

# Transport Mechaniczny i Pneumatyczny Materiałów Rozdrobnionych

## Zagadnienia z wykładu – **transport pneumatyczny**

opracował dr inż. Arkadiusz Świerczok, na podstawie:

Z. Piątkiewicz: *Transport pneumatyczny*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999,

I.M. Razumow, *Fluidyzacja i transport pneumatyczny materiałów sypkich*. WNT, Warszawa 1975,

W. Szuman: *Urządzenia pomocnicze elektrowni parowych*, WNT, Warszawa 1962

E. Nowaczewski: *Materiały niepublikowane*

oraz innych materiałów przywołanych w tekście

wykład 1  
Pojęcia podstawowe

# Transport pneumatyczny (TP)

Transport pneumatyczny materiałów rozdrobnionych polega na ich przemieszczaniu w strumieniu powietrza na określoną odległość. W tym celu należy wytworzyć odpowiednio wysoką różnicę ciśnień pomiędzy punktem załadunku, a punktem odbioru transportowanego materiału. Proces ten realizowany jest przez kolejne operacje jednostkowe: doprowadzenie cząstek ciała stałego do przewodu, w którym z odpowiednią prędkością przepływa gaz, unoszenie ich przez strumień przepływającego gazu wzdłuż rurociągu, oddzielenie materiału od strugi gazu.

# Transport pneumatyczny (TP)

Pośrednim czynnikiem gazowym w transporcie pneumatycznym zazwyczaj jest powietrze. W zależności od tego czy w rurociągu transportującym, w którym przepływa mieszanina gazu i ciała stałego, panuje ciśnienie niższe od atmosferycznego czy wyższe, rozróżnia się systemy transportu pneumatycznego pracujące przy podciśnieniu (ssące) i nadciśnieniu (tłoczące/tłoczne) oraz systemy mieszane (ssąco-tłoczące). W systemach mieszanych część układu pracuje przy podciśnieniu, część przy nadciśnieniu.



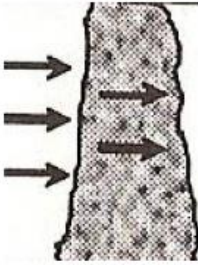


# Podstawowe elementy instalacji transportu pneumatycznego

1. Układ podawania produktu sypkiego (podajniki komorowe, zasilacze śluzowe, inżektory) stosuje się w celu wymieszania surowca sypkiego z powietrzem transportującym.
2. Układ wytwarzania powietrza transportowego o odpowiednich parametrach, stosuje się: dmuchawy, kompresory, pompy próżniowe lub wentylatory.
3. Instalacja rurowa – w jej skład wchodzi: pyłoprzewody zakończone odpowiednimi przyłączami, odporne na wycieranie łuki, zawory rozdzielcze, dosilacze.
4. Jednostka filtracyjna (cyklony, filtrocyclony i/lub filtry powietrza) ma za zadanie rozdzielać surowca od powietrza, tak aby można go było dalej przerabiać i wykorzystywać.

# Obszary stosowania TP:

- przemysł rolno-spożywczy,
- przemysł energetyczny,
- przemysł hutniczy,
- przemysł chemiczny,
- przemysł odlewniczy,
- górnictwo,
- przemysł materiałów budowlanych.

# Systematyka transportu pneumatycznego ze względu na strukturę przepływu

Rodzaj transportu	Transport przez unoszenie	Transport warstwowy	Transport porcjowany (impulsowy)	Transport przetłaczający	Transport fluidalny
Struktura przepływu					
	Unoszenie fazy stałej rozproszenie w strudze gazu	Unoszenie i ruch poślizgowy fazy stałej	Porcje materiału rozdzielone pęcherzami gazu	Przetłaczanie materiału strugą gazu	Materiał upłynniony w przewodach
Koncentracja fazy stałej	poniżej 5 kg/kg	10-50 kg/kg	30-100 kg/kg	do 500 kg/kg	30-250 kg/kg
	5-10 kg/kg				
	10-20 kg/kg				
Ciśnienie gazu nośnego	0,01-0,02 MPa	0,3-0,6 MPa	0,4-0,6 MPa	0,4-0,6 MPa	0,4-0,8 MPa
	do 0,08 MPa				
	0,3-0,6 MPa				
Prędkość gazu nośnego	15-30 m/s	4-15 m/s	3-10 m/s	0,5-5 m/s	< 26 m/s
Długość transportu	100 m	400 m	200 m	20 m	100 m
	200 m				
	400 m				

Przenośniki w TP dzieli się na trzy zasadnicze grupy:

- ssące,
- tłoczące (otwarte i zamknięte),
- ssąco-tłoczące.

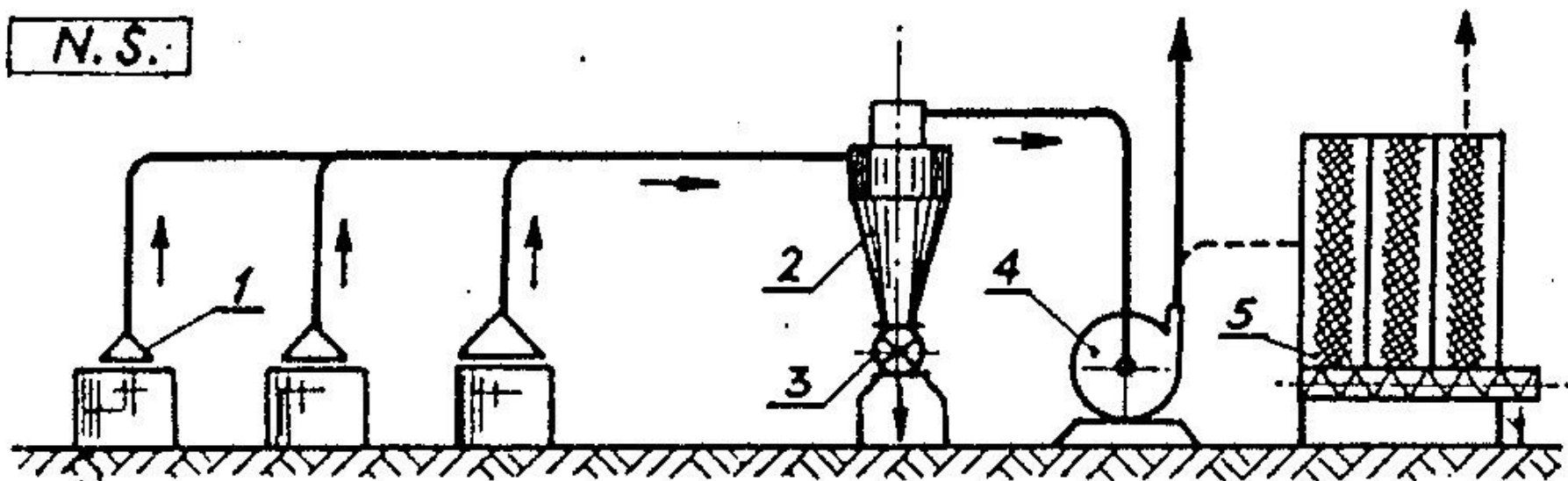


# Transport pneumatyczny ssący (przenośniki ssące)

Systemy ssące pracują przy podciśnieniu, ze względu na ograniczone możliwości wytwarzania podciśnienia, są one stosowane do transportu na odległości do 100 m. Najczęściej występują w nich podciśnienia rzędu kilku kPa, a praktycznie zakres ciśnienia jest szerszy i wynosi 8-70 kPa. Systemy podciśnieniowe pozwalają na bezpośrednie zasilanie przenośnika transportowanym materiałem (np. ze zbiorników magazynowych, wagonów lub hałd) w jednym lub kilku miejscach, czyli mogą być punktowe lub centralne. Rozładowywanie odbywa się w jednym miejscu. Gaz przed odprowadzeniem do atmosfery, w końcowej części układu powinien być oczyszczony za pomocą urządzeń oddzielających gaz od zanieczyszczeń pyłowych.

# Transport pneumatyczny ssący (przenośniki ssące) niskociśnieniowy

N.S.



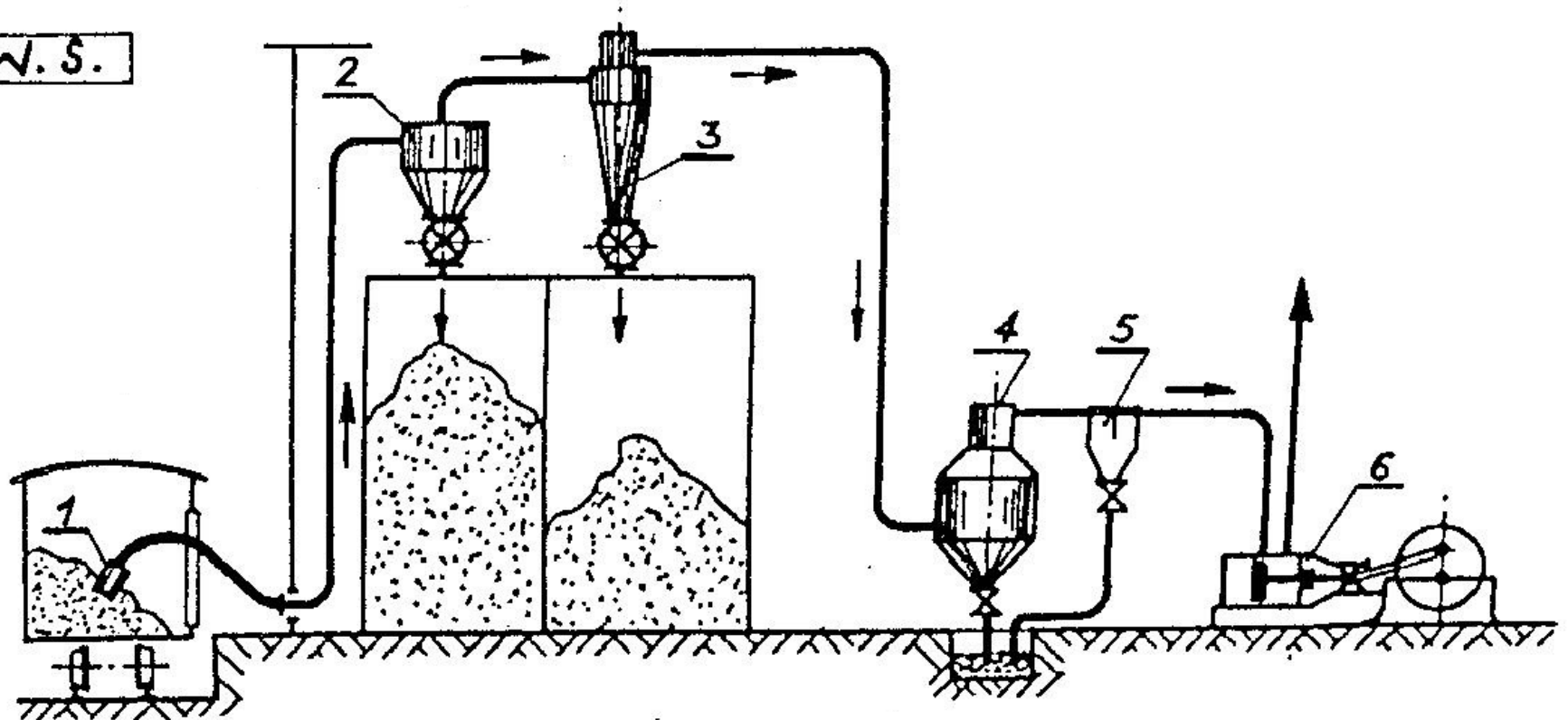
## 1. Odpylanie maszyn i urządzeń

1 - sawka, 2 - pneumocyklon, 3 - wyrzutnik śluzowy, 4 - wentylator promieniowy, 5 - filtr workowy

Sztywne zakończenie przewodu ssącego – stałe miejsce poboru transportowanego materiału.

# Transport pneumatyczny ssący (przenośniki ssące) wysokociśnieniowy

W. S.



## 7. Wysokociśnieniowy przenośnik ssący

1 - ssawka przenośna, 2 - oddzielnik materiału ze śluzą, 3 - pneumocyklon dla pyłu ze śluzą, 4 - płuczka wodna, 5 - oddzielnik kropli, 6 - pompa próżniowa

Elastyczne zakończenie przewodu ssącego umożliwia zmianę miejsca poboru transportowanego materiału.

# Rodzaje transportu pneumatycznego ssącego

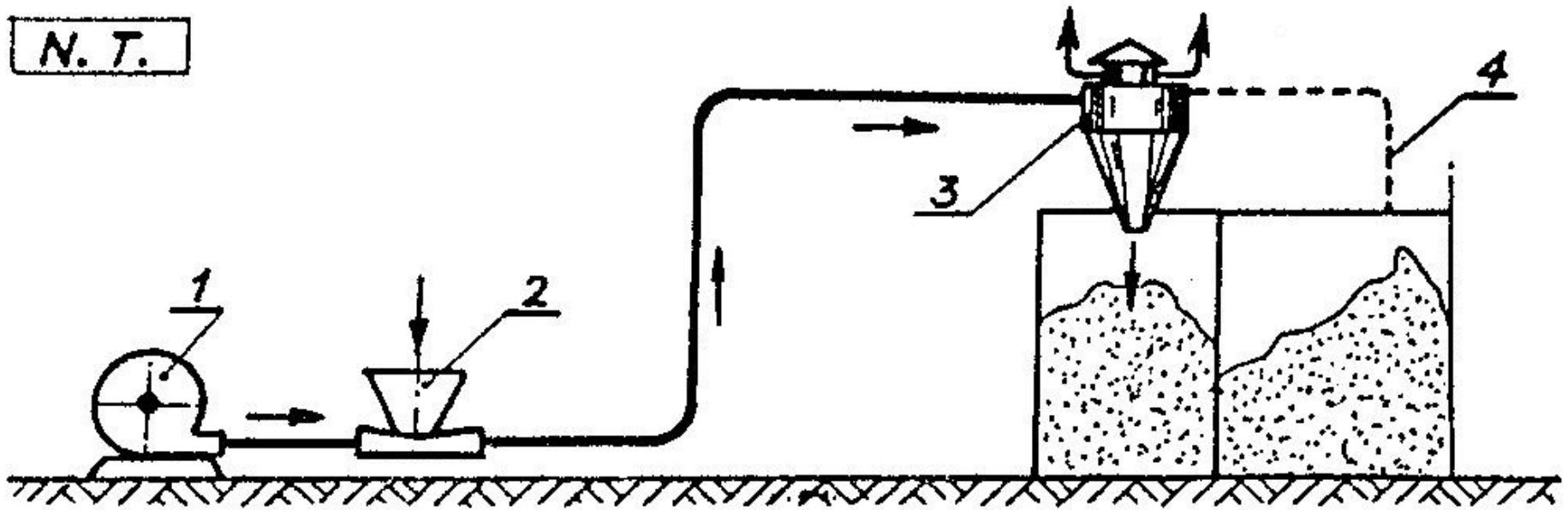
Lp.	Wielkość	Symbol	Jedn.	TP-ssący niskociśnieniowy	TP-ssący wysokociśnieniowy
1.	Zastosowanie	-	-	TP lekkich materiałów np.: lekkie pyły, wióry drzewne	Transport np.: miazgi węglowej, chemikaliów, zboża ( z wagonów
2.	Zasilanie powietrzem	-	-	Wentylatory promieniowe	- Pompy próżniowo-tłokowe ( $\Delta p \leq 0,07 \text{ MPa}$ ) - Pompy wirnikowe z pierścieniem wodnym
3.	Podajnik	-	-	Ssawa	Ssawa z węzłem elastycznym
4.	Separator	-	-	Pneumocyklon	Przed pompą: pneumocyklon + płuczka wodna + separator kropeł
5.	Rurociąg	d L, l	mm m		100-300 <100
6.	Prędk. pow.	$w_g$	m/s		20-35
7.	Ciśn. absol.	$P_{abs}$	MPa	0,09-0,1	0,03-0,09
8.	Spręż	$\Delta p$	MPa	$\sim 0,01$	0,01-0,07 (podciśnienie)
9.	Koncentracja	$\mu_m$	kg/kg	<1	10-30
10.	Uwagi	-	-		Ze względu na duże prędkości występuje wycieranie się łuków, kolan i innych elementów instalacji TP

# Transport pneumatyczny tłoczny

Systemy pracujące przy nadciśnieniu umożliwiają wytworzenie większych różnic ciśnień na obu końcach transportującego przewodu, aniżeli układy podciśnieniowe. Pozwala to na transport materiałów na odległość nawet do 2 km. W układach pracujących przy nadciśnieniu materiał musi zostać wprowadzony specjalnym dozownikiem do komory mieszania, skąd tłoczony jest rurociągami do miejsca rozładunku. Przy rozgałęzionym układzie rurociągów pozwalają one na rozładunek transportowanego materiału w kilku miejscach.

