

Transport Mechaniczny i Pneumatyczny Materiałów Rozdrobnionych

ćwiczenia

.....
Nr zestawu

.....
Nazwisko i Imię

Zadanie nr 2-TP: *Transport pneumatyczny wysokociśnieniowy*

Wykonać obliczenia w celu wyznaczenia ilości popiołu lotnego wprowadzanego do wspólnego zbiornika pośredniego, na podstawie podanych parametrów pracy podajnika komorowego wyznaczyć strumień masy pyłu wprowadzanego do rurociągu TP w czasie jednego wydmuchu. Na podstawie danych w *tabeli 1* obliczyć średnice rurociągów i prędkości powietrza w kolejnych odcinkach instalacji wysokociśnieniowego transportu pneumatycznego popiołu lotnego ze zbiornika pośredniego do zbiornika retencyjnego przy zastosowaniu podajnika komorowego, zgodnie z zaproponowanym algorytmem obliczeń (*załącznik 1*).

Narysować schemat **całej** instalacji odpopielania składającej się z części nisko- i wysokociśnieniowej z zaznaczeniem stopniowania średnic rurociągów w części wysokociśnieniowej.

Przeanalizować uzyskane wyniki obliczeń odnośnie do poprawności pracy instalacji pneumatycznego transportu popiołu.

Tabela 1. Dane do obliczeń

Lp.	Wielkość	Oznaczenie	Jednostka	Wartość
1.	Nr danych	*	
2.	Typ kotła	*	
3.	Rodzaj spalanego węgla	*	
4.	Zużycie paliwa przez jeden kocioł	\dot{B}	Mg/h	*
5.	Strumień masy pyłu osadzonego w elektrofiltrze (EF)	\dot{M}_e	kg/h	*
6.	Temperatura solgazu w aparacie wydmuchowym (AW)	t	°C	*
7.	Długość poziomego odcinka rurociągu (AW)	L	m	*
8.	Wysokość pionowego odcinka rurociągu (AW)	H	m	*
9.	Ilość EF, z których pył jest transportowany do wspólnego zbiornika pośredniego. (Uwaga! Spaliny z 1-go kotła odpylane są przez jeden EF.)	n_{EF}	-	3
10.	Czas napełniania podajnika komorowego (PK) i dwóch przerw	τ_{n+p}	s	60
11.	Czas wydmuchu pyłu z PK	τ_d	s	420
12.	Wydatek powietrza (strumień masy)	q_{mg}	kg/s	0,50
13.	Nadciśnienie na wylocie z PK (na początku 1-go OR)	p_{1p}	kPa	320
14.	Ciśnienie atmosferyczne	P_o	hPa	1000
15.	Gradient temperatury w rurociągu	Θ	K/m	0,06
16.	Minimalna, wstępna prędkość powietrza w rurociągu	$w_{min,0}$	m/s	10
17.	Współczynnik tarcia dla czystego powietrza	λ_g	-	0,015
18.	Współczynnik tarcia dla pyłu	λ_s	-	0,011
19.	Współczynnik zwiększający	c_w	-	1,75
20.	Długość 1-szego, poziomego odcinka rurociągu	L_1	m	200
21.	Wysokość pionowej części pierwszego odcinka rurociągu	H_1	m	0
22.	Ilość kolan o kącie 90° w 1-szym odcinku rurociągu	n_{1k}	-	8
23.	Długość drugiego, poziomego odcinka rurociągu	L_2	m	300
24.	Wysokość pionowej części drugiego odcinka rurociągu	H_2	m	0
25.	Ilość kolan o kącie 90° w drugim odcinku rurociągu	n_{2k}	-	6
26.	Długość trzeciego, poziomego odcinka rurociągu	L_3	m	250
27.	Wysokość pionowej części trzeciego odcinka rurociągu	H_3	m	25
28.	Ilość kolan o kącie 90° w trzecim odcinku rurociągu	n_{3k}	-	2

* Określenie lub wartość danej należy wpisać na podstawie zadania nr 1 (ćw. 1-TP).

