose main goal is to make Europe climate neutral by 2050 [8, 9]. It contains the plan with evaluated impacts, whose goal is to reduce the emissions of European Union greenhouse gases by 55% by 2030 compared to 1990 [10]. The deal was introduced on 11th December 2019, approved by the European Parliament on 15th January 2021. It contains measures to reduce emissions, investments in cutting-edge research and innovations and protects the natural environment of the European continent [10]. The second goal of the agreement is the transformation of European economy so that it is sustainable in the long run, and the growth is possible without increasing the usage of natural resources [11].

The agreement aims to incorporate legislation that will make Europe the first climate-neutral continent in the world by 2050. The European Commission also wants to present a strategy in biodiversity by 2030, a new industry strategy, European Union action plan for the circular economy, a strategy for sustainable food production "from the farmer to consumer" and proposals for a Europe without pollution [12]

To achieve the Agreement's goals in the climate and energy areas by 2030, approximately 260 billion euros of additional annual investment (1.5% of gross domestic product) will be needed.

The European Commission submitted the investment plan for sustainable Europe which helps to meet the investment needs. At least 25% long-term EU budget should be dedicated to climate measures and the further support will be granted by European Investment Bank [12]

According to the European Commission, the Green Agreement has the following main elements [10]:

1. increasing the European Union's climate ambitions for 2030 and 2050,
2. supply of clean, affordable and secure energy,
3. clean circular economy in industry,
4. construction and renovation with efficient use of energy and resources,
5. accelerating the transition to sustainable and smart mobility,
6. "farmer to consumer" strategy: creating a fair, healthy and environmentally friendly food system,
7. protection and restoration of ecosystems and biodiversity,
8. ensuring a toxic-free environment through an ambitious zero pollution target.

The European Green Deal assumes the gradual inclusion of sustainability element into all European Union policies. The tools should be [10]:

1. promoting the green financing and investment and ensuring fair transformation,
2. greening of national budgets and sending the right price signals,

3. mobilizing research and promoting innovation,
4. involvement of education and professional training.

The plan also includes a number of other policies, such as carbon import duties, emission allowances introduction for air and sea transport or a new climate law that resets the rules of European investment policies [13, 14].

On July 14th, 2021, the European Union announced that the target within the framework of "European Ecological Package" will be reducing the greenhouse gas emissions by 55% by 2030 and achieving carbon neutrality by 2050. By 2030, 40% of electricity should be generated in the EU from renewable sources and in 2035 in EU the sale of passenger cars powered by internal combustion engines should end.

With principles of the European Green Deal project corresponds the NordLink, project which is set to be a new milestone in electricity supply in Europe as well as an important step towards a vision of a carbon-neutral system in Europe. NordLink project represents a high-voltage submarine cable line through the North Sea (see Fig. 1) between Norway (Tonestad) and Germany (Wilster) [15]. NordLink cable has a total length of 623 km, of which 520 km is under the sea. NordLink was officially opened on May 27th, 2021, and has been in trial operation since December 2020.

Electricity in the NordLink cable flows in both directions. In case of surplus energy generated by wind farms in northern Germany (in case of strong winds) the electricity flows through the power cable north to Norway where it is either distributed to the grid (it is purchased during the surplus at low prices) or used in pumped-storage power stations [15].

When the German wind farms production is low, Norwegian side can send the stored energy from pumped-storage power stations south to Germany and prospectively further to Europe. Electricity can only flow through the cable in one direction at a time, but the direction can be switched operatively.

Some energy concepts in the Czech Republic are also considering the above-mentioned possibilities of obtaining the electricity from Norway. However, this year the assumptions about using the NordLink cable line were not fully reflected because there was very little wind in Germany this year which led to less water pumping in Norwegian pumped-storage power stations. As a result, the energy systems in both countries had to face the electricity shortages [15].

The European Green Deal, which is also binding for Czech Republic, imposes a gradual shift away from the production of electricity in solid fuels thermal power plants, in our case coal. This means the decarbonisation of our energy sector.

It is expected that in the Czech Republic the renewable sources of energy will represent 23.8% of electricity production by 2025. The current share of renewable sources in the production of electricity is about 12 to 13%, of which 7% is produced by hydropower plants.

In order to achieve the goals of decarbonization, the Czech Republic established the so-called Coal Commission of the Czech Republic, consisting of 21 members. The members of the commission are biologists, climatologists, doctors, technicians, citizens living close to active mines, etc. The members are also representatives of the Rainbow Movement and Greenpeace CR. The Commission is chaired by the Minister for the Environment and the Minister of Industry and Trade.

At its meeting in December 2020, the Commission decided to shut down of thermal power plants in the Czech Republic will take place by 2038 (Germany will shut down its thermal power plants during 2038). For the sake of completeness, it should be recalled that the years 2033, 2038 and 2043 were originally considered. It should also be noted that if the new nuclear power plant block in Dukovany is build it will remain operational until 2036.

In 2019 the coal-fired thermal power plants represented 9,800 MW of the installed electrical output in the Czech Republic, while they produced 33.8 TWh of electricity. According to the Bloomberg model NEF the Czech Republic should reduce the electricity production from coal to 52% by 2030, that means that only 17.6 TWh of electricity would be produced by coal-fired thermal power plants (at installed electrical output of 5,100 MW). The electricity generation in gas power plants should decrease from 7.8 to 3.1 TWh in the Czech Republic by 2030 [16].

The new amendment to Act No. 165/2012 Coll. on Supported Energy Sources was proposed in Czech Republic in 2020 (submitted on 30th March 2020 to Chamber of Deputies of the Parliament of the Czech Republic, approved on 18th October, 2021 as Act No. 382/2021 Coll.). This amendment states that in the period from 2021 to 2030 the share of energy from renewable sources in the final energy consumption should be at least 6% (compared to the current situation, but more is desirable). This amendment that has already been discussed in the Chamber of Deputies of the Parliament of the Czech Republic, therefore regulates instruments and measures through which this objective should be achieved.

The mentioned amendment to the Act No. 165/2012 Coll. assumes that the support for electricity from renewable sources will apply to plants put into operation in the coming years, that are power plants that use water energy up to an installed electric capacity of 10 MW, wind, landfill, and sludge gas.

The above-mentioned support could encourage faster construction of wind farms in the Czech Republic, which, despite the resistance of the local population, is necessary for the realization of the goals of European and Czech decarbonisation strategies. The development of community energy production based on renewable electricity sources (rooftop photovoltaic power plants on residential and communal buildings) is also expected.

Potential possibilities of replacement of coal energy sources by renewable sources of electric energy in the Czech Republic

It is therefore necessary to ask the question of how to ensure the carbon neutrality in the Czech Republic, that means the balance between carbon emissions and their absorption into the atmosphere. To make things worse all of that must be achieved in a relatively short time frame. Current developments show how difficult it will be to achieve this goal even for Germany, which has huge installed capacity of renewables, in order to the fight against the climate change.

At the time when the Coal Commission of the Czech Republic was preparing its opinion about decommissioning of domestic thermal power plants (this should happen by 2038, although voices are rising to end mining before 2035, or even in 2030), several expert studies about the Czech Republic's

Fig. 2. How much did the emission allowance cost? – EURO/t CO₂ [15]
 Rys. 2. Ile kosztowały uprawnienia do emisji? – EURO/t CO₂ [15]

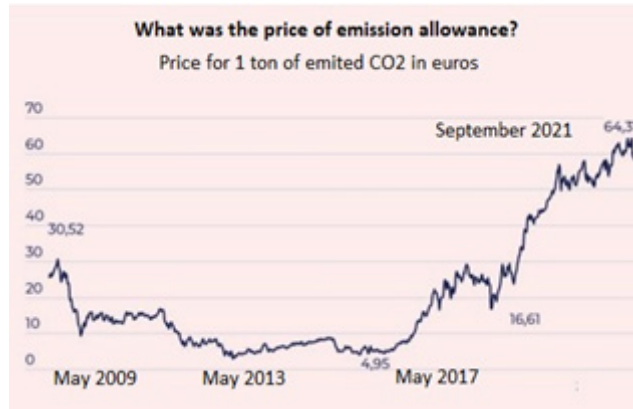
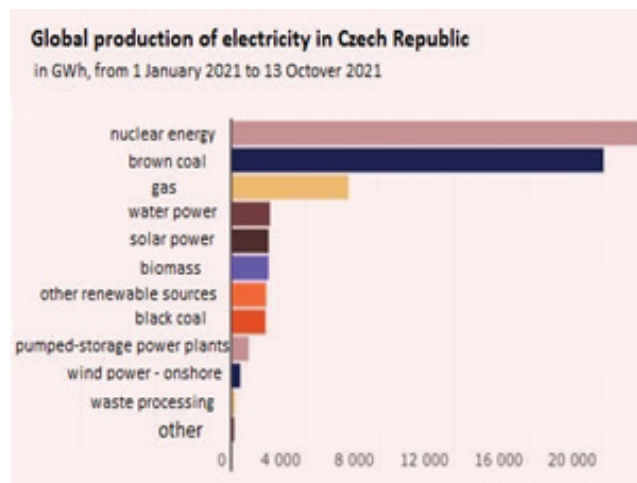


Fig. 3. Total electricity production in the Czech Republic [16]
 Rys. 3. Całkowita produkcja energii elektrycznej w Czechach [16]



transition to renewable energy sources were published [18]. The purpose of the expert studies was the support of the Coal Commission in deciding about the decarbonization of the Czech Republic (more precisely about the speed of its implementation).

For example, the study from company called EMBER (see below), envisages a complete cessation of coal dependent energy production in the Czech Republic by 2030, all of that at a relatively low cost and with a large investment for the future.

Company called McKinsey & Company published its study [19] in October 2020. The study [19] models an ideal plan to meet the so-called climate commitment, which means carbon neutrality in the year 2050, including the intermediate step in 2030 (closure of coal-fired power plants in the Czech Republic). The carbon neutrality (which is binding for the Czech Republic) is the reason why the entire coal business will most likely be retired.

A study [19] states that obsolete coal-fired power plants are already on the edge of market economic sustainability. The study assumes that the system of emission allowances that the EU imposes to fulfill the carbon responsibility, will make them a distant memory in the coming years. The price of emission allowances has now risen to an incredible 65 EURO per 1 ton of emitted CO₂ equivalent (see Fig. 2 below, Ember-Climate.org, SZ Business). For example, in May 2017 the price for the

emission allowance was 4.95 EURO/t CO₂. This situation significantly affects the current price of electricity in Europe because it extremely increases the price of electricity produced from coal. This electricity is still vital for EU and we cannot do without this electricity at this moment. However, it should be noted that the current high price of emission allowances is largely caused by market speculation.

We should mention that the model made by McKinsey primary targets the question how to reach the carbon neutrality in the shortest possible time and by the most effective way (with minimal losses) and how to replace the electricity previously supplied by thermal power plants. This model is not aiming for just bare shutdown of thermal power plants but for the shutdown which will meet all the above-mentioned requirements.

The presented analysis shows that the reduction of greenhouse gas emissions by 55% by 2030 would in the Czech Republic require additional investments of 500 billion CZK (in 2020 prices). However, most of these investments should pay off, or even bring a profit in the long run, because the newly introduced technologies will reduce operating costs. And the main tool to reduce emissions is to reduce coal mining and burning.

Under a cost-optimal scenario, the reduction in electricity production from coal-fired power plants by 2030, will be

offset by the increase in electricity generation from renewable sources, namely 3.2 GW from new solar and wind power plants, and by increase in production from natural gas [18].

With a cost-optimal solution in mind, the electricity and heat from decommissioned coal-fired power plants would be partially replaced by solar energy, gas and wind energy. The problem will probably occur in case of gas, because the gas is currently scarce, and its price is rising.

Nevertheless, the most economically advantageous McK-insey model [18] predicts that in 2030 about 40% (compared to 2017) of coal-burning power plants will still be operational. This model also utilizes the electricity import from cheaper sustainable sources from abroad. Electricity import is (at least from the current point of view) still somewhat problematic both in terms of high price and in terms of sole capability to import the electricity (for example NordLink power cable faced difficulties this year).

A study made by company called BloombergNEF states that the key elements are so-called breaking points [18], which signalize when the renewable energy (with the initial investment in mind) becomes cheaper than the energy made from fossil fuels. For the solar power plants made by the Bloomberg company this point is expected to come in 2024 and for wind power plants in 2029.

BloombergNEF says that by the 2030 (according to the most economically advantageous scenario) the renewable sources of energy should produce about 12 GW of electricity [18]. About half of that should be produce by wind power and the other half by photovoltaic. The energy production of coal-burning power plants will decrease (by 9,5 GW), mainly due to bad economical rentability (the price of the emissions allowances rise – see Fig. 2, and so do the price of coal)

Predicted cost for building the new renewable energy facilities is (by the most economically advantageous estimates) about 140 billion euros (3 640 billion CZK), but this estimates, does not include the investments to the infrastructure.

The study made by the EMBER company has more ambitious goal. The study wants to prove that complete shutdown of coal power plants in Czech Republic is possible by 2030. The problem with „reliability” of the wind and solar power plants is solved by increasing the capacity of steam-gas power plants.

On top of that the study made by EMBER company [18] presupposes the investment of about 300 billion CZK every year for period of ten years. This investment into the transformation of energy production should create about 45 000 jobs predominantly (90%) in renewable sector. The study therefore states that the end of coal powered power plants will be positive for the whole economy.

The coal shutdown by 2030 would allow to Czech Republic to meet the EU targets in the field of climate. Outage in electricity sources should be compensated by wind and solar power plants. Safety net in case of low output by wind and solar power will be formed by steam-gas power plants.

The model states that the envisioned energy system has the regulating capacity of 13.3 GW, and the consumption during the peak hours (as stated in the model) is 12.6 GW. The Czech Republic should be therefore self-sustainable even in if the output from wind and solar power plants is low. Outage in heat production should be compensated by heat pumps together with waste heat recovery.

This study also counts on the import of electricity to the Czech Republic from abroad (but only in negligible amount of about 1% of entire consumption).

Most likely the situation around the coal-fired power plants shutdown will evolve by one of the above-mentioned scenarios. The coal powered energy production should end (by those scenarios) by 2033 or by 2038 (which is the same as Germany) or eventually by 2043. For the long time the preferred variant of the shutdown was the second one (2038). The same conclusion was made by so-called Coal Commission of the Czech Republic in December 2020. The government of the Czech Republic noted the commission's conclusions (that means the conclusions of the commission were not approve by the government)

Current energy situation in the Czech Republic and real possibilities of decarbonisation in electricity production

By 2038 (which was the original date of the coal-fired power plants shutdown given by the Czech's Coal Commission) about 9,800 to 12,000 MW of installed electrical power from the coal-fired power plants should be shut down. Nowadays when the much earlier date of coal shutdown is being consider (2030), the only one thing is clear – that it will not be easy.

As we already mentioned the renewable sources of energy should produce about 12 GW of electricity. About half of that should be obtained by wind energy and the other half by photovoltaic.

To fulfill the demanded requirement on installed capacity of wind power plants (6,000 MWe) in the Czech Republic, we will need to increase the installed capacity of wind power plants for about 5,660 MWe (current installed capacity is 339.4 MWe). It is very hard to predict if this very ambitious project will be successful, but in any case, we should at least try.

However, it is necessary to ask a question, how we will be able to sustain the production of electricity and heat (to keep light and heat in our homes) if in some days, for example in January when the temperature plummets to let say -10 and the sunlight and wind will not be available? In the case of the Czech Republic, we also have to consider the fact that the Czech Republic has the most industrial capacity per citizen in Europe (industry if of course more power intensive that other forms of production)

For example, on Friday, October 8th this year the wind stopped blowing in Germany. The giant installed capacity of Germany's wind power plants which is whopping 65 GW on land and sea was able to use only one gigawatt (GW) of its installed capacity. The photovoltaic power plants of which Germany has about 50 GW of installed capacity did not produce at all at that time! Combined installed capacity of Germany's wind and solar power plants equals to hardly believable 58 nuclear power plants similar to Temelín Nuclear Power Plant in the Czech Republic [20].

The construction and maintenance of these power plants cost tens of billion euros per year and all of that is paid by German taxpayers. The above-mentioned incident proved that the renewable sources of energy are very unreliable and unstable in real life. German grid manager had to call back to action about 48.5 GWe of conventional coal power and nuclear power plants also worked around the clocks (which should

be, according to the plan shut down by 2022 in Germany, even though some of them could easily stay operational up to 2036). The most serious deficits during the peak hours were covered by very expensive gas power plants (12 GWe), which are operated off market by the grid manager. [20]

All the unexpected costs caused by this situation mend that at 9 am the price of one MWh skyrocketed to 393.1 euros (9,984 CZK). Then after the photovoltaic power plants started to feed the power to the grid the price dropped, but after the sunset the price skyrocketed again even more to 442 euros (11,227 CZK) for one MWh [20].

Current situation therefore shows that reaching the carbon neutrality (in order, to fight with climate change) will be very challenging even for Germany.

The Czech Republic should lower the production of CO₂ by 55% (in comparison with year 1990) by 2030. Specifically, we should reduce our production of CO₂ from 199 million tons to 89.5 million tons, but we have to mention that for example in 2017 the Czech Republic produced just 129 million tons of CO₂ emissions. Last year we lowered the CO₂ emissions by 40%. To meet the goal of Fit for 55, we have to lower the emissions by another 15% (the energy production is responsible for 38% of total emissions of CO₂) [21].

We have to point out that the management of the electricity production system with the high percentage of renewable energy sources is vastly different to the management with mostly conventional sources of energy like for example coal. For example, in the summer the system could produce surpluses of about 3,000 to 5,000 MW, which have to be exported or regulated. On the other hand, in winter, we could face a huge lack of power, which will be on the edge of transmission capacity. So, the control power will not be sufficient in the Czech Republic, and we will risk the dependence on imported electricity. The dependence on import may occur when we reduce the production of electricity from coal to about 60% of current production [21].

It is therefore clear that the Czech Republic will have to face many technical difficulties in order, to reach the carbon neutrality. It will also take the considerable amount of time. Carbon neutrality is possible through so-called technological neutrality in electricity production, which means large scale usage of nuclear energy supplemented by natural gas or hydrogen.

If we really want to reduce the effects of the climate change and fulfill the obligations from climate agreements (Kyoto, Paris 2015, Glasgow) and protect the atmosphere which is the common asset belonging to the whole world, then we have to, according to report of Intergovernmental Panel of Climate Changes (IPCC) from 2018, keep the nuclear power plants in our inventories. And not only that, the number of operation nuclear reactors have to be 2 to 5 times higher than today by 2050. Without the nuclear energy it is not possible to reduce the effects of the climate change, because the nuclear power is the only non-fossil fuel that is not dependent on weather, time of the year or time of the day. [22]

Czech Republic joined forces with eight other member states and together we supported the proposition made by France. France wants to replace a high number of obsolete nuclear reactors by new ones and therefore need to convince the European Commission to add the nuclear energy to taxonom-

ically supported emission-free resources [20]. At the latest meetings of European Commission about energy production the possibility of adding the nuclear power (and natural gas) to supported emission-free resources category was discussed. The latest information from European Commission suggests that the nuclear energy was indeed added to supported category.

After all, there was no reason not to include the nuclear energy into the supported emission-free sources category. The global average greenhouse gas emissions of this technology are only 16g CO₂, eq./kWh, during the production of electricity from photovoltaic power plants it is 46 g CO₂, eq./kWh and in the case of wind energy it is then 12g CO₂, eq./kWh. On the other hand, the highest greenhouse gas emissions occur during the production of electricity in coal-fired power plants (1001 g CO₂, eq./kWh - see Table 1 above [7]).

And how expensive is the production of electricity from Czech sources? Last year (2020) the nuclear Power plants produced 37% of total electricity production, coal sources produced 43%, solar sources 3% and the wind sources just 1% of total electricity production. This year (2021) from the beginning of January to October 13th, 2021, nuclear power plants produced the most electricity from all sources (total electricity production in the Czech Republic in 9.5 months of 2021 is evident from Fig. 3).

As entrepreneur Pavel Tykač recently stated, his coal sources produce the electricity for 0.15 CZK per kWh [16]. If we add, the emission allowance, the price increases by 1.60 CZK per kWh (nowadays the increase is higher – see Fig. 2 above). Although the prices of electricity production from the nuclear power plants are well-guarded trade secrets, at the conference of the Equilibrium institute (October 18, 2021) Hynek Beran from ČVUT (Czech Technical University in Prague) showed the prices of nuclear electricity at around 0.25 CZK per kWh [20].

It will be necessary (at least, in the near future) to use the electricity not only from the renewable sources, but also from the nuclear power plants, gas power plants or even hydrogen power plants (at least for limited time). And the very expensive gas-fired power plants should cover only the most significant deficits at peak times.

In conclusion, it should be noted that the investment needed to reduce greenhouse gas emissions in the Czech Republic in accordance with the European Commission's plan are estimated to around 4.5 trillion CZK, which is approximately three times the revenue of the Czech Republic's budget for the whole next year. This estimate roughly corresponds with the estimates made by Bloomberg NEF and EMBER in their studies (see Chapter 3 above).

Recently the interest in small modular reactors (SMRs) has risen dramatically. This type of reactor could ensure the access to nuclear power for decentralized production of electricity and heat.

Small modular reactors are reactors with an electrical output of approximately 10 to 300 MWe. None of these limits (lower or upper) is defined exactly. For the upper limit, the International Atomic Energy Agency states an electrical output of 300 MWe and the US Department of Energy (DOE) states the heat output of 1,000 MWt as the upper limit. These definitions roughly agree with each other, heat output may be

more significant in this specific category of reactors, because this type of small reactor is often considered for heat supply or water desalination. The lower limit is defined even less precisely. Reactors with lower electrical power output than above mentioned 10 MWe are referred to as minireactors or micro-reactors [23].

The major obstacle to the development of nuclear energy in today seems the fact that construction of conventional nuclear power plant is huge one-time investment and therefore the need for a loan is usually inevitable. If we succeeded to implement the small modular reactors, these investments could be spread over the time, which would reduce the risks for investors.

Small modular reactors can be technically divided into two groups [23]. The first group includes conventional light water reactors (pressurized or boiling), which are based on known types of reactors, developed for example, for use in the icebreakers or submarines. The second group includes completely new innovative concepts, mostly belonging to IV. generation of reactors. This is often an attempt to get something like long-lasting battery. The entire reactor would be brought to the place of use in a compact form. It would remain operational without the fuel replacement for decades and then it would be decommissioned. The development however is mostly at its infancy. Prototype reactors of this type will probably not be ready until after 2030 [23]. Therefore, we will not be able to use this device as an alternative source of energy in the initial stages of reduction of electricity production in coal-fired power plants.

