

Henryk SZLUMCZYK, Zbigniew PIĄTKIEWICZ, Krzysztof JANERKA

Politechnika Śląska, Gliwice

## ENERGETYCZNE ASPEKTY PROCESU REGENERACJI OSNOWY MAS FORMIERSKICH W UKŁADZIE URZĄDZEŃ REGENERATORA LINIOWEGO

**Streszczenie.** Publikacja obejmuje uproszczoną analizę geometrycznych cech elementów regeneratora liniowego, uwzględniając warunki przepływu strumienia dwufazowego przez rurociąg o zmiennym przekroju. W części badawczej przeprowadzono próby i dokonano obliczeń zapotrzebowania energii dla potrzeb realizacji założonego procesu. Obliczenia energii uwzględniają jedynie termodynamiczne przemiany wynikające z ekspansji gazu w odcinku regeneratora liniowego. Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy oraz graficznie.

## ENERGY ASPECTS OF SAND GRAINS RECLAMATION IN MOULDING SANDS IN THE LINEAR REGENERATOR DEVICES SYSTEM

**Summary.** This material contains a simplified analyse of geometrical features of linear regenerator's elements under conditions of diphase stream flow through a pipeline of changeable cross section. In the research part the tests were carried out and the appropriate calculations of energy requirement for realisation assumed process. The energy calculations took into account only thermodynamic transformations resulting from a gas expansion in the linear regenerator sector. Received results were shown both in a label and on a diagram.

### 1. Wprowadzenie

Zastosowanie regeneratora liniowego w procesie odzysku osnowy mas formierskich w zasadniczy sposób upraszcza prowadzenie regeneracji z zachowaniem parametrów jakościowych regeneratu. Regeneracja w układzie regeneratora liniowego pozwala na wielokrotne oddziaływanie pneumatycznie przemieszczanego strumienia dwufazowego (powietrze + osnowa masy regenerowanej), ocierającego się o elementy konstrukcyjne oraz cząstki fazy stałej między sobą.

Wpływa to korzystnie na proces oczyszczania cząstek, powodując usunięcie z ich powierzchni pozostałości spoiwa. Tym samym energia powietrza transportującego rozdrobnioną osnowę masy regenerowanej może być wielokrotnie wykorzystana.

## 2. Analiza przebiegu procesu

### 2.1. Konstrukcyjne rozwiązania zmian przekroju rurociągu transportowego

Zmiana przekroju rurociągu wprowadzona dla potrzeb regeneracji powinna gwarantować zaburzenia przepływu czynnika dwufazowego przy zachowaniu ciągłości ruchu strumienia. Zaburzenia te wywołane celowo w określonych warunkach prędkości fazy gazowej spowodować powinny bardziej intensywne ścieranie spoiwa z powierzchni ziarn osnowy masy regenerowanej. Dobór kształtu i parametrów geometrycznych przewężeń dokonany został zgodnie z zależnościami wynikającymi z analizy zjawisk przepływu strumienia przez przewód o zmiennym przekroju. Analiza obejmuje dobór kształtu dysz i dyfuzorów. Z punktu widzenia termodynamiki dyszą nazywamy przewód o zmiennym przekroju, w którym rozprężający czynnik rozpręża się w sposób ciągły przy jednoczesnym wzroście prędkości przepływu, dyfuzorem natomiast przewód, w którym występuje zjawisko odwrotne. Zależnie od zakresu prędkości, w których te zjawiska się odbywają, zarówno dysza jak i dyfuzor mogą mieć profil zbieżny lub rozbieżny. Zmiany parametrów gazu występujące przy przepływie o zmiennym przekroju można przedstawić za pomocą następujących równań:

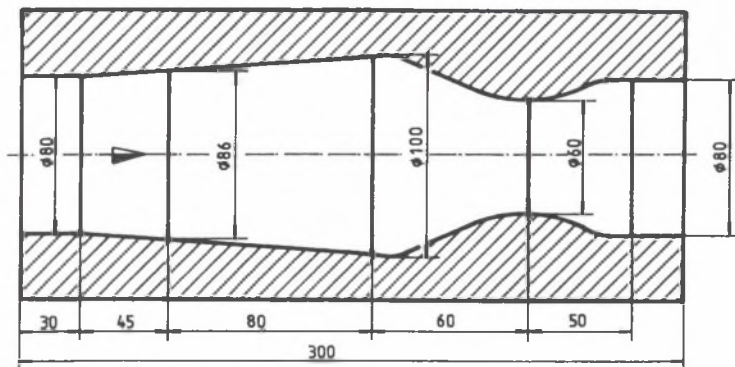
$$(M^2 - 1) \frac{dw}{w} = \frac{dA}{A}, \quad (1)$$

