

Józef Sówka, Tadeusz Piecuch

Instytut Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej

ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY NIEKTÓRYMI PARAMETRAMI  
W PROCESIE FILTRACJI PRÓŻNIOWEJ ZAWIESIN WĘGLOWYCH

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono równanie empiryczne, które w określonych warunkach pozwala na obliczenie wielkości powierzchni filtracyjnej, niezbędnej do wydzielenia założonej ilości mułu; równanie otrzymano w wyniku analizy procesu filtracji i doświadczeń prowadzonych w skali półtechnicznej.

Wydajność jednostkowa osadów filtracyjnych zawiesin węglowych  $Q$  jest podstawowym parametrem wynikowym (zmienna zależna) procesu w warunkach przemysłowych. Na wydajność procesu filtracji wpływa wiele czynników zmiennych [1], z których najważniejszymi są:

- zagęszczenie początkowe nadawy  $\beta$ ,  $\text{kg/m}^3$ ,
- ilość ziarn poniżej  $70 \mu\text{m}$ , %,
- różnica ciśnień w układzie  $\Delta p$ , at,
- czas filtracji  $t_c$  (czas ssania + czas odwadniania + czas czynności pomocniczych = czasowi pełnego obrotu tarcz lub bębna filtra; czas filtracji jest więc funkcją prędkości obrotowej).

Na efektywność pracy filtrów oprócz odpowiedniej konstrukcji i prawidłowego doboru zespołów współpracujących, wpływają głównie technologiczne warunki pracy filtru. Efekt pracy filtru zależy tu będzie od charakteru zawiesiny poddawanej filtracji. Wiadomo, że o przebiegu tego procesu decyduje przede wszystkim ilość ziarn bardzo drobnych poniżej  $0,1 \text{ mm}$ , które utrudniają filtrację, głównie zaś wówczas, gdy są one ziarnami ilowymi.

Za wskaźnik zawartości ilów w mule uważać można zawartość popiołu w najdrobniejszych klasach ziarnowych. Z analiz zawartości popiołu wynika, iż w zdecydowanej większości przypadków klasa poniżej  $0,1 \text{ mm}$  to substancja silnie zapopielona, co pozwala przypuszczać, że stanowią ją najczęściej łatwo ścierealne i rozmywalne ily [2].

Znana i często stosowana do identyfikacji zailenia zawiesiny wielkość tzw. wskaźnik Dahlstroma [3] pozwala określić stopień filtrowalności nadawy.

$$K_D = A\sqrt{i} \quad (1)$$

gdzie:

$i$  - udział klasy poniżej 0,07 mm w nadawie, %,

$A$  - zapozielenie klasy poniżej 0,07 mm w nadawie, %.

W oparciu o wskaźnik Dahlstroma przyjmuje się następującą szacunkową ocenę dla:

- $K < 100$  - nadawa łatwo filtrowalna,
- $K = 100 - 200$  - nadawa średnio filtrowalna,
- $K = 200 - 300$  - nadawa trudno filtrowalna,
- $K > 300$  - nadawa bardzo trudno filtrowalna.

Charakter nadawy na filtry wpływa zatem bezpośrednio na proces filtracji zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym. Dotyczy to głównie wydajności materiału odwodnionego, a także jego zawilgocenia, czystości i wydajności filtratu.

Analizując równanie Dahlstroma można stwierdzić, że wskaźnik ten charakteryzuje jakość nadawy. Badania wykazały [1, 2, 3], że jest on dobrany trafnie i można go przyjąć jako jedną ze zmiennych niezależnych procesu. Dotychczasowe próby [4] ustalenia empirycznych zależności na określenie wydajności jednostkowej osadu filtracyjnego zawieszin węglowych nie dały takich przybliżeń, aby wzory te mogły być stosowane w praktyce projektowej; wysiłki badaczy idą w kierunku otrzymania zależności uniwersalnej dla zawieszin węglowych.

Ze względu na aktualność problemu odpowiedniego doboru ilości filtrów do pracy w zakładach przeróbki mechanicznej węgla oraz prawidłowego technologicznego prowadzenia procesu, autorzy artykułu zdecydowali się zaproponować swoją koncepcję obliczania wydajności jednostkowej, a tym samym powierzchni filtracyjnych.

Badania procesu zostały przeprowadzone w skali półtechnicznej na bębnowym filtrze próżniowym o powierzchni filtracyjnej  $0,3 \text{ m}^2$ , o działaniu ciągłym przy kącie ssania  $105^\circ$ . W filtrach próżniowych produkcji polskiej [5] pracujących w większości naszych zakładów przeróbki węgla, kąt ssania wynosi także  $105^\circ$ , zaś w pozostałych filtrach produkcji angielskiej "EMCO" francuskiej "PIC" lub radzieckiej "BOLSZEVIK", mieści się w tych granicach [6].