Apparently, a significant turnaround could occur if we will be able to construct working fusion power plants. Mankind has been trying for decades to control the energy source of the stars - nuclear fusion. It is stated that the first nuclear fusion reaction under "controlled conditions" was done in Argentina on March 24th, 1951 (about 71 years ago!) [24]. In the end, it turned out to only be one of many dead ends in our long-lasting endeavor to transfer the energy source of the stars down to Earth.

However, this report attracted attention and sparked a wave of interest in fusion research in both the US, Great Britain and the then Russia (former USSR). At the time, it was mainly a matter of proving that "thermonuclear fusion" works.

The largest fusion reactor ever built is the European Union's ITER Tokamak. This reactor will have the vacuum chamber with a volume 10 times larger than today's largest European tokamak JET in the UK. ITER should start operating in 2025. Maximum output should be reached in 2035 [24]. So far, the plan is that when ITER proves successful, the construction on real prototype of fusion power plant will begin. This power plant will be called DEMO and will grow near the French city of Cadarache. The main advantage of fusion power plants is the very low fuel consumption, which will be a fraction of the volume of fuel needed to operate a conventional (fission) nuclear power plant. According to the Euro-

pean plan, the construction of the DEMO project could start around 2040. The start of electricity production around 2050 seems to be a relatively optimistic, but still realistic estimate [24]. Therefore, it will also not be possible to use these devices as alternative sources within the initial stages of decarbonization in the Czech Republic.

Conclusions

It is clear that the Czech Republic wants to ensure carbon neutrality, i.e. balance between the carbon emissions and their absorption into the atmosphere.

However, in the near future, we will have to achieve the technological neutrality first. This means to use not only the renewable energy sources but also the nuclear energy, gas (at least for a limited time) or hydrogen in the production of electricity. After all, other countries in the European Union (for example France) want to achieve this, too. This is probably the only way for the Czech Republic. Otherwise, we will not be able to achieve the stable electricity production at such a level that we can continue to operate our industry (the Czech Republic has the largest share of industry per capita in the European Union), which is the backbone of our economy and needs considerable amount of energy for its continued existence (despite that there is a maximum effort to save the energy in industry wherever it is possible).

Equally important, is to provide the electricity for the population. However here it is necessary, to resolve the cardinal question: How to ensure the production of electricity and heat in some days in the winter if there will be no wind nor sun light and the temperature will plummet to let say -10°C ? Again, the best solution for the near future (with the current technical possibilities in mind) seems to be the use of nuclear energy and gas (at least for a limited time), or hydrogen.

It should also be noted that there is currently no plan of energy industry transformation in the Czech Republic. This plan must be based on a society-wide contract, and it is not possible to change it every four years after the parliamentary elections.

The current conflict in Ukraine is leading the energy debate in the Czech Republic primarily to the question of how to deal with the real risk of a natural gas outage from the east. The list of possible solutions includes the accelerating of development of renewable energy sources or energy consumption reduction programs. The Czech Republic's long-term solution for fossil fuels replacement is to invest to the nuclear reactors building programs, but this solution will take some time. Therefore, it will be necessary to secure supplies of natural gas in the near future (from new sources like Qatar, United States, Algeria), which, in addition to energy production, is also an irreplaceable raw material for some industries. Most of this gas will most likely be delivered by special cargo ships to the terminals in the European Union ports in the form of LNG - liquefied natural gas and then the transport will continue by existing or newly built pipelines.

Literatura – References

1. LAPČÍK, Vladimír. Environmental Impact Assessment (monograph). VŠB-Technical University of Ostrava, Ostrava, Czech Republic. 2011, 217 p. (in Czech)
2. McKIBBEN, Bill. Carbon. New Numbers. National Geographic, 10/2007, pp. 59-63. (in Czech)
3. People's Newspaper (Lidové noviny), 17.09.2021, p. 13. (in Czech)
4. Study calls for European nuclear renaissance. World Nuclear News, 05.02.2021.
5. BALDRIÁN, Petr. Communication. Institute of Microbiology of the Academy of Science of the Czech Republic. (in Czech)
6. Intergovernmental Panel on Climate Change, 08/2021. (in English)
7. KRÝŽOVÁ, Sofie. The study dispels the myth of electric cars. Do they really produce less emissions? SZ Byznys, 10/2021. (in Czech)
8. Europe's Green Deal plan unveiled. POLITICO [online]. 2019-12-11 [cit. 2021-09-09]. Dostupné online. (in English)
9. SIMON, Frédéric. EU Commission unveils 'European Green Deal': The key points [online]. 2019-12-11 [cit. 2021-09-09]. Dostupné online. (in English)
10. Green Deal for Europe. European Commission [online]. [cit. 2019-12-20]. Dostupné online. (in Czech)
11. ZAMOUŘIL, Jakub. What is the European Green Agreement? CZECHSIGHT – All about Czech and foreign technology [online]. 2019-12-15 [cit. 2019-12-20]. Dostupné online. (in Czech)
12. Green Deal for Europe sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, how to revitalize the economy, improve health and quality of citizen's lives and to take care of nature so that no one is left out. Ekolist.cz [online]. [cit. 2019-12-20]. Dostupné online. (in Czech)
13. KUBALA, Radek. European green deal – too late, too little, no justice. Daily Referendum. denikreferendum.cz [online]. [cit. 2019-12-20]. Dostupné online. (in Czech)
14. Green Deal for Europe. Wikipedia. (in Czech)
15. ŠTĚPÁNEK, Vít. The new underwater line connected Germany and Norway. Underwater high voltage cable Nord-Link shows the way of future for the green energy. People's Newspaper, 28.05.2021, p. 7. (in Czech)
16. KUBÁTOVÁ, Zuzana. Foreign bankers must not dictate to us. Dostupné online. (česky) www.seznamzpravy.cz/clanek/cizi-bankeri-nam-nesmi-diktovat-chci-silnou-ceskou-banku-rika-tykac-177717. (in Czech)
17. Amendment to Act No. 165/2012 Coll., on Supported Energy Sources, as amended of regulations (approved on 18th October, 2021 as Act No. 382/2021 Coll. in the Chamber of Deputies of the Parliament of the Czech Republic). (in Czech)
18. GAVRINĚV, Vojtěch. The end of coal may come soon, sooner that we can imagine, say the scientists. SZ, 21.10.2020. (in Czech)
19. Climatically neutral Czechia – Ways to decarbonise the economy. McKinsey&Company. SZ, 10/2020. (in Czech)
20. SMUTNÝ, Milan, VONDRÁŠ, Jan. Comment: German energy transition is responsible for expensive electricity, SZ, 22.10.2021. (in Czech)
21. KRÝŽOVÁ, Sofie. What do we need fossil fuels for? We need them to save the forests, says the geologist Čilek. Dostupné online. (česky) www.seznamzpravy.cz/clanek/ceka-nas-energeticka-chudoba-odpoved-nabizi-konference-o-energetice-177960. (in Czech)
22. ENTLER, Slavomír, HORÁČEK, Jan, MÁLEK, Jiří. New sources of nuclear energy. Energetika, No. 4, 2021, vol. 71, pp. 227-231. (in Czech)
23. WAGNER, Vladimír. Current state in the field of small modular reactors. Energetika, No. 4, 2021, vol. 71, pp. 232-235. (in Czech)
24. LÁZŇOVSKÝ, Matouš. An endless source of energy is still not in sight. How far are we from functioning fusion power plants? Online: www.seznamzpravy.cz/clanek/nekonecny-zdroj-elektriny-porad-nikde-jak-daleko-jsme-od-fuznich-elektren-179417. (in Czech)

Aktualne aspekty dekarbonizacji w Czechach i możliwości zastąpienia węglowych źródeł energii odnawialnymi źródłami energii elektrycznej

Europejski Zielony Ład to zestaw inicjatyw politycznych Komisji Europejskiej, których nadrzędnym celem jest uczynienie Europy neutralną dla klimatu w 2050 r. Przedstawiony zostanie również plan oceny wpływu, aby zwiększyć cel redukcji emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej do 2030 r. do co najmniej co najmniej 50% i około 55% w porównaniu z poziomami z 1990 roku. Europejski Zielony Ład ma cele obejmujące wiele różnych sektorów, w tym budownictwo, bioróżnorodność, energię, transport i żywność. Aby Unia Europejska osiągnęła swój cel neutralności klimatycznej, jednym z celów jest dekarbonizacja ich systemu energetycznego poprzez dążenie do osiągnięcia zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 r. Artykuł dotyczy aktualnych aspektów dekarbonizacji w Czechach i możliwości zastąpienia energetyki węglowej źródła przez odnawialne źródła energii elektrycznej. Artykuł opisuje obecną sytuację w branży produkcji energii elektrycznej oraz możliwe scenariusze redukcji węglowych źródeł energii w Czechach.

Słowa kluczowe: *efekt cieplarniany, Europejski Zielony Ład, dekarbonizacja, odnawialne źródła energii elektrycznej, węglowe źródła energii*



The Position of the Sustainable Development Principle in the Legal Order of the Czech Republic and in the Framework of the Vietnam Act on Environmental Protection

Dao PHAN¹⁾, Martin LAPČÍK²⁾, Vladimír LAPČÍK^{3*)}

¹⁾ MSc., Ph.D.; Ton Duc Thang University, No. 19 Nguyen Huu Tho Street, Dist. 7, HCMC, Viet Nam; email: phandao@tdtu.edu.vn

²⁾ Mgr.; Department of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, 17. Listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: martin.lapcik.st@vsb.cz

³⁾ Prof. Eng. Ph.D.; Department of Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, VSB – Technical University of Ostrava, 17. Listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba, Czech Republic; email: vladimir.lapcik@vsb.cz

* corresponding author; email: vladimir.lapcik@vsb.cz

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-12>

Submission date: 28-01-2022 | Review date: 19-03-2022

Abstract

The principle of sustainable development, expressed, inter alia, in the “Earth Charter” and “Agenda 21”, approved at the UN Conference on Environment and Development (UNCED) in Rio de Janeiro in June 1992, has become a motto and a basis for many countries in planning and defining their development policies. Sustainable development can be interpreted as a way of developing human society that reconciles economic growth and social progress with the preservation of the environment in order to meet the needs of future generations. Environmental protection is part of this principle and cannot be separated from it. Our paper examines the position of the principle of sustainable development within the legal order of the Czech Republic and in terms of the Vietnam Environmental Protection Law; at the same time, it analyses, compares and evaluates approaches to the implementation of the principle of sustainable development in the above-mentioned legal systems.

Keywords: sustainable development, Czech legal order, Czech Act No. 17/1992 Coll., on the Environment – Czech Environmental Act, Vietnam Environmental Protection Law, Vietnam Law on Environment Protection, Vietnamese Environmental Act

Introduction

Unlimited, endless growth is not possible in an environment with a limited volume of natural resources. [1] This idea was defined as early as 1972 in a publication called *The Limits to Growth*. The concept of sustainable development was subsequently accepted within the *World Strategy for Environmental Protection – World Conservation Strategy (WCS)*. Sustainable development was probably first explicitly defined as a concept in the 1987 UN World Commission on Environment and Development (WCED) report. According to the above report, sustainable development is “a way of development that meets the needs of the present without weakening the ability of future generations to meet their own needs.” [2] From the environmental protection view it is a policy which presupposes the use of natural resources only to the extent that future generations of people can also use them. The principle of sustainable development was officially adopted by the international community in the framework of the Declaration of the United Nations Conference on Environment and Development (Earth Charter), which was followed by a document called “Agenda 21”. The Earth Charter and the “Agenda 21” were adopted at the United Nations Conference on Environment and Development (Earth Summit) on 14 June 1992 in Rio de Janeiro. Agenda 21 is the international community's action plan in the field of environmental protection, according to which the principle of sustainable development was to become a priority matter on the agenda of the international community. [3] Agenda 21 represents a strategic plan on

how to achieve a balance between civilizational development and environmental protection on a global scale. The principle of sustainable development has three basic pillars. It is an economic pillar, a social pillar and finally an environmental pillar. All pillars are closely interlinked. [4] In accordance with the principle of decentralization, Agenda 21 is followed by individual “Local Agenda 21”, which represent a means of implementing sustainable development at the local level. The leading role in the implementation of individual local Agenda 21 is played by the state administration and self-government, whose activities should be governed by the principle of good administration. Sustainable development has the status of a legal principle, i.e., a kind of guiding idea that interweaves the legal order. The characteristics associated with legal principles are generality, abstractness, normativeness and recognition by the state. [5]

Sustainable development in the legal order of the Czech Republic

Like any legal system, the Czech legal system distinguishes between sources of law as sources of knowledge of law into material sources of law and formal sources of law. The material sources of law represent the facts that lead the legislator to regulate a certain social phenomenon. In other words, as a material source of law we can imagine everything that affects why law is as it is. On the contrary, by formal sources of law we mean legal norms. Formal sources of law mainly consist of normative legal acts, normative contracts, individual legal acts, etc. [6]

The material sources of law for embedding permanently sustainable development into the legal order of the then Czech and Slovak Federal Republic were the social and economic conditions at the time of the UN Conference on the Environment, i.e. society's demand for the normative embedding of permanently sustainable development.

However, this paper will focus more on formal sources of law. The legal order of the Czech Republic is part of the continental type of legal culture, which emphasizes the written law. The Czech legal order includes:

- primary law of the European Union and regulations of the European Parliament and of the Council (EU);
- promulgated international agreements approved by the Parliament of the Czech Republic;
- constitutional laws, laws, legal measures of the Senate;
- government regulations, decrees of ministries and other central state administration bodies, decrees of local self-government bodies;
- findings of the Constitutional Court in the role of a negative legislator.

Sustainable development in the law of the European Union

Sustainable development is enshrined both in primary European Union law and secondary European Union's law. Under the concept of the primary law of the EU, it is necessary to imagine the founding treaties of the EU. These are the Treaty on European Union, the Treaty on the Functioning of the European Union and the Charter of Fundamental Rights of the European Union. The term secondary law of the European Union includes both binding legal instruments, including regulations, directives and decisions, and non-binding legal instruments, including recommendations and opinions.

Primary law of the European Union

The Treaty on European Union (hereinafter "TEU") mentions the principle of sustainable development in its Preamble, in which the high contracting parties declare "DETERMINATION to promote the economic and social development of their peoples with a view to the principle of sustainable development and in the context of completing the internal market and strengthening of cohesion and environmental protection, and to pursue a policy that ensures that the development of economic integration is accompanied by the development of other areas." [7] Furthermore, the concept of sustainable development is dealt with in the Article 3 paragraph 3, Article 3 paragraph 5 and Article 21 paragraph 2 letter d) and f) TEU. Article 3 paragraph 3 TEU states that "The Union shall establish an internal market. It seeks the sustainable development of Europe, based on balanced economic growth and price stability, a highly competitive social market economy leading to full employment and social progress, and a high level of protection and improvement of the quality of the environment. It supports scientific and technical progress. (...) ". At first glance, it might seem that the TEU is only concerned with the sustainable development of Europe. The global perspective of (sustainable) development is enshrined in Article 3 (5) TEU, which states, inter alia, that "(...) [the Union] shall contribute to peace, security and the sustainable development of this planet (...)". In Article 21 (2) (a), (d) and (f) the TEU

stipulates that the Union shall define and implement common policies and activities and seek to achieve a high degree of cooperation in all areas of international relations in order to promote sustainable economic, social and environmental development in developing countries with the primary objective of eradicating poverty and to contribute to the development of international measures to protect and improve the quality of the environment and the sustainable management of the world's natural resources in order to ensure sustainable development. [7]

The Treaty on the Functioning of the European Union (hereinafter "TFEU") enshrines the principle of sustainable development in Article 11 TFEU which states that "environmental protection requirements must be integrated into the definition and implementation of Union policies and activities, in particular: with a view to promoting sustainable development." [8] The European Union's environmental policy is set out in Title XX of the TFEU in Articles 191 to 193. Although the concept of sustainable development does not appear explicitly in Articles 191 to 193 TFEU, it follows from the interpretation of the above articles that it is implicitly enshrined in these articles. However, the problem is that Articles 191 to 193 TFEU are not directly applicable and their content have to be specified through secondary European Union law. [9]

The Charter of Fundamental Rights of the European Union (hereinafter "CFR") speaks about the principle of sustainable development in its Preamble. According to the CFR Preamble, "The Union (...) seeks to promote balanced and sustainable development and ensures the free movement of persons, services, goods and capital, and the freedom of establishment." [10] Furthermore, the CFR deals with sustainable development in Article 37 which states that "A high level of environmental protection and the improvement of the quality of the environment must be integrated into policies of the Union and ensured in accordance with the principle of sustainable development." [11]

Primary European Union's law provides only a general framework of environmental protection requirements, which are further specified and implemented through the secondary European Union's law.

Secondary law of the European Union

Due to the limited scope of this article, it will focus only on regulations and directives of the European Union. Unlike directives, regulations have a so-called direct effect, which means that they become part of the legal systems of individual member states as soon as the legislative process within the European Union is completed, without the need for transposition. Thus, they directly establish, amend or repeal the rights and obligations of individual citizens of the member states. Regulations are the main means of unifying legislation in the individual member states. On the contrary, directives do not have, with a few exceptions, the direct effect. They only oblige individual member states to transpose the issue covered by a directive into national law by means of national law.

In relation to environmental protection, regulations constitute a smaller part of the body of EU's legislation in number. Regulations that affect environmental protection can be divided into two groups. The first group is composed of the regulations governing administrative matters. These regula-

tions include, for example, Regulation (EC) No. 1907/2006, on the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (the so-called REACH Regulation) or Regulation on the establishing a Cohesion Fund and repealing Regulation (EC) No 1164/1994. The second group is formed of the regulations that transpose international conventions obligations into the EU's legislation. These regulations include, for example, Regulation (EC) No 1005/2009 on substances that deplete the ozone layer or Regulation (EC) or Regulation No 338/97 on the protection of species of wild fauna and flora by regulating trade therein. [9]

As indicated above, directives are the most common EU environmental legislation. Due to the large number of directives we will only list the most important ones. These are, in particular, Directive 2001/92/EU of the European Parliament and of the Council of 13 December 2001 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment, Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programs on the environment, or Directive (EU) 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions.

National legislation of the Czech Republic

Except of the implicit enshrinement in the constitutional order of the Czech Republic (Article 7 of Constitutional Act No. 1/1993 Coll., The Constitution of the Czech Republic, Article 11 and Article 35 of the Charter of Fundamental Rights and Freedoms) the sustainable development principle can be found, thanks to its three pillars, in several branches of public law. Except for environmental law we can find it also in social security law, financial law, agricultural law, construction law, energy law, etc. Due to the focus of this paper, the following passage will focus itself exclusively on national environmental law.

Czech environmental law distinguishes so-called cross-cutting legal regulations and component legal regulations. Cross-cutting legislation sets out the basic general framework for the protection of all components of the environment, while component legislation sets out specific rights and obligations for the protection of individual components of the environment. Gross of this paper will be devoted to the comparison of an Act No. 17/1992 Coll., on the Environment, as a cross-cutting legal regulation with the Vietnam's Act on Environmental Protection. The aim of this paper is to compare the concept of cross-cutting and component environmental legislation with the concept of a single comprehensive code of environmental protection.

Act No. 17/1992 Coll., on the Environment

The Czech Act on the Environment was approved by the then Federal Assembly of the Czech and Slovak Federal Republic on 5 December 1991. It was published in the Collection of Laws under No. 17/1992 Coll. It entered into force on 16 January 1992. After the disintegration of the Czech and Slovak Federal Republic, it was reciprocated into the legal order of the independent Czech Republic through Constitutional Act No. 4/1993 Coll., on measures connected with the dissolution of the Czech and Slovak Federal Republic. From the moment of its adoption the Act No. 17/1992 Coll., on the Environment (hereinafter "Czech Environmental Act") was gradually

amended three times. For the first time it was amended by an Act No. 123/1998 Coll., on the Right to information on the Environment. The first amendment repealed Section 14 of the Czech Environmental Act, which dealt with the right to information on the environment. The first amendment basically only changed the system where provisions similar in content to the repealed provisions are ex nunc contained in an Act on the Right to information on the Environment.

For the second time, the Czech Environmental Act was amended by an Act No. 100/2001 Coll., on Environmental Impact Assessment and amending some related laws (hereinafter "EIA act"). Through the EIA act sections 20 to 26 which regulated the assessment of the environmental impact of the plans were repealed. We can summarize that the second amendment also represents only systematic change. The area previously regulated by the Czech Environmental Act was transferred into a special act, in this case into the EIA act.

For the third time, the Czech Environmental Act was amended by an Act No. 183/2017 Coll., on Amendments to Certain Laws Following the Adoption of the Act on Liability and Proceedings for Misdemeanors concerning them and the Act on Certain Misdemeanors. The third amendment brought the change of section 28 of the Czech Environmental Act which deals with misdemeanors.

To date, the Czech Environmental Act, as amended, is systematically divided into 6 parts and 28 sections (see Table 1).

The Czech Environmental Act can be characterized as a cross-cutting legal regulation in the field of environmental protection. From the above follows its abstractness and brevity. At the time of its adoption, the Czech Environmental Act was divided into 8 parts, which were further divided into 35 sections. Its original wording also contained a total of 4 annexes.

The Czech Environmental Act was built on three basic theses. The first thesis represents the legislator's belief that "(...) Man is together with other living organisms an inseparable part of Nature, recalling the natural interdependence between Man and other organisms." The second thesis represents the legislator's belief in "(...) the right of Man to adapt Nature in compliance with the principle of permanently sustainable development." The legislator's third thesis represents that the legislator keeps in mind "(...) his responsibility for the conservation of favorable environment to next generations and emphasizing the right to a favorable environment as one of Man's basic rights."

The purpose of the Czech Environmental Act was formulated in § 1. According to this paragraph, "The Act stipulates the basic concepts and determines the basic principles of environmental protection and the duties of legal and natural entities for the protection and improvement of environment conditions and for the utilization of natural resources; as well as it follows from the principles of permanently sustainable development." [12] Even thirty years after the Czech Environmental Act's adoption § 1 is still up to date. None of the above-mentioned amendments has affected it.