# Transport pneumatyczny tłoczny niskociśnieniowy z instalacją otwartą

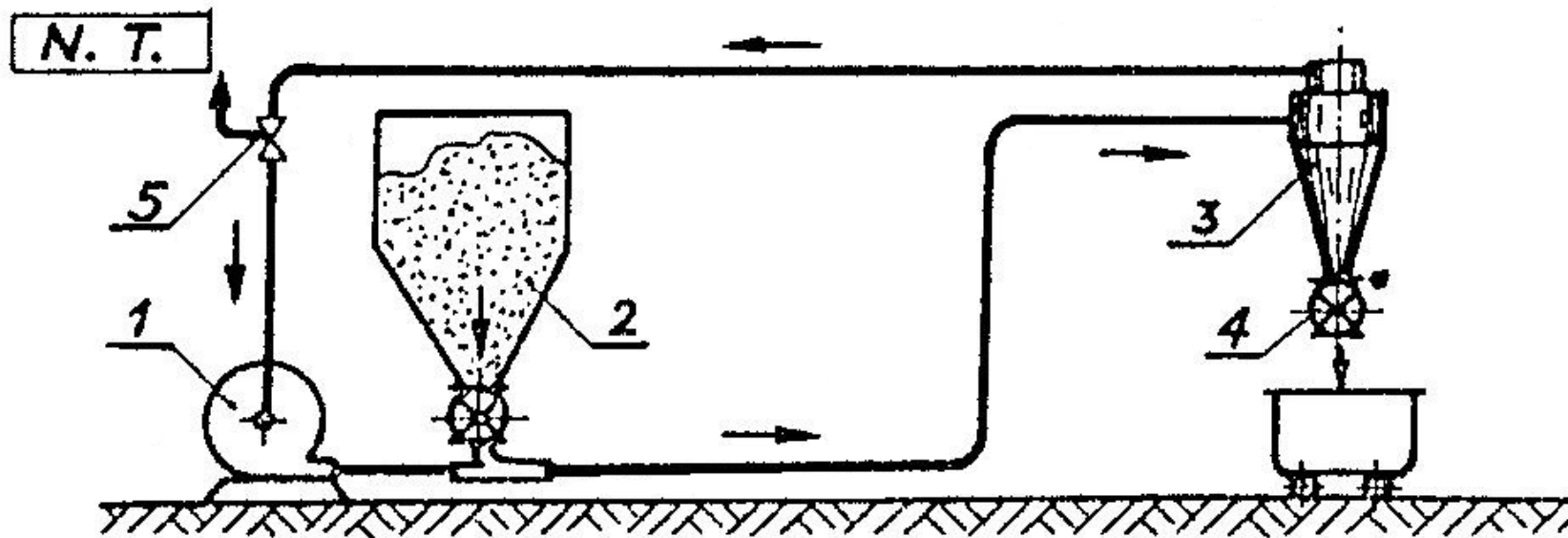
N. T.



## 2. Przenośnik tłoczący o obiegu otwartym

1 - wentylator promieniowy, 2 - zasilacz iniektorowy, 3 - cyklon, 4 - bezpośrednie wprowadzenie materiału

# Transport pneumatyczny tłoczny niskociśnieniowy z instalacją zamkniętą



### 3. Przenośnik tłoczący o obiegu zamkniętym

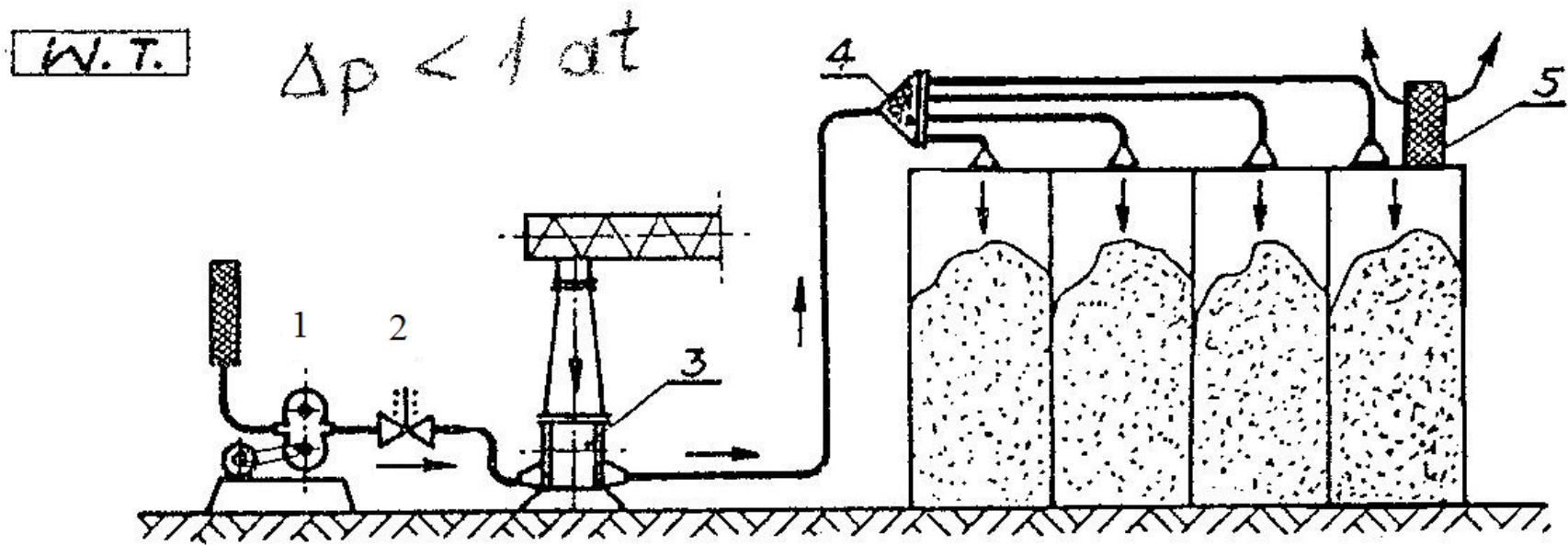
1 - wentylator promieniowy, 2 - zasilacz śluzowy, 3 - pneumo cyklon, 4 - wyrzutnik śluzowy, 5 - urządzenie dla wyrównania ciśnień

# Rodzaje transportu pneumatycznego tłocznego

Lp.	Wielkość	Symbol	Jedn.	TP-tłoczny niskociśn. z instal. otwartą	TP-tłoczny niskociśn. z instal. zamkniętą
1.	Zastosowanie	-	-	TP lekkich materiałów na krótkie odległości (do 100 m) np.: wióry drzewne, cukier, mąka	Transport materiałów bardzo drobnych i lekkich np. instalacje TP w młynach zbożowych
2.	Zasilanie powietrzem	-	-	Wentylatory promieniowe	Wentylatory promieniowe
3.	Podajnik	-	-	Inżektorowy	Śluzowy
4.	Separator	-	-		Pneumocyklon (odbieralnik)
5.	Rurociąg	d L, l	mm m	. <100	
6.	Prędk. pow.	$w_g$ $V_g$	m/s $m^3/h$	12-22	12-16 300-3000
7.	Ciśn. absol.	$P_{abs}$	MPa	0,10-0,11	0,03-0,09
8.	Spręż	$\Delta p$	MPa	0,004-0,009 (4-9 kPa)	4-8 kPa
9.	Koncentracja	$\mu_m$	kg/kg	~ 1	1-4
10.	Uwagi	-	-	W miejscu wylotu materiału z instalacji TP występuje duża emisja pyłu	Te instalacje nie emitują pyłu do otoczenia Należy dodawać powietrza ze względu na szczelności



# Transport pneumatyczny tłoczny wysokociśnieniowy

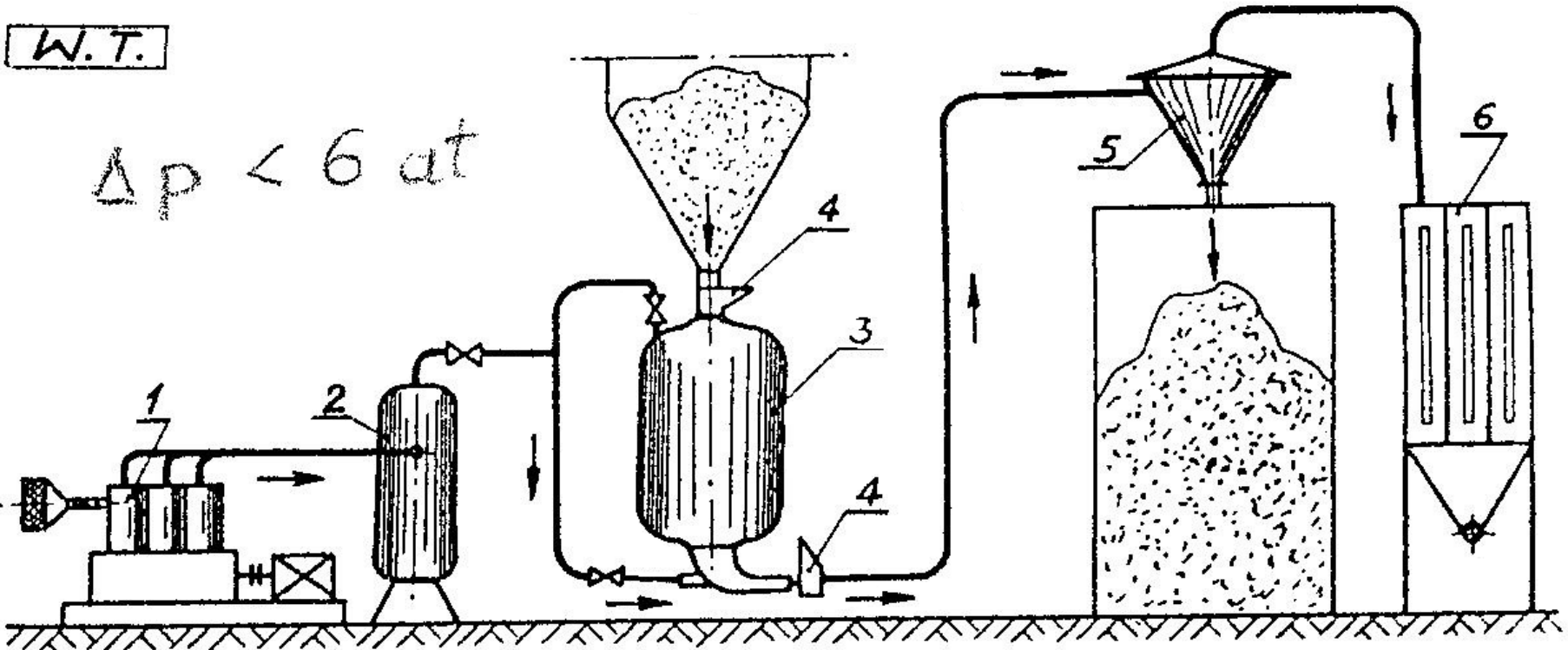


9. Wysokociśnieniowy przenośnik tłoczny /zakres do 1 atn/  
1 - dmuchawa obrotowo-wyporowa /Roota/, 2 - wentyl bezpieczeństwa, 3 - zasilacz śluzowy /wysokociśnieniowy/, 4 - przerzutka wielo.rogowa, 5 - rękaw filtrujący

# Transport pneumatyczny tłoczny wysokociśnieniowy

W.T.

$$\Delta p < 6 \text{ at}$$



10. Wysokociśnieniowy przenośnik tłoczacy /zakres do 6 atn/

1 - kompresor tłokowy, 2 - zbiornik wyrównawczy, 3 - zasilacz komorowy,  
4 - wentyle telerzowe sterowane pneumatycznie, 5 - cyklon, 6 - elektrofiltr

# Rodzaje transportu pneumatycznego tłocznego

Lp.	Wielkość	Symbol	Jedn.	TP-tłoczny średniociśnieniowy	TP-tłoczny wysokociśnieniowy
1.	Zastosowanie	-	-	Transport drobnych materiałów lekkich np.: celuloza, mąka	Transport materiałów ciężkich: pył węglowy, cement, wapno, piasek, gips, chemikalia (apatyt, fosforyt) popiół z lei odpylaczy
2.	Zasilanie powietrzem	-	-	Dmuchawy rotacyjne obrotowo-wyporowe	Sprężarki tłokowe lub dmuchawy obrotowo-wyporowe (pompa) Roota
3.	Podajnik	-	-	Injektorowy, ślimakowy lub wzmocniony podajnik śluzowy	Komorowy, ślimakowy(Fullera), injektorowy
4.	Separator	-	-		Zbiornik lub cyklon połączone z filtrem tkaninowym lub e-filtrem
5.	Rurociąg	d L, l	mm m	. ~100	
6.	Prędk. pow.	$w_g$ $V_g$	m/s m <sup>3</sup> /h	12-27 150-6000	14-30
7.	Ciśn. absol.	$P_{abs}$	MPa	0,11-0,18	0,2-0,6
8.	Spręż	$\Delta p$	MPa	0,01-0,08	0,1-0,5
9.	Koncentracja	$\mu_m$	kg/kg	4-10	10-40
10.	Uwagi	-	-		

# Przenośniki ssąco-tłoczące

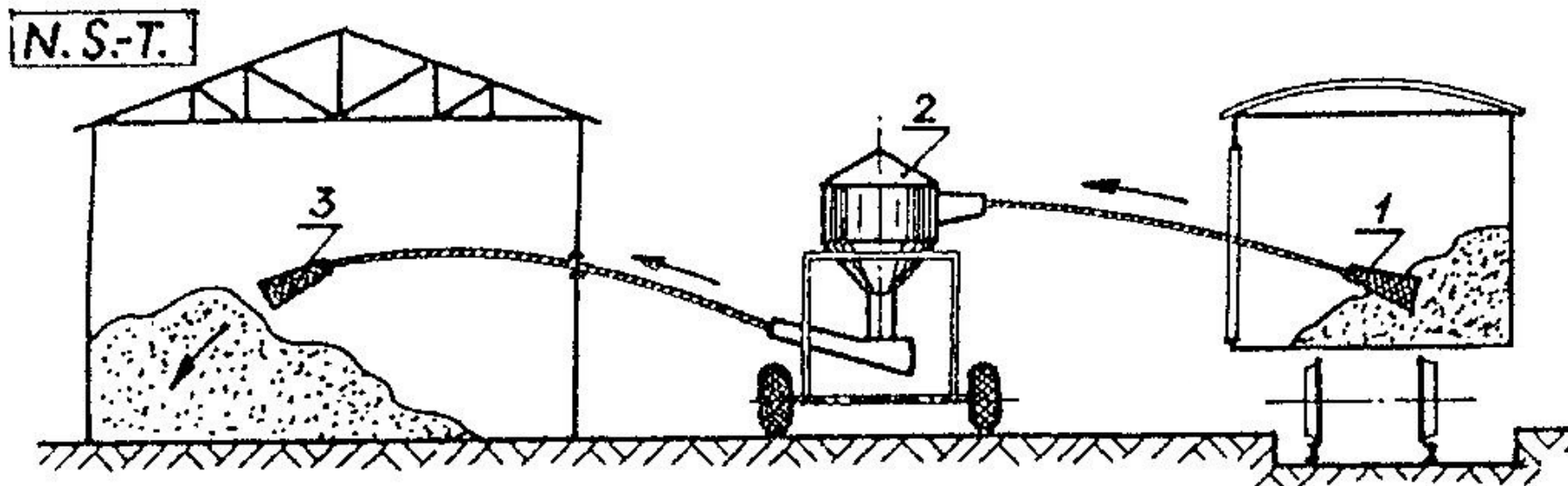
Systemy mieszane podciśnieniowo-ciśnieniowe (ssąco-tłoczące) łączą zalety układów ssącego i tłoczącego. W tym przypadku pojedynczy wentylator lub sprężarka w jednej części układu wytwarza podciśnienie, a w drugiej nadciśnienie. Systemy mieszane stosowane są przede wszystkim do transportu na znaczne odległości materiałów pobieranych z kilku miejsc.