$$kM^2 \frac{dw}{w} = -\frac{dp}{p}, \quad (2)$$

$$M^2 \frac{dw}{w} = -\frac{d\rho}{\rho}. \quad (3)$$

Proces przepływu strumienia w warunkach realizacji regeneracji osnowy mas formierskich odbywa się w zakresie prędkości poddźwiękowych. Dla potrzeb sterowanego zakłócenia przepływu strumienia dwufazowego w rurociągu transportowym najkorzystniejsze jest zastosowanie poddźwiękowej, określonej wzorem Witoszyńskiego oraz dyfuzora de Laval.

Proponowane rozwiązania przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Rozwiązania konstrukcyjne elementu regeneratora liniowego  
 Fig. 1. Structural resolutions of the linear regenerator's element

## 2.2. Opory przepływu

Przepływ strumienia dwufazowego jest wywołany różnicą ciśnień strumienia gazowego. Praca zużywana jest na pokonanie oporów przepływu fazy gazowej i stałej. Opory przepływu wynikają ze wzajemnych oddziaływań na siebie fazy gazowej, stałej i rurociągu transportowego. Wynikiem przeprowadzonej analizy sił w warunkach ustalonego przepływu strumienia dwufazowego przez prostoosiowy rurociąg transportowy o przekroju kołowym są równania opisujące siły oporów ruchu powodowane tarciem i zderzeniami cząstek fazy stałej o wewnętrzną powierzchnię rurociągu ( $F_{cR}$ ) oraz siły tarcia fazy gazowej o wewnętrzną powierzchnię rurociągu ( $F_{gR}$ ).

$$F_{cR} = A_g \cdot \lambda_{cR}^* \cdot \mu \cdot \frac{c}{w} \cdot \frac{\rho w^2}{2d} \cdot L, \quad (4)$$

$$F_{gR} = A_g \cdot \lambda_{gR}^* \cdot \frac{\rho w^2}{2d} \cdot L. \quad (5)$$

Opory przepływu strumienia dwufazowego w rurociągu transportu pneumatycznego stanowią w głównej mierze o energetycznych parametrach zasilania układu. Liczby tarcia gazu o powierzchnię wewnętrzną rurociągu „ $\lambda_{gR}^*$ ” oraz tarcia i zderzeń cząstek fazy stałej „ $\lambda_{cR}^*$ ” określane są doświadczalnie dla założonych warunków przepływu.

## 2.3. Energetyczne aspekty analizowanego układu

Układ regeneracji liniowej jest układem przepływowym, w którym część energii dostarczanej w czynniku transportującym wykorzystywana jest do procesu technologicznego oczyszczania (ścierania) osnowy ziarn. Pomijając szczegółowy opis przemian termodynamicznych (adiaterma,

politropa) można określić wielkość pracy wykonywanej podczas ekspansji strumienia gazu w rurociągu z zależności:

$$L_{1-2} = \frac{p_1 \dot{V}_1}{\kappa - 1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right], \quad (6)$$

gdzie indeksem „1” oznaczono początkowy punkt analizowanego odcinka, natomiast „2” końcowy.

Wprowadzając do równania (6) wartość masowego natężenia przepływu strumienia  $\dot{V}_\rho$ , niezmienną podczas cyklu w dowolnym miejscu rurociągu oraz odnosząc wykonywaną pracę (zużywaną energię) do masowego natężenia fazy stałej „ $\dot{m}_c$ ”, powyższe równanie przyjmuje postać:

$$L_{1-2} = E_{1-2} = \frac{p_1}{\mu \cdot \rho_1 (\kappa - 1)} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right], \quad (7)$$

gdzie:  $\dot{V}_1 = \frac{\dot{m}}{\rho_1}$  oraz  $\frac{\dot{m}_c}{\dot{m}} = \mu$ .

