

Andrzej Krowiak\*

## METODA WYZNACZANIA WYPADKOWEJ WARTOŚCI SIŁY SKRAWANIA NA GŁOWICY STRUGA WĘGLOWEGO NA PODSTAWIE POMIARÓW PARAMETRÓW MECHANICZNYCH WĘGLA

### Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę obliczania wartości wypadkowej siły tnącej na głowicy struga węglowego, niezbędnej do urabiania węgla. Podstawą wyznaczania tej siły są wyniki pomiarów parametrów mechanicznych węgla, wykonywanych specjalnie do tego celu zaprojektowanym przyrządem. Metoda składa się z dwóch etapów: obliczeń teoretycznych oraz określania współczynników dopasowania przybliżających wyniki tych obliczeń do wyników eksploatacji.

### Method of setting the resultant cutting powers on the head plane coal on the basis of measurements of mechanical parameters of coal

### Abstract

In the article a method of calculating the resultant cutting powers on the head plane coal was presented, essential to extract coal. Results of measurements of mechanical parameters of coal made on the device especially at this target designed are a ground for appointing this power. This method consists of two stages: of theoretical calculations and determining rates of fitting theoretical calculations giving an approximation of the score to conditions of real exploitations.

## 1. WPROWADZENIE

Ogólne zagadnienie sprowadza się do określenia doboru mocy układu napędowego struga do warunków geologiczno-górnictwowych, technicznych oraz właściwości mechanicznych urabianego węgla. Zagadnieniem szczegółowym, będącym jednym ze składowych zagadnienia ogólnego, jest określenie wartości wypadkowej siły skrawania węgla, mierzonej na głowicy struga, w zależności od właściwości mechanicznych urabianego węgla, na podstawie wyników pomiarów *in situ* wykonanych specjalnie zaprojektowanym do tego celu przyrządem. Zagadnienia dotyczące funkcji przejścia między wypadkową siłą skrawania węgla na głowicy urabiającej struga a mocą potrzebną do napędu całego zespołu strugowego zostały opisane, między innymi w publikacji Dolipskiego (1993).

Generalnie, w metodzie przyjmuje się, że pomiary są prowadzone w tym samym pokładzie, w którym będzie prowadzona eksploatacja. Ma się więc do czynienia nie z tworzeniem modelu zależności od początku, a z odwzorowywaniem wyników pomiarów wartości siły wypadkowej na głowicy o konkretnej konstrukcji struga.

---

\* Główny Instytut Górnictwa

W tworzeniu modelu od początku, oprócz parametrów mechanicznych węgla, musiałaby być uwzględniona złożoność warunków geologiczno-górnicznych pokładów przeznaczonych do eksploatacji. Przyjęcie metody odwzorowania pozwala na uwzględnienie tych warunków już w wynikach pomiarów.

W artykule opisano metodę odwzorowania wypadkowej siły skrawania węgla, działającej na głowicy struga, potrzebnej do urabiania węgla, na podstawie wyników pomiarów dokonywanych specjalnym przyrządem. Metoda ta składa się z dwóch etapów: teoretycznego wyznaczenia wartości tej siły, przy przyjęciu założeń idealizujących proces urabiania węgla oraz dopasowywania tego modelu do warunków rzeczywistych eksploatacji, przez doświadczalne wyznaczanie wielu różnych, szczegółowych współczynników podobieństwa pomiędzy wartościami wyznaczonymi teoretycznie a występującymi w rzeczywistości. Ma się więc do czynienia z typowym problemem dotyczącym modelowania procesu, obejmującym dwa podstawowe składniki: identyfikację i modelowanie właściwe (Osowski 2007).

Zależności między parametrami mechanicznymi węgla i warunkami geologiczno-górnicznymi a mocą napędu zespołu strugowego można także określić, dokonując jednocześnie bardzo wielu pomiarów parametrów mechanicznych węgla oraz mocy zespołu napędowego, odpowiednim przyrządem. Na podstawie tych pomiarów można sporządzać modele regresyjne lub modele działające z wykorzystaniem sieci neuronowych, podające te zależności (Wieczorek 2008; Zieliński 2000). Wadą tej metody jest jednak konieczność wykonania bardzo dużej liczby pomiarów w różnych warunkach prowadzenia eksploatacji.

## 2. PRZYRZĄD POMIAROWY

Przyrząd do wyznaczania wartości siły skrawania wykonano w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach. Zasada jego pracy polega na odpowiednim prowadzeniu pojedynczego noża pomiarowego, wykonującego poziome bruzdy (skrawy) w caliznie na założonej głębokości i wysokości ściany. Ważne jest, aby kolejność głębokości i wysokości zlobienia bruzd odpowiadała kolejności urabiania węgla przez noże struga. Zapewni to, już na etapie pomiarów, zwiększone podobieństwo wyników pomiarów do wyników z rzeczywistych procesów urabiania węgla.