Do prób użyto zawiesziny węglowe pochodzące z dwunastu różnych polskich kopalń, oznaczone tu symbolicznie a, b, c, ... l. Badania prowadzono dla parametrów zmiennych niezależnych możliwych do osiągnięcia w praktyce, tj.

- różnicy ciśnień w przedziale  $0,4 - 0,8 \text{ at}$ ;
- zagęszczenia nadawy  $400 - 600 \text{ kg/m}^3$ ;
- liczbie obrotów bębna  $0,5 - 1,5 \text{ min}^{-1}$ .

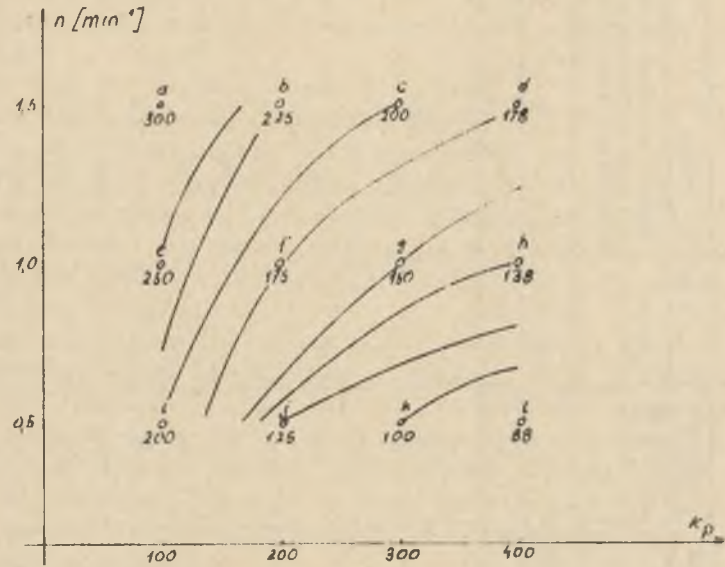
Istotne jest także, że sprawność odbioru wynosiła 100%.

W pierwszym etapie doświadczeń przyjęto jako stałe różnicę ciśnień i zagęszczenie nadawy, określając zależność funkcyjną wpływu wielkości wskaźnika Dahlstroma i liczby obrotów w czasie na wydajność jednostkową osadu (tablica 1). Otrzymana na wykresie (rys. 1) powierzchnia odpowiedzi dała

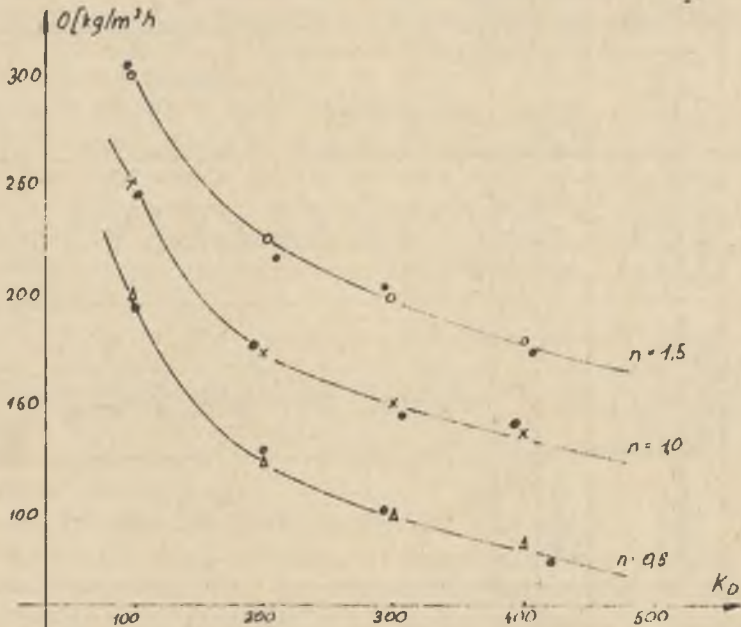
Tablica 1

Zestawienie wyników badań nad wpływem zmian wskaźnika Dahlstroma  $K_D$  i liczby obrotów  $n$  na wydajność jednostkową osadu filtracyjnego dla różnych zawieszin