# Przenośniki ssąco-tłoczące (tłoczne)

Przenośniki ssąco-tłoczące mogą stanowić sieci rurociąagowe. Są one instalowane po stronie ssącej i tłocznej wentylatorów, pomp próżniowych lub kompresorów

- Przenośniki ssąco-tłoczące **niskopreżne** wykorzystują wentylatory promieniowe o sprężu do 10 kPa.
- Przenośniki ssąco-tłoczące **wysokopreżne** wyposażone są w:
  - Pompy wyporowo-obrotowe (Roota)
  - Pompy z pierścieniem wodnym,
  - Sprężarki tłokowe (kompresory) o sprężu 0,05-0,60 MPa

# Transport pneumatyczny ssąco- tłoczny niskociśnieniowy

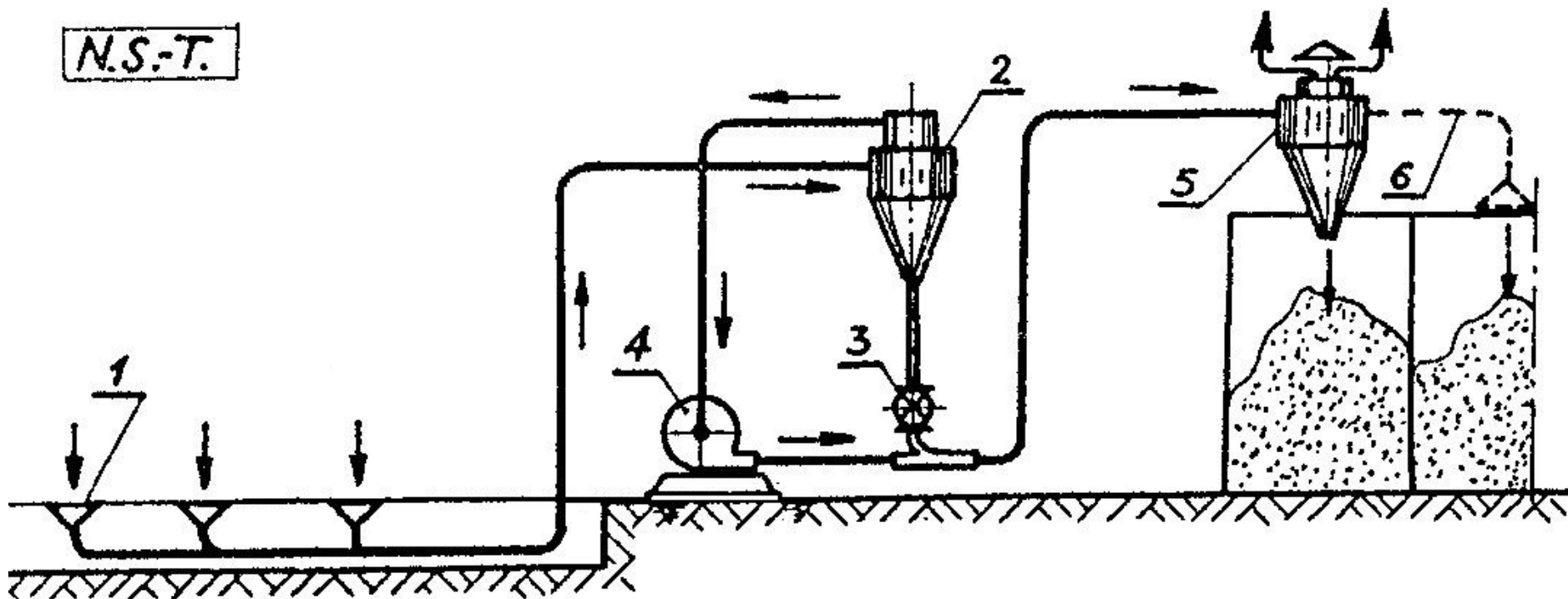


5. Przewoźny przenośnik wyładowczy

1 - ssawka, 2 - agregat przewoźny, 3 - dyfuzor wyładowczy

# Transport pneumatyczny ssąco- tłoczny niskociśnieniowy

N.S.-T.



## 6. Przenośnik ssąco-tłoczny /kombinowany/

1 - ssawka, 2 - pneumocyklon, 3 - zasilacz śluzowy, 4 - wenty lator promieniowy, 5 - cyklon, 6 - bezpośrednie wprowadzenie materiału

# Ważniejsze parametry TP

1. Strumień masy mieszanki

$$\dot{m}_m = \dot{m}_g + \dot{m}_s$$

2. Strumień objętości mieszanki

$$\dot{V}_m = \dot{V}_g + \dot{V}_s$$

3. Stężenie masowe

$$\mu_M = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_g}$$

gdzie:  $\dot{m}_s$  – strumień masy materiału (pyłu)

$\dot{m}_g$  – strumień masy gazu (powietrza)



# Ważniejsze parametry TP

4. Stężenie objętościowe (transportowe)

$$\mu_V = \frac{\dot{V}_s}{\dot{V}_g} = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s} \cdot \frac{\rho_g}{\dot{m}_g} = \mu_M \cdot \frac{\rho_g}{\rho_s}$$

5. „Mieszane” stężenie materiałów (transportowe)

$$\mu_V = \frac{\dot{m}_s}{\dot{V}_m} \cong \frac{\dot{m}_s}{\dot{V}_g}, \quad [kg/m^3]$$

(zakłada się, że:  $V_s \ll V_g$  więc  $V_m \cong V_g$ )

6. Stężenie masowe, lokalne (miejscowe)

$$\mu_l = \left( \frac{m_s}{m_g} \right)_{V_m = idem}, \quad [kg/m^3]$$

# Ważniejsze parametry TP

7. Średnia gęstość mieszaniny

$$\bar{\rho}_m = \frac{m_m}{V_m} = \frac{m_g + m_s}{V_g + V_s} = \rho_g (1 + \mu_l)$$

8. Masowa porowatość mieszaniny

$$\varepsilon_M = \frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_m}$$

9. Objętościowa porowatość mieszaniny

$$\varepsilon_V = \frac{\dot{V}_g}{\dot{V}_m}$$

# Ważniejsze parametry TP

7. Średnia prędkość względna materiału

$$\bar{w}_w = \bar{w}_g - \bar{w}_s$$

gdzie:  $w_g$  – średnia prędkość strumienia gazu w rurociągu,  
 $w_s$  – średnia prędkość bezwzględna materiału w rurociągu

8. Średni współczynnik poślizgu ( $s > 1$ )

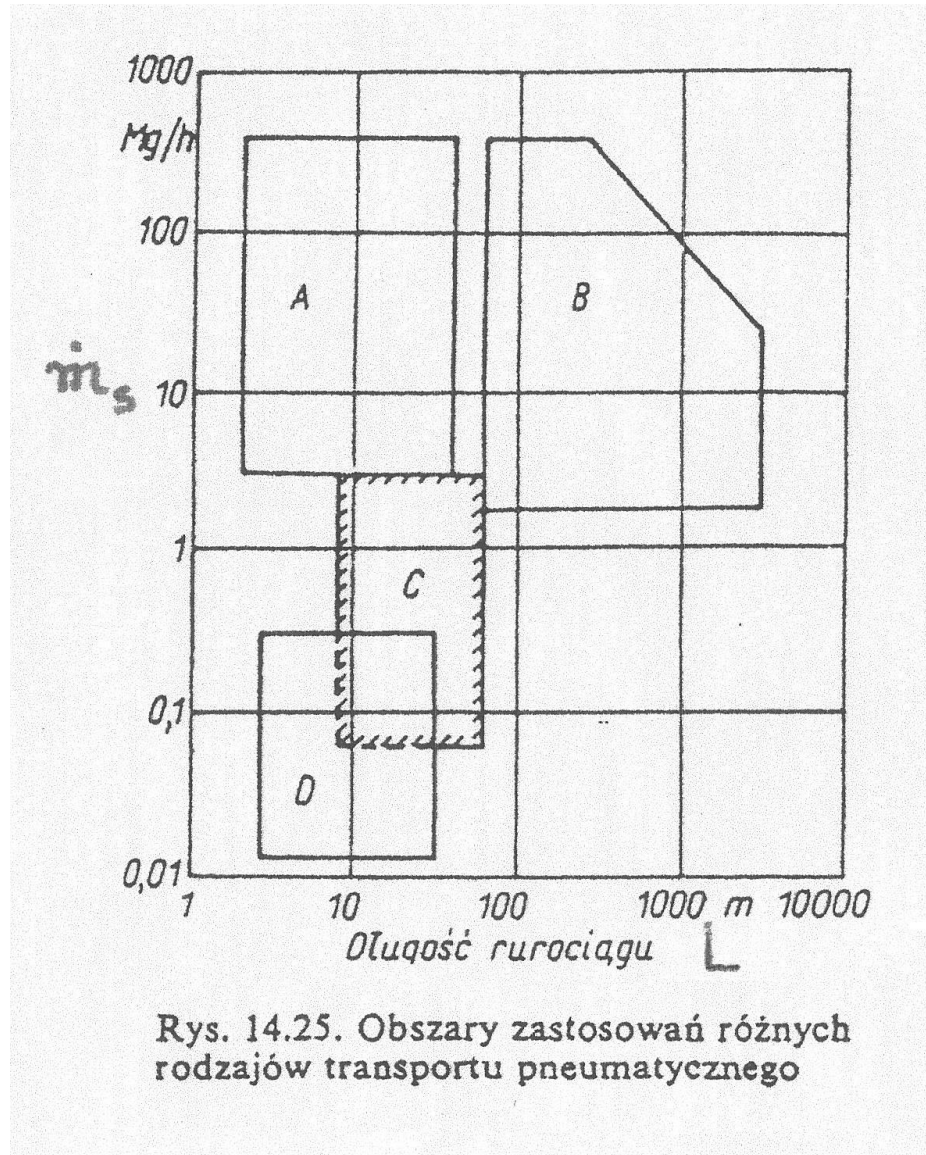
$$\bar{s} = \frac{\bar{w}_g}{\bar{w}_s}$$

9. Wystąpienie zawału w rurociągu TP

$$\frac{\bar{w}_g}{\bar{w}_s^o} < 1,7$$

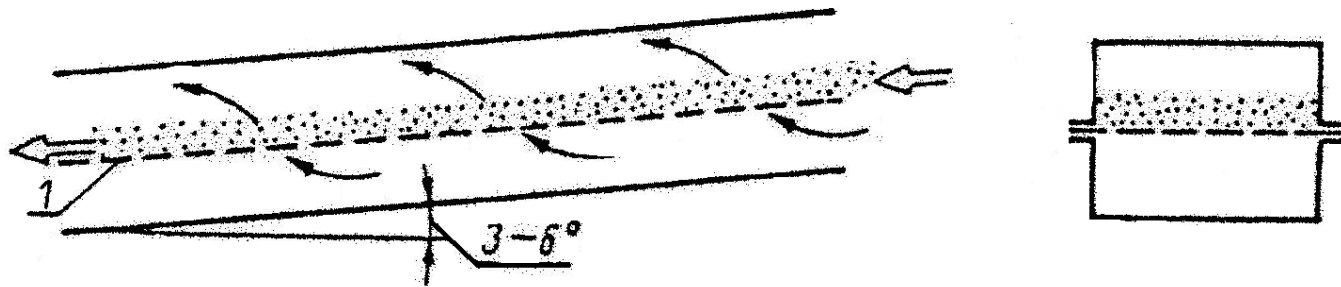
gdzie:  $w_s^o$  – średnia prędkość swobodnego opadania transportowanego materiału

# Obszary zastosowań różnych rodzajów TP



# Obszary zastosowań różnych rodzajów TP

**Obszar A** – rynny fluidyzacyjne (aeracyjne), materiał jest przenoszony w stanie fluidalnym, który uzyskuje się przez doprowadzenie powietrza pod ruszt dzielący rurociąg na dwie części.



Rys. 14.26. Rynna areacyjna  
— ruszt

Ta metoda jest stosowana do transportu materiału na małe odległości np. rozładunek ze statku lub silos, transport popiołu z lei odpylacza do zbiornika pośredniego.

# Obszary zastosowań różnych rodzajów TP

**Obszar B** – transport średnio- i wysokociśnieniowy

**Obszar C** – transport średniociśnieniowy stosowany w instalacjach technologicznych.

**Obszar D** – typowy transport niskociśnieniowy (tłoczny i ssący).

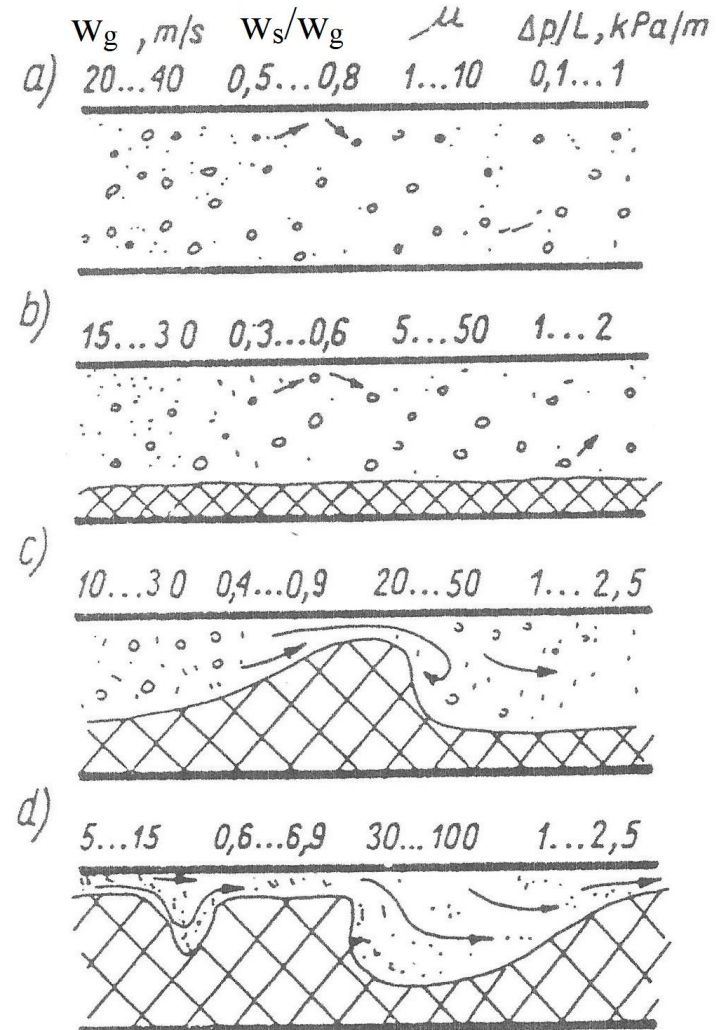
Ze względu na konfigurację rurociągów rozróżnia się transport:

- poziomy,
- pionowy,
- pośredni rurociąg pochylony.

# Modele TP poziomego

W zależności od stężenia materiału w TP poziomym rozróżnia się 4 podstawowe stany transportu:

- transport w stanie rozproszonym
- przepływ warstwowy
- przepływ warstwowo-falisty
- przepływ korkowy.

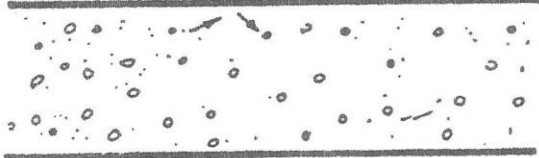


# Modele TP poziomego

Transport w stanie **rozproszonym (lotnym)**; taki transport występuje przy dużych prędkościach gazu nośnego, cząstki stałe tworzą z gazem mieszaninę **pseudohomogeniczną**, cząstki materiału poruszają się ruchem **chaotycznym**, zderzają się ze ściankami rurociągu i ze sobą.

- prędkość powietrza:  $w_g = 20-40$  m/s
- stężenie masowe:  $\mu_M = 1-10$
- jednostkowa strata ciśnienia  $\Delta p/L = 0,1-1$  kPa/m
- odwrotność współczynnika poślizgu:  $1/s = w_s/w_g = 0,5-0,8$

	$w_g, m/s$	$w_s/w_g$	$\mu$	$\Delta p/L, kPa/m$
a)	20...40	0,5...0,8	1...10	0,1...1

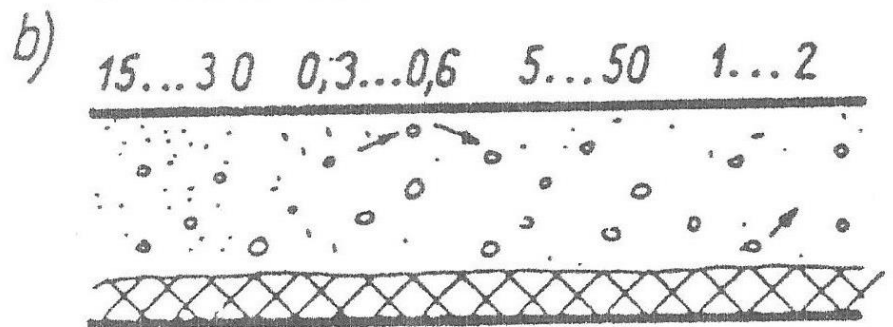




# Modele TP poziomego

**Przepływ warstwowy;** część materiału tworzy w dolnej części rurociągu warstwę, ta warstwa przesuwa się po dnie ruchem **ślizgowym**, w przestrzeni nad tą warstwą występuje przepływ mieszaniny **homogenicznej**.