The Czech Environmental Act is currently divided into six parts. Due to its brevity the legislator does not follow the classic division of laws into pieces, titles, parts, sections and subsections. However, in its original version, the Czech Environmental Act contained the following sections:

- Principal terms
- Principles of environmental protection
- Obligations with regard to environmental protection
- Environmental impact assessment of activities
- Assessment of the environmental impact of activities and their consequences extending beyond national borders
- Responsibility for the breach of obligations in environmental protection
- Economic tools
- Temporary and final provisions
- Legislation deriving from the Czech Environmental Act
- Act. No. 244/1992 Coll., on environmental impact assessment (effective from 01.07.1992 to 31.12.2001)
- Act. No. 114/1992 Coll., on the protection of nature and the landscape
- Act. No. 334/1992 Coll., on the protection of agricultural land fund
- Act. No. 439/1992 Coll., on the protection and exploitation of mineral resources (the Mining Act)
- Act. No. 289/1995 Coll., on Forests and Amendment to some Acts (the Forest Act)
- Act. No. 123/1998 Coll., on the right to information on the environment
- Act. No. 258/2000 Coll., on the protection of public health
- Act. No. 100/2001 Coll., on environmental impact assessment and on amending some related Acts (the Act on Environmental Impact Assessment - effective from 01.01.2002)
- Act. No. 185/2001 Coll., on waste and amending some Acts (effective from 01.01.2002 to 31.12.2020)
- Act. No. 541/2020 Coll., on waste (the Waste Act) (effective from 01.01.2021)
- Act. No. 254/2001 Coll., on waters and on amending and supplementing some Acts (the Water Act)
- Act. No. 167/2008 Coll., on prevention and remedying ecological damage and amendment on some laws
- Act. No. 201/2012 Coll., on air protection (the Air Protection Act)

The Czech Environmental Act was adopted during the first stage of the Czech environmental law development after the velvet revolution. It is based on three main theses listed in its preamble. It is a framework act which is followed by component legislation. Together with component legislation it forms the system of environmental law in the Czech Republic.

It was prepared in accordance with the following basic principles:

- the principle of sustainable development;
- load-bearing principle;
- the principle of prudent natural resource management;
- principle of prevention;
- the polluter pays principle;
- precautionary principle;
- principle of rehabilitation and restitution;
- the right of citizens to environmental information.

The terms used in the Czech Environmental Act have been defined using the latest scientific knowledge, considering historical experience and a vision for the future. That is why they are still up to date. The Czech Environmental Act was prepared in accordance with European Community's legislation and international conventions in the field of environmental protection. Even today, almost 30 years after its adoption, the Czech Environmental Act is still not losing its relevance and continues to be an inspiration for further scientific research in order to further improve it. Although it had been amended three times during its existence, all amendments carried out only systematic changes, when certain provisions were moved to special laws. Therefore, the high standard of environmental protection was not reduced.

Vietnamese Law on the Protection of the Environment

The United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) was held for the first time from 3 to 14 June 1992 in Rio de Janeiro, Brazil. It is also known as the Earth Summit, or Rio Conference. It was attended by 172 world governments, with 116 heads of state or government present in person. Representatives of 2,400 NGOs (non-governmental organizations) with 17,000 people formed a parallel non-governmental "Global Forum", which had an advisory status at the conference. Vietnam and the Czech Republic participated in this conference. The Earth Summit resulted in the adoption of the following important documents: the Rio Declaration on Environment and Development,

"Agenda 21", Principles of Forest Management etc. The first principle in the Rio de Janeiro Declaration reads as follows: "Human beings are at the center of concerns for sustainable development. They are entitled to a healthy and productive life in harmony with nature".

Vietnam began its economic reconstruction in the 1980s and 1990s. At the instigation of this declaration and under the pressure of economic reconstruction, the law on environmental protection was drafted and approved by the Vietnamese parliament on December 27, 1993 and entered into force on the day of the approval. Since then, until now (2021), Vietnam's Law on Protection of the Environment (hereinafter "Vietnamese Environmental Act") has also been amended three times (see Table 2).

Table No. 3 shows the structure of Vietnamese Environmental Act and its later amendments. Its first edition contained an introduction and 7 chapters with a total of 55 paragraphs without appendices. The introduction to this law includes the following definition "The environment is particularly important for the lives of humans and creatures and for the economic, cultural and social development of the country, the nation and mankind; the efficiency of state governance and the accountability of governments at all levels of state agencies, economic organizations, social organizations, the armed forces, the people and all individuals in environmental protection need to be improved. Protecting human health, ensuring human rights, living in a healthy environment, serving the country's sustainable development, contributing to the protection of the regional and global environment".

The first chapter, entitled "General provisions", defined the terms and terminology used in the law. There were only 12 of them in the first edition. The first amendment already included

	Act No.	Announcement in the Collection of Laws	Effectiveness since – to	sections/chapters	Number of paragraphs
Promulgation	17/1992 Coll.	05.12.1991	16.01.1992 – 30.06.1998	8	35
First amendment	123/1998 Coll.	13.05.1998	01.07.1998 – 31.12.2001	7	34
Second amendment	100/2001 Coll.	20.02.2001	01.01.2002 – 30.06.2017	6	28
Third amendment	183/2017 Coll.	09.06.2017	01.07.2017 – To this day	6	28

	Law number	Approval date	Effectiveness since – to	Chapters	Articles
Promulgation	29-L/CTN	27.12.1993	27.12.1993 – 30.6.2006	7	55
First amendment	52/2005/QH11	29.11.2005	01.7.2006 – 31.12.2014	15	136
Second amendment	55/2014/QH13	23.6.2014	01.1.2015 – 31.12.2021	20	170
Third amendment	72/2020/QH14	17.11.2020	01.01.2022 –	16	171

Chapter No.	Names of individual chapters		
	1993	2005	2014
1	General provisions	General Provisions	General Provisions
2	Preventing and resisting environment degradation, pollution and incidents	Environmental standards	Planning for environmental protection, strategic environmental assessment, environmental impact assessment and environmental protection plan
3	Overcoming environment degradation, pollution and accidents	Strategic environment assessment, environmental impact assessment and environmental protection commitments	Environmental protection concerns during the extraction and utilization of natural resources
4	State management of environment protection	Conservation and rational use of natural resources	Response to climate change
5	International cooperation in environment protection	Environmental protection in production, business and service activities	Protection of marine and island environment
6	Environment inspection and settlement of violation	Environmental protection in urban and residential areas	Water, air and land protection
7	Execution provisions	Protection of marine environment, river water and other water resources	Environmental protection in manufacturing, trading and service provision
8		Waste management	Environmental protection in urban areas and residential areas
9		Environmental incident prevention and response, pollution remedies and environmental rehabilitation	Waste management

22 terms. In the second and third amendments, there were a total of 29 and 38. Their content was different in most cases.

The term "sustainable development" was missing in the first edition. This concept was introduced in the first amendment to the 2005 law.

The second and third chapters were devoted to Preventing and resisting environment degradation, pollution and incidents; Overcoming environment degradation, pollution and accidents.

The fourth chapter was devoted to state management of environmental protection. It dealt with the role of the state in environmental protection.

The fifth chapter dealt with international cooperation in environment protection. At this time, Vietnam, as a member of the United Nations and a signatory to the 1992 Rio Conference, realized the importance of international cooperation in environmental protection. International cooperation was

therefore described in a separate chapter of this Act and its amendments.

The sixth chapter described Environment inspection and settlement of violation.

The seventh chapter contained implementation provisions.

Amendments

The Vietnamese Environmental Act, issued in 1993, was mainly used for preventing and resisting environment degradation, pollution and incidents and overcoming environment degradation, pollution and accidents in order to provide investors with the best conditions for their investments. Between 1986 and 2005, the development of the economy was given priority over environmental protection in Vietnam.

Therefore, the basic principles set out in the Rio Declaration such as the "principle of sustainable development" or the

"right of man to have a favorable environment" as one of the fundamental rights were missing.

The shortcomings of the first edition of the Vietnamese Environmental Act were resolved through its amendments.

For the first time the Vietnamese Environmental Act was amended in 2005, after twelve years since its adoption. Ten new chapters have been added.

The Vietnamese Environmental Act, amended in 2005, included many important additions to enable the state to provide new instruments for its environmental protection policy (Chapters II, III, IV and VIII, Law No. 52/2005/QH11). The amended law also confirmed the human right to a favorable environment and the right to information on the state of the environment (Chapter X - Environmental monitoring and information of Act No. 52/2005 / QH11, etc.). The amended law specified the protection of the environment in production, business and service activities, further in urban and residential areas and protection of marine environment, river water and other water resources. Chapters V, VI, VII and another important content of this amendment is contained in article 5, paragraph 5 of the law "Investing in environmental protection means the investment in development; diversifying investment capitals for environmental protection and designating expenditures for environmental protection from the State budget annually".

This means that the state has begun to focus on a new development policy, where environmental protection is an important factor in development. Unlike the previous period, where economic development was prioritized at the expense of the environment.

Sustainable development was, in terms of Vietnamese legislation, for the first time introduced and defined in the Vietnamese Environmental Act, as amended in 2005. Under the concept of sustainable development, we can imagine the development that meets the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs based on a close and harmonized combination between economic growth, assurance of social advancements and environmental protection. Unfortunately, the interpretation of the sustainable development concept remained unclear for many addressees of this legislation. In other words, many addressees of this legislation understood this concept in their own way.

The Vietnamese Environmental Act, as amended in 2005 despite creating a solid basis for state administration in the field of the environment; significantly contributed to the protection and reduction of negative effects on the environment, raised community awareness of environmental protection and created an initial orientation for the harmonious combination of economic growth with environmental protection.

Through the second amendment adopted in 2014: the number of chapters increased from 15 to 20 and the number of articles raised from 136 to 170. New terms such as technical regulations on environment, environmental health, environmental industry, pollution control, environmental documents, planning for environmental protection, environmental protection infrastructure, greenhouse gas, response to climate change, carbon credit and environmental security were added. Important chapters such as response to climate change; pollution control, environmental remediation and improve-

ment, compensations for environmental damages, etc. were listed. The amended law contained a total of 20 chapters and 170 articles.

One of the important milestones for the 2014 amendment was the fact that Article 43 of the Vietnam Constitution of 2013 clearly sets out people's rights and obligations towards the environment: "Everyone has the right to live in a healthy environment and has a duty to protect the environment". This is in line with the Rio Declaration of Rio de Janeiro. In accordance with the Constitution of 2013, the Vietnamese Environmental Act, as amended in 2014 took over the content of the Vietnamese Environmental Act, as amended in 2005 and at the same time removed its limitations and shortcomings.

Chapter II "Planning for environmental protection, strategic environment assessment, environmental impact assessment and environmental protection plan" is completely new and important in the framework of the amended law. Planning for environmental protection is a completely new content of this law, containing 5 articles (8 to 12). The following principles are set out here: principle of levels (state and provincial levels), planning period (10 years and vision of 20 years), planning responsibilities, consultation, evaluation, planning approval, revision and adjustment of planning. Planning will be the scientific and legal basis for the environment in the strategic planning or preparation of socio - economic development plans in order to link socio - economic development closely with environmental protection. Strategic environment assessment, environmental impact assessment and environmental protection plan are also an important part of this chapter to prevent environmental pollution and ensure sustainable development.

According to a study (20) by the World Bank published in 2011, Vietnam was one of the countries most affected by climate change. Therefore, the issue of responding to climate change was included in the Vietnamese Environmental Act, as amended in 2014 as Chapter IV. This chapter contains 10 articles (39 to 48) which set out: general provisions on responding to climate change; integrating climate change response content into socio-economic development strategies and planning; management of greenhouse gas emissions; management of ozone depleting substances; development of renewable energy sources; environmentally friendly production and consumption; use of energy from waste; the rights and obligations of the community in response to climate change; development and application of science and technology in the field of climate change and international cooperation in response to climate change.

The third amendment was adopted in December 2020. In its new form the law will particularly come into force on 01.01.2022. Paragraph 3 of article 29 "The content of the preliminary environmental impact assessment includes" will come into force later (on 01.02.2022). In its new form the law will consist of 16 chapters and 171 articles with important new points, such as:

- expanding the scope: "residential communities" is regulated as a subject in environmental protection, which strengthens environmental protection activities;
- information on environment: The law includes a principle that environmental protection activities

- must be public and transparent; clearly sets out responsibility for publishing information on air quality, environmental quality, hazardous waste, waste monitoring results – in accordance with the principle of prevention and awareness;
- environmental criteria for classifying investment projects including the scope, capacity and type of production, trade or services; land use areas, land with water level and/or sea area, extent of the use of natural resources; and sensitive environmental factors. Such criteria will help to determine which projects are subject to a preliminary environmental impact post-assessment (EIPA), an environmental impact assessment (EIA) and issuing a positive opinion in the field of environmental impact;
- regulation of conditions for maintaining a healthy environment complements many solutions for the protection of individual components of the environment. This approach is in line with the Rio Declaration of Rio and the Vietnam Constitution of 2013, which guarantee everyone's right to a healthy environment;
- synchronization of environmental management instruments in each phase of the project, starting with the consideration of the investment policy, project approval, project implementation until the official commissioning of the project;
- amendments to the content of measures to combat climate change: The aim is for the law to be systematic, logical and in line with the theory of the response to climate change, to be consistent and synchronous with similar regulations and organizational structures in the Natural Resources, Marine and Island Environment Act 2015; to comply with the Natural Disaster Prevention and Control Act of 2013 and with relevant international treaties, such as: the Paris Agreement on Climate Change; Comprehensive and Progressive Trans-Pacific Partnership Agreement (CPTPP); The EU-Vietnam Free Trade Agreement (EVFTA) and to contribute to improving the capacity and effectiveness of the climate change response in Vietnam in the future;
- activities of the state managing body in accordance with the principle of comprehensive, uniform and thoroughly decentralized management for the individual regions;
- concretizing regulations on the response to climate change and support the development of the domestic carbon market;
- individual policies for the development of sustainable models of economic growth, renewal and development of natural capital and others.

According to the evaluation, the Vietnamese Environmental Act, as amended in 2020 shortens more than 40% of administrative procedures, shortening their duration to 20-85 days. The law has a great response among experts.

Weaknesses of the Vietnam Environmental Protection Law
Weaknesses of the Vietnamese Environmental Act include:

- limited period of validity. One of the principles of environmental protection included in this law is defined as follows "Environmental protection must comply with the natural laws and characteristics, cultural and historical identities as well as the level of socio-economic development of the country";
- some terms used in this law have not been defined using new scientific knowledge, technology and practice. The most basic concept of "environment" is different in all editions. On the other hand, the definition of this term in the Czech Environmental Act is made with the highest possible use of knowledge of current science and technology;
- the addition of both new terms and articles is proof that the law did not comply with in practice. One example is the fact that Vietnam is a "coastal" country with a coastline of more than 3000 km. Vietnam is strongly affected by climate change, especially in the lower Mekong region, but until the second amendment in 2014 the response to climate change was not included in the Vietnamese Environmental Act;
- industrial parks and export processing zones have been established and operated since 1991, but environmental issues related to these industrial parks were not enshrined in the Vietnamese Environmental Act until 2005. The environmental requirements for these industrial zones are now described in article 36. Until 2006 up to 70% of industrial parks did not have their own waste treatment system; 90% of production, sales and service companies did not treat wastewater;
- The Vietnamese Environmental Act was first approved in December 1993 following a conference in Rio. However, the basic principles set out in the Rio Declaration such as the "principle of sustainable development" and the "human right to a favorable environment" as one of the fundamental rights were missing;
- sustainable development was introduced for the first time in the first amendment from 2005 and further in the amendments from 2014 and 2020. However, it is not understood as in Czech law, i.e., as one of the basic legal order principles;
- the "human right to a favorable environment" has not been implemented until the second amendment in 2014;
- the right to environmental information is not guaranteed.

The Vietnamese Environmental Act was born in 1993 in the context of economic recovery and at the instigation of the Declaration of the Rio Conference. It was confirmed from the introduction that "The environment is of particular importance for the lives of humans, organisms and the economic, cultural and social development of the country, the nation and humanity". Thus, the importance of the environment has been gained.

It can be confirmed that between 1993 and 2005, environmental protection in Vietnam focused mainly on the prevention and control of environmental degradation, pollution,

environmental incidents and overcoming environment degradation, pollution and accidents. There was a period when economic development took precedence over environmental protection, and it was even necessary to sacrifice the environment for economic development. Therefore, sustainable development was not mentioned in the original wording of the Vietnamese Environmental Act.

The Vietnamese Environmental Act, as amended in 2005 stated that "investment in environmental protection is investment in development". It ensured diversified sources of investment capital for environmental protection and separate expenditures on environmental needs in the state budget for the given year. The principle of environmental protection is to be consistent with economic development and to ensure social progress for the sustainable development of the country. National environmental protection must be linked to regional and global environmental protection.

The Vietnamese Environmental Act, as amended in 2014 is a turning point. The state now has a policy of financial and land benefits for the purpose of environmental protection, environmentally friendly production and business. State now also has a policy of conservation of biological diversity, rational and economically exploitation and use of natural resources, developing clean and renewable energy and for promoting recycling, reusing and waste reduction. Sustainable development has been included in various areas (forest resource development, sustainable urban development etc.). There are laws and policies that address climate change.

The Vietnamese Environmental Act, as amended in 2020 is a systematically comprehensive logical change, drafted in accordance with relevant international treaties, such as: the Paris Agreement on Climate Change; Comprehensive and Progressive Trans-Pacific Partnership Agreement (CTPP); The EU-Vietnam Free Trade Agreement (EVFTA). It should contribute to improving the capacity and effectiveness of the climate change response in Vietnam in the future. It is based on the laws of nature, without sacrificing environmental protection in exchange for economic growth. Environmental protection is no longer just a prevention, control and treatment of waste. Production and development activities must be in harmony with nature and promote the protection and development of nature.

International integration and cooperation in the field of environmental protection is a great success of the Vietnamese Environmental Act which focuses on the management and protection of environmental components, biodiversity conservation, green growth, sustainable development, response to climate change, securing resources and fulfilling obligations arising from international treaties and agreements relating to the environment, fulfilling trends in international integration and promotes international economic integration.

Vietnam's environmental law is becoming more sophisticated and extensive, corresponding to Vietnam's development period.

Comparison of the Czech Environmental Act and Vietnamese Environmental Act

It is obvious there are numerous differences between Czech Environmental Act and the Vietnamese Environmen-

tal Act. These differences are reflected in many respects, including the structure and content of the compared legal regulations.

Czech Environmental Act is based on three basic theses stating that since its adoption it has been working with the principle of sustainable development. On the other hand, the Vietnamese Environmental Act did not work with the principle of sustainable development at the time of its adoption because the country's economic development was given priority over environmental protection. The principle of sustainable development was incorporated into the Vietnamese Environmental law through an amendment in 2005.

Czech Environmental Act is a cross-cutting legal regulation which is followed by component legislation. As a cross-cutting legal regulation it forms together with component legislation the formal sources of environmental law in the Czech Republic. On the other hand, the Vietnamese Environmental Act is to some extent a comprehensive environmental code. It necessarily follows that in its case the legislator had to work with less abstraction. The Vietnamese Environmental Act, as amended, is even more extensive which may bring difficulties in its application in the future, due to its excessive specificity.

The main reasons for the differences between above-mentioned legislations seem to be:

- differences in the legislative process,
- different level of economy (the Czech Republic is a member of the OECD and the EU with an advanced economy while Vietnam is a developing country),
- different legal culture and traditions,
- different geographical location.

Current practice shows that despite the differences between above-mentioned legal regulations both Acts fulfill their purpose, thereby contributing to realization of the principle of sustainable development.

In September 2015 the UN adopted the Sustainable Development Goals (SDGs). The UN has set a total of 17 primary goals for sustainable development. Each primary goal is further specified by individual secondary goals, of which there are 169. The Sustainable Development Goals apply to all states that make up the international community. Each state can contribute to these goals. The Czech Republic, Vietnam and many other countries have followed up on these sustainable development goals and at the same time they prepared their own sustainable development goals. Nowadays the principle of sustainable development forms an integral part of the legal order both in the Czech Republic and Vietnam.

Conclusions

Sustainable development is still an important factor not only in the countries with advanced economies but also in developing countries, i.e. everywhere in the world. Almost all countries in the world face the same problems such as climate change, demographic change, the loss of arable land, deepening inequalities between rich and poor countries and deepening inequalities between people within countries. Behavior in accordance with the principle of sustainable development is a challenge for each of us, for every company, society, region or state, and, after all, for all of humanity and our planet.

Sustainable development is now enshrined not only in the Czech Environmental Act and in the Vietnamese Environmental Act but also in similar laws of other states. Nowadays we have legal instruments both for protecting the environment and for improving the environment. Through them we

can achieve a favorable environment for all citizens and meet the goals of sustainable development.

Spreading awareness about sustainable development and the legislation that includes this concept remains highly current and desirable.

Literatura – References

1. MEADOWS, D., RANDERS, J. The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. New York: Universe Books, 205 p. [online]. ISBN 0876631650. OCLC 307838.
2. Our common future. World Commission on Environment and Development. First Edition. Prague: Academia, 1991, 297 p. ISBN 80-853-6807-2. (in Czech)
3. Agenda 21: Report of the United Nations Conference on Environment and Development Rio de Janeiro, 3-14 June, 1992. Prague: Ministry of Environment of the Czech Republic, 1998, 328 p. ISBN 80-7212-039-5. (in Czech)
4. KRUŽÍKOVÁ, Eva. Environmental policy and environmental law in the European Union. First Edition. Prague: Publishing House of Litomyšl's Seminary, 1997, 186 p. ISBN 809021682X. (in Czech)
5. KRATĚNOVÁ, Adéla. Sustainable development as a legal principle. Prague: 2015. Thesis, Charles University, Faculty of Law. Thesis supervisor JUDr. Karolína Žáková, Ph.D., 82 p. (in Czech)
6. GERLOCH, Aleš. Theory of law. Fourth Modified Edition. Pilsen: 2007, 336 p. ISBN 978-80-7380-652-1. (in Czech)
7. Preamble of the Treaty on European Union.
8. The Treaty on the Functioning of the European Union, Article 11.
9. DAMOHORSKÝ, Milan. Environmental law. Third Edition. Prague: C.H. Beck, 2010, 629 p. ISBN 978-807-4003-387. (in Czech)
10. Preamble of the Charter of Fundamental Rights of the European Union.
11. The Charter of Fundamental Rights of the European Union, Article 37.
12. Act No. 17/1992 Coll., on the environment, as amended.
13. Act No. 244/1992 Coll., on the assessment of the impacts of development concepts and programs on the environment (15.04.1992, effective from 01.07.1992).
14. Act No. 114/1992 Coll., on nature and landscape protection.
15. Act No. 334/1992 Coll., on the protection of agricultural land resources (12.05.1992).
16. Act No. 439/1992 Coll., on the protection and use of mineral wealth (Mining Act).
17. Act No. 289/1995 Coll., on forests and on amendments to certain acts (Forest Act).
18. Act No. 123/1998 Coll., on the right to information on the environment.
19. Act No. 258/2000 Coll., on the protection of public health.
20. Act No. 100/2001 Coll., on environmental impact assessment and amending some related laws (Act on Environmental Impact Assessment).
21. Act No. 541/2020 Coll., on waste.
22. Act No. 254/2001 Coll., on waters and amendments to some acts (the Water Act).
23. Act No. 167/2008 Coll., on prevention and remedying environmental damage and amendment to some laws.
24. Act No. 201/2012 Coll. on air protection of 2 May, 2012.