W efekcie prowadzonych pomiarów otrzymuje się: wartość siły skrawania  $F^t$  (równoległej do ociosu) na nożu pomiarowym oraz skanning bruzdy. Ze skanningu bruzdy można wyznaczyć uśrednioną wartość pola powierzchni przekroju poprzecznego bruzdy pomiarowej  $S$  oraz uśrednione kąty bocznego rozkruszenia  $\psi$ . Przyjmuje się założenie idealizujące, że przekrój poprzeczny bruzdy pomiarowej ma postać geometryczną trapezu.

### 2.1. Przestrzeń pomiarów i analiz

W celu zapisania wyników pomiarów oraz przeprowadzenia analizy teoretycznej stosuje się przestrzeń kartezjańską trójwymiarową, gdzie poszczególne wymiary oznaczają:  $x$  – wymiar wzdłuż calizny,  $y$  – wymiar w głąb calizny,  $z$  – wymiar na wysokości calizny. Podczas wykonywania pomiarów nóż pomiarowy jest ustawiany

pod konstrukcyjnie zadany na stałe kąt nachylenia  $\beta$  w stosunku do powierzchni calizny. W związku z tym, dla każdego pomiaru, występuje ogólna zależność

$$F^t = F^n \cos\beta; \quad F^p = F^n \sin\beta \quad (1)$$

gdzie:

$F^t$  – uśredniona siła skrawania wzdłuż osi  $x$ ,

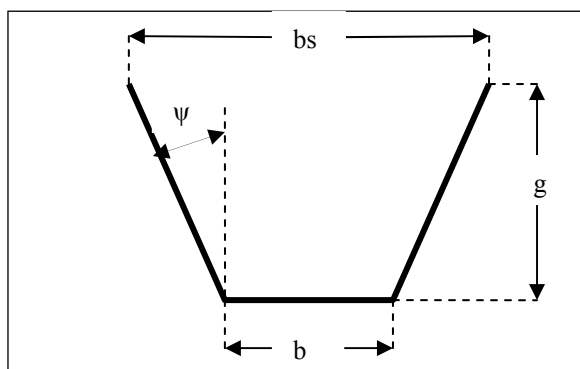
$F^n$  – uśredniona siła w osi noża pomiarowego dla danego punktu pomiarowego,

$\beta$  – kąt nachylenia osi noża pomiarowego do płaszczyzny calizny,

$F^p$  – uśredniona siła docisku wzdłuż osi  $y$ .

W dalszych analizach odwzorowania wykorzystuje się jedynie siłę  $F^t$ . Siła  $F^n$  jest wykorzystywana w późniejszych obliczeniach mocy całego struga.

W wyniku skanowania bruzdy pomiarowej można wyznaczyć uśredniony kształt i pole przekroju bruzdy, mające postać zbliżoną do trapezu równoramiennego (rys. 1).



Rys. 1. Uśredniony kształt przekroju poprzecznego bruzdy (skrawu) pomiarowego

Fig. 1. The averaged shape of the measurement cut chase cross section

Powierzchnię przekroju bruzdy pomiarowej można wyznaczyć dla danego pomiaru z ogólnego wzoru

$$S = \frac{(bs + b)g}{2} \quad (2)$$

gdzie:

$S$  – pole przekroju poprzecznego bruzdy pomiarowej w osiach  $y - z$ ,

$bs$  – szerokość bruzdy liczona w osi  $z$ ,

$b$  – szerokość krawędzi skrawającej noża pomiarowego w osi  $z$ ,

$g$  – głębokość bruzdy w osi  $y$ .

Ze wzoru ogólnego można również wyliczyć kąt bocznego rozkruszenia (dla danego pomiaru)

$$\psi = \arctg\left(\frac{bs - b}{2 \cdot g}\right) \quad (3)$$

gdzie  $\psi$  – kąt bocznego rozkruszenia dla danego pomiaru w osiach  $y - z$ .

## 2.2. Pole wyników pomiarów

W celu prowadzenia dalszej analizy, tworzy się pole wyników pomiarów jako płaszczyznę w osiach  $y$  i  $z$ . Punktem zaczepienia osi współrzędnych jest poziom spągu oraz płaszczyzna calizny przed pierwszym pomiarem. Na tej płaszczyźnie sytuuje się punkty pomiarowe, według odległości w osi  $y$  i osi  $z$  od punktu zaczepienia współrzędnych. W wyniku pomiarów oraz obliczeń, dla każdego punktu pomiarowego, otrzymuje się następujące dane:  $F'_{yz}$ ,  $S_{yz}$ ,  $\Psi_{yz}$ .

Do dalszej analizy wprowadza się współczynnik urabialności  $A$  definiowany według wzoru (Opolski, Brączek 1969)

$$A = \frac{F'}{S} \quad (4)$$

gdzie:

$F'$  – siła skrawania na nożu,

$S$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego bruzdy.