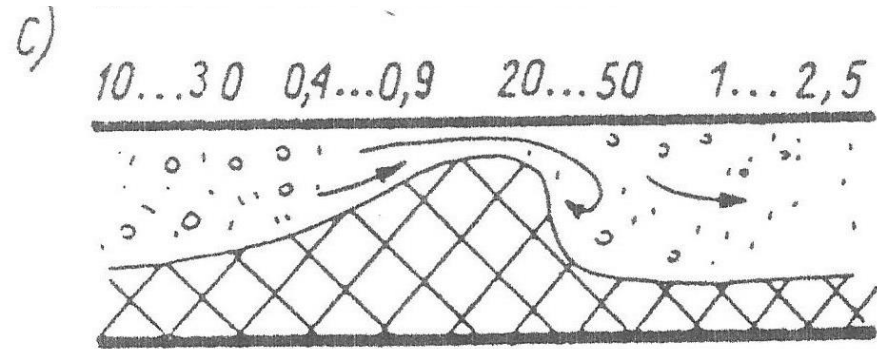
- prędkość powietrza:  $w_g = 15-30$  m/s
- stężenie masowe:  $\mu_M = 5-50$
- jednostkowa strata ciśnienia  $\Delta p/L = 1-2$  kPa/m
- odwrotność współczynnika poślizgu:  $1/s = w_s/w_g = 0,3-0,6$



# Modele TP poziomego

**Przepływ warstwowo-falisty;** na dole rurociągu tworzy się warstwa o dużej grubości (wysokości), zajmuje ona znaczną część przekroju rurociągu, w pozostałej przestrzeni nad warstwą tworzą się fale (grzbiety) transportowanego materiału, w górnej przestrzeni występuje przepływ lotny z sedymentacją.

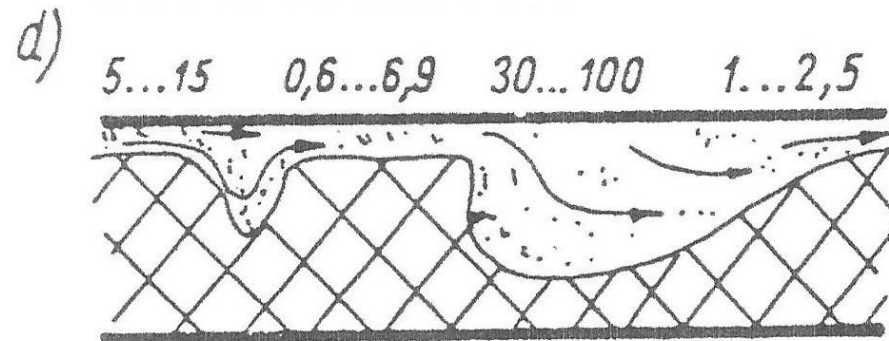
- prędkość powietrza:  $w_g = 10-30$  m/s
- stężenie masowe:  $\mu_M = 20-50$
- jednostkowa strata ciśnienia  $\Delta p/L = 1-2,5$  kPa/m
- odwrotność współczynnika poślizgu:  $1/s = w_s/w_g = 0,4-0,9$



# Modele TP poziomego

**Przepływ korkowy (powolny transport pneumatyczny);** w tym transporcie poszczególne wierzchołki fal łączą się ze sobą powodując powstawanie korków, mała porowatość tego układu w rurociągu zagraża utratą jego drożności, celem zapobieżenia temu instaluje się p. przewody napowietrzające.

- prędkość powietrza:  $w_g = 5-15$  m/s
- stężenie masowe:  $\mu_M = 30-100$
- jednostkowa strata ciśnienia  $\Delta p/L = 1-2,5$  kPa/m
- odwrotność współczynnika poślizgu:  $1/s = w_s/w_g = 0,6-6,9$



## Uwagi i wnioski:

- Transport w kierunku poziomym jest możliwy jeśli prędkość gazu jest większa od prędkości opadania cząstek materiału,
- Prędkość opadania materiału i prędkość powietrza nośnego zależą od stężenia materiału w strumieniu dwufazowy,
- Dla zapewnienia TP poziomego pod niskim ciśnieniem (zblizonym do atmosferycznego) wymagana jest prędkość powietrza nośnego w rurociągu określona wg wzoru:

$$\bar{w}_g = a \cdot \sqrt{\rho_s} + b \cdot L^2$$

gdzie: a – współczynnik zależny od średniego rozmiaru cząstek stałych

Uwagi i wnioski c.d.:

•Dla zapewnienia TP poziomego pod niskim ciśnieniem (zblizonym do atmosferycznego) wymagana jest prędkość powietrza nośnego w rurociągu określona wg wzoru:

$$\bar{w}_g = a \cdot \sqrt{\rho_s} + b \cdot L^2$$

gdzie: a – współczynnik zależny od średniego rozmiaru cząstek stałych,

b – współczynnik zależny od rodzaju materiału  $b=(2-5) \times 10^{-5}$  [1/ms],

$\rho_s$  – gęstość materiału,

L - długość rurociągu

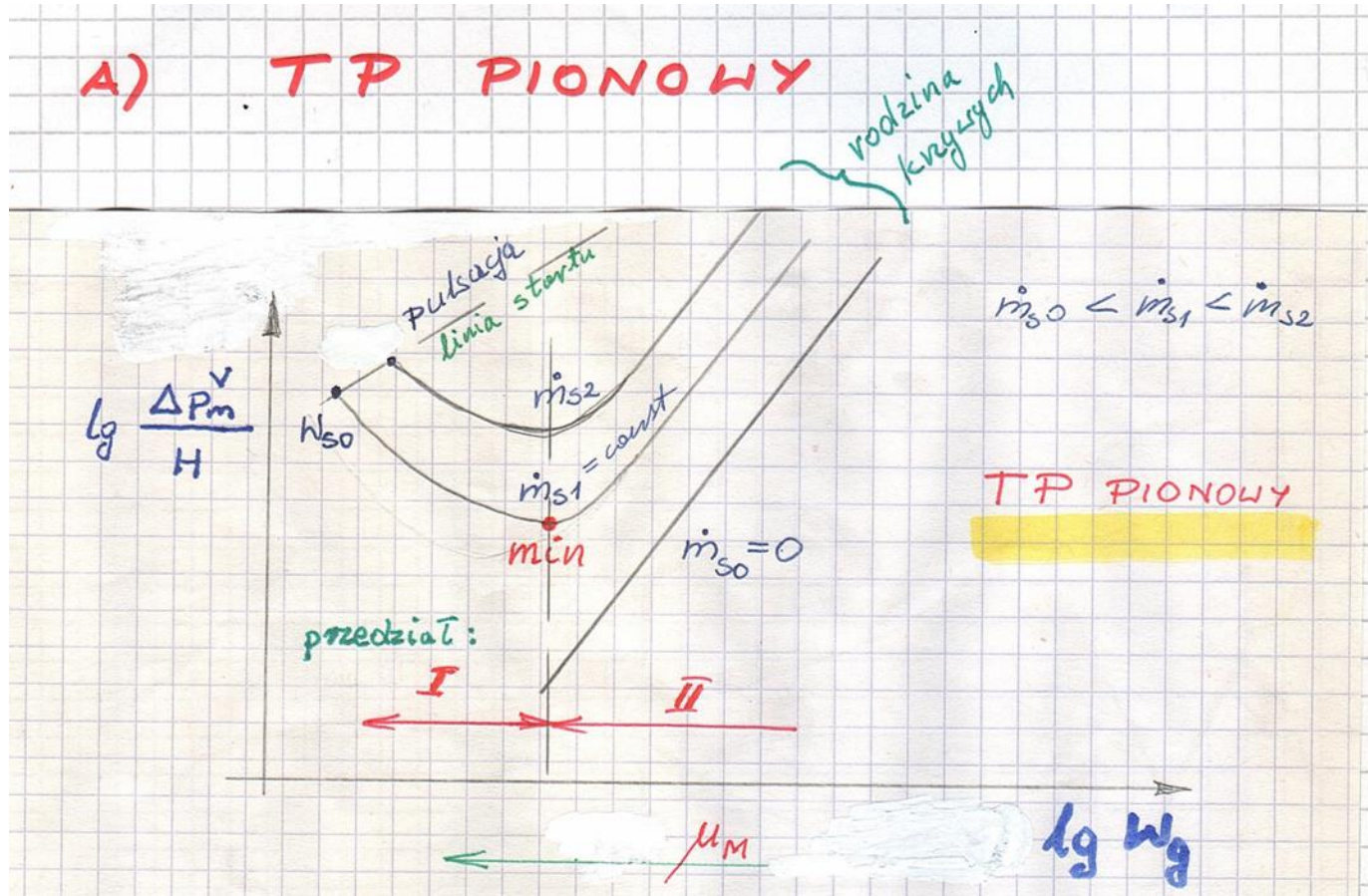
•Przy zbyt małej prędkości TP może wystąpić zjawisko **zawału** polegające na opadnięciu cząstek stałych i zatkaniu rurociągu. Celem wyeliminowania tego zjawiska w TP należy przyjmować iloraz prędkości:

$$\frac{\bar{w}_g}{\bar{w}_s^o} < 1,7$$

gdzie:  $w_s^o$  – średnia prędkość swobodnego opadania transportowanego materiału

# Charakterystyki instalacji TP

- TP pionowy



Na rysunku pokazano charakterystykę instalacji TP pionowego. Transport rozpoczyna się od punktu, gdy powietrze uzyska prędkość większą od prędkości unoszenia  $w_{so}$ , czyli  $w_g > w_{so}$

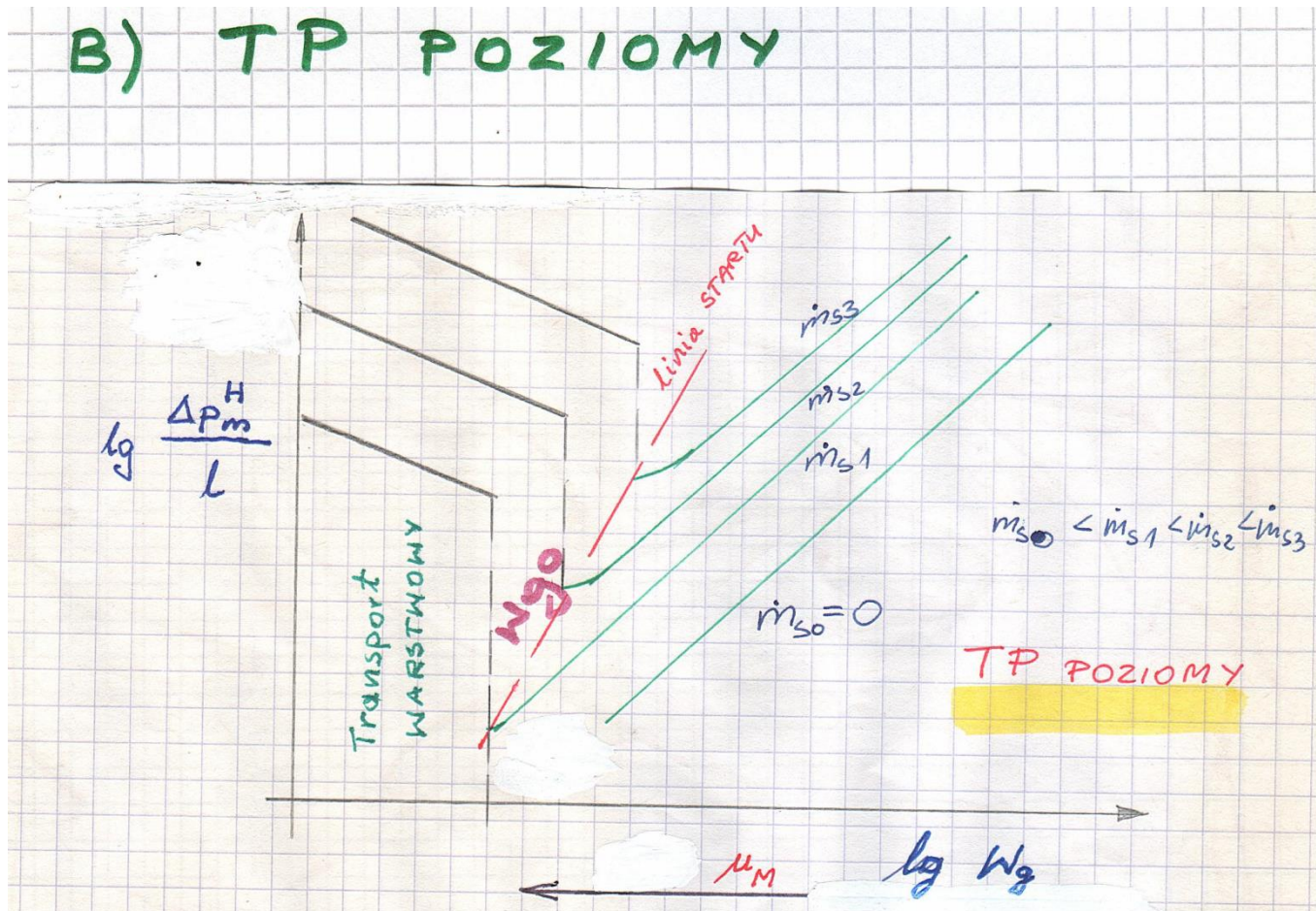
# Charakterystyki instalacji TP

- TP pionowy

Zwiększanie prędkość gazu  $w_g$  powoduje wystąpienie efektu pulsacji (fluidyzacji) i wzrost prędkości  $w_s$  materiału (pyłu). Skutkiem tego przy  $m_s = \text{const}$  maleje stężenie  $\mu_M$  w tym odcinku TP. W tym zakresie prędkości  $w_g$  (przedział I) efekt wzrostu prędkości gazu silnie oddziałuje na zmniejszenie wartości jednostkowej straty ciśnienia spowodowanej transportem materiału. Powoduje to ogólnie spadek straty ciśnienia w rurociągu pionowym. Przy granicy prawostronnej przedziału I występuje **min** funkcji, a więc minimum strat ciśnienia w TP pionowym. Przy dalszym zwieszaniu prędkości  $w_g$  (przedział II) ogólne straty ciśnienia zaczynają rosnać, choć  $\mu_M$  dalej maleje, ponieważ przeważa wzrost oporów przepływu dwu-fazowego.

# Charakterystyki instalacji TP

- TP poziomy



Charakterystyka instalacji TP poziomego – spadek ciśnienia w funkcji prędkości gazu



# Charakterystyki instalacji TP

- TP poziomy

W miarę wzrostu prędkości  $w_g$  w obszarze transportu warstwowego, jednostkowy spadek ciśnienia nieznacznie maleje. Wynika to ze zwiększania się wolnego przekroju rurociągu. Przy pewnej wartości prędkości powietrza zwanej prędkością startu  $w_{go}$  znika przepływ warstwowy i cały strumień materiału tworzy układ **pseudohomogeniczny**.

W tym momencie następuje gwałtowny spadek ciśnienia do **minimum**. Dalsze zwiększanie prędkości gazu  $w_g$  powoduje monotoniczny wzrost strat ciśnienia wskutek wzrostu oporów przepływu.

# Charakterystyki instalacji TP

- TP poziomy

Należy podkreślić, że dla prędkości średniej gazu  $w_g < w_{go}$  występuje w rurociągu poziomym taka wysokość warstwy, przy której (w części jego przekroju poprzecznego nad tą warstwą) prędkość gazu  $w_g = w_{go}$  lub jest nieznacznie większa od  $w_{go}$ .

Jak widać z wykresu wartość  $w_{go}$  zależy również od strumienia masy materiału (od jego koncentracji).

Wartość prędkości startu  $w_{go}$  dla poziomego TP można obliczyć ze wzoru empirycznego:

$$w_{go} = 5,6D^{0,34}d_s^{0,34}\left(\frac{\rho_s}{\rho_g}\right)^{0,5}\mu_M^{0,25}$$

wykład 2

Metody obliczania układów TP

# Ogólne wytyczne projektowania urządzeń TP

Przenośniki pneumatyczne charakteryzują się wyższym zużyciem energii na jednostkę transportowanego materiału w stosunku do przenośników mechanicznych. Poznanie zjawisk towarzyszących TP i zastosowanie odpowiednich metod obliczeniowych może przyczynić się do poprawy tego stanu rzeczy.

# Ogólne wytyczne projektowania urządzeń TP

Przy projektowaniu urządzeń TP należy uwzględnić takie cechy materiału, które w istotny sposób wpływają na jego zachowanie w trakcie transportu. Są nimi w szczególności:

- ciężar właściwy,
- średnica ekwiwalentna cząstki materiału, jej kształt,
- wilgotność materiału,
- lepkość,
- zdolność do zbijania się w większe bryłki.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na przyjętą zasadę projektowania jest wielkość **strat ciśnienia** na pokonanie oporów przepływu czynnika dwufazowego przez przenośnik.

# Ogólne wytyczne projektowania urządzeń TP

Zaprojektowanie przenośnika TP wymaga określenia założeń projektowych, do których należą:

- wydajność przenośnika, czyli masowe natężenie przepływu materiału, kg/h,
- właściwości transportowanego materiału, tj: ciężar właściwy, granulacja materiału, wilgotność, higroskopijność,
- schemat rozmieszczenia punktów zasilania i rozładunku materiału,
- sugestie związane z doбором systemu transportu i trasy prowadzenia rurociągów.

# Ogólne wytyczne projektowania urządzeń TP

Dla projektanta instalacji TP najważniejszymi parametrami są opory przepływu oraz zapotrzebowanie powietrza do transportu, ponieważ na podstawie tych wielkości dobiera się urządzenie zasilające.