25. Vietnamese Law No. 29-L / CTN on Environmental Protection.
26. Vietnamese Law No. 52/2005 / QH11 on Environmental Protection.
27. Vietnamese Law No. 55/2014 / QH13 on Environmental Protection.
28. Vietnamese Law No. 72/2020 / QH14 on Environmental Protection.
29. PHAN, Dao, NGUYEN, Thuy Lan Chi, LAPČÍK, Vladimír, TRAN, Cam Nhung. Overview of the Activities of Industrial Parks and Impacts on Surface Water Quality in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Inżynieria Mineralna - Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 2 (44), 2019.
30. KOČÍKOVÁ, Pavla. The European Union and the environment. MONTANEX, 1998.
31. FIELD, Barry C., FIELD, Martha K. *Environmental Economics - an Introduction*. Fourth Edition. McGraw-Hill International Edition, 2006. ISBN 007-125585-0.
32. MOLDAN, Bedřich. *Environment in a global perspective*. Prague: Charles University, Karolinum Publishing House, 2020. ISBN 978-80-246-4677-0.
33. Declaration Rio de Janeiro 1992. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_CONF.151_26_Vol.I_Declaration.

Stanowisko Zasady Zrównoważonego Rozwoju w porządku prawnym Republiki Czeskiej oraz w ramach Wietnamskiej Ustawy o Ochronie Środowiska

Zasada zrównoważonego rozwoju, wyrażona m.in. w „Karcie Ziemi” i „Agendzie 21”, zatwierdzona na Konferencji ONZ ds. Środowiska i Rozwoju (UNCED) w Rio de Janeiro w czerwcu 1992 roku, stała się mottem i podstawą dla wielu krajów w planowaniu i określaniu ich polityki rozwoju. Zrównoważony rozwój można interpretować jako sposób rozwoju społeczeństwa ludzkiego, który godzi wzrost gospodarczy i postęp społeczny z ochroną środowiska w celu zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń. Ochrona środowiska jest częścią tej zasady i nie można jej od niej oddzielić. Nasz artykuł analizuje miejsce zasady zrównoważonego rozwoju w porządku prawnym Republiki Czeskiej oraz w kontekście wietnamskiej ustawy o ochronie środowiska; jednocześnie analizuje, porównuje i ocenia podejścia do realizacji zasady zrównoważonego rozwoju we wspomnianych systemach prawnych.

Słowa kluczowe: *Zrównoważony Rozwój, Czeski Porządek Prawny, Czeska Ustawa Nr 17/1992 Sb. O Środowisku – Czeska Ustawa O Ochronie Środowiska, Wietnamskie Prawo Ochrony Środowiska, Wietnamska Ustawa O Ochronie Środowiska, Wietnamska Ustawa O Ochronie Środowiska*



Recycling of Discarded Photovoltaic Modules Using Mechanical and Thermal Methods

Mustapha WAHMAN¹⁾, Agnieszka SUROWIAK¹⁾

¹⁾ AGH University of Science and Technology, Faculty of Civil Engineering and Resource Management, Department of Environmental Engineering, Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; email: wahman@agh.edu.pl, asur@agh.edu.pl

* Corresponding author: wahman@agh.edu.pl

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-13>

Submission date: 09-01-2022 | Review date: 18-03-2022

Abstract

Photovoltaic installations have experienced very significant growth worldwide since the early 2000s, driven by growing industry and government interest in mitigating climate change, decarbonization, and increasing energy demand. The most prevalent worry with photovoltaic (PV) panels is that their age is limited and they will eventually need to be decommissioned. With the expansion of PV production capacity worldwide, a large amount of PV panel waste will be generated in the future. Since PV panels contain heavy metals such as lead, cadmium and tin, this can have a significant impact on the environment. In addition, they also contain valuable metals (e.g. silver, gallium, indium and germanium) and standard materials (e.g. aluminum, glass) that represent a valuable opportunity when recovered. Developing a sustainable, environmentally friendly recycling process and maximizing the recovery of components from PV panels at the end of their life is expected to solve the PV waste problem. In this work, three alternative methods for recycling silicon-based (mono/polycrystalline) PV panels were investigated based on a combination of mechanical and thermal processes. The three alternative methods are a hammer crusher followed by thermal treatment and square sieve, a shredder crusher followed by thermal treatment and square sieve, and thermal treatment followed by a slotted sieve. X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) were performed to evaluate the properties of the obtained products. The results showed that thermal treatment followed by slotted sieve is the most effective method for direct glass recovery for all types of photovoltaic modules studied.

Keywords: PV panel, crystalline silicon, recycling, waste, mechanical and thermal processes

1. INTRODUCTION

Photovoltaic installations have experienced a very significant growth worldwide since the early 2000s driven by growing industry and government interest in mitigating climate change, decarbonization, and increasing energy demand [1]. From an estimated 1.3 – GW in 2000, global installed PV capacity reached 586 – (GW) in 2019, with a further increase to 4,500 GW projected by 2050 [2]. PV panels have the following main benefits: low carbon emissions, no dependency on fossil fuels, low payback period, ease of installation, freedom from maintenance, and cost-free energy sources [3; 4; 5]. Today, three major classes of photovoltaic panel technologies coexist: crystalline technologies (1st generation), thin-film technologies (2nd generation), and various technologies (3rd generation). Currently, the dominant PV technology uses crystalline silicon (monocrystalline and polycrystalline) as semiconductors (more than 90% of solar cells), but thin-film photovoltaic panels use cadmium telluride (CdTe), amorphous silicon, copper indium gallium selenide (CIGS), and copper indium selenide (CIS), which have been gaining momentum recently [6]. The third-generation includes technologies that are not yet available on a large scale, such as concentrator photovoltaics or organic solar cells [7]. Silicon based PV panel (monocrystalline and polycrystalline) generally comprises six main components like: solar photovoltaic cells, tempered glass, aluminum frame, encapsulation – EVA film layers, polymer rear back-sheet and junction box as is showing in Fig. 1 [8]. By weight, typical c-Si PV panels today contain about 76% glass (panel surface), 10% polymer (encapsulant and back sheet foil), 8% aluminum (mostly the frame),

5% silicon (solar cells), 1% copper (interconnectors) and less than 0.1% silver (contact lines) and other metals (mostly tin and lead) [9].

In a general environment, the lifetime of a photovoltaic module is 20–30 years, and when the conversion efficiency decreases to a certain degree, the module fails and must be scrapped. With the expansion of global PV production capacity, a large amount of PV panel waste will be generated in the future. Global PV waste (Fig. 2) is estimated to reach 4–14% (1.7 to 8 million tons) of total production capacity by 2030 and 80–89% (about 60 to 78 million tons) by 2050 [10]. The most important end-of-life panels in the waste stream (Fig. 3) will be c-Si (1st generation) panels (more than 40%), followed by 2nd generation panels (a-Si, CdT, CIGS) which will be increasing steadily over the years. The end-of-life quantities of 3rd generation panels (emerging technologies and CPV) will only play a minor role by 2050 [4].

PV waste are generally classified as WEEE in the EU directive 2012/19/EU. According to this directive end of life or discarded photovoltaic panels must be considered as electric and electronic equipment waste (WEEE), and specific goals of collecting, recovering and recycling must be achieved within the next years [11].

According to the existing literature, waste photovoltaic modules, if not properly disposed of, can have the following negative impacts on the environment and human health [12]: leaching of lead, loss of conventional raw materials, mainly glass and aluminium, and loss of rare metals, mainly silver. Nonetheless, the long-term sustainability of photovoltaics will depend primarily on the ability to recycle the enormous

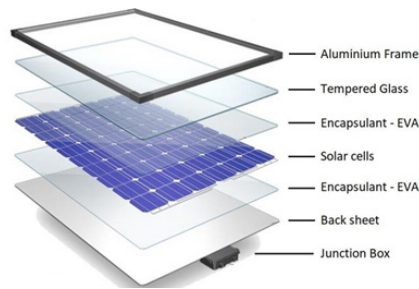


Fig. 1. The 6 main components used in the construction of a solar panel [8]
 Rys. 1. Główne komponenty budowy panelu słonecznego [8]

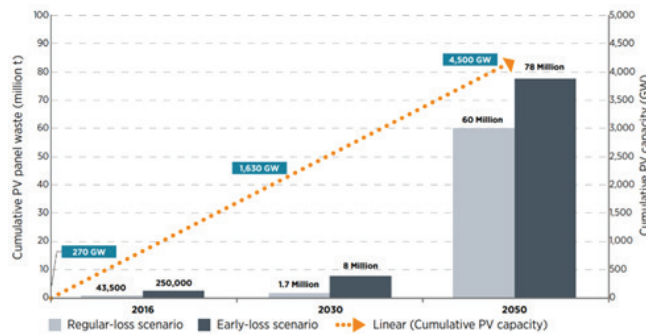


Fig. 2. Overview of global PV panel waste projections, 2016–2050 [10]
 Rys. 2. Przegląd globalnych prognoz dotyczących odpadów paneli fotowoltaicznych, 2016–2050 [10]

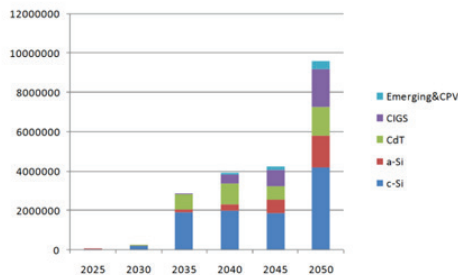


Fig. 3. PV e-waste generated by technology annually (in tonnes) [4]
 Rys. 3. Elektroniczne odpady fotowoltaiczne generowane rocznie (w tonach) [4]

quantities of end-of-life modules that are expected to be generated soon, not only to avoid pollution but also to avoid depleting the planet's mineral resources. Various recycling methods have been proposed in the scientific literature, including physical, thermal, chemical, or a combination of several methods, which are most commonly used for solar module waste recycling. Radziemska and Ostrowski discuss the best method for separating the components of silicon modules [13]. They believe that thermal methods are the best because it is a simple and fast methods to separate the components. Kim and Lee studied the dissolution of EVA in crystalline silicon PV using organic solvents (trichloroethylene, O-dichlorobenzene, benzene, and toluene) and ultrasonic irradiation [14]. Granata et al. studied in detail several physical methods for the recycling of Si and CdTe solar modules. Their study showed that recycling by physical treatment with crushing by a two-blade rotor, then by hammer crushing, and finally by heat treatment is the optimal choice for direct glass recovery [15]. Huang et al. proposed a technically, environmentally, and financially sustainable recycling process for wafer Si solar modules that recovers virtually all of the waste PV modules and leaves little for landfill [16]. Fiandra

et al. applied thermal treatment to recover the polycrystalline silicon using a high-temperature Lenton crude furnace [17]. Luo et al. conducted a hydrometallurgical study to recover Al, Ag, and Si from EoL silicon-based PV solar cells [18]. Some authors focused on thin-film PV panels. In particular, Sasala et al. investigated the feasibility of recycling CdTe modules by physical and chemical methods [19]. Wang and Fthenakis improved the recovery of Cd and Te from CdTe modules [20]. Berger et al. also investigated the recycling of thin-film PV panels (CdTe and CIS) by wet-mechanical methods such as abrasion and flotation, and by dry-mechanical methods such as vacuum blasting [21]. Existing technologies and processes for PV panel recycling have not been improved to achieve the required quality of recovered raw materials and meet environmental requirements. However, the separation of the different PV panel layers or the delamination process step is the main challenge in the existing recycling process [22; 23]. The efficiency of this stage determines the efficiency of recovery of semiconductor materials and metals as well as the reduction of losses [24]. To address the challenges of PV waste by developing a sustainable recycling process in an environmentally friendly manner and maximizing the recovery of components

Tab. 1. Main characteristics of the photovoltaic panels used in the research
 Tab. 1. Charakterystyka paneli fotowoltaicznych wykorzystanych w badaniach

Model No	ECO-400M-66SA	Q.PLUS-G4.3 285
Product Warranty	15 Years	10 Years
Panel Efficiency	21.03 %	17.1%
Panel Dimension (H/W/D)	1646x1140x30 mm	1670x1000x32 mm
Weight	19 kg	18,5 kg
Cell Type	Monocrystalline	Polycrystalline
Cell Size	158.75x158.75 mm	156x156
Cell Number	360	60
Glass Type	Tempered	Tempered
Encapsulant Type	EVA	EVA (Ethylene vinyl acetate)
Back Cover Type	TPT	TPT (Tedlar Polyester Tedlar)
Frame Type	Aluminium	Aluminium

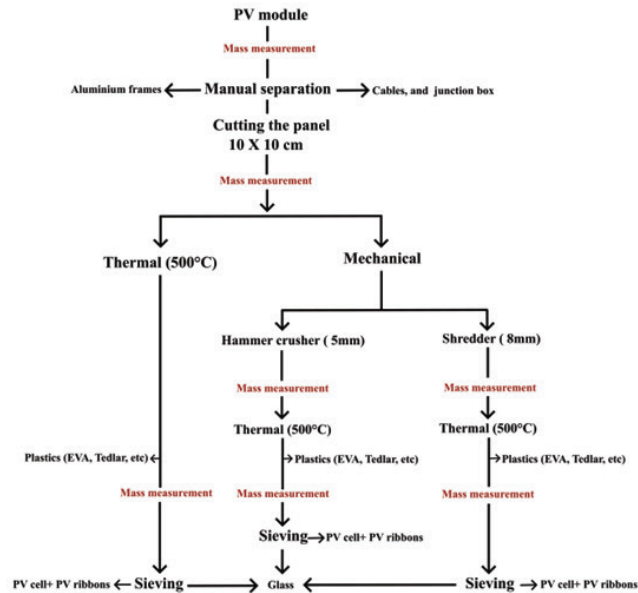


Fig. 4. Diagram of the general methodology applied in the study
 Rys. 4. Schemat opracowanej metodyki badań

from PV panels at the end of their useful life. In this study, three alternative processes for the recycling of silicon-based (mono/polycrystalline) PV panels were investigated, based on a combination of physical and thermal processes. The three alternative processes are hammer crusher followed by thermal treatment and sieve, shredder crusher followed by thermal treatment and sieve, and the thermal treatment followed by a slotted sieve. X-ray diffraction (XRD), and X-ray fluorescence (XRF) were performed to evaluate the properties of the obtained products. The novelty compared to the literature data is the application of the process for the treatment of different types of panels: polycrystalline and monocrystalline, beneficiation of particle separation based on size and shape with a simple technology that meets the economic and environmental requirements.

2. MATERIAL AND METHODS

To address PV waste challenges by developing a sustainable recycling process in an environmentally friendly manner and maximizing the recovery of components from PV panels at the end of their useful life, this work has developed a methodology that includes secondary and experimental research.

2.1. Secondary research

For this quantitative literature study, mainly consulting databases such as ResearchGate, PubMed, and ScienceDirect. Since PV module recycling is a concern of academia, industry,

and policymakers, Gray literature in the form of government and industry reports was also consulted (e.g. EU Commission, IEA, IRENA, and PV CYCLE), which provide important data to evaluate the most efficient recycling strategy for PV modules. Search terms include PV module, PV recycling, crystalline silicon, sustainable development goals, etc.

2.2. Experimental Research

2.2.1. Target sample

Discarded monocrystalline (ECO-400M-66SA), and Polycrystalline (Q.PLUS-G4.3 285) PV panels were collected from the factory. Some characteristics concerning the two modules used in the study are presented in Table 1.

2.2.2. Method

The diagram of the general methodology applied in the study is outlined in Figure 4. The first step was the manual removal of the aluminum frame, cables, and a junction box of both panels, using needle-nose pliers and a flat screwdriver to obtain the main body of the photovoltaic panel. Small pieces with a size of 10 mm × 10 mm were cut it by a circular saw from the PV panel in order to be used in the experimental for this work. In the mechanical process, crushing operations were carried out in a hammer crusher using a 5 mm inlet and in a shredder crusher in 8 mm inlet. Thermal treatment was performed at predetermined temperatures (500°C) for 60 minutes to separate the different layers, including the

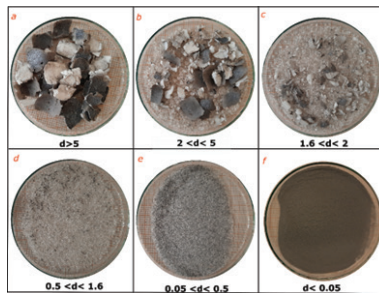


Fig. 5. Fractions obtained after hammer crushing
Rys. 5. Frakcje uzyskane po kruszeniu w kruszarce młotkowej

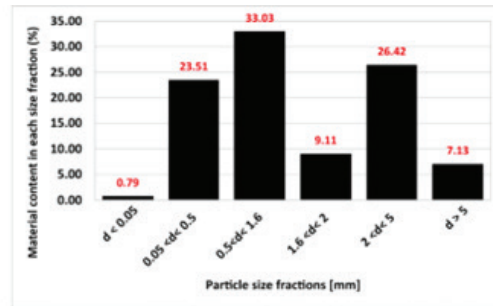


Fig. 6. Total size distribution after hammer crushing
Rys. 6. Rozkład wielkości rozdrobnionych frakcji w kruszarce młotkowej

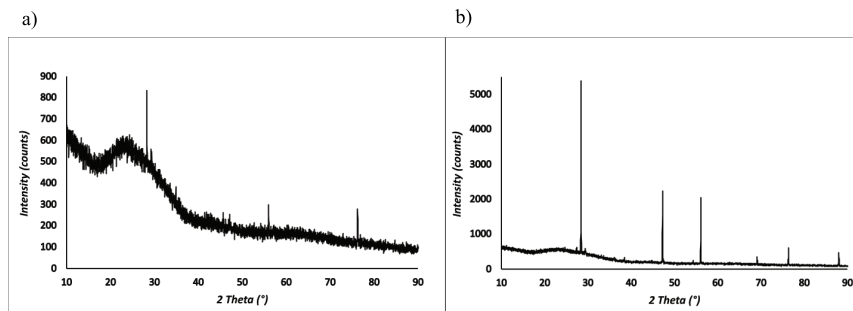


Fig. 7. Products analyzed by XRD: a) $d > 0.5$ mm and b) $d < 0.5$ mm after hammer crushing and thermal treatment
Rys. 7. Analiza XRD produktów po rozdrobnianiu w kruszarce młotkowej i obróbce termicznej: a) $d > 0.5$ mm b) $d < 0.5$ mm

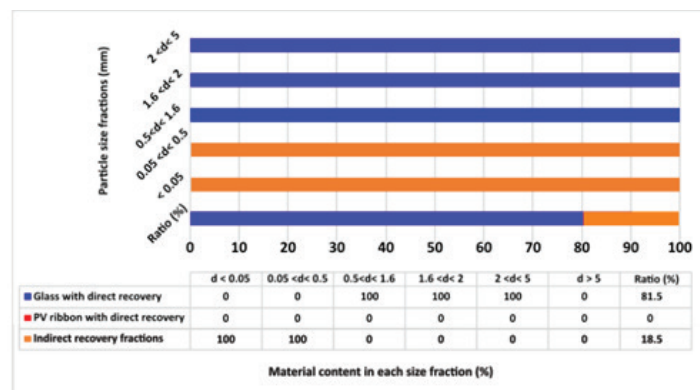


Fig. 8. Distribution of Glass+ PV cell, and PV ribbon in wt (%) among the sieving of crushed PV panel after hammer crushing
Rys. 8. Rozkład wielkości ziaren ogniw fotowoltaicznych Glass, Glass+ i taśmy fotowoltaicznej pokruszonego panelu fotowoltaicznego w kruszarce młotkowej, (%)

front EVA layer between the glass and the solar cells and the back EVA layer between the solar cells and the back sheet. The thermal treatment was carried out in the furnace. After size reduction and thermal treatment, a sieving analysis was carried out to evaluate the size and product distribution as well as mass fluxes in the process. For this purpose all samples were sieved by using 5 different sieves: 5.0, 2.0, 1.6, 0.5

and 0.05 mm. The materials were shaken on a Vibratory Sieve Shaker AS 200 digit. X-ray diffraction (XRD), and X-ray fluorescence (XRF) were performed to evaluate the properties of the obtained products.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Crushing by Hammer crusher

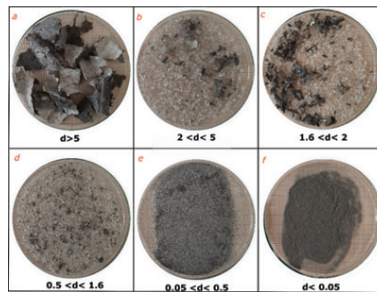


Fig. 9. Fractions obtained after shredder crusher

Rys. 9. Frakcje uzyskane po rozdrabnianiu w kruszarce typu shredder

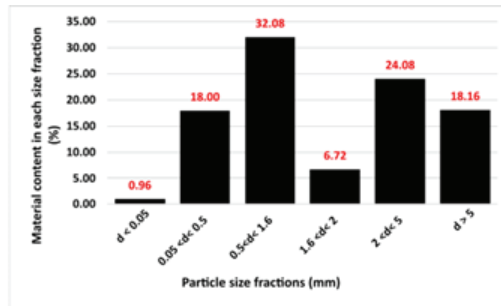


Fig. 10. Total size distribution after shredder crusher

Rys. 10. Rozkład wielkości ziaren po rozdrabnianiu w kruszarce typu shredder

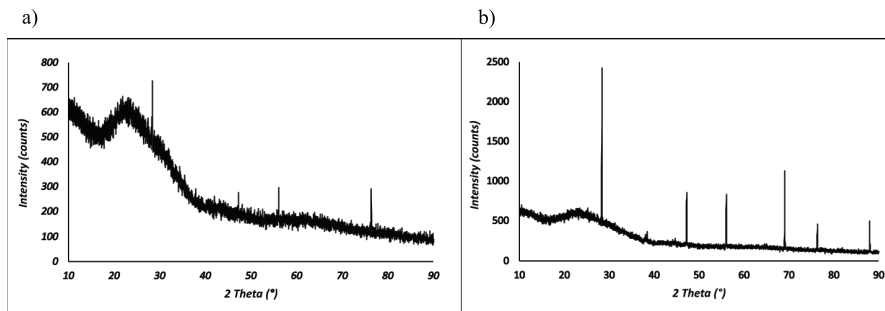


Fig. 11. Products analysed by XRD: a) $d > 0.5$ mm and b) $d < 0.5$ mm after shredder crusher and thermal treatment