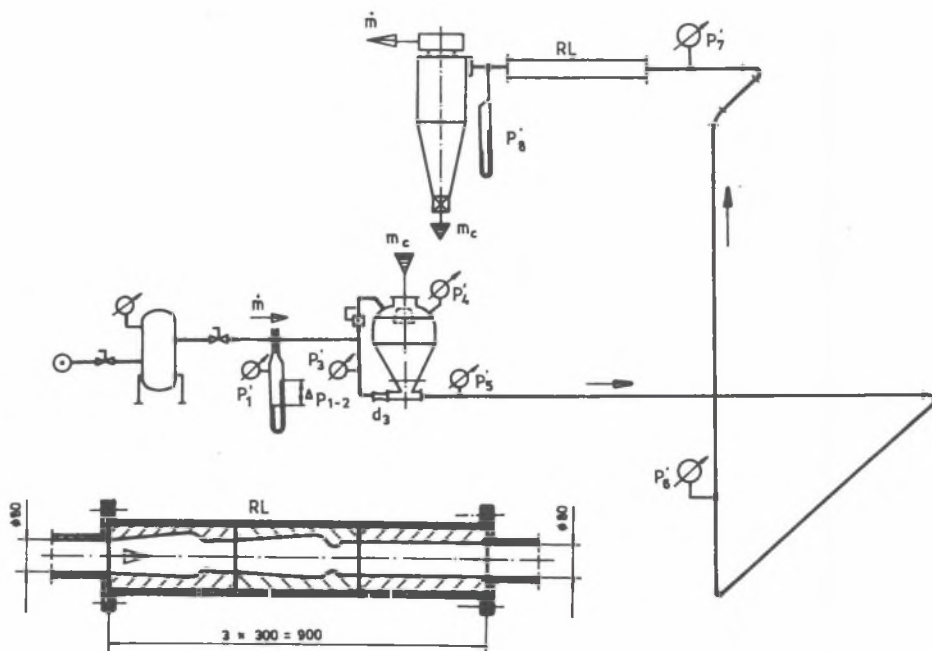
Wymiarem wartości wyrażenia „ $E_{1-2}$ ” jest J/kg.

Równanie (7) umożliwia określenie jednostkowego wydatku energii podczas ekspansji strumienia (równoważne z zapotrzebowaniem energii podczas sprężania gazu) w wydzielonym odcinku instalacji. Dokonując pomiarów niezbędnych parametrów można określić z równania (7) jednostkowe zapotrzebowanie energii na realizację procesu przemieszczania strumienia dwufazowego, podczas którego prowadzony jest proces oczyszczania (ścierania) powierzchni ziarn osnowy w regeneratorze liniowym.

### 3. Sposób prowadzenia prób

Próby przemieszczania rozdrobnionej masy formierskiej (po wykonaniu odlewów) związanej szkłem wodnym wykonano w celu określenia parametrów energetycznych, charakteryzujących przepływ strumienia w regeneratorze liniowym. Układ badawczy, przedstawiony na rys. 2, wyposażono w niezbędną aparaturę pomiarową oraz regenerator liniowy. Dla stwierdzenia zmian zużycia jednostkowego energii w zróżnicowanym układzie elementów regeneratora, decydujących o skuteczności jego działania, dokonano pomiarów w trzech wariantach (A, B i C), przedstawionych na rys. 2.

Podczas prób dokonywano pomiarów parametrów, które są niezbędne do określenia masowego natężenia przepływu powietrza „ $\dot{m}$ ”, masowego natężenia przepływu materiału transportowanego „ $\dot{m}_c$ ”, wartości ciśnień „ $p_1$ ” i „ $p_8$ ” do obliczenia jednostkowego zużycia energii „ $E_{17-8}$ ” oraz wartości charakteryzujących stan fizyczny powietrza otoczenia „ $\varphi$ ”, „ $b_0$ ”, „ $T_0$ ”. Przy zróżnicowanym układzie elementów konstrukcyjnych regeneratora (rys. 3) wykonano próby uzyskując wyniki umożliwiające przeprowadzenie analizy przepływu strumienia dwufazowego w aspekcie energetycznym.