Tabela 2. Wyniki obliczeń

Lp.	Wielkość	Oznaczn.	Jedn.	Wartość		
				1OR	2OR	3OR
1.	Strumień masy pyłu wprowadzany do zbiornika pośredniego	\dot{M}_z	kg/h			
2.	Wydajność PK	\dot{M}_k	kg/h			
3.	Czas trwania cyklu PK	τ_c	s			
4.	Strumień masy pyłu wprowadzany do rurociągu w czasie jednego wydmuchu	\dot{M}_d	kg/h			
5.	Koncentracja masowa pyłu	μ_m	-			
6.	Współczynnik tarcia dla solgazu	λ_m	-			
7.	Ciśnienie absolutne na początku <i>i</i> -tego odcinka rurociągu {1-go Odcinka Rurociągu (1OR) itd.}	$P_{i,p}$	Pa			
8.	Bezwzględna temperatura solgazu na początku <i>i</i> -tego OR	$T_{i,p}$	K			
9.	Gęstość powietrza na początku <i>i</i> -tego OR	$\rho_{i,p}$	kg/m ³			
10.	Strumień objętości powietrza na początku <i>i</i> -tego OR	$q_{vp,i}$	m ³ /s			
11.	Minimalna prędkość powietrza w <i>i</i> -tym OR	$w_{min,i}$	m/s			
12.	Średnica wewnętrzna <i>i</i> -tego OR	D_i	m			
13.	Pole powierzchni przekroju poprzecznego <i>i</i> -tego OR	A_i	m ²			
14.	Prędkość powietrza na początku <i>i</i> -tego OR	$w_{i,p}$	m/s			
15.	Zastępcza długość jednego kolana o kącie 90° dla <i>i</i> -tego OR	$L_{i,k}$	m			
16.	Ekwiwalentna długość <i>i</i> -tego OR	$L_{i,e}$	m			
17.	Bezwzględna temperatura solgazu na końcu <i>i</i> -tego OR	$T_{i,k}$	K			
18.	Przybliżona strata ciśnienia w <i>i</i> -tym OR	$\Delta p'_{i,m}$	Pa			
19.	Przybliżona wartość ciśnienia absolutnego na końcu <i>i</i> -tego OR	$P'_{i,k}$	Pa			
20.	Przybliżona gęstość powietrza na końcu <i>i</i> -tego OR	$\rho'_{i,k}$	kg/m ³			
21.	Przybliżona prędkość powietrza na końcu <i>i</i> -tego OR	$w'_{i,k}$	m/s			
22.	Średnia gęstość powietrza w <i>i</i> -tym OR	$\rho_{i,a}$	kg/m ³			
23.	Średnia prędkość powietrza w <i>i</i> -tym OR	$w_{i,a}$	m/s			
24.	Strata ciśnienia w <i>i</i> -tym OR	$\Delta p_{i,m}$	Pa			
25.	Ciśnienie absolutne na końcu <i>i</i> -tego OR	$P_{i,k}$	Pa			
26.	Gęstość powietrza na końcu <i>i</i> -tego OR	$\rho_{i,k}$	kg/m ³			
27.	Prędkość powietrza na końcu <i>i</i> -tego OR	$w_{i,k}$	m/s			

