

Mgr inż. Andrzej Karbownik ✓
 Mgr inż. Tadeusz Pogonowski ✓
 Mgr inż. Jan Palarski ✓

STRATY EKONOMICZNE WYNIKAJĄCE Z KRUSZENIA SIĘ WĘGLA PRZY ODSTAWIE GRAWITACYJNEJ

Streszczenie. W artykule autorzy omówili skutki ekonomiczne degradacji ziarnowej urobku przy odstawie grawitacyjnej. Pokazano wpływ długości nachylonej drogi odstawy na stopień rozdrobnienia urobku. Przedstawiono również spadek średniej ceny zbytu jednej tony w zależności od rozdrobnienia urobku przy jego staczaniu się.

1. Wstęp

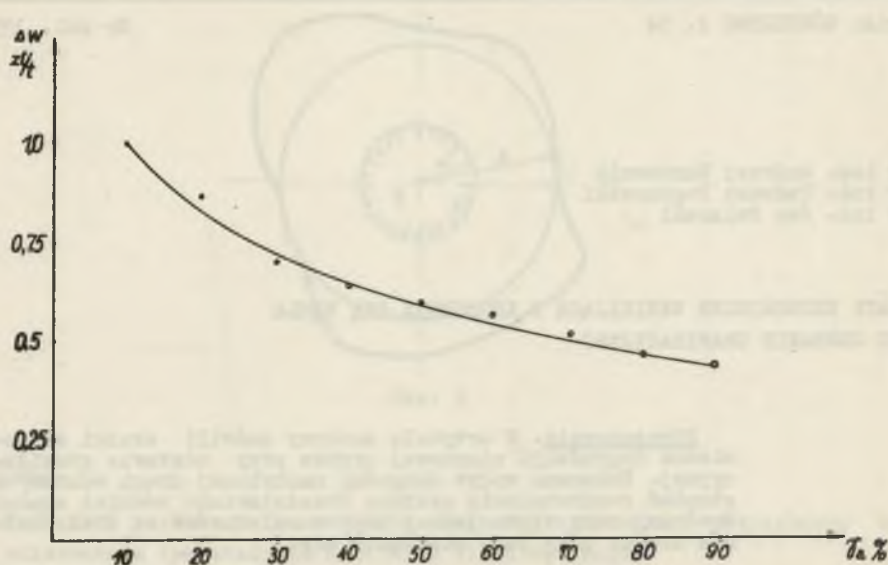
Od czasu, kiedy w kopalniach węgla kamiennego zaznaczył się bardzo dynamiczny rozwój mechanizacji procesów urabiania i ładowania daje się zauważyć niekorzystne w aspekcie ekonomicznym zjawisko znacznego zmniejszania się udziału grubych sortymentów w ogólnej produkcji węgla.

Dla kopalń zwiększenie wychodu grubych sortymentów jest sprawą istotną ponieważ koszty produkcji 1 tony węgla grubego i drobnego są takie same, koszty wzbogacania węgla grubego są niższe, zaś ceny zbytu znacznie się różnią na korzyść grubych sortymentów. Na rys. 1 pokazano w jaki sposób przyrost wychodu grubych ziarn o 1% wpływa na przyrost ceny zbytu węgla. Wykres sporządzono dla węgla o $Q_w^T = 7400$ kcal/kg

$$A^r = 5\% \text{ wg cennika 1 - z/70.}$$

Z wykresu rys. 1 wynika, że urobek zawierający np. 11% grubych ziarn ma o 1,00 zł/t wyższą cenę zbytu od urobku zawierającego 10% tychże ziarn. Jeśli zaś w urobku jest 51% ziarn grubych, cena jest wyższa tylko o 0,56 zł/t w stosunku do urobku zawierającego 50% ziarn grubych.

Kruszenie się urobku następuje w trakcie całego procesu wydobywczego. Szerokie badania w tym zakresie przeprowadził M. Stefański [4], [5], [6] ujmując teoretycznie zjawisko niezamierzonego kruszenia przy spadku swo-bodnym. W badaniach tych uwzględniono fakt, że kruszenie następuje głównie wskutek uderzenia ziarn węgla o podłoże i wzajemnie o siebie. Wpływ innych działań jak ściernie jest niewielki. Mamy z tym do czynienia przy odstawie urobku przez jego samostaczanie się w stromo nachylonych i stojących pokładach. Wychód pokruszonych grubych ziarn przy odstawie grawita-



Rys. 1. Wpływ 1%-wego przyrostu wychodu grubych sortymentów na przyrost ceny zbytu

cyjnej oraz wynikające stąd straty ekonomiczne są przedmiotem niniejszego opracowania.