W celu obliczenia oporów stosuje się modele (metody), które w głównej mierze opierają się na modyfikacji równania Darcy'ego-Weisbacha słusznego dla przepływów jednofazowych.

Zmiany te polegają na uwzględnieniu w nich wpływu obecności cząsteczek ciała stałego w strumieniu powietrza na warunki ich transportu pneumatycznego poprzez modyfikacje sposobu obliczania współczynników oporu liniowego  $\lambda$ .

# Straty ciśnienia w (TP)

## 1. Metoda Gasterstaedta

Wg metody Gasterstaedta stratę ciśnienia  $\Delta p_m$  spowodowaną przepływem dwufazowym w niskociśnieniowej instalacji TP można obliczyć z przybliżonego wzoru empirycznego:

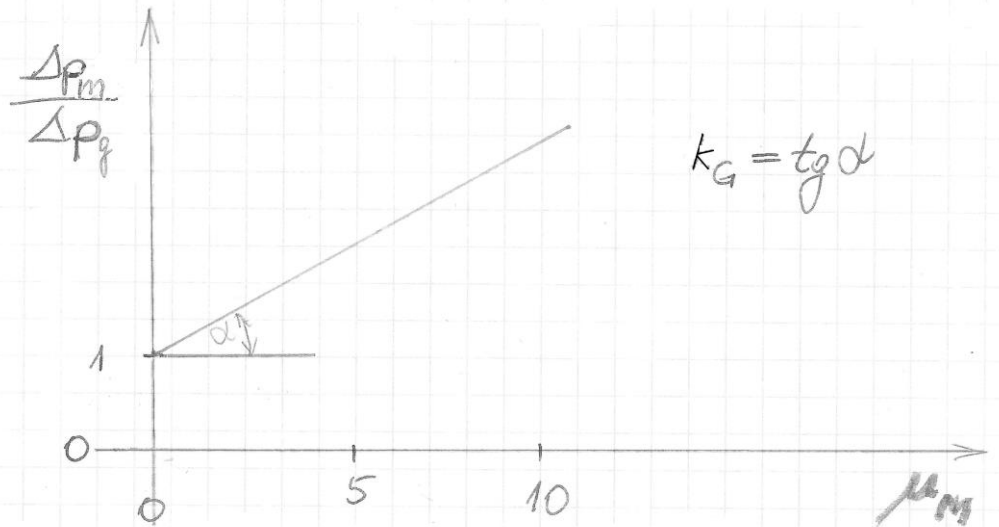
$$\Delta p_m = \Delta p_g (1 + k_G \mu_M)$$

gdzie:

$\mu_M$  – stężenie masowe ( $m_s/m_g$ ),

$\Delta p_g$  – strata ciśnienia przy przepływie czystego powietrza

$k_G$  – współczynnik Gasterstaedta (doświadczalny)





# Straty ciśnienia w (TP)

## 1. Metoda Gasterstaedta

Dla prostych odcinków rurociągów:

$$\Delta p_m^l = \Delta p_g^l (1 + k_G^l \mu_{M_2}), \quad k_G^l = 0,2 - 2,5$$

gdzie:  $\Delta p_g^l = \lambda_g \frac{l}{D} \frac{\rho_g w_g^2}{2}$  - dla czystego powietrza

Dla przepływu turbulentnego i rur gładkich można stosować następujące wzory na współczynnik  $\lambda_g^l$ :

- Blasiusa:  $\lambda_g = 0,316 / \text{Re}^{1/4}$ , dla  $2,3 \times 10^3 < \text{Re}_g < 10^5$ ,
- Hermanna:  $\lambda_g = 0,0054 + 0,369 / \text{Re}^{0,4}$ , dla  $2,5 \times 10^3 < \text{Re}_g < 2 \times 10^6$

# Straty ciśnienia w (TP)

## 1. Metoda Gasterstaedta

Dla oporów miejscowych:

$$\Delta p_m^m = \Delta p_g^m (1 + k_G^m \mu_M),$$

gdzie:  $\Delta p_g^m = \zeta \frac{\rho_g W_g^2}{2}$

$\zeta_g$  – wsp. dla oporów miejscowych przy przepływie powierza

Przykładowe wartości współczynnika  $k_g^m$  dla różnych oporów miejscowych:

- dyfuzor:  $k_g^m = 0,4-0,5$
- nagłe rozszerzenie rurociągu:  $k_g^m = 0,95$
- nagłe zwężenia rurociągu:  $k_g^m = 1,35$
- kolano  $90^\circ$   $k_g^m = 0,6-12$

# Straty ciśnienia w (TP)

## 1. Metoda Gasterstaedta

Wnioski:

1. Metoda Gasterstaedta jest prosta ale można ją stosować tylko do orientacyjnych („zgrubnych” ) obliczeń strat ciśnienia w TP.
2. Obliczenia dokładne można przeprowadzić tylko dla tych przypadków, dla których wartości  $k_G$  zostały wyznaczone dla rzeczywistej instalacji TP.

# Straty ciśnienia w (TP)

## 2. Metoda Bartha

Metoda Bartha może być stosowana do określania strat ciśnienia w średnio- i wysokociśnieniowych układach TP.

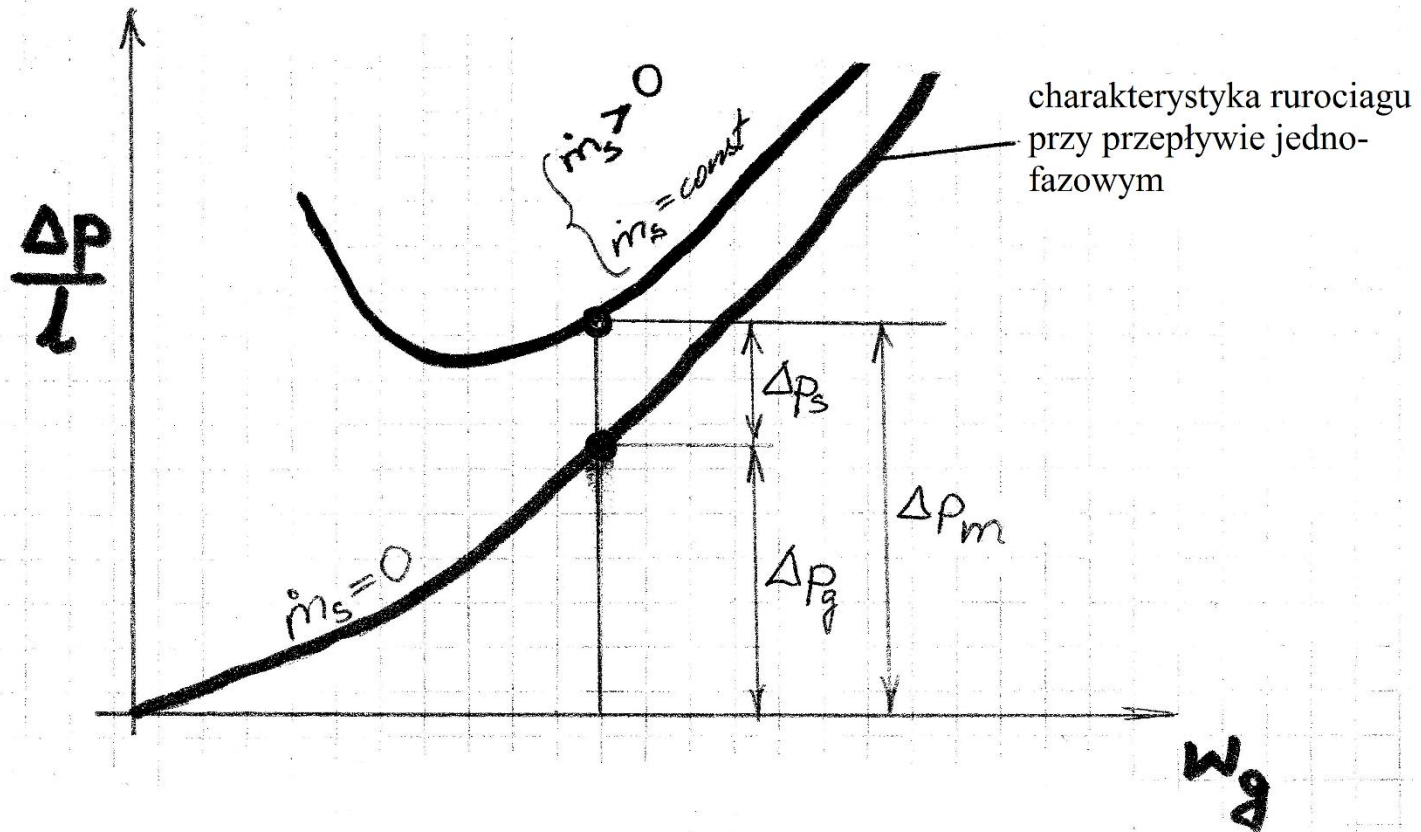
Strata ciśnienia spowodowana przepływem dwufazowym może być wyznaczona ze wzoru:

$$\Delta p_m = \Delta p_g + \Delta p_s$$

# Straty ciśnienia w (TP)

## 2. Metoda Bartha

Graficznie stratę ciśnienia  $\Delta p_m$  przedstawiono na rysunku dla prostego odcinka rurociągu



# Straty ciśnienia w (TP)

## 2. Metoda Bartha

Gdzie:

$$\Delta p_g = \lambda_g \frac{l}{D} \frac{\rho_g w_g^2}{2} \quad \text{dla czystego powietrza,}$$

$\lambda_g$  – współczynnik tarcia gazu (np.  $\lambda_g = 0,02$ ),

$\lambda_g = f(\text{Re}_g)$  – dla rur gładkich (w TP)

$l$  – długość prostego odcinka rurociągu,

$\rho_g$  – gęstość powietrza

$$\Delta p_s = \lambda_s \frac{l}{D} \frac{\rho_g w_g^2}{2} \cdot \mu_M \quad \text{strata ciśnienia spowodowana}$$

tylko przez transportowany materiał,

$\lambda_s$  – wsp. strat liniowych dla transportowanego materiału

# Straty ciśnienia w (TP)

## 2. Metoda Bartha

Wg Muschelknautza współczynnik strat obliczyć można:

$$\lambda_s = \frac{w_s}{w_g} \lambda_s^* + \frac{2\beta}{\frac{w_s}{w_g} (Fr')^2} = \frac{\lambda_s^*}{s} + \frac{2\beta s}{(Fr')^2}$$

gdzie:

$$Fr'_g = \frac{w_g}{\sqrt{g \cdot D}} \quad \text{liczba Froude'a,}$$

$\lambda_s^*$  - wsp. tarcia materiału o ściany,

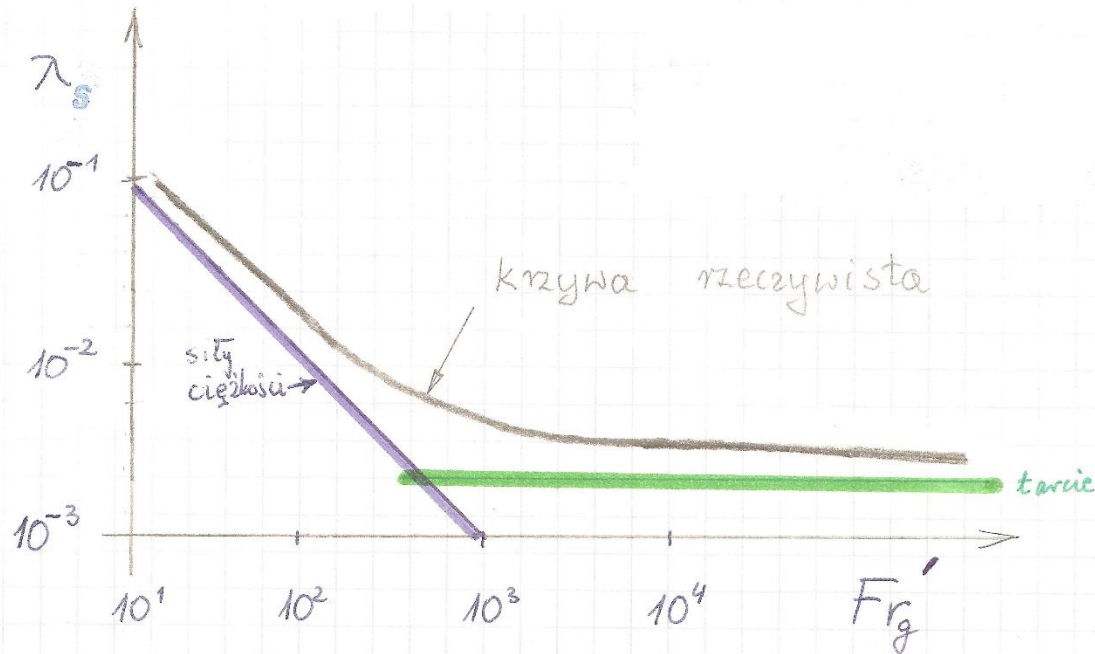
$\beta$  - wsp. uwzględniający wpływ siły ciężenia,

$s = w_g/w_s$  - wsp. Poślizgu.




# Straty ciśnienia w (TP)

## 2. Metoda Bartha

Graficznie zależność  $\lambda_s = f(Fr_g^*)$  przedstawiono na rysunku.



Rys. 14.  $\lambda_s = f(Fr_g')$

-  wpływ tarcia o ścianki,
-  wpływ siły ciężkości,
-  krzywa rzeczywista



# Straty ciśnienia w (TP)

## 3. Metoda Sigela-Molerusa

Strata ciśnienia w transporcie pionowym:

$$\Delta p_m^V = \Delta p_g + \Delta p_s + \Delta p_h + \Delta p_d$$

$\Delta p_g$  - strata ciśnienia spowodowana przepływem powietrza (czystego),

$\Delta p_s$  - strata ciśnienia spowodowana tarciem transportowanego materiału,

$\Delta p_h$  - różnica ciśnienia statycznego w rurociągu spowodowana słupem przepływu dwu-fazowego

$\Delta p_d$  - dynamiczna różnica ciśnienia spowodowana przyspieszeniem lub opóźnieniem materiału w danym rurociągu.

# Straty ciśnienia w (TP)

## 3. Metoda Sigela-Molerusa

\*Strata ciśnienia spowodowana przepływem powietrza (czystego):

$$\Delta p_g = \lambda_g \frac{H}{D_w} \frac{\rho_g w_g^2}{2}$$

gdzie:  $D_w$  – średnica wewnętrzna rurociągu,

$H$  – wysokość rurociągu,

$w_g$  – prędkość gazu

Dla przepływu turbulentnego i rur gładkich można stosować wzory:

- Blasiusa  $\lambda_g = \frac{0,316}{\text{Re}_g^{1/4}}, \quad 2,3 \cdot 10^3 < \text{Re}_g < 10^5$

- Hermanna  $\lambda_g = \frac{0,0054 + 0,396}{\text{Re}_g^{0,3}}, \quad 2,5 \cdot 10^3 < \text{Re}_g < 2 \cdot 10^6$

# Straty ciśnienia w (TP)

## 3. Metoda Sigela-Molerusa

\*Strata ciśnienia spowodowana tarciem materiału o ściany rurociągu:

$$\Delta p_s = \lambda_s \frac{H}{D} \frac{\rho_g w_g^2}{2} \mu_M$$

gdzie:  $\lambda_s$  – współczynnik oporu zależny od liczby  $Fr_s$  odniesionej do fazy stałej

$$\lambda_s = 4,25 \frac{D}{d_s} \cdot \frac{1}{Fr_s^{3/4}}$$

$$Fr_s = \frac{w_s^2}{g \cdot d_s}$$

$d_s$  – średnia średnica cząstek transportowanego materiału

# Straty ciśnienia w (TP)

## 3. Metoda Sigela-Molerusa

\*Różnica ciśnienia statycznego (spadek lub przyrost – zależnie od kierunku przepływu):

$$\Delta p_h \approx \rho_s H g \mu_V \cong g \cdot H \cdot \rho_g \mu_M$$

\* Różnica ciśnienia dynamicznego (przyrost lub spadek odpowiednio dla przyspieszenia lub opóźnienia materiału w TP):

$$\Delta p_d = \xi \cdot g \cdot \rho_g \left( \frac{w_g^2}{2} + x \cdot w_g \cdot w_s \right) = \xi \cdot g \cdot \frac{w_g^2 \rho_g}{2} \left( 1 + 2x/s \right)$$

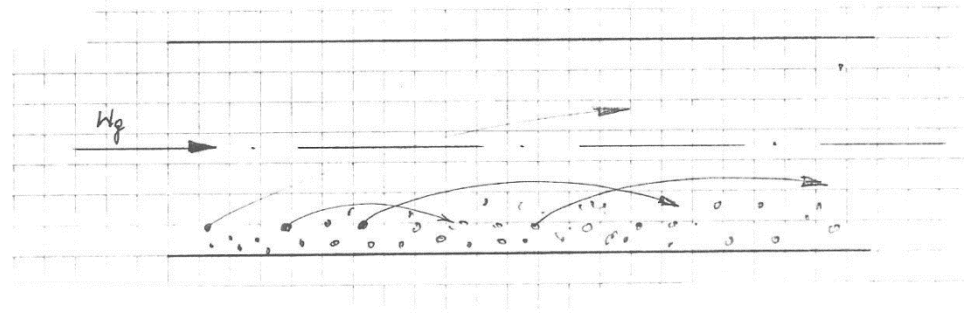
gdzie:  $s = w_g / w_s$

$x$  – odcinek rozpędzania lub hamowania materiału,  
 $\xi$  - wsp. uwzględniający dodatkowe straty (np. przy wprowadzaniu materiału do TP – zasysanie materiału), przykładowo dla ssaw zbożowych należy przyjąć  $\xi = 1,4$

# Modele lotnego TP

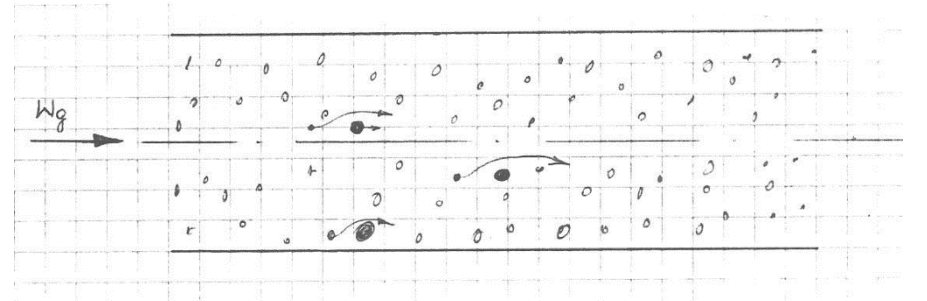
Modele lotnego (niskociśnieniowego) TP w rurociągu poziomym dla różnych wartości prędkości  $w_g$  pokazano na rysunkach poniżej.