Transport Mechaniczny i Pneumatyczny Materiałów Rozdrobnionych

ćwiczenia

Zadanie 2-TP *Transport pneumatyczny wysokociśnieniowy*

Załącznik 1: Algorytm obliczeń

I. Parametry ogólne

1. Strumień masy pyłu wprowadzonego do zbiornika pośredniego

$$\dot{M}_z = n_{EF} \dot{M}_e$$

2. Wydajność PK

$$\dot{M}_k = \dot{M}_z$$

3. Czas trwania cyklu Podajnika Komorowego (PK)

$$\tau_c = \tau_{n+p} + \tau_d$$

4. Strumień masy pyłu wprowadzonego do rurociągu w czasie jednego wydmuchu (dmuchu)

$$\dot{M}_d = \frac{\dot{M}_k \tau_c}{\tau_d}$$

5. Koncentracja masowa pyłu

$$\mu_m = \dot{M}_d / q_{mg}$$

6. Współczynnik tarcia dla solgazu

$$\lambda_m = \lambda_g + \mu_m \lambda_s$$

II. Pierwszy odcinek rurociągu

7. Ciśnienie absolutne na początku 1-go Odcinka Rurociągu (1OR)

$$P_{1p} = P_o + p_{1p}$$

8. Temperatura solgazu na początku 1OR

$$t_{1p} = t - (L + H) \Theta$$

9. Bezwzględna temperatura solgazu na początku 1OR

$$T_{1p} = T_u + t_{1p}$$

10. Gęstość powietrza na początku 1OR

$$\rho_{1p} = \frac{P_{1p}}{RT_{1p}}$$

11. Strumień objętości powietrza na początku 1OR

$$q_{v1p} = q_{mg} / \rho_{1p}$$

12. Wstępna prędkość powietrza na początku 1OR

$$w'_{1p} = w_{\min,0}$$

13. Obliczeniowe pole powierzchni przekroju poprzecznego 1OR

$$A'_1 = \frac{q_{v1p}}{w'_{1p}}$$

14. Obliczeniowa średnica wewnętrzna rury 1OR

$$D'_{1o} = \sqrt{4A'_1 / \pi}$$

15. Minimalna prędkość powietrza w 1OR

$$w_{\min,1} = 5,6(D'_{1o})^{0,34} d_p^{0,36} \mu_m^{0,25} (\rho_s / \rho_{1p})^{0,5},$$

gdzie:

$d_p = 1 \text{ mm}$ – maksymalna średnica ziaren lotnego popiołu,

$\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$ – rzeczywista gęstość lotnego popiołu.

16. Maksymalna prędkość powietrza w 1OR

$$w_{\max,1} = c_w w_{\min,1},$$

gdzie:

$c_w = 1,25 \div 2,00$ – współczynnik.

17. Prędkość powietrza na początku 1OR

$$w''_{1p} = w_{\min,1}$$

18. Obliczeniowe pole powierzchni przekroju poprzecznego 1OR

$$A''_1 = \frac{q_{v1p}}{w''_{1p}}$$

19. Obliczeniowa średnica wewnętrzna rury 1OR

$$D''_{1o} = \sqrt{4A''_1 / \pi}$$

20. Zewnętrzna średnica rury (przyjąć wg PN-80/H-74219, tablica 33 – *złącznik 2*)

$$D_{z1} = \dots\dots\dots$$

Uwaga!

Można zastosować również inny typoszereg rur podany w katalogach lub na witrynach internetowych wraz z ich cytowaniem.

21. Grubość ścianki rury (przyjąć wg tablicy 33 – *złącznik 2*)

$$g_1 = \dots\dots\dots$$

22. Średnica wewnętrzna 1OR

$$D_1 = D_{z1} - 2g_1$$

23. Pole powierzchni przekroju poprzecznego 1OR

$$A_1 = 0,25\pi D_1^2$$

24. Prędkość powietrza na początku 1OR

$$w_{1p} = \frac{q_{v1p}}{A_1}$$

25. Zastępcza długość jednego kolana o kącie 90° dla 1OR

$$L_{1k} = 63D_1$$

26. Ekwiwalentna długość 1OR

$$L_{1e} = L_1 + n_{1k} L_{1k} + H_1$$

27. Temperatura solgazu na końcu 1OR

$$\Delta t_1 = (L_1 + H_1) \Theta$$

28. Bezwzględna temperatura solgazu na końcu 1OR

$$T_{1k} = T_{1p} - \Delta t_1$$

29. Przybliżona strata ciśnienia w 1OR

$$\Delta p'_{1m} = \lambda_m \frac{L_{1e}}{D_1} \frac{\rho_{1p} w_{1p}^2}{2} + g H_1 \mu_m \rho_{1p}$$