Wyniki wszystkich pomiarów można przedstawić w postaci czterowymiarowej macierzy **MWP**, w której w kolumnach ( $j$ ) zapisuje się wyniki dla kolejnych punktów pomiarowych dokonywane w osi  $y$ . Kolejne wiersze ( $i$ ) odpowiadają pomiarom dokonywanym na różnych wysokościach ociosu. Odpowiednio dla współrzędnej ( $k$ ) zapisuje się wyniki pomiarów i obliczeń dla:  $k = 1$  – siły skrawania  $F'$ ;  $k = 2$  – powierzchnie przekroju poprzecznego bruzdy  $S_{yz}$ ;  $k = 3$  – kąty bocznego rozkruszenia  $\Psi_{yz}$ ;  $k = 4$  – uprzednio zdefiniowany współczynnik urabialności węgla  $A_{yz}$ .

Zapisanie wyników pomiarów oraz obliczeń w macierzy czterowymiarowej będzie pomocne przy algorytmizacji metody.

Maksymalne rozmiary macierzy wynoszą:  $j = m$  oraz  $i = n$ , gdzie  $m$  – liczba pomiarów wykonanych w głąb calizny,  $n$  – liczba pomiarów wykonanych na wysokości calizny.

## 2.3. Funkcje ciągłe wyników pomiaru

Na podstawie wartości dyskretnych zawartych w macierzy **MWP** wylicza się za pomocą metod matematycznych (np. regresji wielowymiarowej) funkcje ciągłe nieliniowe:

$$f_F(y, z) \text{ – dla sił tnących bruzdy pomiarowej } F' \quad (5)$$

$$f_S(y, z) \text{ – dla powierzchni } S \text{ przekrojów poprzecznych bruzdy pomiarowej} \quad (6)$$

$$f_\Psi(y, z) \text{ – dla kątów } \Psi \text{ bocznego rozkruszenia bruzdy pomiarowej} \quad (7)$$

$$f_A(y, z) \text{ – dla wprowadzonego współczynnika urabialności węgla} \quad (8)$$

Funkcje te pozwalają na wyliczanie wyżej podanych parametrów dla dowolnych odległości  $y$  i  $z$  od punktu zaczepienia układu współrzędnych wybranego noża struga. Graniczną odległością  $z$  jest wysokość ociosu. Dla współrzędnej  $y$  można wyjść poza

zakres pomiarów na głębokości calizny, przyjmując, że przebieg wyznaczonych funkcji będzie regularny.

#### 2.4. Odwzorowanie układu noży struga

Parametry pracy noży struga odwzorowuje się przez geometryczne nałożenie ich położenia w stosunku do płaszczyzny ociosu na płaszczyznę pola wyników pomiarów. W ten sposób można zidentyfikować wartości i relacje do funkcji  $f_F(y, z)$ ,  $f_S(y, z)$ ,  $f_\psi(y, z)$ ,  $f_A(y, z)$ , dla każdego noża struga oddzielnie, gdyż określa się współrzędne położenia tego noża na płaszczyźnie pola wyników pomiaru. Słowo „relacje do tych funkcji” odnosi się do wartości funkcji  $f_F(y, z)$  i oznacza, że nie można jeszcze przyjąć bezpośrednio tych wartości jako wyniku obliczeń dla struga. Trzeba także obliczyć odwzorowanie parametrów uzyskanych w wyniku pomiarów na warunki rzeczywiste pracy struga. Przyjmuje się, że wyznaczone wartości dotyczą punktu osi ostrza noża.

Kolejnym zadaniem jest teoretyczne podzielenie spodziewanego przekroju poprzecznego całego zaboru, dokonywanego przez strug, na powierzchnie cząstkowe górotworu urabianego (struganego), indywidualnie przez poszczególne noże struga. Szczególnie ważne jest określenie kolejności urabiania przez poszczególne noże głowicy. Przyjmuje się również, teoretycznie, że uśrednione kształty przekrojów poprzecznych powierzchni cząstkowych urabianego górotworu będą miały postać figur geometrycznych. Cząstkowy, teoretyczny przekrój poprzeczny dla danego noża wyznacza się z: głębokości bruzdy, szerokości noża oraz kąta  $\psi$  bocznego rozkruszenia charakterystycznego dla punktu osi ostrza noża.

#### 2.5. Ogólne zasady odwzorowywania sił tnących

Przyjęto, jako pierwsze przybliżenie, że siły skrawania rzeczywiście występujące na nożach głowicy są proporcjonalne do pola powierzchni przekroju poprzecznego wykonywanej bruzdy lub ścinanego „naddatku”. Takie założenie umożliwia obliczanie odwzorowań cząstkowych sił pomierzonych nożem pomiarowym na siły rzeczywiście występujące na poszczególnych nożach struga.

##### Przykłady szczegółowych odwzorowań sił tnących

Poniżej podano kilka przykładów sposobów odwzorowań sił skrawania występujących na nożu pomiarowym, na siły rzeczywiście występujące na nożach struga. Nie wyczerpują one jednak wszystkich możliwych kombinacji odwzorowań, ale stanowią dobrą ilustrację metody obliczeń. W przykładach przyjęto następujące oznaczenia:  $F^t$  – siła skrawania na nożu pomiarowym,  $S$  – powierzchnia pola przekroju poprzecznego bruzdy pomiarowej,  $\psi$  – kąt bocznego rozkruszenia wyznaczony z pomiarów. Przyjmuje się, że będzie on taki sam dla bruzd wykonywanych przez noże struga.