2. Kruszenie się węgla przy spadku swobodnym

Węgiel spadając z pewnej wysokości ulega pokruszeniu. Wychód procentowy pokruszonych ziarn (w odniesieniu do całej klasy) zależy od prędkości spadania. Zależność ta może być wyrażona wzorem [5]:

$$\delta = a(v - v_0), \% \quad (1)$$

gdzie

- δ - wychód pokruszonych ziarn, które przeszły z badanej klasy ziarnowej do klas drobniejszych, %,
- v - prędkość uderzenia węgla o podłoże, m/s,
- v_0 - parametr równy wartości v , poniżej której węgiel nie ulega kruszeniu, dla naszych węgli można przyjąć $v_0 = 1,86$ m/s [6],
- a - parametr zależny od własności węgla.

Wzór (1) pozwala nam przewidzieć wychód pokruszonych ziarn dowolnej klasy ziarnowej przy spadaniu z pewnej wysokości, przy czym parametr a można wyznaczyć znając techniczny wskaźnik podatności węgla na kruszenie. Wskaźnik ten określony jest wychodem pokruszonych dwóch różnych klas ziarnowych przy spadku z danej wysokości [6].

W celu określenia wychodu pokruszonych ziarn grubych, przy staczaniu się urobku w pochylni można zastosować wzór (1), przy czym prędkość jaką osiągnie u wylotu pochylni staczający się urobek można obliczyć korzystając z prostych zależności wynikających z ruchu ciała po równi pochyłej. Ostateczna więc forma wzoru do obliczenia wychodu pokruszonych grubych ziarn jest następująca:

$$\delta = a \left[\sqrt{2g (1 - \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot h} - 1,86 \right] \% \quad (2)$$

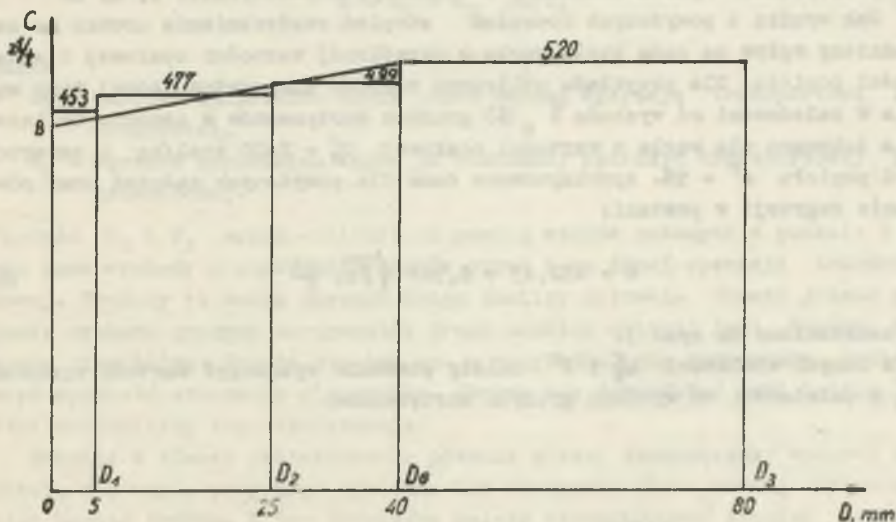
gdzie

- g - przyspieszenie ziemskie, m/s^2 ,
- α - kąt nachylenia pochylni, stopnie,
- μ - współczynnik tarcia węgla o podłoże,
- h - wysokość drogi odstawy, m ,

Wartość współczynnika μ zależy od rodzaju podłoża i od własności ciała. Przy czym wartość współczynnika μ należy wyznaczyć doświadczalnie. Według badań własnych przy staczaniu się węgla w rurach ($\varnothing 800 \text{ mm}$) i przy nachyleniu pochylni ok. 43° , jego wartość wynosiła $\sim 0,3$.

3. Wartość sprzedażna węgla

Podstawą do określania wartości sprzedażnej węgla są ceny poszczególnych jego sortymentów. Ceny te są podane w cenniku 1-z/70 W oparciu o ten cennik można sporządzić wykres zależności cen od wielkości ziarn węgla, czyli tzw. krzywe cennikowe [3]. Na rys. 2 pokazano wykres cennikowy dla $Q_w^r = 7400 \text{ kcal/kg}$ i $A^r = 5\%$.