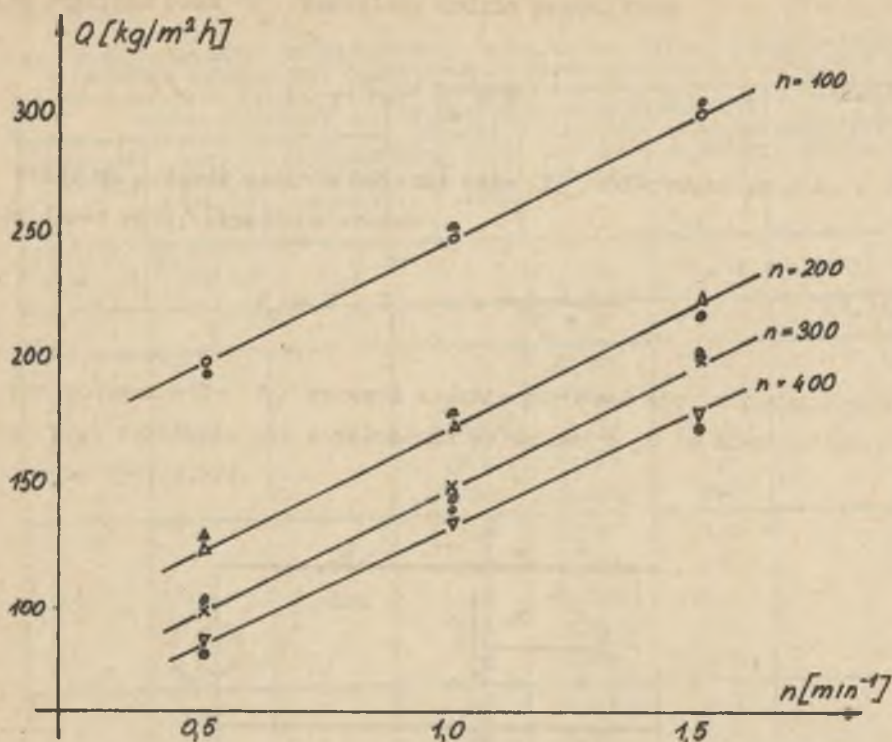
Lp.	Zawieszina młkowa	Wskaźnik Dahlstroma wg pomiarów	Wskaźnik Dahlstroma przyjęty do analizy	Liczba obrotów w czasie	Wydajność jednostkowa pomierzona	Wydajność jednostkowa przyjęta do anal.	Wielkości stałe		
							Różnica ciśnień	Zagęszczenie nadawane pomierzone	Zagęszczenie nadawane przyjęte do anal.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	symbol	$K_D$ , bezw.		$n$ , $\text{min}^{-1}$	$Q_p$ , $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$	$Q_p$ , $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$	$\Delta p$ , at	$\rho$ , $\text{kg/m}^3$	
1	a	97	100	1,5	302,5	300		500	
2	b	211	200	1,5	222,5	225		497	
3	c	295	300	1,5	202,0	200		502	
4	d	409	400	1,5	176,0	178		498	
5	e	107	100	1,0	248,5	250		503	
6	f	194	200	1,0	177,5	175	0,5	499	500
7	g	311	300	1,0	147,5	150		500	
8	h	392	400	1,0	141,0	138		501	
9	i	107	100	0,5	197,5	200		496	
10	j	200	200	0,5	125,5	125		500	
11	k	297	300	0,5	101,5	100		504	
12	l	412	400	0,5	85,5	88		500	



Rys. 1. Wpływ wskaźnika Dahlstroma  $K_p$  i prędkości obrotowej  $n$ , na zmianę wydajności jednostkowej suchego osadu filtracyjnego  $Q_p$



Rys. 2. Wpływ wskaźnika Dahlstroma  $K_p$  na zmianę wydajności jednostkowej suchego osadu filtracyjnego  $Q_p$



Rys. 3. Wpływ prędkości obrotowej  $n$  na zmianę wydajności jednostkowej suchego osadu filtracyjnego  $Q_p$

w przekrojach normalnych do osi układu współrzędnych hiperbole (rys. 2) lub proste (rys. 3). Tak otrzymane zależności aproksymowano [7, 8] funkcją typu:

$$Q_t = c_1 n + \frac{c_2}{K} \quad (2)$$

a następnie wyznaczono wielkości współczynników stałych  $c_1$  i  $c_2$ .

W kolejnym etapie doświadczeń uwzględniono wpływ różnicy ciśnień na proces filtracji, zakładając stałą liczbę obrotów w czasie, wielkość wskaźnika Dahlstroma i zagęszczenie nadawy (tablica 2).

Można więc obliczyć i przyjąć:

$$c_1 n + \frac{c_2}{K} = C = \text{const.} \quad (3)$$

Tablica 2

Zestawienie wyników badań nad wpływem zmian wielkości różnicy ciśnień  $\Delta p$  na wydajność jednostkową osadu filtracyjnego dla różnych zawiesin