##### Odwzorowanie wynikające z różnicy kąta nachylenia noża w strugu w stosunku do kąta nachylenia noża pomiarowego

Przyjmuje się, że siła tnąca  $F^t$  noża struga powinna być taka sama, jak siła  $F^t$  dla noża pomiarowego, pracującego na odpowiadającej mu głębokości  $y$  i wysokości  $z$ .

Przy innym kącie ustawienia noża struga w stosunku do kąta ustawienia noża pomiarowego zmieni jedynie wartość siły odpychającej, a mianowicie

$$F' = F^t \quad (9)$$

#### Odwzorowanie wynikające z różnicy kształtu noża struga w odniesieniu do kształtu noża pomiarowego

Przyjmuje się, że wprowadzony współczynnik urabialności  $A$  oraz kąt bocznego rozkruszenia  $\psi$  dla noża pomiarowego oraz noża struga są jednakowe oraz, że nóż struga wykonuje pełną bruzdę o przekroju trapezu równoramiennego i nie występuje wpływ (interakcja) innych noży struga.

Nóż struga może mieć inną szerokość niż nóż pomiarowy oraz żłobić bruzdę o nieco innej głębokości. Przy tych założeniach otrzymuje się zależność

$$F^{t'} = F^t \frac{S}{(d'g' + g'^2 \operatorname{tg}\psi)} \quad (10)$$

gdzie:

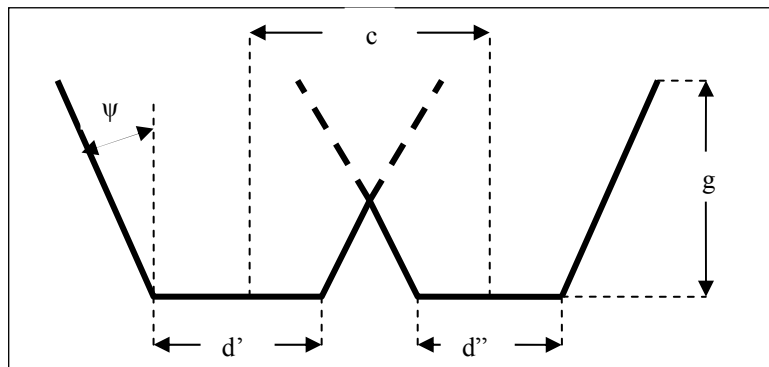
$F^{t'}$  – skorygowana siła skrawania na nożu struga,

$d'$  – szerokość noża struga,

$g'$  – głębokość bruzdy wykonanej przez nóż struga.

#### Odwzorowanie wynikające z równoległej pracy dwóch noży struga wybierających bruzdy niepełne

Przyjmuje się, że dwa noże struga pracują równolegle (obok siebie) w płaszczyźnie równoległej do ociosu. Każdy z nich wybiera bruzdę niepełną, gdyż profile bruzd tych noży zazębiają się (rys. 2).



Rys. 2. Uśredniony kształt przekroju poprzecznego bruzdy (skrawu) dla równoległej pracy dwóch noży z pozostawieniem nadatku

Fig. 2. The averaged shape of the measurement cut chase cross section for the parallel operation of two cutting tools with some allowance left

Jeżeli noże te mają różne szerokości: nóż 1 –  $d'$ , nóż 2 –  $d''$ , a odległość między osiami tych noży wynosi  $c$ , to w przypadku równoległego ich usytuowania zachodzi zależność

$$c > 0,5d' + 0,5d'' \quad (11)$$

Przy założeniu (11) w profilu bruzdy wybranej wspólnie przez obydwu noże pojawia się „wybrzuszenie” niewybranego węgla. Powierzchnię przekroju poprzecznego tego wybrzuszenia określa się za pomocą wzoru

$$S^{IV} = 0,25[c - 0,5(d' + d'')]^2 \operatorname{ctg}\psi \quad (12)$$

gdzie:

- $S^{IV}$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego „wybrzuszenia” w bruzdzie wykonanej przez dwa noże pracujące równolegle,
- $c$  – odległość między osiami noży,
- $d'$  – szerokość pierwszego noża struga,
- $d''$  – szerokość drugiego noża struga.

Obydwu noże wykonują bruzdy niepełne, tzn. część wspólnej bruzdy jest wybierana przez obydwu noże. Przyjmuje się, że linia podziału pracy noży przebiega w połowie odległości między osiami obydwu noży.

Pola powierzchni przekroju wspólnej bruzdy wybieranych przez poszczególne noże są następujące:

$$S' = 0,5d'g + 0,5g^2 \operatorname{tg}\psi + 0,5(cg - S^{IV}) \quad (13)$$

$$S'' = 0,5d''g + 0,5g^2 \operatorname{tg}\psi + 0,5(cg - S^{IV}) \quad (14)$$

gdzie:

- $S'$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego bruzdy urabiane przez nóż 1,
- $S''$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego bruzdy urabiane przez nóż 2,
- $g$  – głębokość wspólnej bruzdy.