Transport z małą prędkością  $w_g \cong w_{so}$



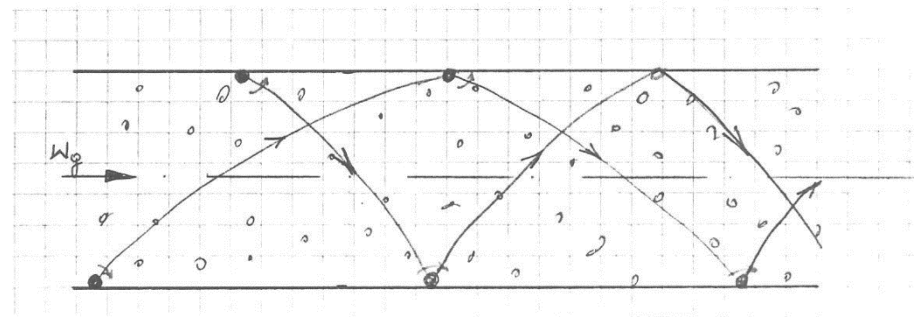
Transport rozwinięty (przepływ homogeniczny)

$w_g > w_{so}$   
 $w_g \cong 20 \text{ m/s}$



Transport pneumatyczny z dużą prędkością

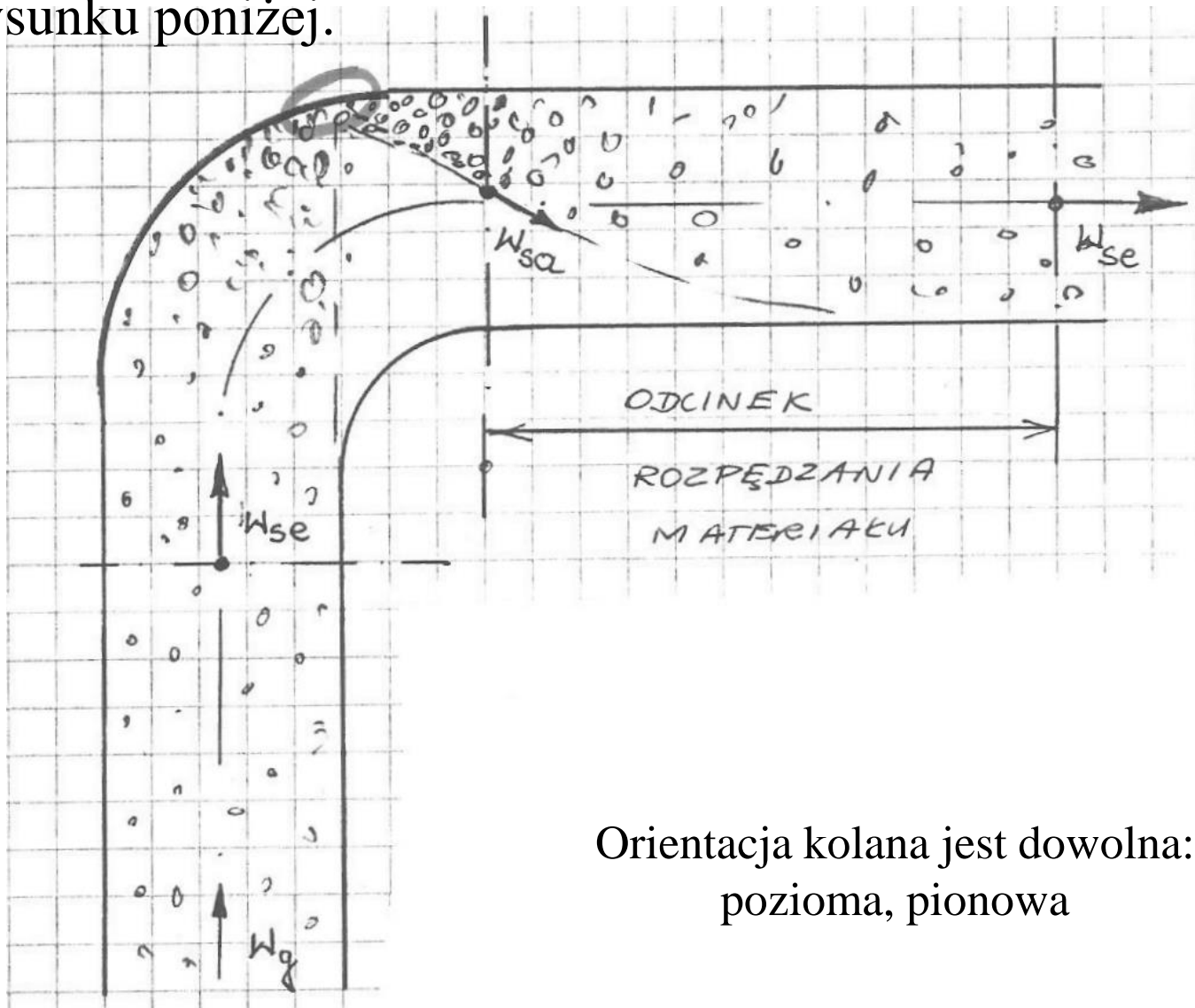
$w_g \gg w_{so}$   
 $w_g > 40 \text{ m/s}$



$w_{so}$  – prędkość unoszenia cząstek

# Modele lotnego TP

Obraz przepływu dwu-fazowego w kolanie pokazano na rysunku poniżej.

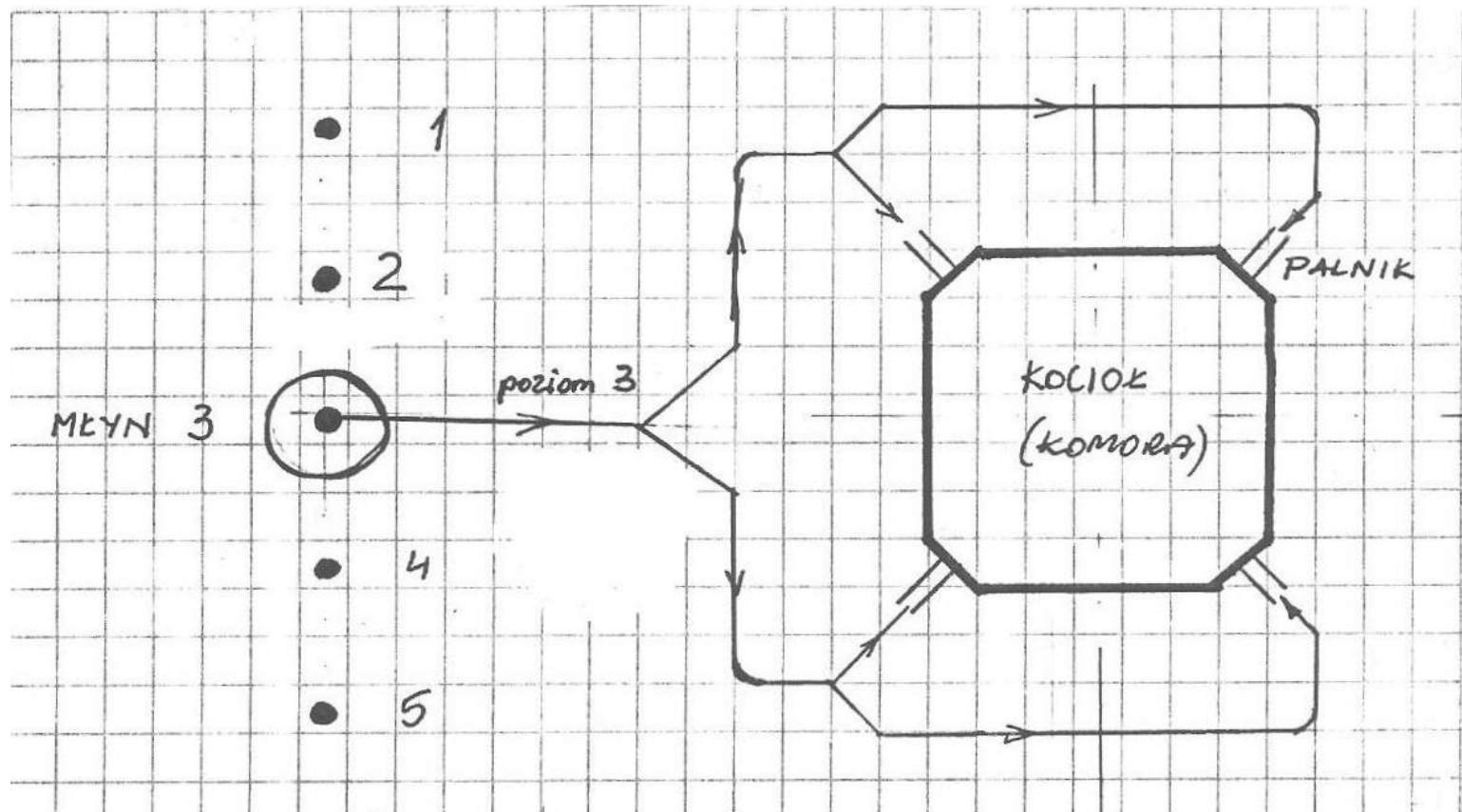


Orientacja kolana jest dowolna:  
pozioma, pionowa

# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Instalacja młynowa kotła pyłowego.

Przepływ dwu-fazowy w rozgałęzionej sieci niskociśnieniowego TP przedstawiony zostanie na przykładzie instalacji młynowej kotła pyłowego, zasilającej palniki narożnikowe pyłem węglowym.



# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## **Instalacja młynowa kotła pyłowego.**

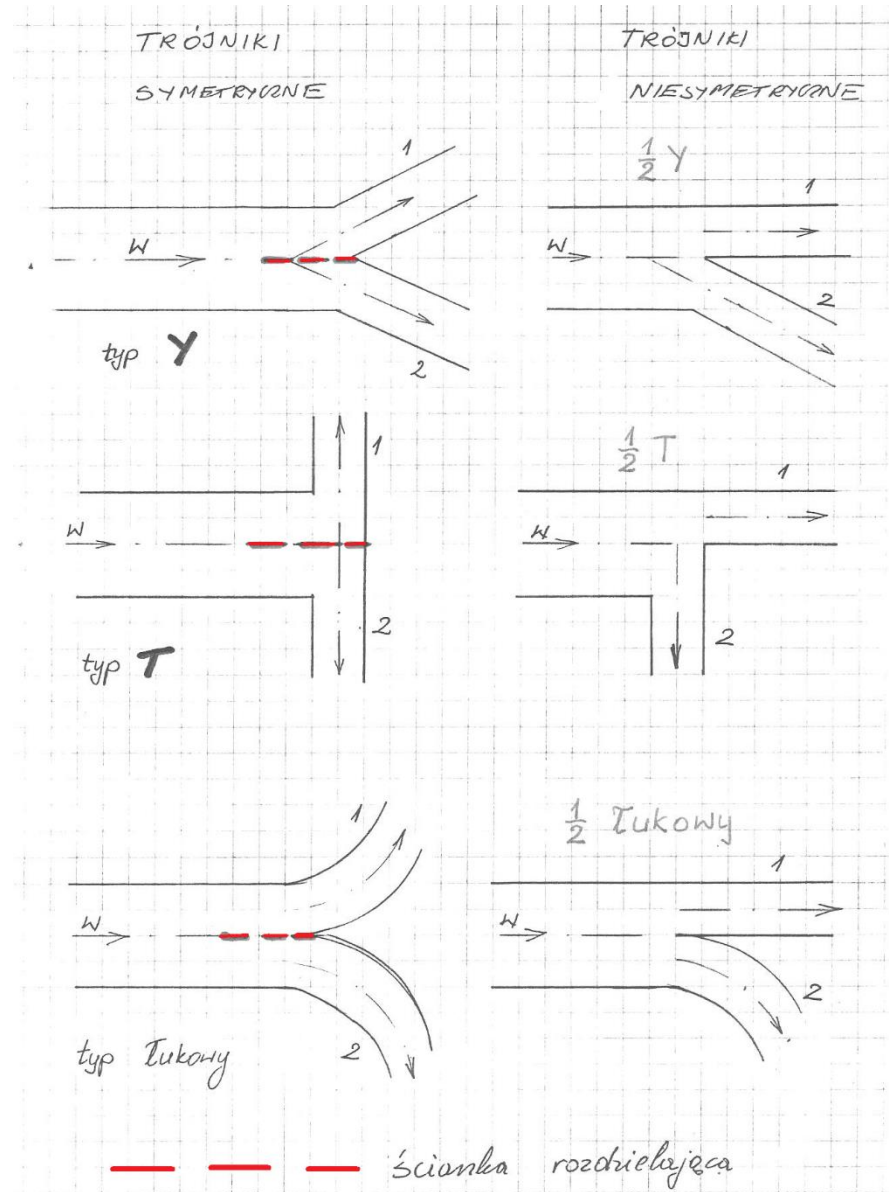
Instalację młynową stanowi rozgałęziona sieć rurociągów zawierająca np. symetryczne trójniki typu Y. W celu uzyskania równomiernego rozkładu temperatury w komorze paleniskowej kotła należy zapewnić równomierny rozdział transportowanej mieszaniny pyłowo-powietrznej do każdego palnika.

Oczekuje się, że ilość powietrza i pyłu doprowadzanego do każdego z 4-ch palników narożnikowych powinna wynosić 25% strumienia głównego.