Rys. 2. Schemat instalacji pomiarowo-badawczej z zastosowaniem regeneratora liniowego (RL)

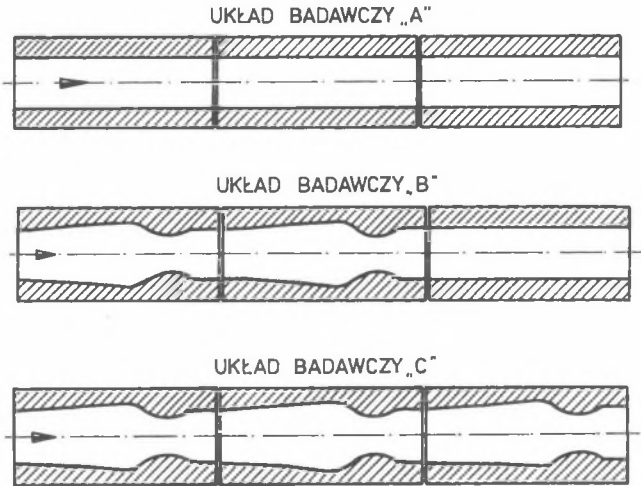
Fig. 2. Measurement and research installation scheme with application of the linear regenerator (RL)

#### 4. Wyniki pomiarów i obliczeń oraz ich analiza

Układ badawczy „A” nie posiadał wmontowanych elementów regeneratora liniowego w celu uzyskania warunków odniesienia w procesie badawczym. Taki sposób przeprowadzenia prób umożliwił wyeliminowanie z analizowanych parametrów wartości, które nie stanowiły przedmiotu badań. Do regeneratora wbudowano elementy (układy B i C), powodujące sterowane zaburzenia

przepływu strumienia dwufazowego dla realizacji założonego celu (ścieranie spoiwa z powierzchni ziarn osnowy). Wyniki pomiarów i obliczeń analizowanych parametrów zestawiono w tab. 1.

Wartości ciśnień  $p_z$ ,  $p_7$  i  $p_8$  są wartościami bezwzględnymi ( $p_z = p_1' + b_0$ ;  $p_7 = p_7' + b_0$ ;  $p_8 = p_8' + b_0$ ).



Rys. 3. Schemat układów elementów konstrukcyjnych regeneratora liniowego stosowanych w badaniach  
Fig. 3. Scheme of structural elements of the linear regenerator applied in tests

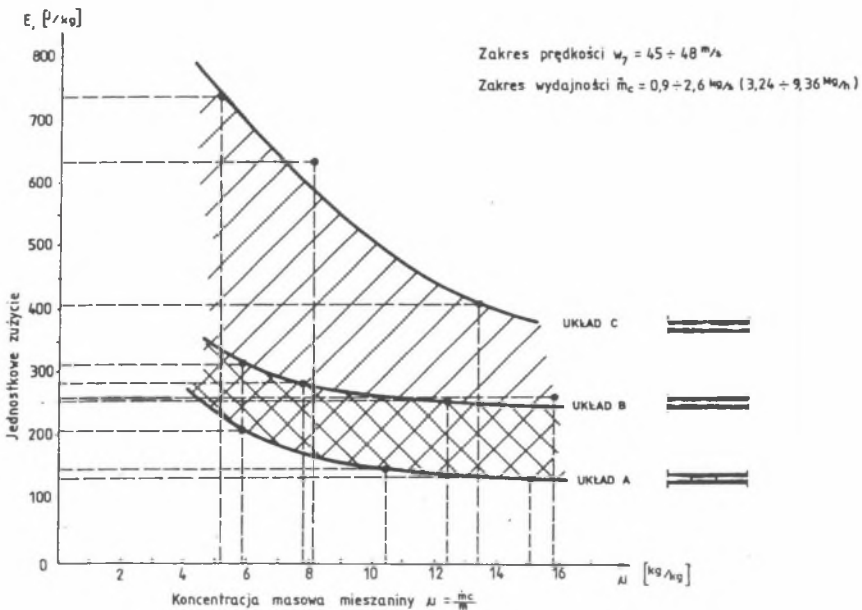
Tabela 1

Wyniki pomiarów i obliczeń charakteryzujących przepływ strumienia dwufazowego przez układy elementów regeneratora liniowego

Lp.	$p_z$	$p_7$	$p_8$	$\dot{m}_c$	$\dot{V}_N$	$\mu$	$E_{17-s}$
-	kPa	kPa	kPa	kg/s	m <sup>3</sup> /s	kg/kg	J/kg
Układ badawczy A							
1	545,68	104,35	100,36	2,548	0,1085	15,099	141,369
2	555,49	103,11	100,19	1,810	0,1089	10,737	146,762
3	575,10	102,34	99,99	1,015	0,1127	5,856	216,499
Układ badawczy B							
4	530,03	103,35	99,32	1,250	0,1025	7,829	278,158
5	549,65	102,76	99,28	0,974	0,1074	5,869	321,711
6	539,84	105,60	99,29	2,062	0,1081	12,286	261,054
7	539,84	107,25	99,43	2,640	0,1081	15,732	262,676
Układ badawczy C							
8	548,23	108,18	97,96	2,242	0,1107	13,193	410,313
9	552,33	107,40	97,90	1,347	0,1089	8,043	627,104
10	553,23	104,95	97,92	0,880	0,1107	5,181	730,159