Dla noży struga oraz noża pomiarowego, pracujących na tej samej głębokości, wartości wskaźnika urabialności  $A$  są takie same. Stąd, wyliczone zależności odwzorowania wynoszą:

$$F^{t'} = F^t \frac{S'}{S} = F^t \frac{[0,5d'g + 0,5g^2 \operatorname{tg}\psi + 0,5(cg - S^{IV})]}{S} \quad (15)$$

$$F^{t''} = F^t \frac{S''}{S} = F^t \frac{[0,5d''g + 0,5g^2 \operatorname{tg}\psi + 0,5(cg - S^{IV})]}{S} \quad (16)$$

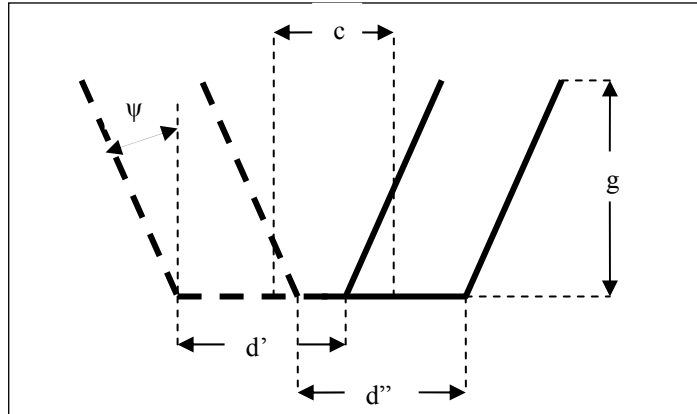
gdzie:

- $F^{t'}$  – skorygowana siła tnąca na nożu 1,
- $F^{t''}$  – skorygowana siła tnąca na nożu 2.

### **Odwzorowanie wynikające z pracy szeregowej dwóch noży struga z przesuniętymi osiami**

Przyjmuje się, że obydwu noże pracują w płaszczyźnie równoległej do ociosu, na tej samej głębokości. Wtedy pierwszy nóż pracuje samodzielnie, urabiając pełną bruzdę. Postępujący za nim nóż wybiera brudzę niepełną. Odległości między osiami tych noży powinny być tak dobrane, aby po przejściu obydwu noży nie pozostawał „nadda-

tek” (rys. 3). W takim przypadku określa się powierzchnię przekroju poprzecznego bruzdy urabianej przez drugi nóż. Odzworowanie dotyczy więc tylko drugiego noża. Pole przekroju poprzecznego bruzdy niepełnej ma postać równoległoboku skośnego o kącie nachylenia  $\psi$ .



**Rys. 3.** Uśredniony kształt przekroju poprzecznego bruzdy (skrawu) dla szeregowej pracy dwóch noży, z których drugi wybiera bruzdę niepełną bez pozostawienia naddatku

**Fig. 3.** The averaged shape of the measurement cut chase cross section for serial operation of two cutting tools, the second of which selects a chase incomplete without leaving some allowance

Dla pracy tych noży jest spełniony warunek

$$c < 0,5(d' + d'') \quad (17)$$

gdzie:

- $c$  – odległość pomiędzy osiami obydwu noży,
- $d'$  – szerokość noża pierwszego (wyprzedzającego),
- $d''$  – szerokość noża drugiego (postępującego).

Pole powierzchni przekroju poprzecznego bruzdy niepełnej wybieranej przez drugi nóż wynosi

$$S'' = g[0,5d' + (c - 0,5d'')]\sin \psi \quad (18)$$

Przyjmując, że dla obydwu noży struga oraz noża pomiarowego wskaźnik skrawalności  $A$  jest taki sam, otrzymuje się zależność odzworowania

$$F^{t''} = F^t \frac{S''}{S} = F^t \frac{g[0,5d'' + (c - 0,5d')]\sin \psi}{S} \quad (19)$$

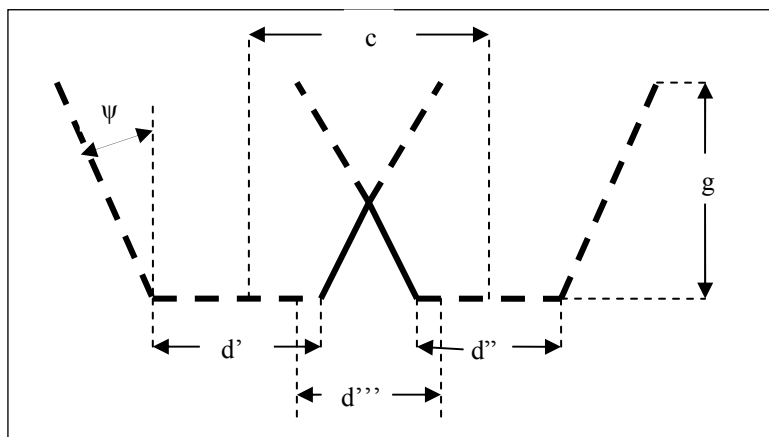
gdzie:

- $F^{t''}$  – skorygowana siła tnąca dla noża drugiego,
- $S''$  – pole przekroju poprzecznego bruzdy wykonywanej przez drugi nóż; pozostałe oznaczenia jak w poprzednich wzorach.