Rys. 11. Analiza XRD produktów po rozdrabnianiu w kruszarce typu shredder i obróbce termicznej: a) $d > 0.5$ mm, b) $d < 0.5$ mm

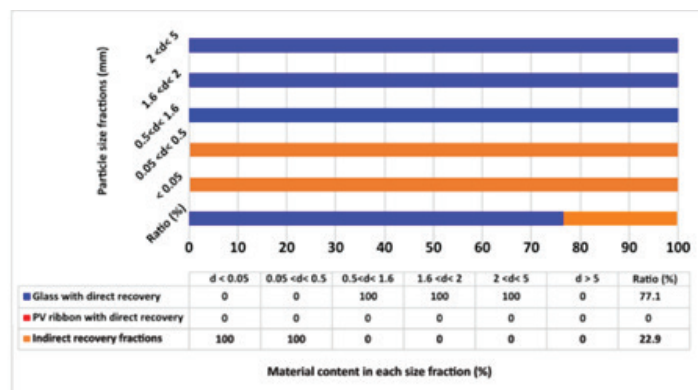


Fig. 12. Distribution of Glass Glass+ PV cell, and PV ribbon in wt (%) among the sieving of crushed PV panel after shredder crusher

Rys. 12. Rozkład wielkości ziaren ogniw fotowoltaicznych Glass, Glass+ i taśmy fotowoltaicznej pokruszonego panelu fotowoltaicznego w kruszarce typu shredder, (%)

During the comminution of the c-Si PV panels, the separation of the polymer (especially EVA, and Tedlar) associated with the PV structure proved to be difficult due to the very strong bonding between the materials. Achieving the desired particle size requires several comminutions stages. Size reduction of the comminuted materials resulted in the products shown in Fig. 5 with a size distribution in six sizes

fractions ($d > 5.0$ mm, $2.0 < d < 5.0$ mm, $1.6 < d < 2.0$ mm, $0.5 < d < 1.6$ mm, $0.05 < d < 0.5$ mm, and $d < 0.05$ mm) is shown in Fig. 6. It can be seen that the crushing process by the hammer crusher resulted mainly in a fraction with a size of $2.0 < d < 5.0$ mm and $0.5 < d < 1.6$ mm, (Figs. 5b and d) since several crushing stages were performed. As can be seen, the EVA cut sheets along with Tedlar were mainly contained

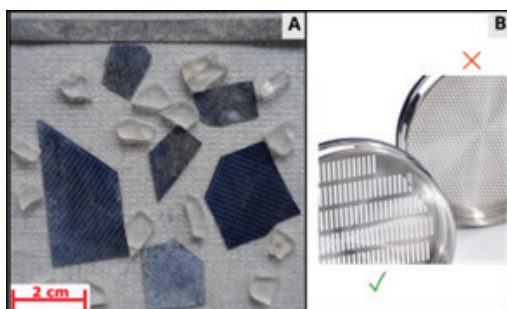


Fig. 13. A. Shape of the silicon and the glass particles after thermal treatment; B. Slotted sieve used
Rys. 13. A. Kształt cząstek krzemu i szkła po obróbce termicznej; B. Używane sito szczelinowe

in the $d > 5.0$ mm (Fig. 5a) and in a mixture with glass in the $2.0 < d < 5.0$ mm and $1.6 < d < 2.0$ mm fractions (Figs. 5b and c). Fractions larger than 1.6 mm were heated under predefined temperatures (500°C) for 60 min in order to break down the EVA aggregates and release more glass and metals. Thermal treatment determined 8.17% of weight loss because of EVA and Tedlar decomposition. The silicon and glass distributions were measured by XRD (X-ray powder diffraction) (Fig. 7). The amorphous phase was assumed to be glass, while the crystalline phase was assumed to be silicon. XRD analysis was performed for fraction $d > 0.5$ (glass fraction) and $d < 0.5$ mm (silicon fraction). According to the results, the glass fraction $d > 0.5$ (Fig. 7a) contains a rather large amount of silicon. Therefore, this fraction cannot be considered a directly recoverable clean glass fraction. The fraction below 0.5 mm (Fig. 7b) contains a considerable amount of silicon. However, the peaks obtained are small because this fraction also contains a considerable amount of amorphous phase (glass). As a result of this process, about 81.5% of the total weight of the sample after thermal treatment was recovered as glass, especially in the fraction with sizes of $2.0 < d < 5.0$ mm, $1.6 < d < 2.0$ mm and $0.5 < d < 1.6$ mm glass while about 18.5% was collected as finer $d < 0.5$ mm (Fig. 8) with a composition as indicated in Table 2. This percentage could be collected and then valorized through operations for further glass recovery.

3.2. Crushing by shredder crusher

The products displayed in Fig. 9 are the outcome of shredder crushing operation. Fig. 10 shows the distribution of various materials among the various size fractions. After crushing around 42.24% of the sample was a $d > 2.0$ mm fraction, in which the multilayer structure is still present and glass, silicon wafers, and back sheet are still glued together by crosslinked ethyl vinyl acetate (EVA). And around 32% of the sample was the fraction $0.5 < d < 1.6$ mm, due to the several crushing stages were performed. Once again, the EVA cut sheets along with Tedlar were mainly contained in the $d > 5$ mm (Fig. 9a) and in a mixture with glass in the $2.0 < d < 5.0$ mm and $1.6 < d < 2.0$ mm fractions (Figs. 9b and c). Fractions that contained polymers were heated under 500°C for 60 min in order to release more glass and metals. Thermal treatment determined 7.7% of weight loss because of EVA and Tedlar decomposition. XRD analysis was performed for fraction $d > 0.5$ (glass fraction) and $d < 0.5$ mm (metal fraction and silicon) (Fig. 11). According to the results, the glass fraction $d > 0.5$ contains a rather large amount of silicon (Fig. 11a). Therefore, this fraction cannot be also considered as a directly recoverable clean

glass fraction. The fraction below 0.5 mm (Fig. 11b) contains a considerable amount of metals and silicon. It could be recovered by further processes. As a result of this process, about 77.1% of the total weight of the sample after thermal treatment was recovered as glass, especially in the fraction with sizes of $2.0 < d < 5.0$ mm, $1.6 < d < 2.0$ mm and $0.5 < d < 1.6$ mm. About 22.9% of the total input weight was found to be finer than 0.5 mm fraction (Fig. 12) with a composition as indicated in Table 2.

3.3. Thermal treatment

In the thermal treatment, the sample was placed in a ceramic crucible with the glass facing down, and the back sheet was facing up and heated at predetermined temperatures (500°C) for 60 minutes to separate the different layers, including the front EVA layer between the glass and the solar cells and the back EVA layer between the solar cells and the back sheet. At the end of the thermal treatment, the results showed that the silicon particles were mainly smaller and thinner than the glass particles, which were large and thick (Fig. 13a). The difference in particle shape of the silicon particles and the glass particles was used as a method to improve the potential separation by particle shape, so a slotted sieve was used (Fig. 13b). Comminution by thermal treatment resulted in the products shown in Fig. 14. The distribution of the various materials among the different size fractions is shown in Fig. 15. After thermal treatment, most of the glass was contained in the coarse fractions, especially fractions $1.6 < d < 2.0$; $2 < d, 0 < 5.0$, and $d > 5$ (Figs. 14 a, b and c). Only the smaller glass particles are found in the fraction $d < 1.6$ with metals and silicon particles (Figs. 14 d, e and f). The metallic contacts (busbars) or PV ribbons can be obtained magnetically from the fraction $d < 1.6$. The silicon and glass distributions were measured by XRD. The distributions of glass and silicon for fractions $d > 1.6$ mm and $d < 1.6$ mm are displayed in Figs. 16 a and b respectively. In particular, for the fraction $d > 1.6$ mm (Figs. 14 a, b and c), the XRD data showed an amorphous pattern (Fig. 16a) meaning that it can be considered a recoverable glass fraction. The fraction $d < 1.6$ mm (Figs. 14 d, e, and f) contains a rather large amount of silicon and metals with a very small amount of glass (Fig. 16 b). After thermal treatment, the total direct weight recovery as a glass of total input weight from fractions $d > 1.6$ mm was 90.22%. Direct recovery PV ribbon total input weight was 0.57% from the fraction $0.5 < d < 1.6$. Around 9.21% of total input weight was found to be $d < 0.5$ mm fraction (Fig. 17) having a composition as in Table 2. It could be recovered by further processes.

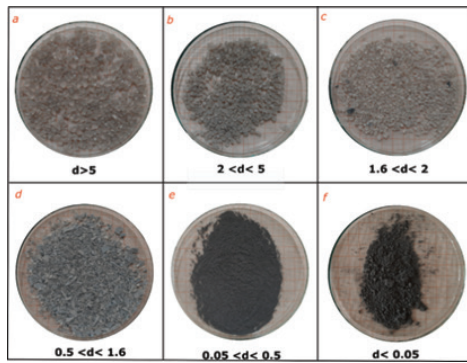


Fig. 14. Fractions obtained after thermal treatment
Rys. 14. Frakcje po obróbce termicznej

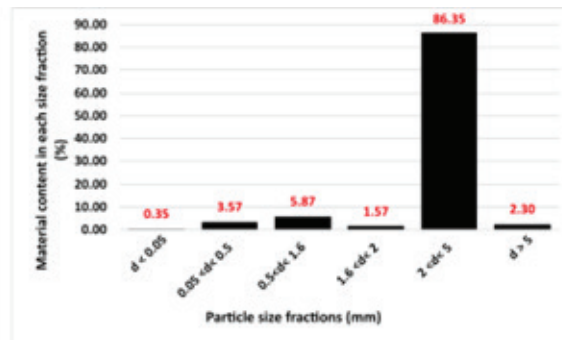


Fig. 15. Total size distribution after thermal treatment
Rys. 15. Rozkład wielkości ziaren po obróbce termicznej

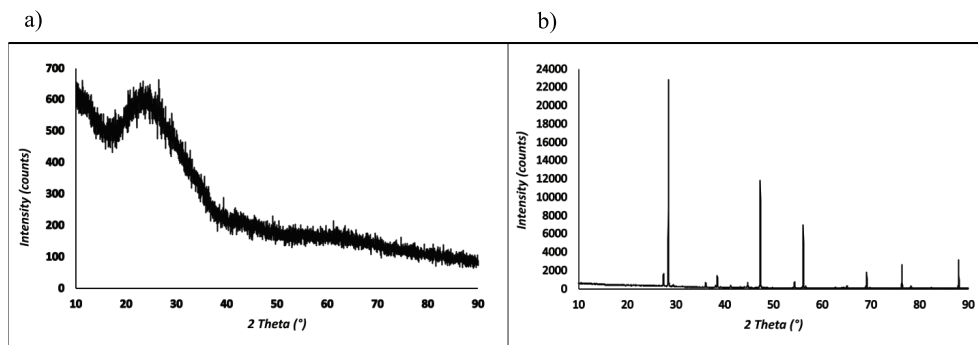


Fig. 16. Products analysed by XRD: a) $d > 1.6$ mm, b) $d < 1.6$ mm after thermal treatment
Rys. 16. Analiza XRD produktów po obróbce termicznej: a) $d > 0.5$ mm, b) $d < 0.5$ mm

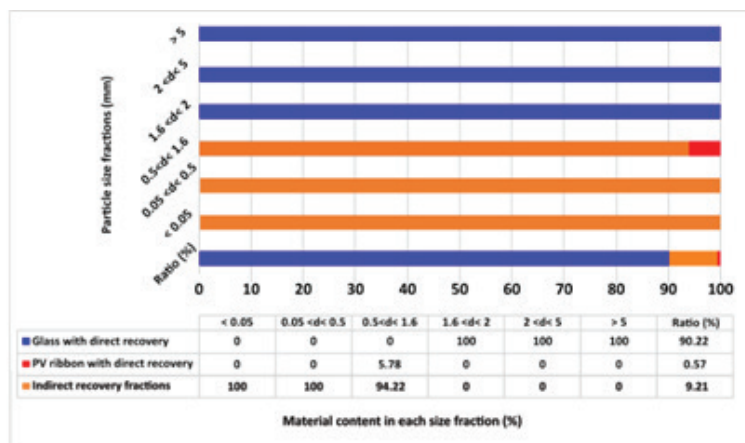


Fig. 17. Distribution of Glass, Glass+ PV cell, and PV ribbon in wt (%) among the sieving of crushed PV panel after thermal treatment
Rys. 17. Rozkład wielkości ziaren ogniw fotowoltaicznych Glass, Glass+ i taśmy fotowoltaicznej po obróbce termicznej, (%)

Tab. 2. Results of XRF analysis (the main metal composition of fraction $d < 0.5$ mm) (HC: Hammer Crusher; SK: shredder crusher; TT: Thermal Treatment; SQS: Square Sieve; SLS: Slotted Sieve)

Tab. 2. Wyniki analizy XRF (główny skład metali frakcji $d < 0.5$ mm) (HC: kruszarka młotkowa; SB: rozdrabniacz nożowy; TT: obróbka termiczna; SQS: sito kwadratowe; SLS: sito szczelinowe)

Processes	Si (%)	Ag (%)	Al (%)	Ca (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	Pb (%)	Sb (%)	Sn (%)	Ti (%)	Zn (%)
HC+TT+SQS	36.851	0.920	4.046	7.040	0.458	3.145	1.272	0.467	0.151	0.195	0.304	3.945	0.176
SK+TT+SQS	34.708	0.9842	1.6034	7.3454	0.33777	2.5827	1.2869	0.28711	0.11394	0.23437	0.14798	0.6638	0.14366
TT + SLS	49.818	1.369	5.509	4.645	0.045	0.186	0.866	0.006	0.091	0.103	0.079	4.720	0.022

4. CONCLUSION

Nowadays, there has been pressure to reduce the environmental burden and to use primary raw materials in an economic way. This is the reason for the continuous development and search for new materials using mainly recycled secondary raw materials. Crystalline silicon type PV panels in the order of mass are composed of 76% glass (panel surface), 10% polymer (encapsulant and back sheet foil), 8% aluminum (mostly the frame), 5% silicon (solar cells), 1% copper (interconnectors) and less than 0.1% silver (contact lines) and other metals (mostly tin and lead). The recovery of these materials and their return to the economy can be used to manufacture new PV panels. A method for recycling of disposed silicon-based PV panel (mono/polycrystalline) using physical and thermal treatments has been presented in this work. Three alternative methods were investigated: hammer crusher followed by thermal treatment and sieve, shredder crusher followed by thermal treatment and sieve, and the thermal treatment followed by a slotted sieve. The first step was disassembly of the

panel to remove the aluminum frame, cables, and a junction box. The results showed that the main difference between the three alternative methods was found in the different fraction percentages and in their composition. As for thermal treatment experimental results reported in this work, they showed about 7–8% of weight loss for Si panels. In order to obtain the highest mass recovery, thermal treatment followed by a slotted sieve proved to be the most effective method for direct glass recovery according to the shape of particles. This process allowed 90% recovery of the module weight (without frame, polymer and other equipment) as glass from fractions $d > 1.6$ mm and the latter did not contain impurities in terms of Si and metals. The finer fractions can be collected and eventually treated for a further metal recovery process.

ACKNOWLEDGMENT

This research work has been carried out in the AGH University of Science and Technology, Doctoral School, no 10.16.100.7999.

Literatura – References

1. M. Franco and S. Groesser. 2021. A Systematic Literature Review of the Solar Photovoltaic Value Chain for a Circular Economy. *Sustainability*, 13, 9615, <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/17/9615>.
2. IRENA, 2019, Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration, and socio-economic aspects. *Glob. Energy Transform.* <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic>
3. EC 2020a – European Commission, Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU – a foresight study, 2020. EU 2020
4. BIO Intelligence Service on European Commission, DG ENV, Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE Directive, A project under the Framework contract ENV.G.4/FRA/2007/0067, FINAL REPORT, 14 April 2011.
5. K. Guzik, A. Burkowicz, and J. Szlugaj, (2022). The EU's demand for selected critical raw materials used in photovoltaic industry. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 38(2), pp.31-59. <https://doi.org/10.24425/gsm.2022.141666>
6. F. Pagnanelli, E. Moscardini, G. Granata, T.A. Atia, P. Altimari, T. Havlik, L. Toro, 2017, Physical and chemical treatment of end of life panels: an integrated automatic approach viable for different photovoltaic technologies, *Waste Manag.* 59, 422–431, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.011>.
7. J. Tao and Y. Suiran, 2015, Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 141, Pages 108-124, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092702481500210X?via%3Dihub>
8. Wealthdaily, 2017. Special Report: Solar Technology. Wealthdaily. Available at: <http://www.wealthdaily.com/report/solar-technology/1409>.
9. K. Sander, I. Politik, 2007, Study on the Development of a Take-Back and Recovery System for Photovoltaic Products, <https://www.tib.eu/en/suchen/id/TIBKAT:59163323X/>
10. IRENA AND IEA-PVPS, 2016, End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels, ISBN:978-92-95111-99-8, <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>.
11. Official Journal of the European Guideline (24/07/2012)
12. M. M. Lunardi, J. P. Alvarez-Gaitan, and J. I. B. R. Corkish, 2018, A Review of Recycling Processes for Photovoltaic Modules, in *Solar Panels and Photovoltaic Materials*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74390>
13. E. Klugmann-Radziemska, P. Ostrowski, 2010, Chemical treatment of crystalline silicon solar cells as a method of recovering pure silicon from photovoltaic modules, *Renew. Energy* 35, pages 1751–1759. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148109005199>
14. Y. Kim and J. Lee, 2012, Dissolution of ethylene vinyl acetate in crystalline silicon PV modules using ultrasonic irradiation and organic solvent. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 98, pages 317-322, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024811006362>
15. G. Granata, F. Pagnanelli, E. Moscardini, T. Havlik, L. Toro, 2014, Recycling of photovoltaic panels by physical operations, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 123, pages 239–248, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.01.012>
16. B. Huang, J. Zhao, J. Chai, B. Xue, F. Zhao, X. Wang, 2017, Environmental influence assessment of China's multi-crystalline silicon (multi-Si) photovoltaic modules considering recycling process. *Solar Energy*. *Solar Energy*, Volume 143, Pages 132-141, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X16306454>
17. V. Fiandra, L. Sannino, C. Andreozzi, F. Corcelli, G. Graditi, 2019, Silicon photovoltaic modules at end-of-life: removal of polymeric layers and separation of materials, *Waste Manag.* Volume 87, Pages 97-107, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19300753>
18. L. Miaosi, L. Fangyang, Z. Zhe, J. Liang-xing, J. Ming, L. Yanqing, L. Jie, Z. Zongliang, 2021. A comprehensive hydrometallurgical recycling approach for the environmental impact mitigation of EoL solar cells. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Volume 9, Issue 6, 106830, ISSN 2213-3437, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106830>
19. R.A. Sasala, J. Bohland, K. Smigielskic, 1996, Physical and Chemical Pathways for Economic Recycling of Cadmium Telluride Thin-Film Photovoltaic Modules, *Solar Cells Inc.*, Toledo, OH, 43607. <https://ieeexplore.ieee.org/document/564265>
20. W.M. Wang, V. Fthenakis, 2005, Kinetics study on separation of cadmium from tellurium in acidic solution media using ion-exchange resins, *J. Hazard. Mater.* 125 (1–3) pages 80–88. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16118035/>
21. W. Berger, F. Simon, K. Weimann, E.A. Alsema, 2010, A novel approach for the recycling of thin film photovoltaic modules, *Resour. Conserv. Recycl.* 54, pages 711–718, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.12.001>.

22. C. Farrell, A.I. Osman, X.L. Zhang, A. Murphy, 2019, R. Doherty, K. Morgan, D. W. Rooney, J. Harrison, R. Coulter, D.K. Shen, Assessment of the energy recovery potential of waste Photovoltaic (PV) modules, *Sci. Rep.* 9 (1), 5267, <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41762-5>
23. P. Dias, L. Schmidt, M.M. Lunardi, N.L. Chang, G. Spier, R. Corkish, H. Veitb, 2021, Comprehensive recycling of silicon photovoltaic modules incorporating organic solvent delamination – technical, environmental and economic analyses, *Resour. Conserv. Recycl.* 165, 105241, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105241>.
24. A. Kuczyńska-Lażewska and E. Klugmann-Radziemska, 2018. Key issues of the recycling process of used photovoltaic modules of the 1st and 2nd generation. *Scientific Papers of the Institute of Mineral and Energy Economy, Polish Academy of Sciences*, 102, 329-342. <https://9lib.org/document/yr3k66oy-key-issues-recycling-process-generation-life-photovoltaic-modules.html>.