Lp.	Zawiesina mułowa	Wielkość różnicy ciśnień	Wydajność jednost- kowa pom- ierzona	Wydajność jednost- kowa przy- jęta do anal.	Wielkości stałe		
					Wskaźnik Dahl- stroma	Liczba obrotów w cza- sie	Zagęszcz. nadawy
	symbol	$\Delta p$ , at	$Q_p$ , kg/m <sup>2</sup> · h		$K_D$	$n$ , min <sup>-1</sup>	$\beta$ , kg/m <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
1	g	0,4	122,0	120	300	1,0	500
2		0,5	147,5	150			
3		0,6	181,5	180			
4		0,7	210,0	210			
5		0,8	240,0	240			
6	j	0,4	98,0	100	200	0,5	500
7		0,5	125,5	125			
8		0,6	162,5	150			
9		0,7	162,5	175			
10		0,8	200,0	200			
11	a	0,4	240,0	240	100	1,5	500
12		0,5	302,5	300			
13		0,6	357,0	360			
14		0,7	402,0	420			
15		0,8	495,0	480			

aproxymując otrzymane na wykresie rys. 4 zależności funkcją typu:

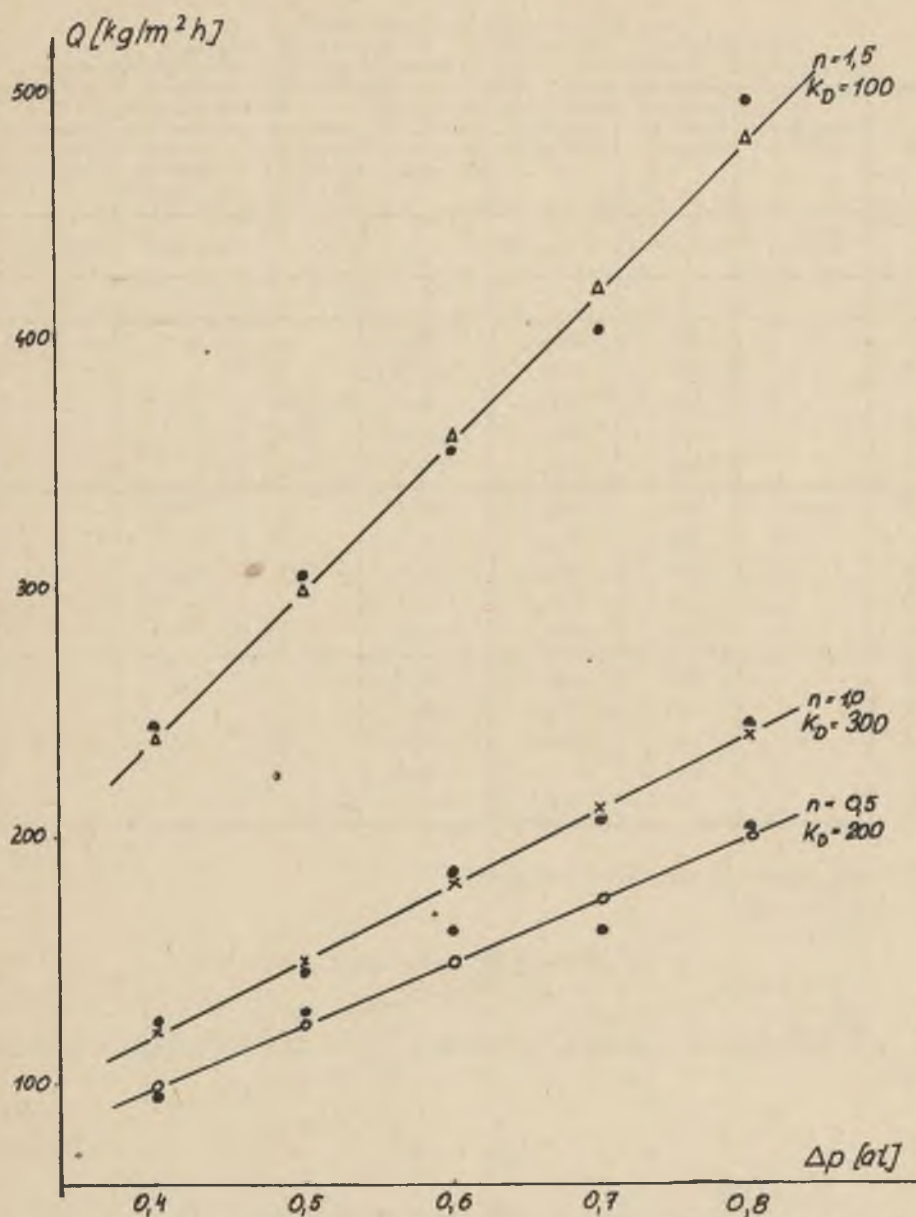
$$Q_t = c \cdot \frac{\Delta p}{c_3} \quad (4)$$

Następnie wyznaczono wielkość współczynnika stałego  $C_3$ . W konsekwencji otrzymano zależność o postaci:

$$Q_t = (c_1 n + \frac{c_2}{K}) \frac{\Delta p}{c_3}, \quad (5)$$

gdzie wszystkie współczynniki stałe  $c_1$ ,  $c_2$  i  $c_3$  były wyznaczone.