### Odwzorowanie dla trzeciego noża wyrównującego

Dwa noże pracujące równoległe do płaszczyzny ociosu, urabiając węgiel we wzajemnej interakcji pozostawiły „wybrzuszenie” pomiędzy nimi. Wybrzuszenie to jest wyrównywane za pomocą trzeciego noża. Przyjmuje się, że ma on dostateczną szerokość  $d'''$  do wyrównania „wybrzuszenia” (rys. 4).



Rys. 4. Uśredniony kształt przekroju poprzecznego bruzdy (skrawu) dla pracy trzeciego noża wyrównującego bez pozostawienia nadatku

Fig. 4. The averaged shape of the measurement cut chase cross section for the work of the third cutting tool which adjusts without leaving allowance

Do wyznaczenia pola przekroju poprzecznego tego „wybrzuszenia”  $S^{IV}$  stosuje się wzór (12).

Dla trzeciego noża współczynnik urabialności  $A$  jest taki sam, jak dla noża pomiarowego pracującego na tych samych współrzędnych. Z tego wynika relacja odwzorowania

$$F^{t''} = F^t \frac{S^{IV}}{S} = F^t \frac{0,25[c - 0,25(d' + d'')]^2 \operatorname{ctg}\psi}{S} \quad (20)$$

gdzie  $F^{t''}$  – skorygowana siła tnąca dla trzeciego noża; pozostałe oznaczenia jak w poprzednich wzorach

### Odwzorowanie dla trzeciego noża skrawającego wykonującego skraw niepełny

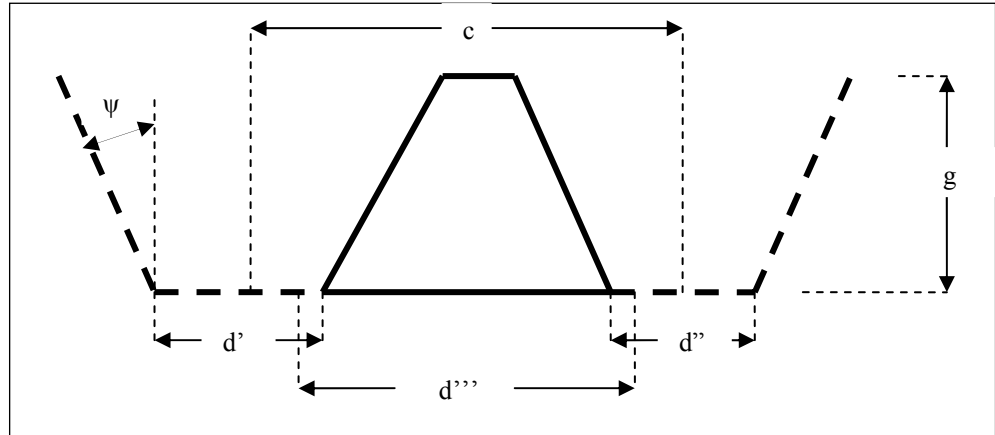
Przyjmuje się, że dwa noże poprzedzające, pracujące w jednej płaszczyźnie, wykonują dwie, niełączące się brzegami bruzdy. Między nimi pozostaje „wybrzuszenie” w postaci trapezu równoramiennego o mniejszym boku od strony ociosu. Trzeci nóż o szerokości  $d'''$ , postępujący za tymi dwoma, służy do ścięcia tego „wybrzuszenia” (rys. 5).

Pole przekroju poprzecznego „wybrzuszenia” jest wyliczane za pomocą wzoru

$$S^{IV} = \frac{[2c - (d' + d'') - 2g \operatorname{tg}\psi]g}{2} \quad (21)$$

gdzie:

- $S^{IV}$  – pole powierzchni „wybrzuszenia” urabianego przez trzeci nóż,
- $c$  – odległość pomiędzy osiami dwóch pierwszych noży,
- $d'$  – szerokość noża pierwszego,
- $d''$  – szerokość noża drugiego,
- $g$  – wysokość „wybrzuszenia” w postaci trapezu (odpowiada głębokości bruzd wykonanych przez dwa pierwsze noże).