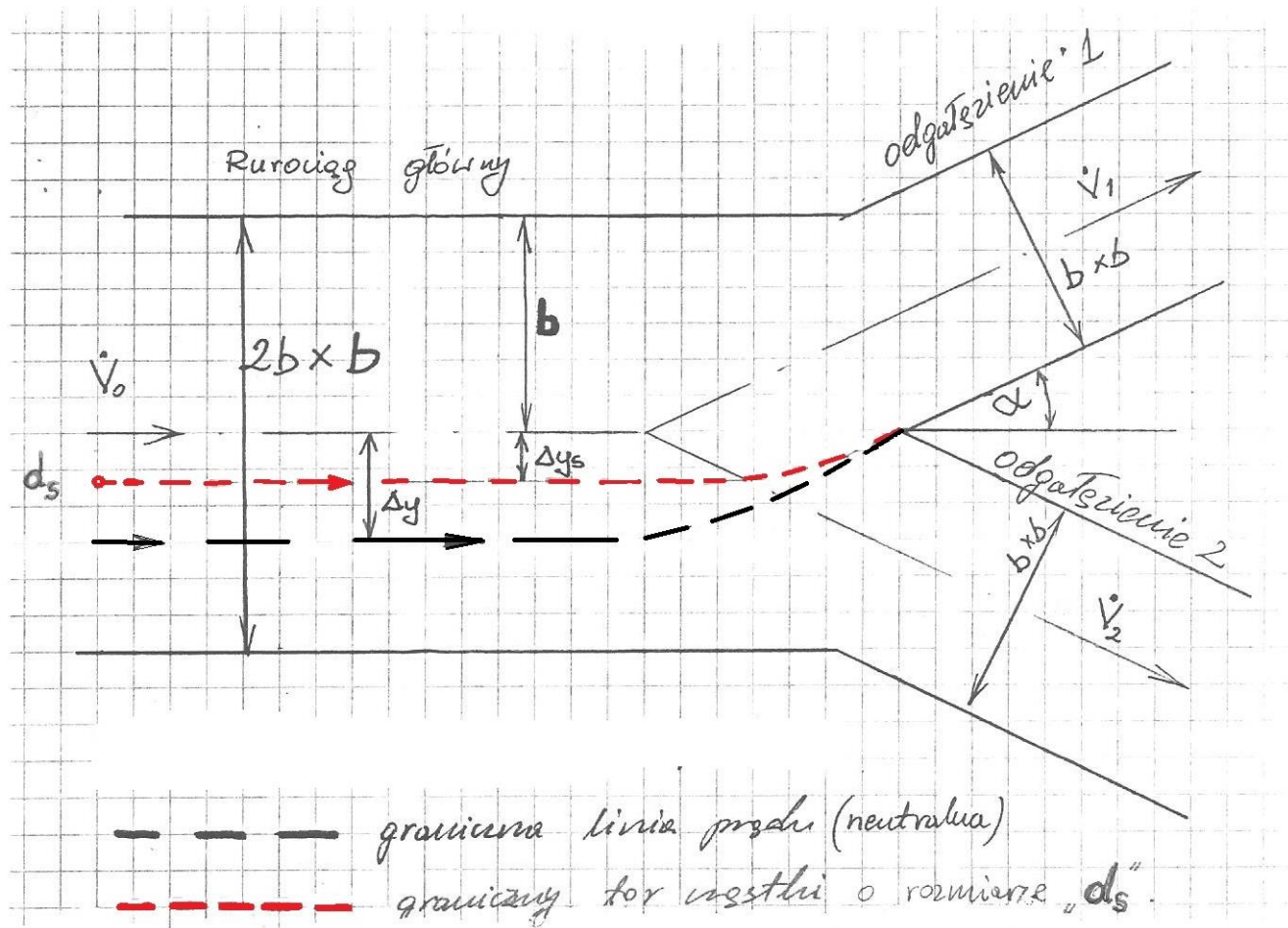


# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

Rodzaje typowych trójkątów symetrycznych i niesymetrycznych stosowanych w TP.



# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP



Model przepływu dwu-fazowego (lotny TP) w trójkącie symetrycznym typu Y

# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Rozpływ powietrza

Stopnie rozpływu powietrza (gazu) w trójniku:

$$\varphi_1 = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_0},$$

$$\varphi_2 = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_0},$$

$$\dot{V}_0 = \dot{V}_1 + \dot{V}_2,$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 1$$

gdzie:  $V_1$ ,  $V_2$  – strumień objętości powietrza odpowiednio w odgałęzieniu 1 i 2,

$V_0$  – strumień objętości powietrza w rurociągu głównym.

# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Rozpływ powietrza

Jak wynika z modelu przepływu dwu-fazowego w trójkniku, dla przypadku gdy  $V_1 > V_2$  i kanału o przekroju prostokątnym:

a) Strumień powietrza  $V_1$  wynosi:

$$\dot{V}_1 = 0,5\dot{V}_0 + \frac{\Delta y}{2b}\dot{V}_0 \quad /: \dot{V}_0$$

b) a stopień rozpływu powietrza opisuje zależność:

$$\varphi_1 = 0,5 + \frac{\Delta y}{2b}$$

# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Rozpływ pyłu

Przyjęto dodatkowo, że w przekroju poprzecznym rurociągu głównego na wlocie do trójnika rozkład stężenia pyłu jest równomierny. Można wtedy napisać następujący wzór na strumień masy materiału monodispersyjnego wchodzącego do 1-go odgałęzienia:

$$\dot{m}_{s1} = 0,5\dot{m}_{s0} + \frac{\Delta y_s}{2b} \dot{m}_{s0} \quad /: \dot{m}_{s0}$$

gdzie:  $\dot{m}_{s0}$  – strumień masy materiału unoszony powietrzem w rurociągu głównym.

Stopień rozdziału materiału monodispersyjnego w trójniku wynosi:

$$\varphi_{s1} = \frac{\dot{m}_{s1}}{\dot{m}_{s0}} = 0,5\left(1 + \frac{\Delta y_s}{b}\right)$$

# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Rozpływ pyłu

Przyjmując, że materiał jest polidispersyjny, w którym wyróżniono „n” frakcji, można obliczyć wartość stopnia rozdziału dla i-tej frakcji ze wzoru:

$$\varphi^p_{s1i} = 0,5 \left( 1 + \frac{K_i \Delta y_{si}}{b} \right)$$

gdzie:  $K_i$  – masowy udział i-tej frakcji

Dla całego materiału polidispersyjnego otrzymuje się:

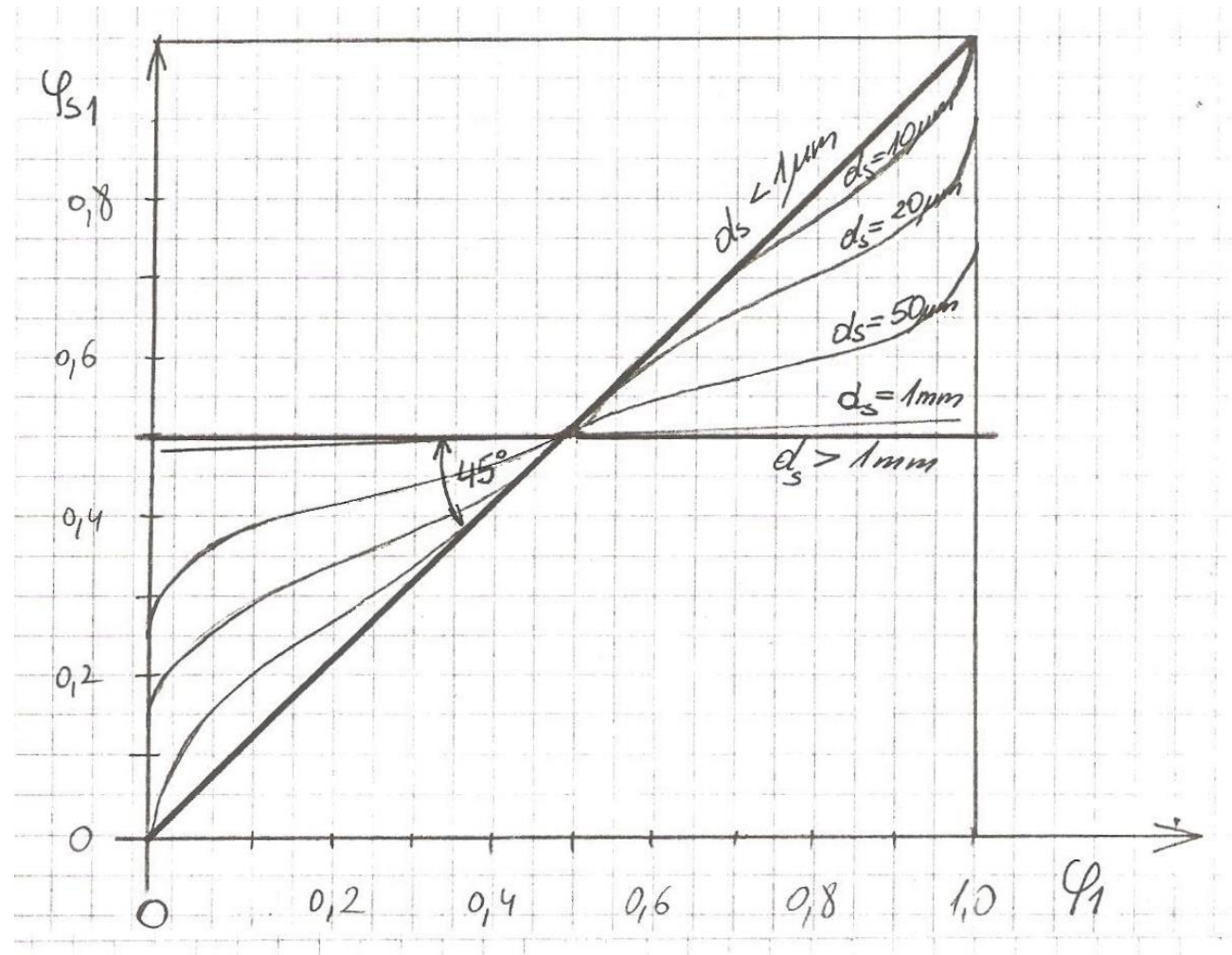
$$\varphi^p_{s1} = \sum_{i=1}^n \varphi^p_{s1i} = 0,5 + \frac{0,5}{b} \sum_{i=1}^n K_i \Delta y_{si}$$

# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Rozpływ pyłu

Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci wykresu

$$\varphi_{s1} = f(\varphi_1)$$



# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Wnioski

1. Jak wynika z wykresu  $\varphi_{s1}=f(\varphi_1)$  dla materiału zawierającego cząstki stałe o rozmiarach dużych tj.  $d_s > 1$  mm rozdział materiału do poszczególnych odgałęzień trójnika **nie zależy od rozptywu powietrza**:  $\varphi_{sj} = \varphi_j$ , gdzie j – numer odgałęzienia trójnika.
2. Dla materiału (pyłu) zawierającego tylko cząstki mniejsze od  $1\mu\text{m}$  rozdział pyłu w trójniku jest dokładnie **taki sam jak rozptyw powietrza**, czyli:  $\varphi_{sj} = \varphi_j$ .
3. Dla materiałów polidispersyjnych zawierających różne frakcje w przedziale od  $1\mu\text{m}$  do  $1\text{mm}$  rozdział będzie zależał od rozptywu powietrza w trójniku i od udziału „ $K_i$ ” poszczególnych frakcji w pyle, czyli:  $\varphi_{sj} = f(\varphi_j, K_i)$ .
4. Wg obliczeń teoretycznych orientacja trójnika pozioma lub pionowa nie ma istotnego wpływu na wartość stopnia rozdziału fazy stałej w trójniku.



# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## Wnioski

5. Duży wpływ na rozdział fazy stałej w trójniku ma przegroda wstawiona przed trójnikiem w osi symetrii kanału głównego. Powoduje ona przesunięcie granicy niezależności rozdziału materiału (pyłu)  $\varphi_s$  od rozptywu powietrza  $\varphi$  w kierunku drobniejszych frakcji np. dla  $d_s > 100 \mu\text{m}$ :  $\varphi_{sj} = \text{idem}$ .

## Konkluzja

W celu równomiernego rozdziału materiału (pyłu) w rozgałęzionej sieci należy najpierw wyrównać straty ciśnienia w jej odgałęzieniach. Po obliczeniu strat ciśnienia dla przepływu dwu-fazowego w poszczególnych odgałęzieniach  $\Delta_{Pmi}$  wybiera się takie odgałęzienie, dla którego  $\Delta_{Pm} = \Delta_{Pm}^{\text{max}}$ .

Dla pozostałych odgałęzień danej sieci określa się różnice ciśnień, które stanowią brakujące opory  $\Delta_{Pxi}$

$$\Delta_{Pxi} = \Delta_{Pm}^{\text{max}} - \Delta_{Pmi}$$

# Rozgałęziona sieć niskociśnieniowego TP

## **Konkluzja c.d.**

W instalacjach młynowych kotłów pyłowych stosuje się następujące elementy wyrównujące opory hydrauliczne w sieci:

- Zwężki segmentowe,
- Zwężki Venturiego,
- Zasuwy.

Elementy te są odporne na erozję i nie powodują osadzania się pyłu.

Jeżeli przed wlotem do symetrycznego trójkąta rozdzielającego zapewni się równomierny profil stężenia pyłu w przekroju poprzecznym kanału, a opory przepływu w sieci będą wyrównane, to można wtedy uzyskać (z wystarczającą dla praktyki dokładnością) równomierny rozdział pyłu do palników kotła.

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Stopniowanie średnicy rurociągu transportowego stosuje się w długiej linii transportu pneumatycznego (DLTP), służącej do przemieszczania materiałów na duże odległości. Maksymalna odległość TP dla danego materiału zależy od dysponowanej różnicy ciśnień (sprężu):

$$\Delta p = p_1 - p_2,$$

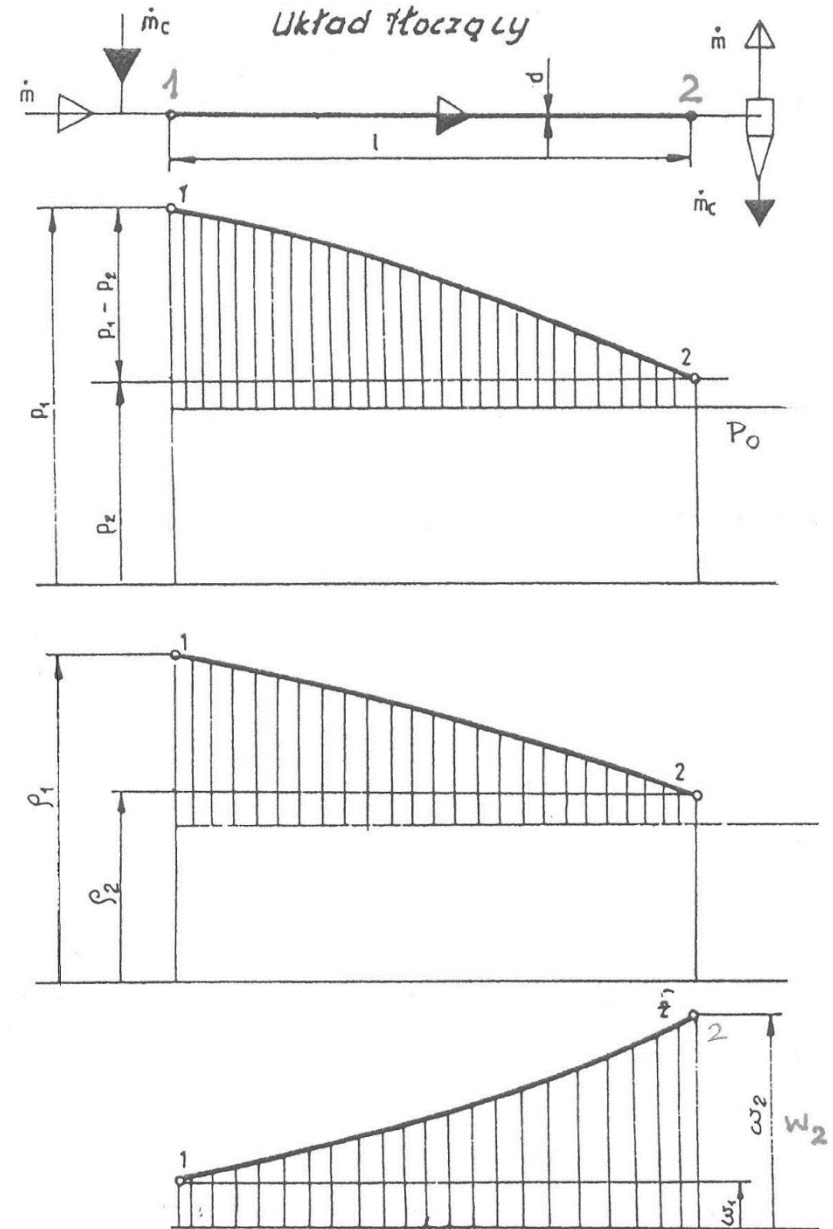
która jest konieczna do pokonania oporów przepływu między początkiem, a końcem rurociągu (o stałej średnicy  $d$ ) pokazanym na kolejnym rysunku.

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Punkt 1 oznacza podawanie materiału do rurociągu, a punkt 2 określa miejsce odbioru (separacji) tego materiału.

Rysunek obrazuje nieliniowe zmiany następujących parametrów przepływającego gazu (powietrza):

- ciśnienia  $P$ ,
- gęstości  $\rho$ ,
- prędkości  $w_g$ .



# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

W DLTP przy stałej średnicy rurociągu  $d$  opory przepływu dwu-fazowego zależą przede wszystkim od:

- odległości transportu,  $l$ ,
- koncentracji transportowej,  $\mu_M$ ,
- prędkości gazu transportującego,  $w_g$ .

Maksymalna odległość TP uzyskuje się przy:

- możliwie dużej dysponowanej różnicy ciśnień  $\Delta p$ ,
- małej koncentracji  $\mu_M$ ,
- małej prędkości  $w_g$ .

Podane warunki spełnia wysokociśnieniowy TP tłoczący z unoszeniem fazy rozproszonej.

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Dysponowana różnica ciśnienia może osiągać wartość maksymalną wynoszącą

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 0,4 \text{ MPa.}$$

Zmniejszenie strat ciśnienia w DLTP można uzyskać przez:

- zmniejszenie  $\mu_M < 10$ ,
- ograniczenie wzrostu  $w_g$  gazu rozprężającego się w rurociągu.

Rozprężający się w rurociągu gaz może spowodować **kilkukrotny wzrost prędkości końcowej**.