30. Przybliżona wartość ciśnienia absolutnego na końcu 1OR

$$P'_{1k} = P_{1p} - \Delta p'_{1m}$$

31. Przybliżona gęstość powietrza na końcu 1OR

$$\rho'_{1k} = \frac{P'_{1k}}{RT_{1k}}$$

32. Przybliżona prędkość powietrza na końcu 1OR

$$w'_{1k} = \frac{q_{mg}}{A_1 \rho'_{1k}}$$

33. Średnia gęstość powietrza w 1OR

$$\rho_{1a} = (\rho_{1p} + \rho'_{1k})/2; \text{ \{Dolny indeks } a \text{ oznacza wartość średnią.\}}$$

34. Średnia prędkość powietrza w 1OR

$$w_{1a} = (w_{1p} + w'_{1k})/2$$

35. Strata ciśnienia w 1OR

$$\Delta p_{1m} = \lambda_m \frac{L_{1e}}{D_1} \frac{\rho_{1a} w_{1a}^2}{2} + g H_1 \mu_m \rho_{1a}$$

36. Ciśnienie absolutne na końcu 1OR

$$P_{1k} = P_{1p} - \Delta p_{1m}$$

37. Gęstość powietrza na końcu 1OR

$$\rho_{1k} = \frac{P_{1k}}{RT_{1k}}$$

38. Prędkość powietrza na końcu 1OR

$$w_{1k} = \frac{q_{mg}}{A_1 \rho_{1k}}$$

III. Następne (*i*-te) odcinki rurociągu

39. Ciśnienie absolutne na początku *i*-tego Odcinka Rurociągu (OR)

$$P_{i,p} = P_{i-1,k}, \text{ gdzie: } i \geq 2$$

40. Bezwzględna temperatura solgazu na początku *i*-tego OR

$$T_{i,p} = T_{i-1,k}$$

41. Gęstość powietrza na początku *i*-tego OR

$$\rho_{i,p} = \rho_{i-1,k}$$

42. Strumień objętości powietrza na początku *i*-tego OR

$$q_{vp,i} = \frac{q_{mg}}{\rho_{i,p}}$$

43. Wstępna prędkość powietrza na początku *i*-tego OR

$$w'_{i,p} = w_{\min,i-1}$$

44. Obliczeniowe pole powierzchni przekroju poprzecznego *i*-tego OR

$$A'_i = \frac{q_{vp,i}}{w'_{i,p}}$$

45. Obliczeniowa średnica wewnętrzna *i*-tego OR

$$D'_{io} = \sqrt{4A'_i/\pi},$$

46. Minimalna prędkość powietrza w *i*-tym OR

$$w_{\min,i} = 5,6(D'_{io})^{0,34} d_p^{0,36} \mu_m^{0,25} (\rho_s / \rho_{i,p})^{0,5},$$

gdzie:

$d_p = 1 \text{ mm}$ – maksymalna średnica ziaren lotnego popiołu,

$\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$ – rzeczywista gęstość lotnego popiołu.

47. Maksymalna prędkość powietrza w i -tym OR

$$w_{\max,i} = c_w w_{\min,i},$$

gdzie:

$c_w = 1,25 \div 2,00$ – współczynnik.