**Rys. 5.** Uśredniony kształt przekroju poprzecznego bruzdy (skrawu) dla pracy trzeciego noża wyrównującego bez pozostawienia naddatku (dla nadatku w postaci trapezu pozostawionego przez poprzedzające noże)

**Fig. 5.** The averaged shape of the measurement cut chase cross section for the work of the third cutting tool which adjusts without leaving allowance (for the allowance in the shape of trapezium left by the preceding cutting tools)

Ponieważ współczynnik urabialności węgla  $A$  jest jednakowy dla noża pomiarowego oraz trzeciego noża struga, można przyjąć, że:

$$F^{t''} = F^t \frac{S^{IV}}{S} = F^t \frac{0,5[2c - (d' + d'') - 2gtg\psi]g}{S} \quad (22)$$

gdzie  $F^{t''}$  – skorygowana siła skrawania dla trzeciego noża; pozostałe oznaczenia jak we wzorach poprzednich

W tym odwzorowaniu przyjmuje się, że szerokość trzeciego noża struga jest na tyle duża, aby ściąć całe „wybrzuszenie”.

### 3. DOPASOWANIE MODELU DO WARUNKÓW RZECZYWISTYCH

Po wyliczeniach teoretycznych należy przystąpić do dopasowania modelu do warunków rzeczywistych pracy struga, traktując to jako kolejne przybliżenie. W obliczeniach matematycznych te dopasowania można uwzględniać w postaci doświadczalnego wyznaczania współczynnika odwzorowania  $\mu$ , mnożąc wyznaczone teoretycznie (w przykładach) skorygowane siły tnące na poszczególnych nożach struga

przez ten współczynnik. Wyniki obliczeń teoretycznych do rzeczywistych można również dopasować, posługując się odpowiednią metodą i zachowując kolejność pomiarów dokonywanych opisanym wcześniej przyrządem pomiarowym. Poniżej podano kilka sposobów uzyskiwania takiego podobieństwa między wartościami teoretycznymi a występującymi w rzeczywistości.

#### **Uwzględnienie odprężenia calizny**

Noże odspągowe w strugu, dokonując podcięcia calizny, powodują odprężenie urabianej calizny węglowej. Ma to wpływ na siły tnące na innych nożach struga, potrzebne do urabiania węgla. Odprężenie to jest uwzględniane przez zachowanie odpowiedniej kolejności dokonywania nacięć pomiarowych przez przyrząd, rozpoczynając serie pomiarów od nacięć przyspągowych. Wtedy wyniki następnych pomiarów w serii odnoszą się do odprężonej calizny węglowej.

#### **Uwzględnienie interakcji dwóch noży pracujących równoległe o nakładających się częściowo profilach bruzd**

Wymaga to niewielkiej przeróbki przyrządu pomiarowego. W miejsce jednego noża pomiarowego wstawia się dwa (mogą być o mniejszej szerokości) umiejscowione w zadanej od siebie odległości. Mierzy się siły tnące na tych nożach oraz skanuje wykonaną bruzdę. Na podstawie tych pomiarów, wykorzystując podane wcześniej wzory, można wyznaczyć współczynnik  $\mu$ .

#### **Uwzględnienie interakcji trzech noży, z których dwa pierwsze pozostawiają pomiędzy sobą naddatek do ścięcia**

Ten przypadek odnosi się do wyznaczenia współczynnika  $\mu$  dla trzeciego noża wyrównującego. Można to uzyskać przez dokonanie, w odpowiedniej kolejności, nacięć za pomocą przyrządu pomiarowego. Najpierw wykonuje się dwa nacięcia równoległe w odległości odpowiadającej rozstawowi pierwszych dwóch noży. Następnie mierzy się siłę skrawania na nożu pomiarowym ścinającym pozostawiony między tymi bruzdami naddatek. Stosując wzory podane do obliczeń, można wyznaczyć współczynnik  $\mu$ .

#### **Uwzględnienie interakcji dwóch noży pracujących sekwencyjnie**

Przyjmuje się, że nóż poprzedzający wykonuje bruzdę o pełnym profilu, a nóż następujący bruzdę niepełną, sąsiadującą z bruzdą wykonaną przez nóż poprzedzający. Najpierw wykonuje się przyrządem pomiarowym bruzdę o pełnym profilu. Następnie w pionie przesuwa się głowicę przyrządu pomiarowego o odległość równą odległości osi noży pracujących sekwencyjnie. Mierzy się siłę tnącą przy wykonywaniu drugiego nacięcia pomiarowego. Za pomocą wzorów podanych do obliczeń wyznacza się współczynnik  $\mu$  dla drugiego noża następującego.

## **4. OGÓLNA METODYKA BADAŃ I OBLICZEŃ**

Metodyka składa się z kroków opisanych poniżej.

### **Krok 1: Pomiary *in situ***

Pomiary przyrządem prowadzi się na różnych głębokościach calizny oraz na różnych wysokościach liczonych od spągu. W wyniku pomiarów oraz wstępnych

obliczeń uzyskuje się zbiór danych dyskretnych, dotyczących zmiennych:  $F^t$ ,  $S$ ,  $\psi$  oraz  $A$  dla punktów określonych współrzędnymi  $y$  oraz  $z$ . Symbole literowe oznaczają odpowiednio:  $F^t$  – siłę skrawania dla noża pomiarowego liczoną równoległe do ociosu;  $S$  – pole przekroju poprzecznego bruzdy wykonanej przez nóż pomiarowy;  $\psi$  – kąt bocznego rozkruszenia bruzdy wykonanej przez nóż pomiarowy;  $A$  – zdefiniowany w artykule współczynnik urabialności węgla.