Recykling zużytych modułów fotowoltaicznych metodami mechaniczno-termicznymi

Instalacje fotowoltaiczne stały się bardzo popularnym rozwiązaniem na przestrzeni pierwszego dwudziestolecia XXI wieku. Spowodowane to było głównie rosnącym zainteresowaniem przemysłu i rządów poszczególnych państw dotyczącym skutków i kwestii łagodzenia - zmian klimatycznych, potrzeby dekarbonizacji, jak również rosnącym zapotrzebowaniem na energię. Najbardziej powszechnym problemem związanym z panelami fotowoltaicznymi (PV) jest to, że ich żywotność jest ograniczona, co powoduje, że ostatecznie będą musiały zostać wycofane z eksploatacji. Wraz z rozwojem mocy produkcyjnych PV na całym świecie, w przyszłości będzie generowana duża ilość odpadów związanych z panelami fotowoltaicznymi. Ponieważ panele fotowoltaiczne zawierają metale ciężkie, takie jak ołów, kadm i cyna, może to mieć znaczący wpływ na środowisko naturalne. Ponadto, odpady te zawierają również cenne metale (np. srebro, gal, ind i german) oraz standardowe materiały (np. aluminium, szkło), które po odzyskaniu stanowią cenne źródło tych surowców. Oczekuje się, że opracowanie zrównoważonego, przyjaznego dla środowiska procesu recyklingu i maksymalizacja odzysku komponentów z paneli fotowoltaicznych pod koniec ich życia rozwiąże problem odpadów fotowoltaicznych. W tej pracy zbadano trzy alternatywne metody recyklingu krzemowych paneli fotowoltaicznych (mono/polikrystalicznych) w oparciu o połączenie procesów mechanicznych i termicznych. Trzy metody odzysku polegały na wykorzystaniu kruszarki młotkowej, po której zastosowano obróbkę termiczną i klasyfikację na sicie kwadratowym, kruszarki nożowej typu schredder, a następnie obróbkę termiczną i klasyfikację na sicie kwadratowym oraz obróbkę termiczną, po której następuje klasyfikacja na sicie szczelinowym. Przeprowadzono analizy otrzymanych produktów za pomocą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) i fluorescencji rentgenowskiej (XRF) w celu oceny efektów odzysku. Wyniki wykazały, że obróbka cieplna, a następnie zastosowanie sita szczelinowego jest najskuteczniejszą metodą bezpośredniego odzyskiwania szkła dla wszystkich badanych typów modułów fotowoltaicznych.

Słowa kluczowe: panele PV, krzem krystaliczny, recykling, odpady, procesy mechaniczne i termiczne



Analysis of Mining Accident Levels against the Background of Changes in Productivity and Employment in the Hard Coal Mining Industry

Małgorzata WYGANOWSKA¹⁾, Katarzyna TOBÓR-OSADNIK²⁾

¹⁾ Ph.D., DSc, Eng.; Silesian University of Technology, Gliwice, Poland; email: malgorzata.wyganowska@polsl.pl

²⁾ Ph.D., DSc, Eng.; Silesian University of Technology, Gliwice, Poland; email: katarzyna.tobor-osadnik@polsl.pl

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-14>

Submission date: 09-01-2022 | Review date: 14-03-2022

Abstract

Occupational safety is an extremely important area of concern in every company. In mining companies, it occupies a particularly high position in the hierarchy of tasks and objectives. An accident at work is defined as a sudden event, caused by an external cause, resulting in injury or death of a worker and which occurred in connection with work. An accidental event consists of a number of interrelated adverse technical, organisational, environmental and human events. However, it is recognised that human error (interference) is usually the initiating factor of an accident at work. Among the causes of errors can be distinguished primarily: human failure, characteristics of the tasks performed, the conditions of the physical environment and the impact of the social environment, technical conditions. Therefore, within the framework of accident prevention, apart from the technical sphere, attention is also paid to the sphere of management – motivation, proper training, information flow, as well as assessment of psychophysical features of employees and their adaptation to the workplace. It is even more justified in the situation, where as it results from many years' data of the Central Statistical Office (GUS), the so-called human factor is responsible for about 60% of accidents at work in Poland. The level of accidents can be analysed from several angles. Interesting is correlation of level of accidents from factors, which have influence on management. Then it is possible by controlling these elements to influence the number of accidents at work. It is especially important in such branch as mining, in which according to GUS data the highest number of accidents was registered in Poland. Intuitively, most causes of accidents, according to the literature, are caused by human factors. A fall in the accident rate should be a natural consequence of a reduction in the workforce. However, a reduction in employment must not result in a decrease in labour productivity. In this article, the authors present the results of a study of correlation between these three indicators: employment level, productivity and accident rate, in Polish coal mines over the period 2003–2020.

Keywords: accidents, mining companies, productivity, employees

1. Introduction

An accident at work is defined as a sudden event caused by an external cause resulting in injury or death to an employee and occurring in connection with work (Art. 33).

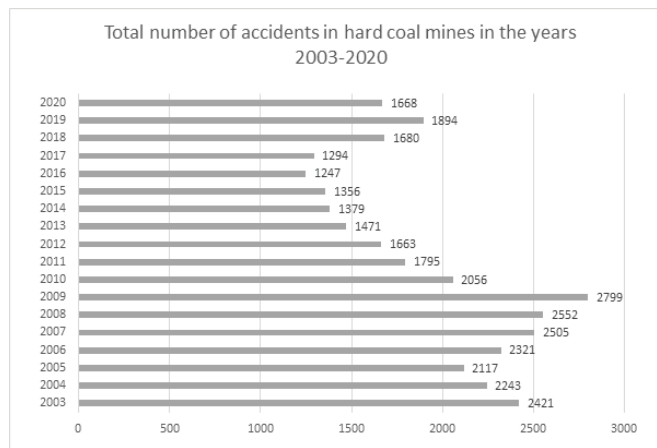
It is clear from the definition itself that an accident at work consists of four main elements (Konopka, 2021):

- the suddenness of the event,
- external cause
- relationship to work,
- injury or death as a result of the event.

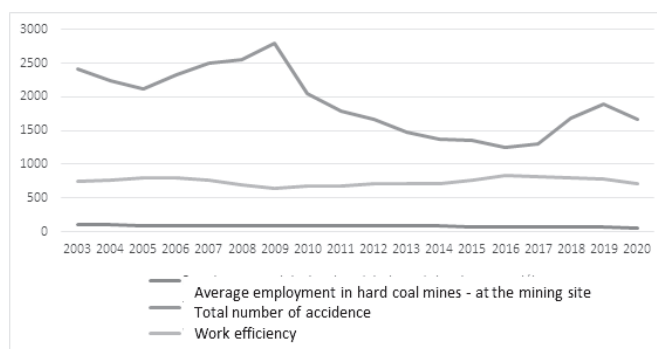
It is important that these elements have to occur simultaneously for there to be a work accident.

At the same time there has been an evolution in the theory of causality of accidents at work and related OSH prevention - from accidents being seen as "the result of a deviation, which is an event, characteristic or condition that deviates from the norm that defines a proper and planned production process" (Pietrzak, 2003) to "the model of an accident as a consequence of mistakes made due to a deficit of motivation, knowledge and experience" (Studenski, 1996) of employees. Such an approach prompts us today to address, within OHS prevention, not only the technical sphere but also the organisational one and to search for correlations between other factors that build effective management (Tobór-Osadnik, Wyganowska,

2020). Since OSH is an inseparable component of the management (Flin et al., 2000) system such approach inclines to examine within the framework of accident analysis not only the technical sphere but also the sphere of human resources management (Caruth et al., 2009). It is all the more justified in the situation where, as it results from many years' data of the Central Statistical Office (GUS), the so-called human factor is responsible for about 60% of accidents at work in Poland (Wyganowska, Tobór-Osadnik, 2014). According to GUS, in 2020 the highest number of accidents was recorded in the mining and quarrying section (<https://stat.gov.pl/>). An accident event consists of a series of interrelated adverse technical, organizational, environmental and human events (Studenski, 1999). It is recognized, however, that human error (disturbance) is usually the initiating factor of an accident at work. Among the causes of errors, we can distinguish primarily: human failure, characteristics of the tasks performed, conditions of the physical environment and the influence of the social environment, the first of which is very much related to the age or length of service of the employee. For many years, restructured companies in the mining sector have been striving to reduce the number of people employed, seeing in this an opportunity to quickly reduce fixed production costs. It can therefore be assumed that as the number of employees falls, the number of accidents at work should also fall.



Rys. 1. Liczba wypadków w pracy w kopalniach węgla kamiennego w latach 2003–2020 (dane statystyczne WUG)
 Fig. 1. Total number of accidents in hard coal mines in the years 2003–2020 (statistical data WUG)



Rys. 2. Zmiany w poziomie zatrudnienia, wypadkowości i wydajności pracy w kopalniach węgla kamiennego w latach 2003–2020
 Fig. 2. Changes in employment, accidents and efficiency of workers in hard coal mines in the years 2003–2020

2. Methodology

Is this the case for the mining industry? This was one of the main questions of the analysis conducted. The second question to which an answer was sought: Do changes in worker productivity levels translate into occupational accident rates. It can be assumed that an increase in productivity may lead to a greater number of errors leading to accidents, because the employee, in the pursuit of convenience or improved productivity, may try to bypass or disable the safety measures in place at the workplace, which in turn may also increase the accident rate (Pietrzak, 2007). The authors pointed out the other side of this situation. With proper occupational health and safety management, actions improving work efficiency should go hand in hand with occupational safety and widely understood prevention in this area.

The authors used correlation analysis to analyze the data. As it is known, this analysis in statistics consists of examining whether two variables are statistically significantly related to each other. However, not only the correlation coefficient is important, but also the researcher's inference (Donovan et al., 2014). Very important in correlation analysis is the fact that it does not examine the cause-effect relationship, but simply the relationship and co-occurrence of two variables (Śleszyński, 2020).

Correlation (interdependence of characteristics) determines the interrelationship between selected variables. Positive correlation (the value of the correlation coefficient from 0 to 1) – indicates that the increase of one attribute is accom-

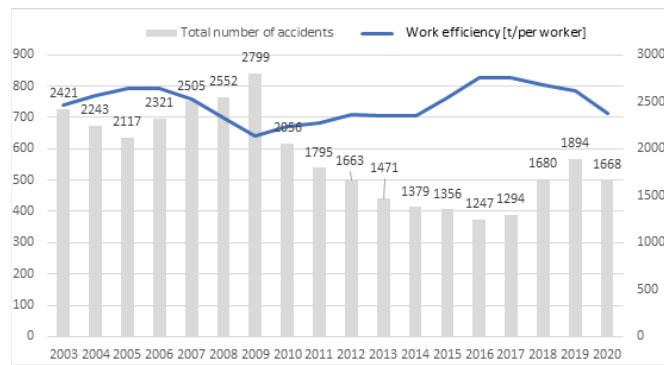
panied by the increase of average values of the other attribute, negative correlation (the value of the correlation coefficient from -1 to 0) – indicates that the increase of one attribute is accompanied by the decrease of average values of the other attribute (Hyk, Stojek, 2019).

The analysis presented in the publication was based on statistical data on the number of employees and accidents in mining companies in 2003–2020. The publication presents results of the analysis of correlation between productivity and changes in the number of employees and the number of accidents at work.

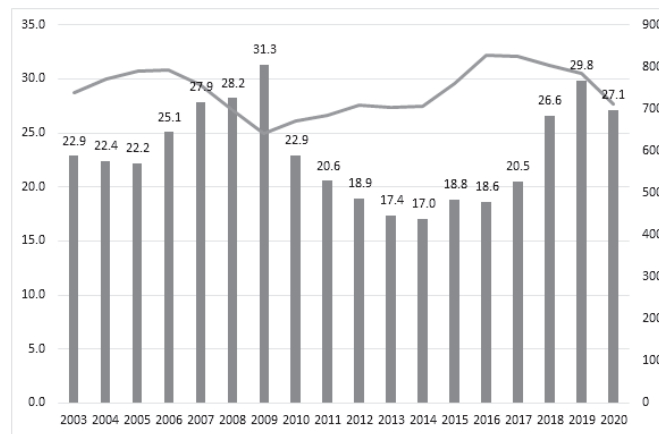
3. Investigating the relationship between employment, productivity and accidents in coal mines

The relationship between productivity, changes in employment and the number of accidents in hard coal mines was examined using Pearson's linear correlation coefficient. As mentioned earlier, this coefficient is used to examine rectilinear relationships of the variables under study, in which an increase in the value of one of the traits causes proportional changes in the average values of the other trait (increase or decrease). A weak correlation or lack of it occurs at values below 0.2.

As presented in figure 1 in the analysis of accidents recorded in mining companies between 2003 and 2020, it is difficult to clearly identify the dominant trend. It is only since 2009 that a downward trend can be observed, only to record an increase in accidents again in 2017. Interestingly, in 2009 there was an increase in the total number of accidents at min-



Rys. 3. Zmiana wydajności w korelacji do liczby wypadków w kopalniach węgla kamiennego w latach 2003–2020
 Fig. 3. Changes in efficiency against the number of accidents in hard coal mines in the years 2003–2020



Rys. 4. Wydajność pracy [t/osoba] w korelacji do poziomu wypadkowości w kopalniach węgla kamiennego w latach 2003–2020
 Fig. 4. Employee efficiency [t/per worker] against accident rate in hard coal mines in years 2003–2020

ing companies, which coincides with very high staff turnover in the previous year. According to statistics, almost 14,000 people were made redundant in the mining industry in 2008, while more than 17,200 new employees were hired (statistical data ARP).

Large fluctuations in the number of accidents at work can be observed between 2003 and 2020. Decreases in the number of persons employed were more regular - from an employment level of 105 800 persons in 2003 to 61 500 persons in 2020. However, the decrease of more than 44,000 people is not clearly reflected in the number of occupational accidents in coal mines.

The changes in the number of accidents and labour efficiency presented in Figure 3 throughout the analyzed period appear to be completely independent and uncorrelated. This is also what emerges from the study of correlation relationships. A coefficient of -0.34 was calculated (Table 1), which indicates a weak negative correlation relationship between the number of accidents and labour productivity over the period 2003–2020. A negative relationship means that when the values of one variable (productivity) increase, the values of the other variable (number of accidents) decrease.

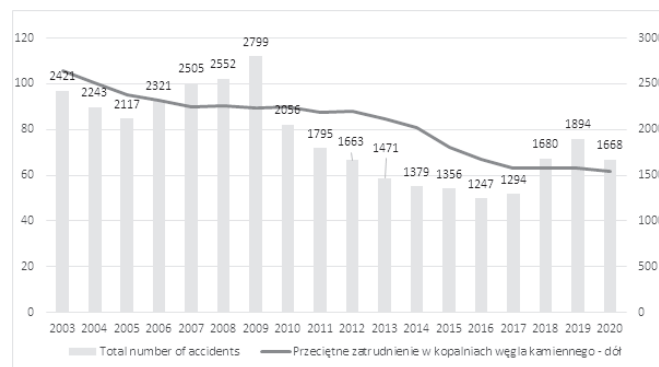
The calculated correlation coefficient indicates a high correlation relation between the number of persons employed in hard coal mines in 2003–2020 and the number of accidents – 0.68. A positive result indicates that as the number of persons employed decreases, the number of accidents also decreases. However, a deeper analysis of the data presented in Table 1

shows some deviations from this relationship. For example, in 2018 there was an increase in employment by only 100 people (0.16%) and in the number of accidents by 386, i.e. by almost 30% compared to 2017. The courses of changes in both quantities in the years 2003–2020 are illustrated in Figure 4.

4. Summary

Human errors that may lead to accidents at work often occur in situations of mismatch between the requirements set by the employer and the workers' capabilities. One such requirement may be high productivity or an expected rapid increase in productivity. This can lead to a quantitative overload of workers, which in the chain of events leads to an accident situation. Often such a situation is a consequence of dysfunctions of the existing management system, including human resources in the enterprise. Therefore, activities leading to the desired increase in productivity, which are carried out inappropriately, may create difficult situations and, consequently, accidents. It can be noted that accidents are also symptoms of inadequacy of the workplace to the assumed tasks or to the conditions in which the assumed objectives are to be achieved. A consequence of this assumption is the idea of accident prevention, which involves preventing accidents by initiating actions and creating solutions to increase the company's ability to eliminate such causes of accidents. It is therefore worth examining the correlation between selected quantities and the number of accidents at work in order to define possible inadequacies. With the above assumptions in

Year	Average employment in hard coal mines - at the mining site [thousands]	Total number of accidents	Work efficiency [t/per worker]
2003	105,8	2421	739
2004	100,2	2243	771
2005	95,3	2117	791
2006	92,6	2321	793
2007	89,9	2505	758
2008	90,4	2552	698
2009	89,4	2799	641
2010	89,8	2056	671
2011	87,3	1795	684
2012	87,8	1663	710
2013	84,7	1471	704
2014	80,9	1379	706
2015	72,1	1356	761
2016	66,9	1247	827
2017	63,0	1294	825
2018	63,1	1680	804
2019	63,3	1894	784
2020	61,5	1668	712
CORRELATION FACTOR	0,68		-0,34



Rys. 5. Zmiany poziomu zatrudnienia w korelacji do liczby wypadków w kopalniach węgla kamiennego w latach 2003–2020

Fig. 5. Changes in the average employment against the number of accidents in hard coal mines in the years 2003–2020

mind, the authors analyzed in the presented publication the correlation between the number of accidents at work and productivity and the level of employment, so that, on the basis of the research carried out, they could draw conclusions and create pro-efficiency system solutions in the field of safe work in this area.

To summarize – the number of accidents at work decreases with a fall in the number of employees, but there is no cor-

relation between the number of accidents and productivity. Changes in productivity, whether increases or decreases, do not translate into decreases or increases in the number of accidents in hard coal mines over the 18-year period analyzed. These phenomena are very positive and may indicate that the process of staff reduction and increase of work efficiency is being properly implemented from the point of view of safety systems.

Literatura – References

1. Art. 3 ust. 1 ustawy z dnia 30 października 2002 r. o ubezpieczeniu społecznym z tytułu wypadków przy pracy i chorób zawodowych (Dz. U. z 2017 r. poz. 1773, z późn. zm.)
2. Konopka M., 2021, Problematyka wypadków przy pracy w aspekcie zarządzania przedsiębiorstwami w Polsce, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Zarządzanie, Nr 41, s. 66–74
3. Pietrzak L., 2003, Modele wypadków przy pracy, Bezpieczeństwo pracy, Nr 10, 2003, s. 23–26
4. Studenski R., 1996, Organizacja bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice
5. Tobór-Osadnik K., Wyganowska M., 2020, Czynniki ludzkie w efektywnej i bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie górniczym, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice
6. Flin R, Mearns K, O'Connor P, Bryden R., 2000, Measuring safety climate: identifying the common features. Safety Science, 34, 177–192
7. Caruth D.L., Caruth G.D., Pane S.S., 2009, Staffing the Contemporary Organization, Greenwood Publishing Group, Westport, USA
8. Wyganowska M., Tobór-Osadnik K., 2014, Motywowanie pracowników kopalń węgla kamiennego do przestrzegania przepisów bhp. Wiadomości Górnicze, 11, 591 – 600.
9. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/wypadki-przy-pracy-w-okresie-styczenwrzesien-2020-r-dane-wstepne,3,41.html> (23.07.2021).
10. Studenski R., 1999, Zarządzanie bezpieczeństwem. Prawne, techniczne i psychologiczne zasady organizacji bezpiecznej pracy w małej i średniej firmie, Główny Instytut Górnictwa, Katowice
11. Pietrzak L., 2007, Analiza wypadków przy pracy dla potrzeb prewencji, Wyd. PIP i Główny Inspektorat Pracy, Warszawa
12. Donovan H., Gene P, Tyson W, Hugenholtz F, Beiko R. G., 2014, STAMP: statistical analysis of taxonomic and functional profiles, Oxford Journals, Science & Mathematics, Bioinformatics, 30 (21), 3123–3124.
13. Śleszyński Z., 2020, Wyznaczanie współczynników korelacji liniowej – podstawy. Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician, 65 (6), 69–87
14. Hyk W., Stojek Z., 2019, Analiza statystyczna w laboratorium badawczym, PWN, Warszawa
15. Statistical data WUG (Wyższy Urząd Górniczy).
16. Statistical data ARP (Agencja Rozwoju Przemysłu).

Analiza poziomu wypadkowości w górnictwie na tle zmian wydajności i zatrudnienia w górnictwie węgla kamiennego

Bezpieczeństwo pracy jest niezwykle istotnym obszarem troski w każdym przedsiębiorstwie. W przedsiębiorstwach wydobywczych zajmuje wyjątkowo wysoką pozycję w hierarchii zadań i celów. Wypadek przy pracy definiuje się jako zdarzenie nagłe, wywołane przyczyną zewnętrzną, powodujące uraz lub śmierć pracownika, a które nastąpiło w związku z pracą. Na zdarzenie wypadkowe składa się wiele powiązanych ze sobą niekorzystnych zdarzeń technicznych, organizacyjnych, środowiskowych i ludzkich. Uznaje się jednak, że zazwyczaj czynnikiem inicjującym wypadek przy pracy jest błąd (zakłócenie) człowieka. Pośród przyczyn popełniania błędów można wyróżnić przede wszystkim: niesprawność człowieka, cechy realizowanych zadań, warunki fizycznego środowiska oraz wpływ środowiska społecznego, uwarunkowania techniczne. Dlatego w ramach profilaktyki wypadkowości oprócz sfery technicznej zwraca się uwagę również na sferę zarządzania – motywację, prawidłowe szkolenie, przepływ informacji, a także ocena cech psychofizycznych pracowników i ich dopasowania do stanowiska pracy. Jest to tym bardziej uzasadnione w sytuacji, gdzie jak wynika z wieloletnich danych GUS, za około 60% wypadków przy pracy w Polsce odpowiedzialny jest tzw. czynnik ludzki. Poziom wypadkowości można rozpatrywać w kilku ujęciach. Interesująca jest korelacja poziomu wypadkowości od czynników, na które ma wpływ kłownictwo. Wtedy można sterując tymi elementami wpływać na liczbę wypadków przy pracy. Jest to szczególnie ważne w takiej branży jak górnictwo, w którym według danych GUS odnotowano ich najwięcej w Polsce. Intuicyjnie naturalnym następstwem zmniejszenia zatrudnienia powinien być spadek poziomu wypadkowości. Jednakże zmniejszenie stanu zatrudnienia nie może powodować spadku wydajności pracy. W artykule autorki zaprezentowały wyniki badania korelacji między tymi trzema wskaźnikami: poziomem zatrudnienia, wydajnością i wypadkowością, w polskich kopalniach węgla kamiennego na przestrzeni lat 2003–2020.

Słowa kluczowe: wypadki, kopalnie, wydajność, pracownicy



Results of Pilot Research Work on the Content of Rare Earth Elements in Metallurgical Wastes from Nowa Huta

Rafał BARON¹⁾

¹⁾ Instytut Techniki Górniczej KOMAG; email: rbaron@komag.eu

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-15>

Submission date: 23-01-2022 | Review date: 29-03-2022

Abstract

The article presents the results of analyses of the content of rare earth elements in Nowa Huta's metallurgical wastes deposited in two sedimentation tanks. These studies were undertaken due to strategic importance of the rare earth elements in development of state-of-the-art technologies. The waste materials were analysed using the inductively coupled plasma ionization mass spectrometry technique – ICP MS. The tests showed that the collected materials contain rare earth elements. The cumulative content of these elements in the samples was found to be slightly above 140 ppm. The article also presents proposals for further, in-depth tests of Nowa Huta's metallurgical waste.