48. Prędkość powietrza na początku i -tego OR

$$w''_{ip} = w_{\min,i}$$

49. Obliczeniowe pole powierzchni przekroju poprzecznego i -tego OR

$$A''_i = \frac{q_{vip}}{w''_{ip}}$$

50. Obliczeniowa średnica wewnętrzna rury i -tego OR

$$D''_{io} = \sqrt{4A''_i / \pi}$$

51. Zewnętrzna średnica rury i -tego OR (przyjąć wg PN-80/H-74219, tablica 33)

$$D_{zi} = \dots\dots\dots$$

52. Grubość ścianki rury i -tego OR (przyjąć wg tablicy 33)

$$g_i = \dots\dots\dots$$

53. Średnica wewnętrzna i -tego OR

$$D_i = D_{zi} - 2g_i$$

54. Pole powierzchni przekroju poprzecznego i -tego OR

$$A_i = 0,25\pi D_i^2$$

55. Prędkość powietrza na początku i -tego OR

$$w_{ip} = \frac{q_{vpi}}{A_i}$$

56. Zastępcza długość jednego kolana o kącie 90° dla i -tego OR

$$L_{i,k} = 63D_i$$

57. Ekwiwalentna długość i -tego OR

$$L_{i,e} = L_i + n_{i,k} L_{i,k} + H_i$$

58. Temperatura solgazu na końcu i -tego OR

$$\Delta t_i = (L_i + H_i) \Theta$$

59. Bezwzględna temperatura solgazu na końcu i -tego OR

$$T_{i,k} = T_{i,p} - \Delta t_i$$

60. Przybliżona strata ciśnienia w i -tym OR

$$\Delta p'_{i,m} = \lambda_m \frac{L_{i,e}}{D_i} \frac{\rho_{i,p} w_{i,p}^2}{2} + g H_i \mu_m \rho_{i,p}$$

61. Przybliżona wartość ciśnienia absolutnego na końcu i -tego OR

$$P'_{i,k} = P_{i,p} - \Delta p'_{i,m}$$

62. Przybliżona gęstość powietrza na końcu i -tego OR

$$\rho'_{i,k} = \frac{P'_{i,k}}{RT_{i,k}}$$

63. Przybliżona prędkość powietrza na końcu i -tego OR

$$w'_{i,k} = \frac{q_{mg}}{A_i \rho'_{i,k}}$$

64. Średnia gęstość powietrza w i -tym OR

$$\rho_{i,a} = (\rho_{i,p} + \rho'_{i,k})/2$$

65. Średnia prędkość powietrza w i -tym OR

$$w_{i,a} = (w_{i,p} + w'_{i,k})/2$$

66. Strata ciśnienia w i -tym OR

$$\Delta p_{i,m} = \lambda_m \frac{L_{i,e}}{D_i} \frac{\rho_{i,a} w_{i,a}^2}{2} + g H_i \mu_m \rho_{i,a}$$

67. Ciśnienie absolutne na końcu i -tego OR

$$P_{i,k} = P_{i,p} - \Delta p_{i,m}$$

68. Gęstość powietrza na końcu i -tego OR

$$\rho_{i,k} = \frac{P_{i,k}}{RT_{i,k}}$$

69. Prędkość powietrza na końcu i -tego OR

$$w_{i,k} = \frac{q_{mg}}{A_i \rho_{i,k}}$$

70. Uwaga!

Obliczenia wg powyższego algorytmu (od p.42 do p.75) należy wykonać najpierw dla 2OR ($i = 2$) a potem dla 3OR ($i = 3$).

71. Pozorna (obliczeniowa) różnica ciśnienia w wysokociśnieniowej instalacji TP lotnego popiołu

$$\Delta p_o = P_{3k} - (P_o + \Delta p_r)$$

gdzie:

$\Delta p_r = 200$ Pa – nadciśnienie w zbiorniku retencyjnym.

72. Scharakteryzować zachowanie się przepływu dwufazowego w zaprojektowanej instalacji TP przy założeniu, że nadciśnienie na wylocie podajnika komorowego jest stałe (nie można go zmieniać).