Rys. 2. Wykres cennikowy dla $Q_w^r = 7400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$ i $A^r = 5\%$

Na podstawie krzywych cennikowych otrzymano wzór na wartość sprzedażną węgla [3]:

$$W = \frac{1}{100} \left[k \cdot \delta_G + 100 \cdot m \cdot b \cdot \ln \frac{100}{\delta_G} + (100 - \delta_G) \cdot (n - b \cdot m) \right] \text{zł/t} \quad (3)$$

gdzie:

- W - wartość sprzedażna węgla, którego skład ziarnowy dany jest jedną parą współrzędnych - wychodem δ_a klasy grubszej od D_a , czyli grubych sortymentów (przy czym $D_a = 300$ mm) lub krzywą składu ziarnowego dającą się aproksymować hiperbolą o równaniu (4),
- k, m, n, - współczynniki określające przebieg krzywej cennikowej,
- δ_G - rzędna krzywej składu ziarnowego - wychód odpowiadający granicznej wielkości ziarna D_G , powyżej której cena jest stała; δ_G oblicza się ze wzoru

$$\delta_G = \frac{100 \cdot b}{D_G + b}, \% \quad (4)$$

Parametr b wyznacza się ze wzoru:

$$b = \frac{\delta_a \cdot D_a}{100 - \delta_a} \quad (5)$$

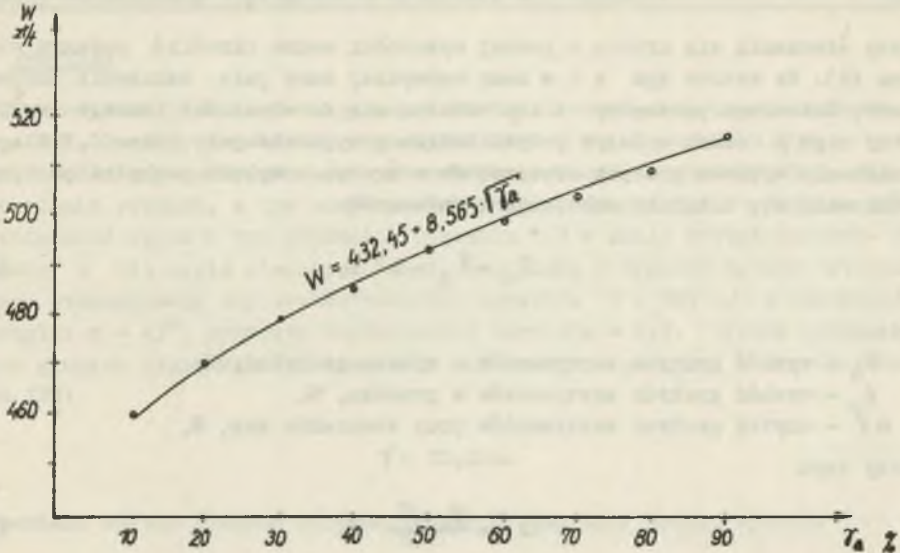
Wartość sprzedażną wg wzoru (3) można obliczyć jedynie dla węgla o określonej wartości opałowej i zawartości popiołu. W każdym przypadku należy sporządzić wykres cennikowy i wyznaczyć współczynniki k, m, n.

Jak wynika z powyższych rozważań stopień rozdrobnienia urobku ma zasadniczy wpływ na cenę zbytu węgla o określonej wartości opałowej i zawartości popiołu. Dla przykładu obliczono wartość sprzedażną jednej tony węgla w zależności od wychodu δ_a (%) grubych sortymentów w urobku. Obliczenia dokonano dla węgla o wartości opałowej $Q_W^r = 7400$ kcal/kg i zawartości popiołu $A^r = 5\%$. Aproksymowane dane dla powyższych założeń oraz równanie regresji w postaci:

$$W = 432,45 + 8,565 \sqrt{\delta_a}, \frac{\text{zł}}{\text{t}} \quad (6)$$

przedstawiono na rys. 3.

Dla innych wielkości Q_W^r i A^r należy ponownie wyznaczyć wartość sprzedażną w zależności od wychodu grubych sortymentów.



Rys. 3. Cena zbytu węgla dla $Q_W^R = 7400 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$, $A^R = 5\%$ w zależności od wychodu grubych sortymentów

4. Strata ekonomiczna wskutek kruszenia się węgla przy odstawie grawitacyjnej

Stratę ekonomiczną (E) powstającą wskutek niezamierzonego kruszenia się węgla można określić

$$E = W_1 - W_2 \text{ zł/t,} \quad (7)$$

gdzie

W_1 - wartość sprzedażna węgla przed badaną operacją transportową lub przeróbczą,

W_2 - wartość sprzedażna węgla po dokonanej operacji transportowej lub przeróbczej.