Keywords: rare earth elements (REE), metallurgy, metallurgical waste

1. Introduction

Metallurgical waste dump sites are contaminated with heavy metals posing a threat to both humans and the ecosystem. The group of heavy metals includes such elements as: lead, cadmium, chromium, nickel, mercury and arsenic. In small amounts, they are necessary for life processes, while long-term exposure to them is associated with negative health effects, such as cancer, organ damage, or changes in the circulatory system. Therefore, it is necessary to neutralize this type of dump sites [1,2,3,4].

Content of REE in the tested material samples collected from Nowa Huta waste dump site was initially analyzed to determine possibility of using the metallurgical waste materials in industrial processes. Consumption of rare earth elements, due to their economic importance, is constantly growing, with a projected doubling by 2060 [5,6]. Due to the lack of natural sources of REE in Poland, the KOMAG Institute of Mining Technology made an attempt to recover valuable elements from metallurgical waste.

Correlation between the content of heavy metals and content of REE in waste dump sites was assumed. Analyses of usefulness of power plant and mining wastes, in the perspective of recovery of REE from this type of materials, have shown a potential of REE content [7-11].

The share of REE in samples of materials from settling tanks, which are metallurgical waste dumps is specified.

2. Rare earth elements – realization of R&D work

REE is a group of 17 valuable elements important in development of state-of-the-art technologies. Due to their physico-chemical properties, they are widely used in many innovative industries [12-14]: REE is a group of 17 valuable elements important in the development of state-of-the-art technologies:

- cerium (Ce) – metallurgy, analytical chemistry,
- dysprosium (Dy) – petrochemical industry,
- erbium (Er) – lasers,

- europium (Eu) – liquid crystal displays,
- gadolinium (Gd) – CRT screens,
- holmium (Ho) – nuclear technology,
- ytterbium (Yb) – optical fibers,
- yttrium (Y) – ceramics,
- lanthanum (La) – hybrid vehicles,
- lutetium (Lu) – roentgen luminophores,
- neodymium (Nd) – strong magnets,
- praseodymium (Pr) – glass colouring,
- promethium (Pm) – source of Beta radiation,
- samarium (Sm) – nuclear reactor rods,
- scandium (Sc) – aviation industry,
- terbium (Tb) – diodes,
- thulium (Tm) – magnetic materials.

REE are not rare regarding the average content in Earth's crust, but their concentrated deposits are limited. The largest concentrated deposits of REE are in China, the USA, Russia and Australia. The European Union, including Poland, in its natural resources, do not have deposits of enough concentration of REE. In Poland, the source of rare earth elements are natural resources (coal, sand and gravel) and waste (waste electronic equipment, mining and metallurgical waste) [15,16]. In view of the above and the assumed correlation of REE content with heavy metals content, a research work defining the content of REE in metallurgical waste was realized.

2.1 Collection of materials for tests

The samples were collected from the wastes after production of steel, from the sedimentation pond located in Nowa Huta in Krakow containing the following by-products from the blast furnace process [4]:

- slags,
- blast furnace gases,
- blast furnace sludge,
- blast furnace dust.

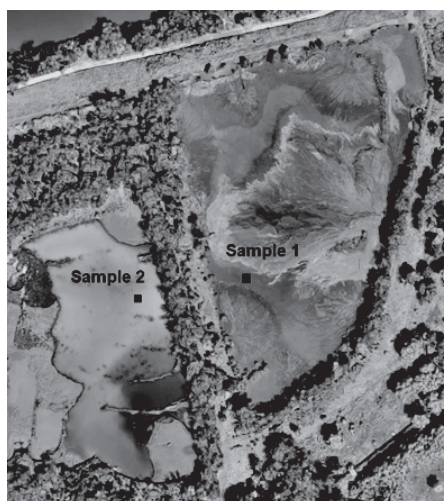


Fig. 1. Settling ponds with marked samples collecting points (own report)

Rys. 1. Widok stawów osadowych z zaznaczonymi miejscami poboru próbek (opracowanie własne)



Fig. 2. Place of collecting the sample 1 (own report)

Rys. 2. Widok miejsca poboru próbki 1 (opracowanie własne)



Fig. 3. Place of collecting the sample 2 (own report)

Rys. 3. Widok miejsca poboru próbki 2 (opracowanie własne)

On 10.06.2020 samples were taken manually from randomly selected points of two sedimentation ponds (Fig.1):

- Sample 1 – Pulp sample from the sedimentation pond 1 (Fig.2).
- Sample 2 – Pulp sample from the sedimentation pond 2 (Fig.3).

The material was collected at points approximately 25 cm deep from the surface of the settling tanks. The collected samples had a pulp consistency with a predominance of solids. 10 kg of material were collected from each of the two sedimentation ponds. The material placed in the bags was then transported to the KOMAG Institute of Mining Technology for determination of valuable elements content.

2.2 Preparation of the material

Before analysis of the chemical composition of collected material, it is important to properly prepare the samples. The material, which was analyzed with the ICP-MS spectrometer, should be standardized.

The pulp-like material was dried in a laboratory dryer (Fig. 4), and then averaged with a Jones divider (Fig. 5) to extract 0.5 kg of a representative sample.

Inductively coupled plasma mass spectrometry method (ICP-MS) was used to determine the content of REE in the analyzed representative sample. The used IPC-MS spectrometer enables fast, elemental analysis of the tested material sample. Before analysis, the samples were mineralized and dissolved, then the solution was introduced into the plasma to verify REE content [17].

2.3 REE content in metallurgical waste

The scope of analysis included determination of the dry matter content (> 99%) in accordance with the PN-ISO 11465: 1999 standard and determination of the REE content according to the testing procedure (Tab. 1).

Laboratory tests showed the presence of almost all-15 REE (except yttrium). Content of each element in the tested material samples is almost identical. The highest content of REE was determined in sample P1, containing 17.26 ppm of neodymium.

Total content of REE (Figure 6) in metallurgical waste samples is as follows:

- P1 – 147.4 ppm,
- P2 – 142.3 ppm.

When analyzing the REE content curves for samples of metallurgical waste from two settling ponds (Fig. 7), despite

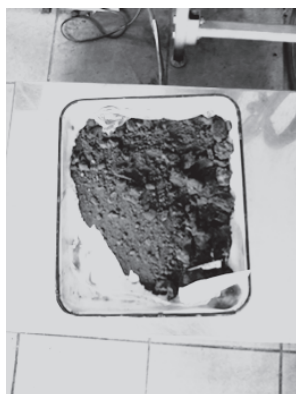


Fig. 4. Dried metallurgical waste (own report)

Rys. 4. Wysuszony odpad metalurgiczny (opracowanie własne)



Fig. 5. Jones divider (own report)

Rys. 5. Dzielnik Jones'a (opracowanie własne)

Tab. 1. Content of rare earth elements in metallurgical waste [18]

Tab. 1. Zawartość pierwiastków ziem rzadkich w odpadach metalurgicznych [18]

Item	Sample	Content of rare earth elements [ppm]								
		Sc	Y	La	Ce	Nd	Pr	Sm	Eu	
1	Sample 1 (P1)	16,40	<1	3,91	13,0	17,26	5,39	13,15	5,91	
		Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		16,29	5,39	13,57	4,10	11,26	2,91	14,35	4,51	
2	Sample 2 (P2)	Sc	Y	La	Ce	Nd	Pr	Sm	Eu	
		15,51	<1	3,62	12,5	16,76	5,18	12,81	5,70	
		Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		16,08	5,17	13,20	3,90	10,89	2,76	13,92	4,33	

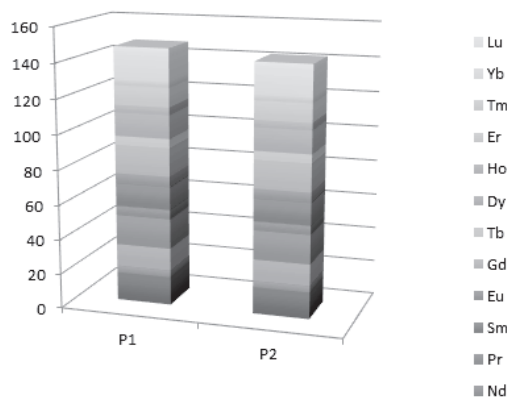


Fig. 6. Concentration of all REE in the samples (own report)

Rys. 6. Koncentracja wszystkich REE w próbkach (opracowanie własne)

the organoleptic difference (different colour of material from the settling ponds 1 and 2), an almost identical content of each element can be observed. It is concluded that metallurgical waste with very similar characteristics was/is transported to both settling ponds in Nowa Huta.

3. Conclusions

During this R&D work, content of REE in the samples of metallurgical waste from the settling ponds in Nowa Huta was determined. These results are the complementation of the previous research work realized at the KOMAG Institute of Mining Technology on REE content in the mining or power

plant wastes as the another group of materials being an alternative source of REE in Poland. The intention was to give the deposited waste material a new economic significance.

The content of valuable elements (about 140 ppm) in the analysed waste material, using the method of sampling and testing, does not economically justify exploitation of these deposits, the objective of which would be the recovery of RRE. Nevertheless, further, in-depth research work on the material from these sedimentation tanks seem to be interesting too. As part of future work, the tests should be extended by including the material collected in several places of the settling pond and from a much greater depth. This material should be

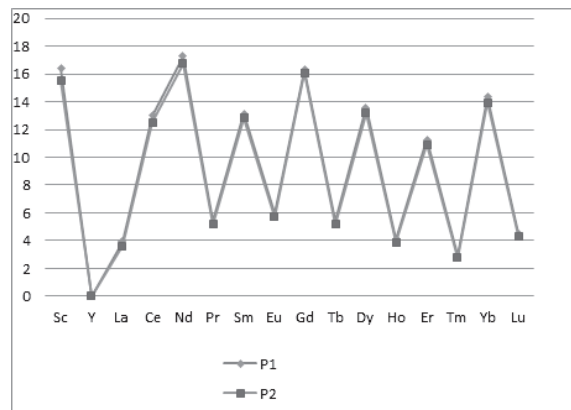


Fig. 7. Content of each REE in the samples (own report)

Rys. 7. Koncentracja poszczególnych REE w próbkach (opracowanie własne)

grain classified and different grain classes should be tested. The research work should also be extended by magnetic and electrostatic classification to determine the susceptibility of REE to classification in the magnetic field and electrostatic interactions.

In the case of higher content of REE (above 1000 ppm – economic profitability threshold [19]) resulting from planned processing, there is a possibility of economically justified recovery of REE.

Literatura – References

1. Krzyżak J.: Wspomagana fitostabilizacja metali ciężkich w glebach, Rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska, Wrocław, 2013
2. Skowronek K., i in.: Stan gleb pod kątem zanieczyszczenia wybranymi metalami ciężkimi oraz węglowodorami na terenie gminy Dąbrowa Górnicza, Okręgowa stacja chemiczno-rolnicza w Gliwicach, Gliwice, 2009
3. Ociepa-Kubicka A., Ociepa E.: Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2012, t.15. nr. 2, s. 169-180
4. Konstanciak A.: Odpady z produkcji surowki wielkopiecowej, Prace Instytutu Metalurgii Żelaza, 2009, t. 61, nr. 5, s. 26-29
5. Odporność w zakresie surowców krytycznych: wytyczanie drogi do większego bezpieczeństwa i bardziej zrównoważonego rozwoju, Komunikat komisji do parlamentu europejskiego, rady, europejskiego komitetu ekonomiczno-społecznego i komitetu regionów, Bruksela, 2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN> – dostęp 11.05.2021
6. Horizon Europe. The next EU research & innovation investment programme (2021-2027), European Commission, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/presentations/horizon_europe_en_investing_to_shape_our_future.pdf - dostęp 11.05.2021
7. Baron R.: Determination of Rare Earth Elements Content in Hard Coal Type 31.1: Management Systems in Production Engineering, 2020 v. 28, no. 4, p. 240–246,
8. Baron, R.: Determination of rare earth elements in power plant wastes. Min. Mach. 2020 nr 4 s. 24-30
9. Friebe P.: Tests of neodymium content in selected materials. Min. Mach. 2020 nr 2 s. 38-47
10. Baron, R.: Assessment of rare earth elements content in the material from mine heaps. Min. Mach. 2021 nr 3 s. 18-27
11. Friebe P.: Determining the possibility of using the Polish aggregates for recovery of rare earth elements. Min. Mach. 2021 nr 2 s. 34-43
12. Jarosiński A., Lucyna M.: Wybrane zagadnienia otrzymywania miszmetalów I innych metali ziem rzadkich, Inżynieria Mineralna, R. 17, nr , s. 249–256, 2016
13. Balaram V. „Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact”, Geoscience Frontiers, Volume 10, Issue 4, pp. 1285-1303, 2019
14. Jarosiński A.: Możliwości pozyskania metali ziem rzadkich w Polsce. Zeszyty Naukowe. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 2016; Vol. 92, pp. 75-88.
15. Całus-Moszek J., Białecka B.: Analiza możliwości pozyskania pierwiastków ziem rzadkich z węgla kamiennego i popiołów lotnych z elektrowni. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 2013; Vol. 29, No.1.
16. Kathryn M. Goodenough K. M., Wall F., Merriman D. „The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations”, Natural Resources Research volume 27, pp. 201–216, 2018.
17. Ammann A.: Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP MS): A versatile tool. Journal of Mass Spectrometry. 2007; Vol. 42, pp. 419-27
18. Baron R.: Określenie koncentracji pierwiastków ziem rzadkich w poszczególnych klasach ziarnowych, dla wybranych materiałów, EP-P65-26412. ITG KOMAG Gliwice 2020 (materiały niepublikowane).
19. Cavalcante F., Belviso C., Piccarreta G., Fiore S.: Grain-Size Control on the Rare Earth Elements Distribution In the Late Diagenesis of Cretaceous Shales from the Southern Apennines. Journal of Chemistry, 2014

Wyniki badań pilotażowych zawartości pierwiastków ziem rzadkich w odpadach metalurgicznych Nowej Huty

W artykule przedstawiono wyniki analiz zawartości pierwiastków ziem rzadkich w odpadach metalurgicznych Nowej Huty zdeponowanych w dwóch osadnikach ziemnych. Badania te podjęto w związku z znaczeniem strategicznym pierwiastków ziem rzadkich (REE) w perspektywie rozwoju nowoczesnych technologii. Analizy laboratoryjne pozyskanych odpadów przeprowadzono z zastosowaniem techniki spektrometrii mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej – ICP MS. Przeprowadzone badania wykazały, że w pobranych materiałach znajdują się pierwiastki ziem rzadkich. Stwierdzono, że kumulatywna zawartość tych pierwiastków w próbkach wynosi nieco powyżej 140 ppm. W artykule przedstawiono również propozycje dalszych, pogłębionych badań odpadów metalurgicznych Nowej Huty.

Słowa kluczowe: pierwiastki ziem rzadkich (REE), metalurgia, odpady metalurgiczne



Which is Preferable for Coal Cleaning by Flotation: Pine Oil or $MgCl_2$?

Rawya GAMAL¹⁾, Ayman A. EL-MIDANY¹⁾, Salah E. EL-MOFTY^{1*)},
Nader A. A. EDRESS²⁾

¹⁾ Mining, Petroleum, and Metallurgical Engineering Dept, Faculty of Engineering, Cairo University, Egypt

²⁾ Geology Department, Faculty of Science, Helwan University, Helwan, Cairo, Egypt

*Corresponding Author, Mining Engineering Dept., Faculty of Engineering, Cairo University, Egypt; email: mpm_cu@yahoo.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2022-01-16>

Submission date: 26-01-2022 | Review date: 30-03-2022

Abstract

Coal flotation using inorganic salts receives special attention. It utilizes coal hydrophobicity to float coal without adding collectors. Although different salts were tested, chloride salts are the most promising ones. However, the stabilization of froth layer using the salts only is dubious. Therefore, in this study, the flotation of coal was tested using either magnesium chloride or pine oil as a frother to see if there is a difference in coal flotation between these reagents in terms of ash removal and coal recovery in the float fraction. Additionally, both magnesium salt and pine oil were added together to clarify their interactive effect using statistical design. The results proved that the presence of either reagent (i.e., pine oil or $MgCl_2$) is significant in reducing the ash content and increasing coal recovery. Using the $MgCl_2$ only reduced the ash to less than 4.3% with a coal recovery up to 28% while adding 1.0 kg/t pine oil along with 4 kg/t $MgCl_2$ enhanced the reduction of ash to less than 3% with a coal recovery of up to 80% at pH 2.

Keywords: magnesium chloride, pine oil, frother, coal, flotation

1. INTRODUCTION

Removal of ash forming minerals from coal is environmentally mandated. The flotation of coal is a promising process to remove or even minimize the ash content. Recently, the flotation of coal in salt solutions attracts the researchers' attention worldwide, where the coal can be floated without collector or frother, but with the addition of inorganic salts [1-3]. The flotation of coal, although it is a hydrophobic material, in electrolyte solutions has numerous advantages. For instance, adding salts to water reduces the occurrence of cavitation as the amount of dissolved air is minimized [4]. Salt flotation is a physicochemical process, therefore the presence of electrolytes enhances the effect of electrostatic interaction, affects the electrical double-layer (EDL) between bubbles and particles, and reduces their zeta potentials [5]. Using salts not only reduces bubble coalescence but also the bubble size [6-7]. At high electrolyte concentrations, a strong attraction between the particles occurs due to the specific adsorption of cations that leads to significant changes in the surface charge of the particles [8].

Several papers have studied the collector-less flotation of coal using different salts. Most of these studies referred to chloride salts and especially to $MgCl_2$ as the most promising salt for removing ash with relatively suitable recovery [2-3; 9-10].

This paper studies the effect of either magnesium chloride or pine oil as a frother on ash removal from coal by flotation using the statistical design. The individual and interactive effects of using reagents were revealed and their interactive effect. The flotation using $MgCl_2$ in the presence and absence of pine oil was compared to show the importance of pine oil in stabilizing bubbles in the froth layer in terms of ash removal and coal recovery in the float fraction.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Materials

The coal sample was provided from El-Maghara region, Sinai, Egypt. The sample was subjected to several steps of crushing and grinding to get the suitable particle size for subsequent processes of characterization and flotation.

2.2 Methods

2.2.1. Proximate and ultimate analyses

The coal sample was characterized by proximate, ultimate, and calorific values analyses. Standard analysis procedures were followed according to ASTM Standards [11-13].

2.2.2. Flotation tests

Denver flotation cell (D-12) with a cell capacity of 1.5 L was used for flotation tests. The coal sample, of $-0.5+0.075$ mm particle size, was added to the flotation cell and pulped in 300 ml of distilled water through which the sodium hydroxide was added to adjust the pH at pH 9. The predetermined $MgCl_2$ salt dosage was added and left for 5 min as a conditioning time then the 10% solids was achieved by adding water. The frother (pine oil) was added before the air was introduced at impeller speed of 1200 rpm, and the concentrate was collected for 3 min.

2.2.2.1. Statistical design

23 factorial design with three mid-points was used for coal flotation by $MgCl_2$ in the absence or presence of pine oil, at different pH values taking ash content or coal recovery in the float fraction as responses. The Design-Expert software, Stat-Ease, Inc., Minneapolis, USA was used for statistical analysis and to estimate the statistical parameters using analysis of variance (ANOVA) within 95% confidence interval.

Tab. 1. Proximate and ultimate analysis of El-Maghara coal (As received, a.r; dry base, d.b; dry-mineral-matter-free, dmmf basis; moist-mineral-matter-free mmmf basis)

Tab. 1. Analiza zbliżeniowa i końcowa węgla El-Maghara (w stanie otrzymanym, ar; sucha baza, db; sucha-bez substancji mineralnych, dmmf; baza wilgotno-mineralna-wolna mmmf)

Sample No.	As-received basis, %				Dry basis, %								MM (Parr Formula)	Dmmf, %		GCV (mmmf)	Ro %
	M	Ash	V.M	F. C	Ash	V.M	F.C	C	H	N	S	O		F.C%	V.M%		
1	2.78	5.4	49.95	41.87	3.18	54.82	42	73.38	5.79	1.32	3.95	12.38	5.61	46.8	53.2	30.64	0.47
2	2.48	6.5	48.75	42.27	6.67	49.99	43.3	71.6	5.07	1.01	2.63	13.02	8.65	48.3	51.7	30.05	0.46
3	0.9	3.15	54.33	41.62	5.55	51.38	43.1	69.79	5.36	0.98	2.44	15.88	7.34	44.3	55.7	32.16	0.43
4	1.19	6.24	52.44	40.13	2.49	54.84	42.7	73.34	6.22	1.12	3.47	13.36	4.60	44.5	55.5	28.9	0.44
5	2.06	4.48	53.56	39.9	4.57	54.69	40.7	67.31	5.85	0.97	3.62	17.68	6.93	44.2	55.8	31.45	0.43
6	1.24	2.46	54.16	42.14	6.49	52.89	40.6	67.73	6.06	0.98	2.78	15.96	8.54	44.8	55.2	31.34	0.41
7	2.58	5.13	52.56	39.73	3.55	54	42.4	76.14	5.52	1.1	3.3	10.39	5.65	44.8	55.2	29.93	0.45
8	1.08	2.31	52.58	44.03	2.34	53.15	44.5	69.91	5.52	1	3.3	17.93	4.34	46.5	53.5	32.1	0.44
9	2.61	3.46	52.59	41.34	5.27	53.95	40.8	42.74	4.89	1.24	2.9	42.96	7.29	45.7	54.3	30.94	0.44
10	2.03	13.8	49.83	34.38	14.05	50.86	35.1	73.28	5.51	1.21	7.2	3.75	9.65	43.37	56.63	28.46	0.41
Average	1.9	5.3	52.1	40.5	5.3	53.1	41.6	68.1	5.6	1.1	3.6	16.3	6.86	45.33	54.67	30.6	0.44

Tab. 2. Ash% in float and coal recovery according to factorial design runs

Tab. 2. % popiołu w spławikach i odzysku węgla według czynnikowych przebiegów projektowych

Std	Factors			Responses	
	A:pH	B:MgCl ₂ , kg/t	C:Pine oil, kg/t	Ash in float %	Coal Rec. % in float
1	2	0	0	4.9	5.3
2	10	0	0	4.3	46.8
3	2	4	0	4.3	27.2
4	10	4	0	4.8	69.3
5	2	0	1	3	25.6
6	10	0	1	3.9	63.8
7	2	4	1	3	81.9
8	10	4	1	4.7	51.7
9	6	2	0.5	3.3	35.5
10	6	2	0.5	4.2	22.0
11	6	2	0.5	3.9	30.0

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Coal sample characterisation

3.1.1 The proximate and ultimate analyses

Proximate and ultimate analyses, as received or on a dry basis, are given in Table 1. The sample indicates a low to medium ash content of 5.32% with remarkably high sulfur of 3.6%, Table 1. The gross calorific value was determined to be 30.83 MJ/Kg and is considered in rank determination [14]. Accordingly, the coal sample was classified as medium rank and high volatile bituminous coal (ASTM Standard) [15-16].