Transport Mechaniczny i Pneumatyczny Materiałów Rozdrobnionych

ćwiczenia

Zadanie 2-TP *Transport pneumatyczny wysokociśnieniowy*

Załącznik 2: Wymiary rur stalowych

TABLICA 33. Rury stalowe bez szwu walcowane na gorąco przewodowe ogólnego zastosowania
mm

Średnica zewnętrzna rury ¹⁾	Grubość ścianki ²⁾	Średnica zewnętrzna rury ¹⁾	Grubość ścianki ²⁾	Średnica zewnętrzna rury ¹⁾	Grubość ścianki ²⁾	Średnica zewnętrzna rury ¹⁾	Grubość ścianki ²⁾
21,3	2,3—4	51	2,6—12,5	108	3,6—20	244,5	7,1—22,2
25	2,3—4,5	54	2,6—14,2	114,3	3,6—20	273	7,1—25
26,9	2,3—4,5	57	2,9—14,2	127	4—25	298,5	8—25
30	2,6—6,3	60,3	2,9—14,2	133	4—25	323,9	8—30
31,8	2,6—7,1	63,5	2,9—16	139,7	4—25	355,6	8—30
33,7	2,6—7,1	70	2,9—16	159	4,5—25	406,4	8,8—30
38	2,6—7,1	76,1	2,9—20	168,3	5—20	457	10—30
42,4	2,6—8	82,5	3,2—20	177,8	5—20	508	11—30
44,5	2,6—11	88,9	3,2—20	193,7	5,6—20	—	—
48,3	2,6—11	101,6	3,6—20	219,1	7,1—22,2	—	—

¹⁾ Szereg podstawowy. Norma PN-80/H-74219 zawiera jeszcze szereg uzupełniający średnic rur, ale rury o tych średnicach produkuje się tylko po uprzednim uzgodnieniu między zamawiającym i wytwórcą.

²⁾ Szereg podstawowy grubości ścianek rur: 2,3; 2,6; 2,9; 3,2; 3,6; 4; 4,5; 5; 5,6; 6,3; 7,1; 8; 8,8; 10; 11; 12,5; 14,2; 16; 17,5; 20; 22,2; 25; 28 i 30 mm. Polska Norma zawiera jeszcze szereg uzupełniający grubości ścianek, ale rury o tych grubościach ścianek produkuje się po uzgodnieniu między zamawiającym i wytwórcą.

Rozróżnia się rury:

a) pierwszej klasy dokładności — D1 i drugiej klasy — D2,

b) z prostymi ściankami na końcach (bez oznaczenia), ze ściankami ukosowanymi — U (tylko rury o średnicach ponad 101,6 mm i grubościach ścianek do 16 mm) i z końcami kalibrowanymi — K (tylko rury o średnicach ponad 139,7 mm),

c) czarne (nie zabezpieczone przed korozją) — CZ, malowane zewnątrz asfaltozą — ZM, malowane wewnątrz asfaltozą — WM, z zewnętrzną powłoką bitumiczną z pojedynczą przekładką — ZO1, z taką samą powłoką z podwójną przekładką — ZO2, z potrójną przekładką — ZO3, ocynkowane — OC, z innym zabezpieczeniem (uzgodnionym przy zamawianiu); rury OC dostarcza się o średnicach do 89 mm, rury ZM, ZO1, ZO2, ZO3 i MW o średnicach od 168 mm.

Rury produkuje się ze stali R, R35 i R45 (rury na przewody), R55 — R65 (rury na konstrukcje) oraz 18G2A (na przewody i konstrukcje).

Rury dostarcza się o długościach:

a) fabrykacyjnych 4—12,5 m,

b) dokładnych — do 7 m, z dopuszczalną odchyłką: dla długości do 6 m + 10 mm, dla rur dłuższych + 15 mm,

c) wielokrotnych (w stosunku do zamówionych długości dokładnych poniżej 4 m) z nadatkiem 5 mm na każde cięcie i z dopuszczalną odchyłką dla całej długości jak dla długości dokładnych,

d) przybliżonych w zakresie długości fabrykacyjnych z dopuszczalną odchyłką ± 500 mm.

Dostawę rur o długościach dokładnych ponad 7 m i o grubościach ścianek od 25 mm wzwyż należy uzgodnić przy zamówieniu.

Norma PN-80/H-74219 zawiera ponadto dopuszczalne odchyłki wymiarów rur, odchyłki kształtu, własności wytrzymałościowe, badania rur, ich pakowanie i konserwację.