**Krok 2:** Wyliczenie funkcji ciągłych

Na podstawie wartości dyskretnych wyznaczonych w kroku 1 z wykorzystaniem metod matematycznych (np. regresji wielowymiarowej) wylicza się funkcje ciągłe nieliniowe:  $f_t(y, z)$  – dla sił tnących bruzdy pomiarowej;  $f_S(y, z)$  – dla powierzchni  $S$  przekrojów poprzecznych bruzdy pomiarowej;  $f_\psi(y, z)$  – dla kątów  $\psi$  bocznego rozkruszenia bruzdy pomiarowej;  $f_A(y, z)$  – dla zdefiniowanego współczynnika urabialności.

**Krok 3:** Wykonanie map położenia noży struga

Mapy położenia wszystkich noży struga wykonuje się w układzie współrzędnych  $y - z$ , przyjętych dla układu pomiarowego. Dla każdego z ostrzy noży (w osi noża) wyznacza się jego współrzędne  $y_i$  oraz  $z_j$ . Na podstawie funkcji (5), (6), (7) i (8) wylicza się wartości wejściowe parametrów  $F^t$ ,  $S$ ,  $\psi$  oraz  $A$ . Tym samym uzyskuje się wartości pomiarowe dla tych punktów.

**Krok 4:** Wykonanie mapy przekroju

Dla każdego z noży struga, z uwzględnieniem sekwencji ich pracy, projektuje się teoretyczny kształt przekroju poprzecznego bruzdy, z uwzględnieniem współczynnika  $\psi$ , charakterystycznego dla głębokości pracy noża w caliznie. Wyznacza się wartości pola przekroju poprzecznego tych bruzd  $S^n$ . Z uwagi na sekwencję pracy noży, dla niektórych z nich będą to bruzdy niepełne.

**Krok 5:** Odwzorowania teoretyczne sił

W zależności od kombinacji pracy noży teoretycznie określa się odwzorowanie sił tnących  $F^t$  wyznaczonych przyrządem pomiarowym na siły rzeczywiste  $F^n$  spodziewane przy pracy poszczególnych noży. Do określania wartości tych sił wykorzystuje się, opisane w artykule, scenariusze odwzorowań.

**Krok 6:** Odwzorowania praktyczne sił

Na podstawie badań *in situ* określa się współczynniki odwzorowania  $\mu$  wartości sił tnących wyznaczonych teoretycznie w kroku 5 na wartości rzeczywiste występujące podczas eksploatacji.

**Krok 7:** Sumowanie sił

Sumuje się siły  $F^n$  wyznaczone w kroku 6, otrzymując wartości wypadkowej siły skrawania  $F$  na głowicy struga.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Przedstawiona w artykule metoda wyznaczania wartości siły wypadkowej na głowicy struga węglowego jest fragmentem ogólnej metody wyznaczania wartości

mocy napędu struga pracującego w określonych warunkach geologiczno-górnictwowych i urabiającego węgiel o określonych parametrach mechanicznych. Wyznaczanie tej siły polega na poszukiwaniu odwzorowań parametrów mechanicznych węgla pomierzonych specjalnie skonstruowanym przyrządem. Najbardziej istotny w tej metodzie jest fakt, że mierzy się parametry mechaniczne węgla w pokładzie, który będzie eksploatowany przez jednoznacznie zdefiniowany typ struga. W artykule jako przykład podano jedynie wybrane scenariusze współpracy i wzajemnej interakcji w pracy noży struga. Dla celów użytkowych należałoby oczywiście przeliczyć wszystkie rzeczywiste scenariusze współpracy i interakcji noży struga. Kolejną zaletą metody jest możliwość wykonywania przeliczeń dla głowic konkretnego struga o jednoznacznie wyznaczonej konfiguracji położenia noży. Współczynnik  $\mu$  odwzorowania sił wyliczonych teoretycznie na siły występujące rzeczywiście, wyznacza się dla konkretnego pola przeznaczzonego do eksploatacji.

Wyznaczone w tej metodzie wartości sił należy traktować jako przybliżone do wartości sił występujących podczas eksploatacji. W praktyce, w przyszłości, należałoby określić, w jakim stopniu to przybliżenie jest adekwatne do rzeczywistości.

#### **Literatura**

1. Dolipski M. (1993): Modelowanie i badania zespołów strugowych. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
2. Opolski T., Brączek E. (1969): Strugi węglowe – zasady budowy, działania i eksploatacji. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
3. Osowski S. (2007): Modelowanie i symulacja układów i procesów dynamicznych. Warszawa, Wydaw. Politechniki Warszawskiej.
4. Wieczorek T. (2008): Neuronowe modelowanie procesów technologicznych. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
5. Zieliński J.S. (2000): Inteligentne systemy w zarządzaniu – teoria i praktyka. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.

**Recenzent:** dr inż. Sylwester Rajwa