Wartość W_1 i W_2 można obliczyć za pomocą wzorów podanych w punkcie 3 mając dane wychody grubych sortymentów przed i po danej operacji transportowej. Wychody te można uzyskać drogą analizy sitowej. Często jednak podanie wychodu grubych sortymentów drogą analizy sitowej jest trudne lub wręcz niemożliwe. Dzieje się tak np. w przypadku, gdy zamierzamy zmniejszyć wysokość staczania się urobku. Chcemy się dowiedzieć jaki będzie efekt ekonomiczny tego zamierzenia.

Również w sferze projektowania podanie straty ekonomicznej wskutek kruszenia się węgla przy jego spadaniu lub staczaniu się z pewnej wysokości jest bardzo trudne. W tym przypadku należy zaprognozować stopień rozkruszenia się węgla. Dla celów projektowych wychód pokruszonych grubych ziarn

przy staczaniu się urobku z pewnej wysokości można określić podanym wzorem (2). We wzorze tym h i α mamy zazwyczaj dane jako założenia projektowe. Natomiast parametry a i μ odnoszą się do własności samego węgla, przy czym μ można z dużym przybliżeniem przyjmować jako równe 0,3. Dla wyznaczenia wychodu grubych sortymentów w urobku u wylotu pochylni po jego stoczeniu się ustalono następującą zależność:

$$\gamma_a = \gamma_p - \Delta \gamma, \quad (8)$$

gdzie

γ_a - wychód grubych sortymentów u wylotu pochylni, %,

γ_p - wychód grubych sortymentów w przodku, %,

$\Delta \gamma$ - ubytek grubych sortymentów przy staczaniu się, %,

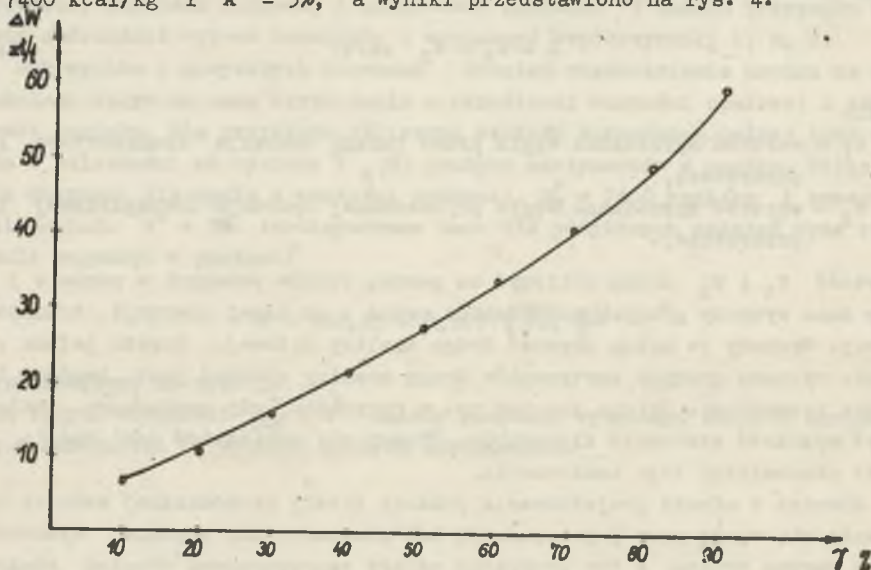
przy czym

$$\Delta \gamma = \frac{\gamma_p \cdot \gamma}{100} \%. \quad (9)$$

Wstawiając do powyższego wzoru (8) zależność określoną wzorem (2) otrzymano ostateczną postać wzoru:

$$\gamma_a = \gamma_p \left[1 - 0,01 \cdot a \cdot \left(\sqrt{2g/h - \mu \operatorname{ctg} \alpha} - 1,86 \right) \right] \% \quad (10)$$

Dla zilustrowania spadku średniej ceny zbytu węgla (Δw) w zależności od wychodu pokruszonych grubych sortymentów (γ) dokonano obliczenia dla $Q_w^r = 7400$ kcal/kg i $A^r = 5\%$, a wyniki przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wpływ wychodu pokruszonych grubych sortymentów (γ) na spadek ceny zbytu