W ostatnim etapie doświadczeń analizowano wpływ zagęszczenia nadawy na proces filtracji zakładając stałą prędkość obrotową, wielkość wskaźnika Dahlstroma i różnicę ciśnień (tablica 3).



Rys. 4. Wpływ różnicy ciśnień  $\Delta p$  na zmianę wydajności jednostkowej suchego osadu filtracyjnego  $Q_p$

Tablica 3

Zestawienie wyników badań  
nad wpływem zmian wielkości zagęszczenia nadawy  $\beta$ ,  
na wydajność jednostkową osadu filtracyjnego dla różnych zawieszin

Lp.	Zawiesina mukowa	Zagęsz- czenie nadawy	Wydajność jednostk. pomierzo- na	Wydajność jednostk. przyjęta do anal.	Wielkości stałe		
					Wskaźnik Dahl- stroma	Liczba obrotów w czasie	Różnica ciśnień
	symbol	$\beta$ , kg/m <sup>3</sup>	$Q_p$ , kg/m <sup>2</sup> · h		$K_D$	$n$ , min <sup>-1</sup>	$\Delta p$ , at
1	2	3	4	5	6	7	8
1	g	400	118,0	120,0	300	1,0	0,5
2		450	137,5	135,0			
3		500	147,5	150,0			
4		550	163,0	165,0			
5		600	182,5	180,0			
6	j	400	101,0	100,0	200	0,5	0,5
7		450	111,5	112,5			
8		500	125,5	125,0			
9		550	137,5	137,5			
10		600	152,5	150,0			
11	a	400	336,0	336,0	100	1,5	0,7
12		450	370,0	378,0			
13		500	402,0	420,0			
14		550	463,5	462,0			
15		600	515,5	504,0			

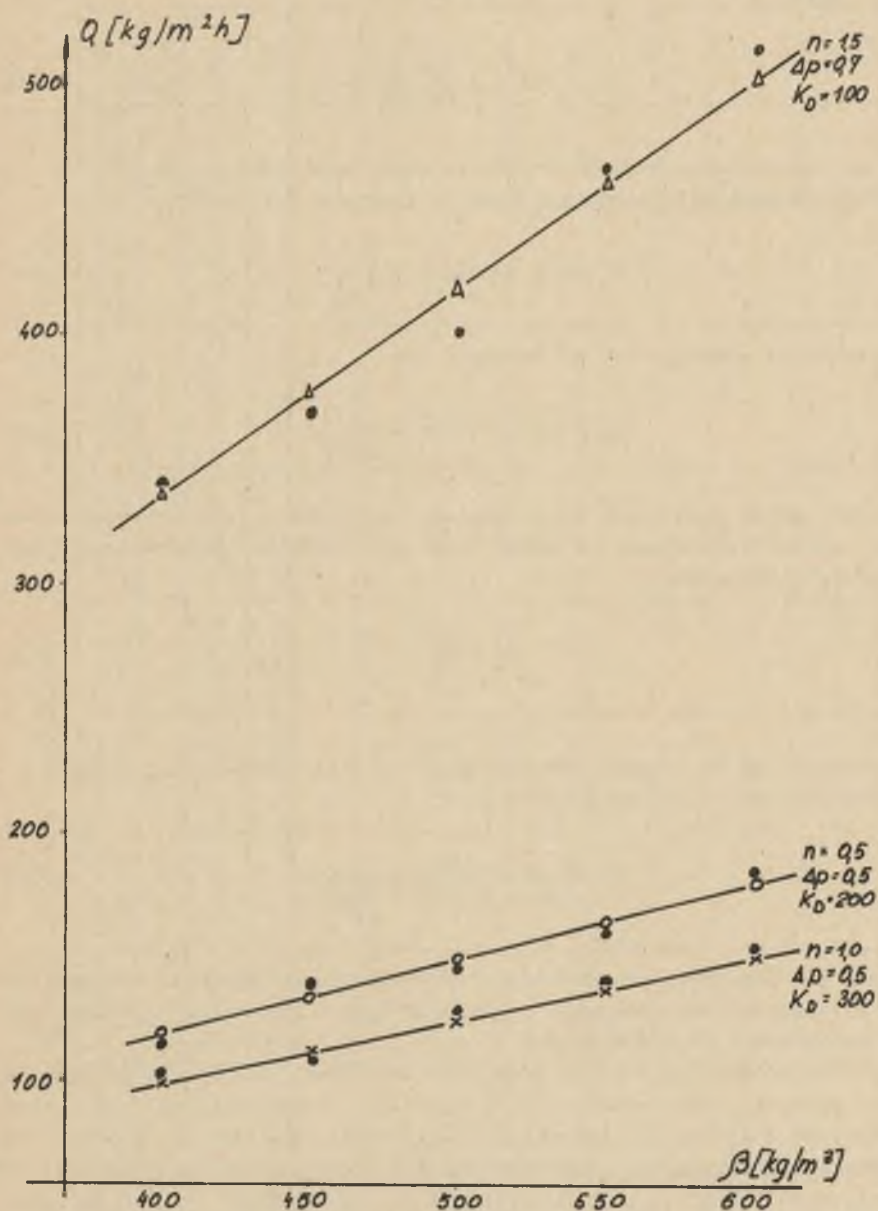
Można więc obliczyć oraz przyjąć:

$$(c_1 n + \frac{c_2}{K_D}) \frac{\Delta p}{c_3} = C = \text{const.} \quad (6)$$

po czym aproksymować otrzymane na wykresie (rys. 5) zależności funkcją typu:

$$Q_t = C \cdot \frac{\beta}{\sigma_4} \quad (7)$$





Rys. 5. Wpływ zagęszczenia nadawy  $\beta$  na zmianę wydajności jednostkowej suchego osadu filtracyjnego  $Q_p$

a następnie wyznaczyć wielkość współczynnika stałego  $c_4$ . Otrzymano zależność o postaci:

$$Q_t = (c_1 n + \frac{c_2}{K_D}) \frac{\Delta p}{c_3} \frac{\beta}{c_4}, \quad (8)$$

która po uproszczeniu i podstawieniu za stałe wielkości  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  i  $c_4$  odpowiednich wartości liczbowych dała następującą zależność:

$$Q_t = \Delta p \cdot \beta \left[ 0,4n + \frac{60}{K_D} \right] \quad (9)$$

a podstawiając równanie (1) do równania (2)

$$Q_t = \Delta p \cdot \beta \left[ 0,4n + \frac{60}{A\sqrt{i}} \right]. \quad (9a)$$

Mając daną pewną ilość mużu konieczną do odzyskania w projektowanym zakładzie przeróbczym można już łatwo obliczyć potrzebną teoretycznie powierzchnię filtracyjną

$$F_t = \frac{M}{Q_t}, \quad (10)$$

gdzie:

$M$  - całkowita ilość mużu wprowadzona do układu filtracyjnego, kg/h;  
a po podstawieniu równania (9a) do (10)

$$F_t = \frac{M}{\Delta p \cdot \beta \left[ 0,4n + \frac{60}{A\sqrt{i}} \right]}. \quad (10a)$$

Celem potwierdzenia przydatności zaproponowanego równania, wykonano pomiary w warunkach przemysłowych w ośmiu zakładach przeróbki mechanicznej węgla oznaczonych tu symbolicznie A, B, C ... H (tablica 4).

Analiza porównawcza wyników pomiarów z wynikami obliczeń wskazuje, że różnice pomiędzy tymi wartościami są niewielkie. Równanie to jest zatem dostatecznie dokładne i może znaleźć zastosowanie już w tej postaci do projektowania powierzchni filtracyjnych dla zawieszin mużów węglowych.

Obserwacje i analiza procesu wykazały, że ze wzrostem wskaźnika Dahlstroma, maleje wyraźnie łatwość odbioru osadu filtracyjnego z powierzchni filtracyjnej. Osad taki zawierający dużą ilość ziarn ilastych staje się układem płastyycznym o wysokiej saturacji por wodą [9] tak, że duża lep-