Wyniki obliczeń jednostkowego zużycia energii „ $E_j$ ” w funkcji koncentracji masowej mieszaniny „ $\mu$ ”, graficznie przedstawiono na rys. 4. Zużycie energii określono zgodnie z zależnością (7) na odcinku regeneratora liniowego. Parametr ten w zależności od liczby elementów regeneratora liniowego kształtuje się w granicach  $E_{j7-8} = 100 - 150$  J/kg dla układu 2 - stopniowego oraz  $E_{j7-8} = 200 - 500$  J/kg dla układu 3 - stopniowego dla wartości koncentracji mieszaniny  $\mu = 5 - 15$  kg/kg. Podane wartości „ $E_{j7-8}$ ” stanowią zużycie energii wyłącznie na pokonanie oporów przepływu przez elementy regeneratora liniowego (pomniejszono wartości obliczone o zużycie energii wynikające z przepływu strumienia dwufazowego przez prosty odcinek rurociągu - układ A).

Analizując całkowite zużycie energii dla realizacji procesu regeneracji osnowy mas wiązanych szkłem wodnym (w tym 2-stopniowy układ rozdrabniania masy, przesiewanie, transport, oddzielanie części ferromagnetycznych, klasyfikację z odpylaniem i oczyszczanie powierzchni ziarn) można stwierdzić, iż najbardziej istotna część procesu, obejmująca usuwanie z powierzchni ziarn osnowy zanieczyszczeń spoiwem w regeneratorze liniowym, stanowi zaledwie 1,1 - 2,8 % całkowitego zapotrzebowania energii. Sprawdzone technologicznie produkt regeneracji (osnowa masy po regeneracji) spełniał wymogi jakościowe w procesie sporządzania mas.



Rys. 4. Jednostkowe zużycie energii „ $E_j$ ” w funkcji koncentracji masowej mieszaniny „ $\mu$ ”,

Fig. 4. Elementary energy consumption „ $E_j$ ” in a function of mass concentration of a mixture „ $\mu$ ”,

## LITERATURA

1. Szlumczyk H., Piątkiewicz Z., Janerka K.: Diphase stream resistance of flow on pneumatic conveyor pipeline contractions, II-nd Intern. Conf. Achievements in the Mechanical and Material Engineering, Komitet Nauki o Materiałach PAN, Politechnika Śląska, Gliwice 1993.
2. Szlumczyk H., Jura S., Piątkiewicz Z., Janerka K.: Regeneracja osnowy mas alkidowych w pneumatycznym układzie regeneratora liniowego. Materiały XX Międzynarodowej Konferencji Wydziału Odlewnictwa AGH w Krakowie "Nowoczesne Tendencje w Odlewnictwie", Wydział Odlewnictwa AGH, Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, Komisja Metalurgiczno-Odlewnicza PAN, ss. 213-218.
3. Goliński J., Troskoleński T.: Strumienice, WNT, Warszawa 1979.
4. Szlumczyk H. i inni: Badania procesu ścierania cząstek stałych przy zmiennym stężeniu mieszaniny. Praca badawcza BK-665/RMT-3/94, nie publikowana.

Recenzent: Dr hab. inż. Józef Dańko  
Profesor AGH

Wpłynęło do Redakcji 10.10.1997 r.

**Abstract**

This material contains a simplified analyse of geometrical features of linear regenerator's elements under conditions of diphase stream flow through a pipeline of changeable cross section. The linear regenerator elements laid-out into the pipeline of a changeable cross cut and prepared for pneumatic transportation of the diphase stream (air + dissipated sand grains of reclaimed moulding sand) cause the controlled stream movement disturbances that enable to purify the sand grains. In a research part of this work the tests were carried out and the appropriate calculations of energy requirement for realisation assumed process.



The energy calculations took into account only thermodynamic transformations resulting from a gas expansion in the linear regenerator sector. Received results were shown both in a label and on a diagram.