5. Przykład

Przykład obliczeniowy zaczerpnięto z badań własnych przeprowadzonych w kop. "J". Pomiarów prowadzono w pochylniach 8 i 8a w pokładzie 505, w którym eksploatacja odbywała się systemem jankowickim. Grubość pokładu 3,3 m nachylenie pokładu, a tym samym pochylni było równomierne i wynosiło 43° . Urabialność węgla w tym pokładzie wynosiła 1,4 w skali Protodiakonowa. Parametr a dla węgla staczającego się pochylnią 8 wynosił 0,640. Długość drogi staczającego się urobku pochylni wynosiła $l = 123$ m, a nachylenie pochylni $\alpha = 43^\circ$, przyjęto współczynnik tarcia $\mu = 0,3$. Wychód pokruszonych grubych ziarn wskutek staczania się urobku w pochylni 8 określono wzorem (2):

$$\gamma = 20,86\%$$

Natomiast ubytek grubych sortymentów przy staczaniu urobku wynosi:

$$\Delta \gamma = 16,21\%$$

Dokonano również analizy sitowej w przodku i u wylotu pochylni. Uzyskane wyniki zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Zestawienie wyników analizy sitowej w przodku i u wylotu pochylni 8

Klasa ziarnowa mm	Wychód sortymentów w przodku		Wychód sortymentów pod wysypem		Ubytek lub przyrost
	$\gamma_p\%$	$\sum \gamma_p\%$	$\gamma_a\%$	$\sum \gamma_a\%$	$\Delta \gamma\%$
+80	47,00	47,00	-	-	-
80-50	16,90	63,90	48,58	48,58	-15,32
50-30	13,33	77,23	13,13	61,71	- 0,20
30-10	12,22	89,45	20,58	82,29	+ 8,36
10-0	10,55	100,00	17,71	100,00	+ 7,16

Z podanej analizy sitowej wynika, że ubytek grubych sortymentów wynosił $\Delta \gamma = 15,52\%$. W porównaniu z obliczonym i przewidywanym ubytkiem grubych sortymentów wg wzorów (2) i (9) wynoszącym 16,21% rzeczywisty ubytek był więc mniejszy tylko o 0,69%. Uzyskana niewielka odchyłka rzędu 1,7% wskazuje na dostateczną dokładność podanej metodyki obliczeń. Podany rzeczywisty ubytek grubych sortymentów powoduje spadek wartości sprzedażnej jednej tony węgla o 8,34 zł/t.

6. Wnioski

1. Wartość sprzedażna węgla zależy od wychodu grubych sortymentów w całym urobku i wraz z jego wzrostem rośnie cena zbytu węgla.
2. Przy odstawie grawitacyjnej urobku zachodzi jego niezamierzone kruszenie, które można określić zależnością (2).
3. Kruszenie powoduje określoną stratę ekonomiczną, którą można obliczyć podanymi w pracy wzorami.
4. Wyprowadzone zależności mogą mieć zastosowanie przy optymalizacji wielkości poziomu w pokładach silnie nachylonych i stromych.

LITERATURA

1. Gaweł R. "Ocena przyczyn kruszenia się węgla na drodze od przodków do wagonu". Przegląd Górniczy 1963 nr 12.
2. Kamionka M.: Przyczyny kruszenia się węgla surowego w podziemiach kopalń i sposoby przeciwdziałania. Przegląd Górniczy 1964 nr 6.
3. Stefański M.: Metody określania strat ekonomicznych powstających wskutek kruszenia się węgla w czasie transportu i przeróbki mechanicznej. Prace GIG 1965. Komunikat nr 373.
4. Stefański M.: Opracowanie nowego wskaźnika podatności węgla na kruszenie się przy spadaniu. Prace GIG 1966. Komunikat nr 387.
5. Stefański M.: Teoretyczne i doświadczalne podstawy kruszenia się węgla podczas przeróbki i transportu. Prace GIG 1968. Seria dodatkowa.
6. Stefański M.: Kruszenie się węgla podczas transportu i przeróbki. Wydawnictwo "Śląsk" 1970.
7. Cennik 1-z/70.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ВЫЗЫВАЕМЫЕ РАЗДРОБЛЕНИЕМ УГЛЯ
ПРИ ГРАВИТАЦИОННОЙ ДОСТАВКЕ

Р е з ю м е

В статье авторы обсудили экономические последствия зерновой деградации угля (добычи) при гравитационной доставке показали зависимость степени раздробления угля от длины наклонной дороги, а также обнижение средней цены сбыта одной тонны угля в зависимости от степени раздробления добычи при её скатывании.

ECONOMICAL LOSSES RESULTING FROM THE CRUMBLING OF COAL DURING THE GRAVITATIONAL HAULAGE

S u m m a r y

In the article the authors discuss the economic effects of the granular degradation of the output during its gravitational haulage. They manifest the influence of the length of the slanting way of haulage upon the degree of the crumbling of the output. There has also been shown the drop of the average market price of one ton of coal as depending on the granular degradation of the output while rolling down the slant.