3.1.2 Petrography

The photomicrographs of El-Maghara coal sample are shown in Fig. 1. All photomicrographs were taken in white light in oil immersion. Fig 1a Shows Framboidal pyrite mineral (py) within the dark groundmass of liptodetrinite maceral. Fig 1b shows Pyrite mineral (py) filling the coal cracks of collotelinite maceral. Fig 1c shows disseminated pyrite mineral (py) (framboids) within collotelinite maceral. Fig 1d shows Irregular lath shape of carbominerite (ca) of mostly siderite mineral. Fig 1e shows Association of dark liptodetrinite and clay minerals (cly) occupies disseminated gray detrovetrinite macerals. Fig 1f shows High relief quartz grain mineral (qz) with collodetrinite maceral. In addition, Figure 2 shows the volumetric distribution of associated minerals in 10 coal samples.

3.2. Flotation results

The flotation results according to statistical design runs are listed in Table 2. The lowest ash (as low as 3%) in the float fraction was achieved at the highest levels of MgCl₂ salt dosage and pine oil dosage and at the lowest level of pH. The analysis of variance (ANOVA) analyses indicated that the pine oil dose is the most significant factor in the ash % in the float fraction, while the pH is the most significant for coal recovery. The standard deviation and R-squared for the fitted factorial model are 0.35 and 0.8893 for ash% and 5.57 and 0.9802 for coal recovery %, respectively. The responses (Ash % and coal recovery in the float fraction) were correlated with the studied factors by the following equations:

$$\text{Ash in float \%} = 4.11 + 0.31 \cdot A - 0.46 \cdot C + 0.24 \cdot A \cdot B + 0.34 \cdot A \cdot C + 0.11 \cdot B \cdot C$$

$$\text{Float Rec. \%} = 46.45 + 11.45 \cdot A + 11.06 \cdot B + 9.31 \cdot C - 8.48 \cdot A \cdot B - 9.45 \cdot A \cdot C - 8.65 \cdot A \cdot B \cdot C$$

Where

A: pH of the pulp

B: MgCl₂ dosage, kg/t

C: pine oil dosage, kg/t

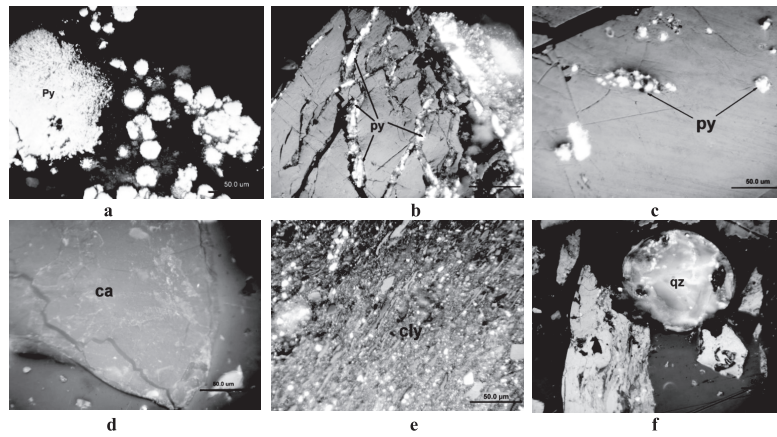


Fig. 1. Typical different minerals of the El-Maghara coal
 Rys. 1. Typowe różne minerały węgla El-Maghara

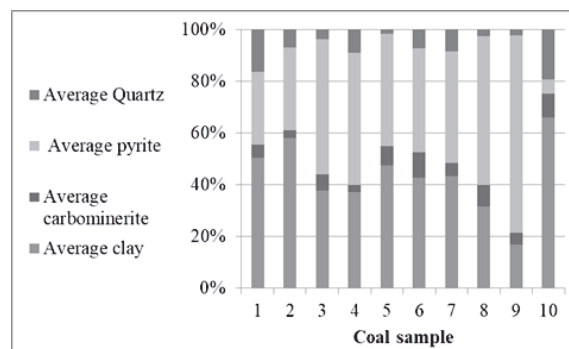


Fig. 2. Volumetric percentages of coal associated minerals
 Rys. 2. Procenty objętościowe minerałów związanych z węglem

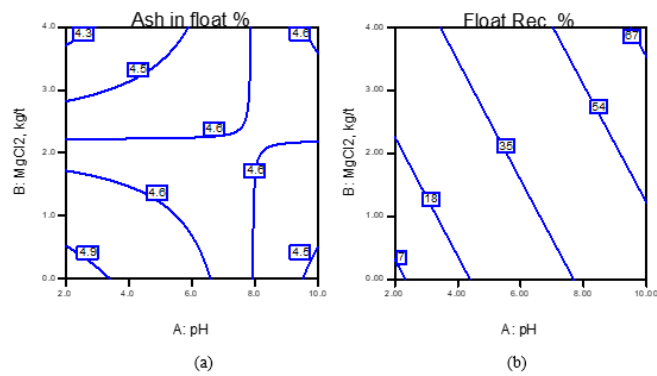


Fig. 3. Effect of MgCl₂ on a) ash % and b) coal recovery in the float fraction as a function of pH
 Rys. 3. Wpływ MgCl₂ na a) procent popiołu i b) odzysk węgla we frakcji flotacyjnej w funkcji pH

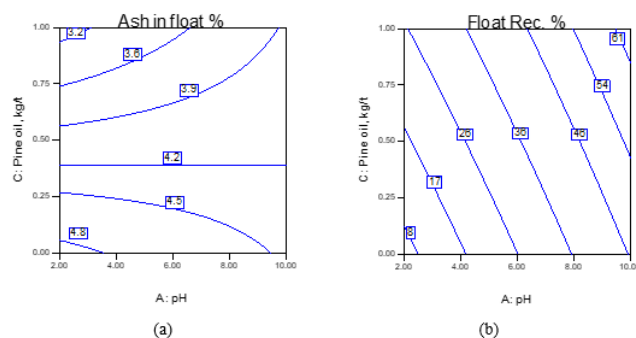


Fig. 4. Effect of pine oil on (a) ash % and (b) coal recovery in the float fraction as a function of pH
 Rys. 4. Wpływ oleju sosnowego na (a) % popiołu i (b) odzysk węgla we frakcji flotacyjnej w funkcji pH

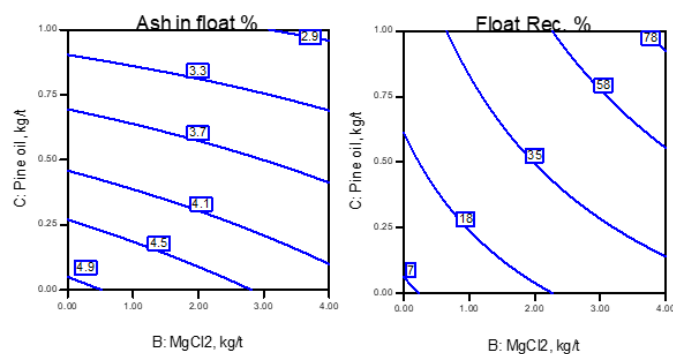


Fig. 5. Effect of pine oil and MgCl₂ on ash % and coal recovery in the float fraction at pH 2
Rys. 5. Wpływ oleju sosnowego i MgCl₂ na % popiołu i odzysk węgla we frakcji flotacyjnej przy pH 2

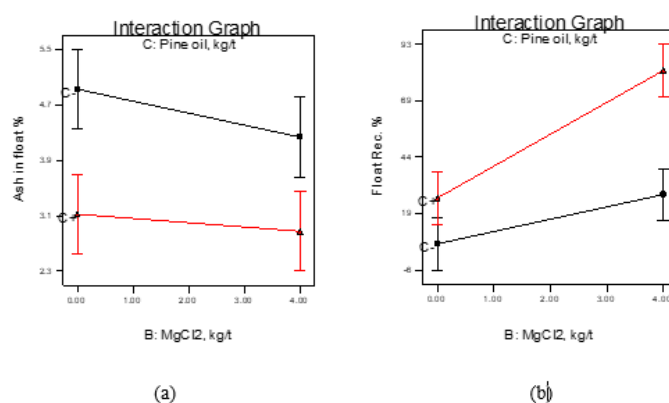


Fig. 6. Effect of MgCl₂ and pine oil on (a) ash % and (b) coal recovery in the float fraction at pH 2 (C+: high pine oil dosage level, 0 kg/t and C-: low pine oil dosage level, 1 kg/t)

Rys. 6. Wpływ MgCl₂ i oleju sosnowego na (a) % popiołu i (b) odzysk węgla we frakcji flotacyjnej przy pH 2 (C+: wysoka dawka oleju sosnowego, 0 kg/t oraz C-: niska dawka oleju sosnowego poziom, 1 kg/t)

3.2.1. Effect of MgCl₂ dosage

Figure 3 shows the ash removal at various pH values in the presence of MgCl₂ only. It shows that the lower the MgCl₂ dose is the lower the ash removal even at high pH values. The ash content decreases by increasing the MgCl₂ to 4 kg/t where the ash content reaches 4.2%, at pH 2, with coal recovery of 28% compared to 5.3% ash in the feed. The effective reduction in ash in the presence of magnesium salt at acidic pH can be referred to the higher ionic concentration of Mg²⁺, which helps in repelling the hydrophobic coal particles to the froth layer where they were aggregated [17]. The existence of these hydrophobic particles in the froth layer works on stabilizing the bubbles of this layer for a longer time [4, 18]. In addition, the ionic species in the solution significantly affect the bubbles size and stability due to increasing the bubble surface charge that consequently prevents coalescence [4, 9].

3.2.2 Effect of pine oil

Figure 4 depicts the effect of pine oil at different pH values on ash % and coal recovery% in the floated fraction in the absence of MgCl₂. The higher the pine oil dosage is the lower the ash in the concentrate where the ash decreases from more than 4.9 % to less than 3.2% at coal recovery of 28% using 1.0 kg/t of pine oil at pH 2, Fig.4. The lower ash content is attributed to the effect of the pine oil on lowering the interfacial tension that leads to produce small bubbles as well as

the stabilization of bubbles in the froth layer, which assists in collecting the coal particles as hydrophobic particles with low ash content [19-20]. Notably, the pine oil reduces the ash to about 4% and increases the coal recovery, where it reaches 60% at 1 kg/t pine oil and pH 10, Fig.4.

3.2.3. Effect of MgCl₂ – pine oil mixture

The effect of adding both pine oil and MgCl₂ on ash % and coal recovery % in the floated fraction at pH 2 is shown in Figure 5. The higher the pine oil and MgCl₂ dosage is the lower the ash in the concentrate. The ash content decreases from more than 4.5% to less than 2.9% at 1.0 kg/t of pine oil and 4 kg/t MgCl₂, Fig.5a. The lower ash is attributed to the effect of the pine oil on lowering the interfacial tension that leads to produce small bubbles as well as the stabilization of bubbles in the froth layer, which assists in collecting the coal particles as hydrophobic particles with low ash content [19-20]. Interestingly, the combination of pine oil and MgCl₂ enhances both the ash removal and coal recovery. The ash content as low as 2.8% at coal recovery of 80% at 4 kg/t MgCl₂ and 1 kg/t pine oil was achieved, Fig.5b.

Figure 6 shows the interaction between the magnesium salt and the pine oil. It indicates that the combination of pine oil and salt is better than each one alone. For example, comparing the ash % in the feed and after adding 4.0 kg/t MgCl₂, the ash reduction is gradually decreased from 5.3% in the feed

to 4.2% without adding pine oil. Adding pine oil, along with $MgCl_2$, reduces the ash % to lower than 3%. Likewise, the addition of pine oil along with $MgCl_2$ significantly improves coal recovery. Thus, the pine oil is more effective in reducing the ash content by stabilizing the froth layer while the salt is more effective in increasing coal recovery by providing the repelling environment to hydrophobic coal particles in the pulp leading to their aggregation at the water-air interface (froth layer).

4. CONCLUSIONS

The low-rank high-bituminous coal was subjected to flotation using magnesium chloride salt in the presence or absence of pine oil. The lowest ash concentrate was achieved at acidic pH. In addition, although the use of either the magnesium salt or the pine oil individually effectively reduces the ash content at almost the same recoveries, the pine oil is better in achieving a lower ash content. Adding the pine oil along with $MgCl_2$ not only reduces the ash content to less than 3% out of 5.3% in the feed but also increases the coal recovery to about 80% in the float fraction at acidic pH. The effectiveness

of $MgCl_2$ – pine oil mixture over each one alone is attributed to the role of magnesium salt in assisting the formation of small bubbles by preventing the bubbles coalescence as well as providing the ionic environment that leads to aggregation of the coal particles while the pine oil reduces the bubble size and maintains their stability at the water-air interface in the froth layer. In addition, the effect of $MgCl_2$ is pH-dependent due to the gradual conversion of Mg^{2+} at acidic pH to hydroxide forms at alkaline pH values.

Acknowledgment

The authors gratefully thank the Minerals Technology and testing lab, Mining, Petroleum and Metallurgical Engineering Dept., Faculty of Engineering, Cairo University, for providing the help, guidance, and the needed equipment and instruments for conducting the experiments of this work.

Conflict of interest

On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Literatura – References

1. Klassen, V.I., Mokrousov, V.A., 1963, An introduction to the theory of flotation. Butterworths, London.
2. Gamal R., Edrees N., Abuhasel K.A., El-Midany A.A., El-Mofty S.E., 2021, Role of magnesium salts in coal de-ashing by flotation, Tenside surfactants and detergents, 58: 51-58.
3. Gamal R., Edrees N., El-Midany A.A., El-Mofty S.E., Valuation of chloride salts and their mixtures in coal flotation without collector, Energy Sources, Part A: Recovery, usage, and Environmental Effects, Vol 40, Issue 23, 2018, pp 2822-283.
4. Paulson, O., Pugh, R.J., 1996, Flotation of inherently hydrophobic particles in aqueous solutions of inorganic electrolytes, Langmuir 12 (20), 4808-4813.
5. Ratajczak T., Drzymala J., 2003, Flotacja solna (Salt Flotation), Oficyna Wydawnicza, Wrocław University of Technology, Poland.
6. Craig, V.S.J., Ninham, B.W., Pashley, R.M., 1993, The effect of electrolytes on bubble coalescence in water, The Journal of Physical Chemistry 97 (39), 10192-10197.
7. Marrucci G., Nicodemo L., 1967, Coalescence of gas bubbles in aqueous solutions of inorganic electrolytes, Chemical Engineering Science, 22(9), 1257-1265.
8. Dishon, M., Zohar, O., Sivan, U., 2009. From repulsion to attraction and back to repulsion: the effect of NaCl, KCl, and CsCl on the force between silica surfaces in aqueous solution. Langmuir 25 (5), 2831-2836.
9. Ozdemir O., Specific ion effect of chloride salts on collectorless flotation of coal, Physicochem. Probl. Miner. Process. 49(2), 2013, 511-524
10. Chin Li and P. Somasundaran Role of Electrical Double Layer Forces and Hydrophobicity in Coal Flotation in NaCl Solutions. Energy & Fuels 1993, 7, 244-248
11. ASTM D-3173, 2012. Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.
12. ASTM D-3175, 2012. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke.
13. ASTM D-3174, 2012. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal.
14. Gamal, R. 2019. Coal flotation in mixtures of inorganic salts, MSc Thesis, Faculty of Engineering, Cairo University, Giza, Egypt
15. ASTM D-388, (2012): Standard classification of coal by rank (Český Normalizační Institut). 79.
16. UN-ECE, (1998): International classification of in-seam coals. Economic Commission for Europe, Committee on Sustainable Energy United Nations, New York. Document ENERGY/1998/19, 41 p.
17. Wang B., Peng Y., 2013. The behaviour of mineral matter in fine coal flotation using saline water, Fuel 109:309-315
18. Johansson G., Pugh R.J., 1992. The influence of particle size and hydrophobicity on the stability of mineralized froths. International Journal of Mineral Processing, 34(1-2): 1-21
19. Kurniawan, A. U, Ozdemir, O., Nguyen, A. V., Ofori, P., Firth, B., Flotation of coal particles in MgCl₂, NaCl, and NaClO₃ solutions in the absence and presence of Dowfroth 250, 2011, 98:137-144.
20. Chu P., Waters K. E. and Finch J.A., 2016. Break-up in formation of small bubbles: an energy consideration, Canadian Metallurgical Quarterly 56(1):1-5

Preferowany sposób czyszczenia węgla metodą flotacji: olej sosnowy czy MgCl₂?

Szczególną uwagę poświęca się flotacji węgla przy użyciu soli nieorganicznych. Wykorzystuje hydrofobowość węgla do flotacji węgla bez dodawania kolektorów. Chociaż testowano różne sole, najbardziej obiecujące są sole chlorkowe. Jednak stabilizacja warstwy piany wyłącznie za pomocą soli jest wątpliwa. Dlatego w tym badaniu flotacja węgla była testowana przy użyciu chlorku magnezu lub oleju sosnowego jako spieniacza, aby sprawdzić, czy istnieje różnica we flotacji węgla między tymi odczynnikami pod względem usuwania popiołu i odzysku węgla we frakcji flotacyjnej. Dodatkowo dodano razem zarówno sól magnezową, jak i olejek sosnowy, aby wyjaśnić ich interaktywny efekt przy użyciu projektu statystycznego. Wyniki dowiodły, że obecność każdego z odczynników (tj. oleju sosnowego lub MgCl₂) ma znaczący wpływ na zmniejszenie zawartości popiołu i zwiększenie odzysku węgla. Zastosowanie MgCl₂ tylko zmniejszyło popiół do mniej niż 4,3% z odzyskiem węgla do 28%, podczas gdy dodanie 1,0 kg/t oleju sosnowego wraz z 4 kg/t MgCl₂ zwiększyło redukcję popiołu do mniej niż 3% przy odzysku węgla do 80% przy pH 2.

Słowa kluczowe: chlorek magnezu, olejek sosnowy, spieniacz, węgiel, flotacja



Doświadczalne sprawdzenie poprawności probabilistycznego modelu dyskretnego rozkładu gęstości warstw w łożu osadzarki Stanisław GŁOWIAK	7
Zmiany w obrazie wzbogacania osadowego wynikające z analizy probabilistycznego modelu rozkładu gęstości warstw łoża osadzarki Stanisław GŁOWIAK	13
Silicites of the Blovice Complex (Western Bohemia) – their Probable Genesis, Position and Utilization Jiří BERÁNEK, Dana VRUBLOVÁ, Roman KAPICA, Markéta LAŠTŮVKOVÁ	27
Dividend Policy of Listed Energy Companies in Poland Maria SIERPIŃSKA	35
Investigation of Unexploded Aircraft Ammunition from WW2 in Connection with Construction Proceedings Václav ŠAFÁŘ, Hana STAŇKOVÁ, Jiří POSPÍŠIL, Maria BUDAYOVÁ	43
The Influence of Economic Factors on World Copper Production Igor ČERNÝ, Michal VANĚK, Jiří KUBESA	51
Procesowe podejście do systemowego zarządzania pomysłami pracowniczymi Mariusz SANGÓRSKI	57
Studies and Research on the Recovery of Copper from Industrial Waste Solutions by the Cementation Method Daniela Ionela CIOLEA, Oana Daniela ILCIUC, Marius BERCA	65
Informacja o oszczędności energii i jej rola w procesie podejmowania decyzji zarządczych Mariusz SANGÓRSKI	71
Zarządzanie podczas sytuacji awaryjnych na przykładzie podziemnej kopalni rudy miedzi Przemysław ZGRZEBSKI, Mirosław LASKOWSKI, Marcin DANIS	79
Current Aspects of Decarbonisation in the Czech Republic and Possibilities of Replacement of Coal Energy Sources by Renewable Sources of Electric Energy Vladimír LAPČÍK, Martin LAPČÍK, Vladimír LAPČÍK jr.	87
The Position of the Sustainable Development Principle in the Legal Order of the Czech Republic and in the Framework of the Vietnam Act on Environmental Protection Dao PHAN, Martin LAPČÍK, Vladimír LAPČÍK	97
Recycling of Discarded Photovoltaic Modules Using Mechanical and Thermal Methods Mustapha WAHMAN, Agnieszka SUROWIAK	107
Analysis of Mining Accident Levels against the Background of Changes in Productivity and Employment in the Hard Coal Mining Industry Małgorzata WYGANOWSKA, Katarzyna TOBÓR-OSADNIK	117
Results of Pilot Research Work on the Content of Rare Earth Elements in Metallurgical Wastes from Nowa Huta Rafał BARON	123
Which is Preferable for Coal Cleaning by Flotation: Pine Oil or MgCl₂? Rawya GAMAL, Ayman A. EL-MIDANY, Salah E. EL-MOFTY, Nader A. A. EDRESS	129

Rozwijamy i doskonalimy technologie przeróbki kopalin.

Zrealizuj swoje cele dzięki indywidualnym rozwiązaniom „na miarę”.
Zwiększ konkurencyjność swoich produktów i wydajność zakładu.
Zyskaj sprawdzonego partnera w procesach przesiewania,
odwadniania oraz wzbogacania surowców mineralnych.

PROGRESS SCREENS i PROGRESS TECHNOLOGY kompleksowo projektuje, realizuje i modernizuje linie technologiczne w zakładach przerobczych. Jako producent z 35-letnim doświadczeniem zapewnia fachowe doradztwo i wsparcie w zakresie doboru maszyn i urządzeń przerobczych oraz rodzajów i parametrów sit w dowolnym systemie mocowania.

Jesteśmy do Twojej dyspozycji.

+48 691 420 102