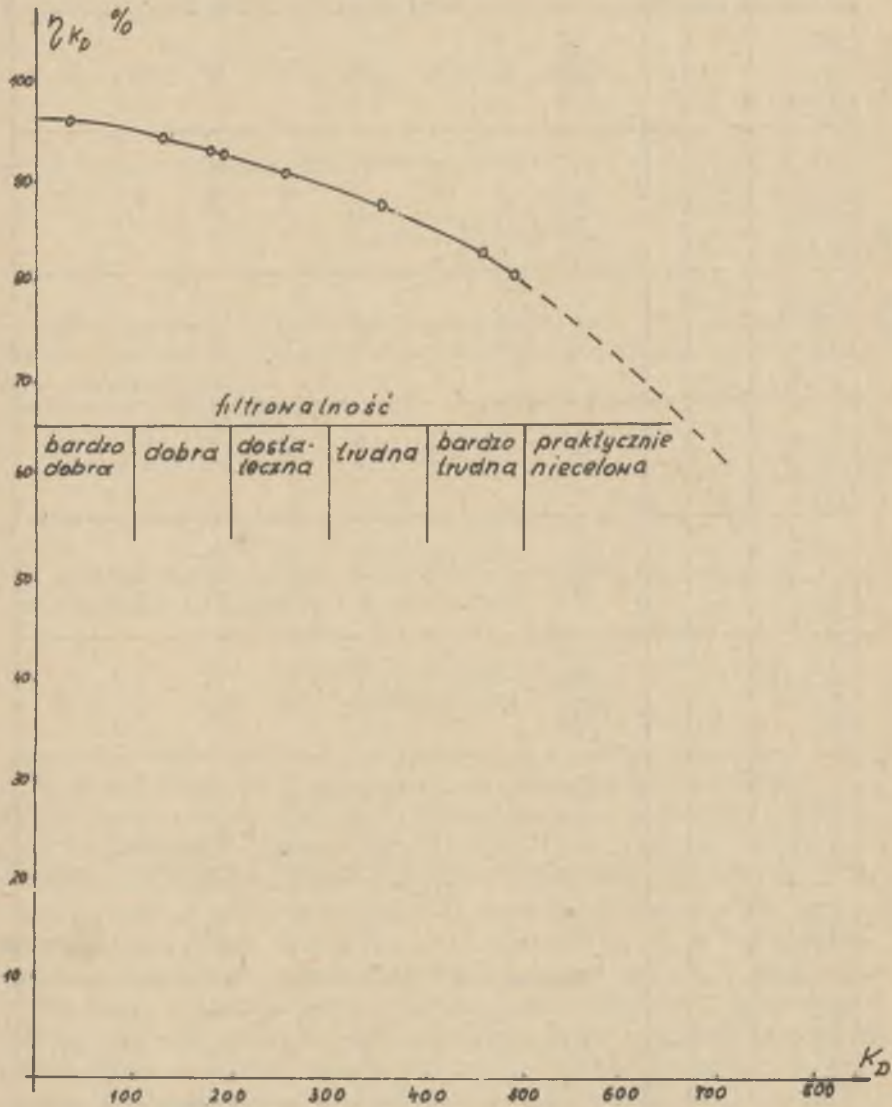
Tablica 4

Zestawienie wyników badań weryfikujących otrzymane równanie empiryczne

Ip.	Zawiesina mączkowa	Ilość ziarna pon. 70	Zapobieganie ziarna pon. 70	Wielkość podciśn. na filtrze	Liczba obrotów w czasie nadawy	Zęszczenie nadawy	Wydaźność jednostk. obliczona	Wydaźność jednostk. pomierzona	Różnica wyników wagowa	Różnica wyników procent	Wstaźnik Dallstroma
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	A	16	9,0	0,40	0,27	600	425	408	17	4,0	36
2	B	9	43,5	0,53	0,58	510	187	177	10	5,5	130
3	C	16	48,0	0,79	0,50	415	174	163	11	6,5	180
4	D	16	49,0	0,50	1,15	440	168	156	12	7,0	196
5	E	25	51,0	0,60	0,40	413	98	90	8	8,5	255
6	F	25	71,0	0,50	0,50	442	81	71	10	12,0	355
7	G	81	51,0	0,40	0,56	570	71	59	12	17,0	459
8	H	81	54,5	0,50	0,50	550	72	59	13	19,0	491

kość uniemożliwia oderwanie (wydmuch) i oddzielenie (skrobak) osadu od powierzchni filtracyjnej.

Nadto osad tworzy cienką warstwę, która w momencie gwałtownego wydmuchu w strefie nadciśnienia zostaje miejscami "podziurawiona" i tworzy tylko ujęcie nadciśnienia z układu, bez efektu oddzielenia warstwy od siatki filtracyjnej.



Rys. 6. Wpływ współczynnika Dahlstroma  $K_D$ , na sprawność odbioru osadu  $\eta_{K_D}$

Uwzględniając to stwierdzenie wykreślono na rys. 6 krzywą sprawności odbioru osadu  $\eta_{K_D}$  w ten sposób, że na osi pionowej dla poszczególnych wielkości  $K_D$ , odkładano od góry (od rzędnej 100%) różnicę pomiędzy wielkością wydajności obliczonej z proponowanego równania empirycznego a wielkością otrzymaną z pomiarów.

Z przedstawionego na rys. 6 wykresu sprawności widać, że im z gorszego jakościowo mułu powstał osad, tym trudniej jest go odebrać.

Dla ewentualnego uściślenia obliczeń ze względu na niedokładność odbioru osadu w warunkach przemysłowych, można więc korzystać z przedstawionego na rys. 6 wykresu, odczytując dla danego wskaźnika  $K_D$  wielkość sprawności  $\eta_{K_D}$  i podstawiając do równania określającego rzeczywistą wydajność jednostkową:

$$Q_r = Q_t \cdot \eta_{K_D} \quad (11)$$

a po podstawieniu do równania (11) równania (9a) ostatecznie otrzyma się następującą zależność:

$$Q_r = \Delta p \cdot \beta \left[ 0,4n + \frac{60}{\Lambda \sqrt{I}} \right] \cdot \eta_{K_D} \quad (12)$$

Konieczna rzeczywista powierzchnia filtracyjna będzie równa:

$$F_r = \frac{M}{Q_r} \quad (13)$$

a po podstawieniu równania (12) do równania (13) otrzyma się zależność następującą:

$$F_r = \frac{M}{\Delta p \cdot \beta \left[ 0,4n + \frac{60}{\Lambda \sqrt{I}} \right] \eta_{K_D}} \quad (14)$$

Przedstawione powyżej zależności zostały przeprowadzone pod kątem uchwycenia ogólnych prawidłowości rządzących procesem filtracji mułów węglowych, co jest w pewnym stopniu dyskusyjne i nie zmienia faktu, że istnieją takie zawiesiny mułów węglowych, dla których proces filtracji przebiega w sposób szczególny [4]. Wynika to z ich specyficznych własności fizycznych, zależnych od rodzaju mułu, takich jak np. ściśliwość osadu, nasiąkliwość, rozmywalność, wytrzymałość ziarn tworzących osad i szereg innych o mniejszym znaczeniu.

Wnioski

1. Wydajność jednostkową osadu filtracyjnego można ująć w formie stosunkowo prostego równania empirycznego, uwzględniającego najważniejsze czynniki kształtujące proces filtracji.
2. Za uzasadnione uważa się prowadzenie dalszych prac mających na celu matematyczne opisanie zależności zawartości wody w placku filtracyjnym oraz strat części stałych w odsączu od najistotniejszych parametrów procesu filtracji.

## SPIS SYMBOLI

- $Q_t$  - wydajność jednostkowa teoretyczna osadu filtracyjnego,  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ ;  
 $Q_r$  - wydajność jednostkowa rzeczywista osadu filtracyjnego,  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ ;  
 $M$  - ilość mąki konieczna do przefiltrowania w układzie  $\text{kg/h}$ ;  
 $K_D$  - wskaźnik Dahlstroma;  
 $\Delta p$  - różnica ciśnień,  $\text{at}$ ;  
 $\beta$  - zagęszczenie nadawy,  $\text{g/dcm}^3$ ;  
 $A$  - zawartość popiołu w klasie ziarnowej poniżej  $0,07 \text{ mm}$ ;  
 $i$  - ilość ziarn poniżej  $0,07 \text{ mm}$  w nadawie, %;  
 $\eta_{K_D}$  - sprawność odbioru bezwzgl. (do wzoru) lub w % (z krzywej);  
 $F_t$  - potrzebna teoretycznie powierzchnia filtracji,  $\text{m}^2$ ;  
 $F_r$  - potrzebna rzeczywista powierzchnia filtracji,  $\text{m}^2$ .

## LITERATURA

- [1] Sówka J., Sówka R.: Niektóre aspekty rozkładu zawartości wilgoci w placku na filtrze tarczowym. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. nr 21, rok 1967 s. 167-174.
- [2] Piecuch T.: Ocena wskaźników techniczno-ekonomicznych filtrów próżniowych. Separator nr 3, rok 1970, s. 10-21.
- [3] Dahlstrom D.A., Nikolaus N.: Theory and practice of continous pressure filtration. Chem.Engin.Progress, No 3, 1956, s. 87-93.
- [4] Piecuch T.: Badania efektywności procesu filtracji próżniowej mąków węgla surowych. Praca doktorska - czerwiec 1972 r. Instytut Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej - Gliwice.
- [5] Katalog maszyn i urządzeń górniczych PIOMA - Piotrków, 1966 r.
- [6] Battaglia A.: Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne pług-czek. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice, 1963 r.
- [7] Guter R.S., Owczyński B.W.: Matematyczne opracowania wyników doświadczeń. PWN Warszawa, 1967 r. s. 151-159.

- [8] Romanowski S., Wrona W.: Matematyka wyższa dla studiów technicznych. Część III. PWN Warszawa, 1968 r., s. 59-66.
- [9] Piecuch T.: Problemy oceny jakości odfiltrowania osadów mułów węglowych na filtrach. Informacja techniczno-ekonomiczna J.M.Z.P.W. Wydawnictwo NOT Oddział Mysłowice - 1973 r.

ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В ПРОЦЕССЕ ВАКУУМНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ УГОЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

С о д е р ж а н и е

В статье представлено эмпирическое уравнение, позволяющее в определенных условиях рассчитывать величину фильтрационной поверхности, необходимой для выделения предположенного количества ила; уравнение получено в результате анализа процесса фильтраций и испытаний, проводимых в полутехническом масштабе.

THE INTERDEPENDENCE OF SOME PARAMETERS IN THE PROCESS OF VACUUM FILTRATION IN COAL SUSPENSIONS

S u m m a r y

In the paper an empirical equation has been presented which in specified conditions makes it possible to calculate the size of the filtration surface that is necessary to obtain the required quantity of slurry; the equation has been found in result of the analysis of the filtration process and of experiments carried out in pilot-plant conditions.