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Wzrost  $w_g$  jest niekorzystny ponieważ:

- wzrastają opory przepływu w DLTP,
- przyspiesza zużycie erozyjne końcowych elementów przenośnika,
- powoduje nadmierne rozdrabnianie i ścieranie transportowanego materiału.

W celu ograniczenia prędkości  $w_g$  w DLTP spowodowanej spadkiem ciśnienia (rozprężanie gazu) należy stopniować średnicę rurociągu.

Polega to na skokowym **zwiększaniu średnicy  $d$**  rurociągu **w kierunku wylotu** strumienia dwufazowego.

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Przyjmuje się minimalną prędkość gazu (prędkość dopuszczalną):

$$w_g = w_{go} \cdot$$

Zakłada się, że wzrost prędkości gazu w rurociągu transportowym będzie wynosił od 25 do 100%, czyli:

$$w_{g,max} = w_g + (25 \div 100\%)w_g = [1 + (0,25 \div 1,00)]w_g = (1,25 \div 2,00)w_g$$

Prędkość dopuszczalną  $w_g$  można wyliczyć ze wzoru doświadczonego:

$$w_g = w_{go} = 5,6 \cdot d^{0,34} \cdot \mu_M^{0,25} \cdot \left( \frac{\rho_s}{\rho_g} \right)^{0,5} \cdot \bar{d}_p^{0,36}$$



# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Strumień masy powietrza, zgodnie z równaniem ciągłości strumienia, wynosi:

$$\dot{m}_g = A \cdot w_g \cdot \rho_g$$

Dla ustalonego przepływu dwu-fazowego przez rurociąg o stałym przekroju  $A$ , zgodnie z równaniem ciągłości można napisać:

$$A \cdot w_g \cdot \rho_g = A \cdot w_{g1} \cdot \rho_{g1} = A \cdot w_{g2} \cdot \rho_{g2} = \text{const}$$

czyli prędkości masowe ( $w \cdot \rho$ ):

$$w_g \cdot \rho_g = w_{g1} \cdot \rho_{g1} = w_{g2} \cdot \rho_{g2} = \text{const}$$

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Korzystając z równania Clapeyrona:

$$P = \rho_g \cdot R \cdot T$$

Dla stałych  $R$ ,  $T = \text{const}$  można napisać:

$$\frac{P_1}{\rho_{g1}} = \frac{P_2}{\rho_{g2}} \Rightarrow \rho_{g2} = \frac{P_1}{\rho_{g1}} \cdot \rho_{g2}$$

wstawiając powyższe do wzoru na prędkości masowe:

$$w_{g1} \cdot \rho_{g1} = w_{g2} \cdot \rho_{g1} \cdot \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow w_{g1} \cdot P_1 = w_{g2} \cdot P_2 = \text{const}$$

Co pozwala wyznaczyć nieznanne ciśnienie w punkcie koniecznej zmiany średnicy rurociągu.

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

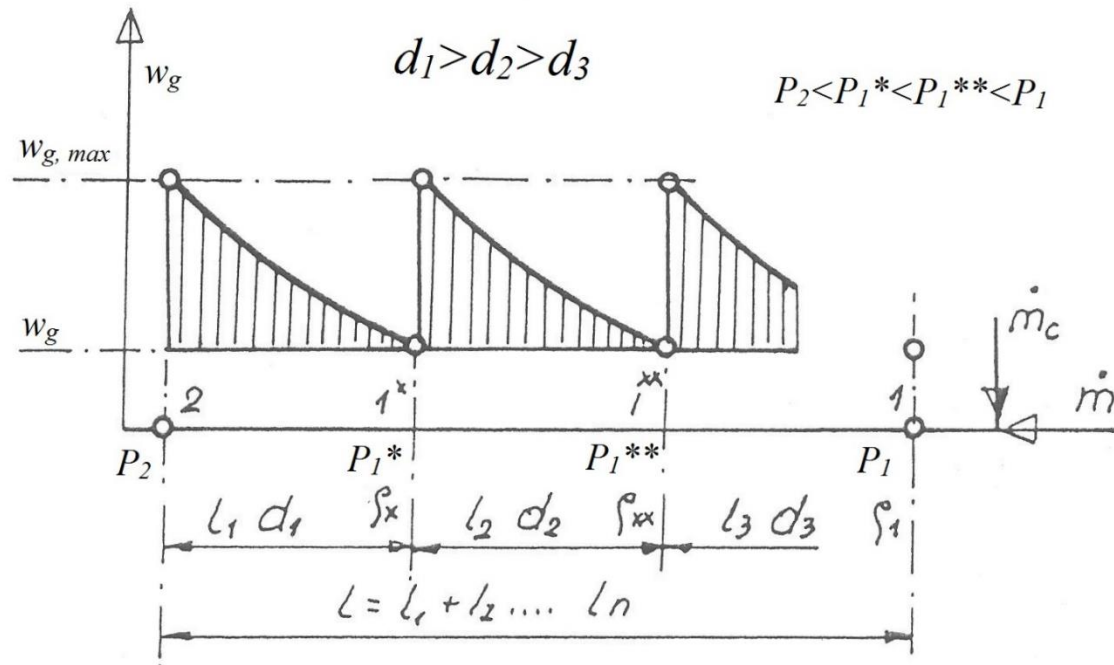
Zgodnie z rysunkiem w punkcie wylotowym 2 (przed separatorem materiału i filtrem) panują:

- ciśnienie:  $P_2 = P_{ot} + \Delta p_2$ 
  - $P_{ot}$  – ciśnienie otoczenia,
  - $\Delta p_2$  – strata ciśnienia w urządzeniu odbiorczym (cyklon, filtr)
- prędkość gazu:  $w_{g,max} = (1,25 \div 2,00) w_g$

W punkcie 1\* panuje ciśnienie absolutne (statyczne)  $P_1^*$  i prędkość gazu  $w_g$ .

Przy czym:

$$P_1^* > P_2$$



Kierunek przepływu od prawej!

# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Można więc napisać równanie prędkości masowych dla oznaczeń na rysunku:

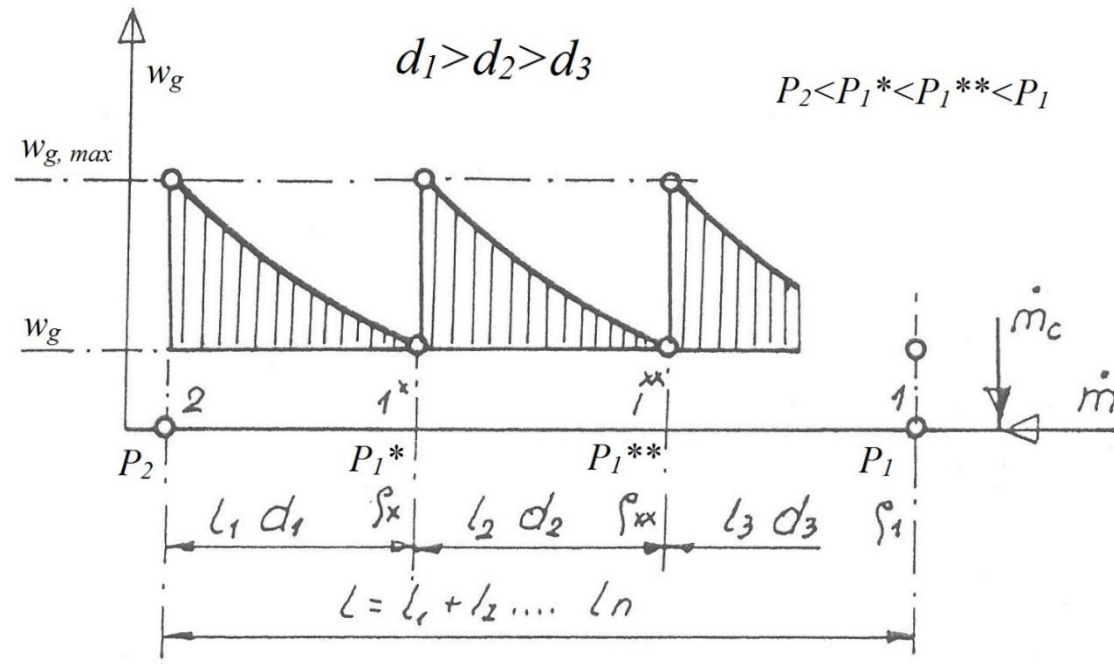
$$P_2 \cdot w_{g,max} = P_1^* \cdot w_g$$

co umożliwi obliczenie nieznanego ciśnienia w punkcie 1\* (zmiany średnicy rurociągu)

$$P_1^* = \frac{P_2 \cdot w_{g,max}}{w_g}$$

W punkcie 1\* należy zmienić średnicę rurociągu  $d_1$  na mniejszą tzn.  $d_2$  aby nie dopuścić do obniżenia prędkości gazu poniżej wartości:

$$w_g = w_{g,min} \cong w_{go}$$



# Zasady stopniowania średnicy rurociągu TP

Ogólnie stratę ciśnienia w odcinku (1-2) rurociągu o długości  $l$  i średnicy  $d$  określa równanie:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{l} = \frac{\lambda_m^l}{d} \left( \frac{\dot{m}_g}{A} \right)^2 \frac{\bar{P}_{1-2}}{\bar{\rho}_{g1-2}}$$

gdzie:

$$\bar{P}_{1-2} = \frac{P_1 - P_2}{2}$$

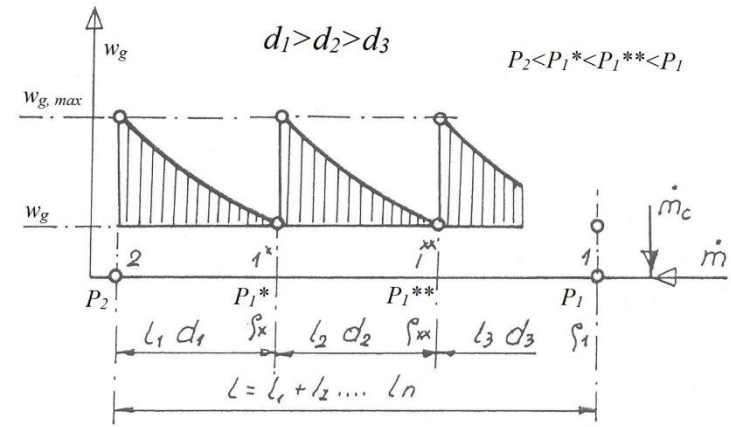
$$\lambda_m^l = \lambda_g + \mu_M \lambda_s^l = \lambda_g (1 + \mu_M \cdot k_G^l)$$

$$\bar{\rho}_{g1-2} = \frac{(\rho_{g1} + \rho_{g2})}{2}$$

Dla odcinka rurociągu 2-1\* otrzymuje się z powyższego wzoru:

$$\frac{P_{1^*}^2 - P_2^2}{l_1} = \frac{\lambda_m^l}{d_1} \left( \frac{\dot{m}_g}{A_1} \right)^2 \frac{\bar{P}_{1^*-2}}{\bar{\rho}_{g1^*-2}}$$

co umożliwia obliczenie poszukiwanej średnicy  $d_1$ .



## wykład 3

Zastosowania przenośników  
pneumatycznych do usuwania odpadów  
paleniskowych i pyłu wytrąconego w  
odpylaczach

# Odpopielanie pneumatyczne (OP)

W praktyce stosuje się następujące sposoby odpopielania:

- mechaniczne,
- hydrauliczne (grawitacyjne lub ciśnieniowe),
- pneumatyczne (ssawne lub tłoczne).

Wybór sposobu odpopielania zależy od:

- właściwości fizycznych i chemicznych popiołu,
- odległości transportu (długość linii),
- przewidywanego przeznaczenia popiołu,
- możliwości zaopatrzenia w wodę,
- kosztów urządzeń,
- przewidywanego zużycia energii.

# Odpopielanie pneumatyczne (OP)

Odpopielanie pneumatyczne stosuje się wtedy, gdy nie ma możliwości zastosowania odpopielania hydraulicznego tzn. jeżeli:

- występują trudności zaopatrzenia w wodę,
- popiół ma skłonności do cementowania się,
- odbierany popiół musi być suchy (np. do utylizacji w stanie nie związanym).

Przykładowo w chwili obecnej odpopielanie pneumatyczne stosuje się w szerokim zakresie do usuwania pyłu z lejów pod elektrofiltrami.



# Odpopielanie pneumatyczne (OP)

Zalety odpopielania pneumatycznego:

- małe zużycie wody (np. tylko do zraszania popiołu w czasie załadunku na otwarte pojazdy transportowe),
- możliwość wykorzystywania popiołu w budownictwie,
- małe zapotrzebowanie miejsca na zabudowę instalacji,
- automatyczna praca urządzeń.

Wady odpopielania pneumatycznego:

- konieczność używania niskosprawnych urządzeń (pompy próżniowe, ejektory, wentylatory),
- konieczność kruszenia brył żużla (kruszarki żużla za lejem żużlowym  $d_p < 15-20$  mm).

W OP ssawnym woda dodatkowo jest potrzebna do uzupełniania:

- filtrów wodnych (separujących pył),
- pomp próżniowych rozbryzgowych.

# Odpopielanie pneumatyczne (OP)

Przy składowaniu popiołu na zwałach należy go zraszać, aby zapobiec pyleniu. Wtedy należy zapewnić dodatkową ilość wody:  $m_w = 7\% m_p$ ,

gdzie:  $m_p$ -masa pyłu,  $m_w$ -masa wody.

Jeżeli popiół przeznaczony jest do dalszego przerobu, to transportuje się go do przetwórci w stanie suchym (pneumatycznie lub w specjalnych wagonach).

Wada instalacji OP jest ponadto, w porównaniu do inst. hydraulicznych, większe zapotrzebowanie mocy, bardziej skomplikowana aparatura, szczególnie w części oddzielającej popiół od powietrza transportującego, większe zużycie samej instalacji trudności zachowania szczelności oraz występujące niemal zawsze wtórne pylenie, zwłaszcza przy przesypywaniu popiołu.

# Odpopielanie pneumatyczne (OP)

Odpopielanie umożliwia:

- Usuwanie żużla i popiołu lotnego z lejów popielnikowych pod kotłami i z lejów pod urządzeniami odpylającymi,
- Transport żużla i popiołu lotnego na teren składowiska lub miejsca przerobu,
- Składowanie żużla i popiołu lotnego.

Całkowita masę popiołu wytworzonego w ciągu roku wyznaczyć można ze wzoru:

$$P=B \cdot A^r (100-U/100-C), \text{ ton/rok}$$

gdzie:

P – masa popiołu, t/rok

B – roczne zużycie paliwa, t/rok

$A^r$  – zawartość popiołu w stanie roboczym

U – ubytek udziału popiołu w wyniku odparowania niektórych jego składników w wysokich temperaturach 5-40, %,

C – zawartość części palnych w popiele, %

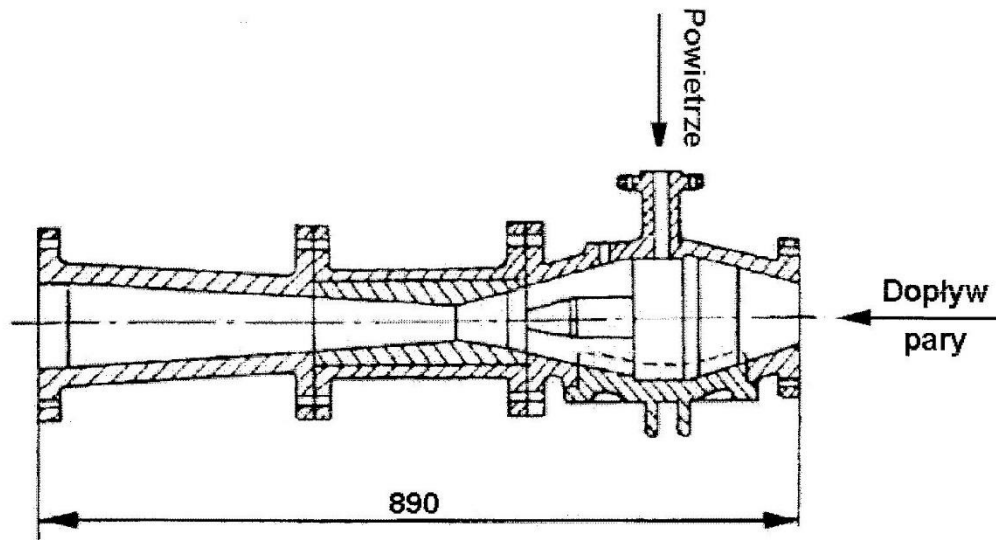
# Odpopielanie pneumatyczne ssawne

Odpopielanie pneumatyczne ssawne (podciśnieniowe) polega na odsysaniu mieszaniny powietrza z drobnym żużlem lub popiołem lotnym z podajników zainstalowanych pod lejami popiołowymi kotłów i/lub odpylaczy spalin, a następnie przesyłaniu jej rurociągami do miejsca odbioru/składowania.

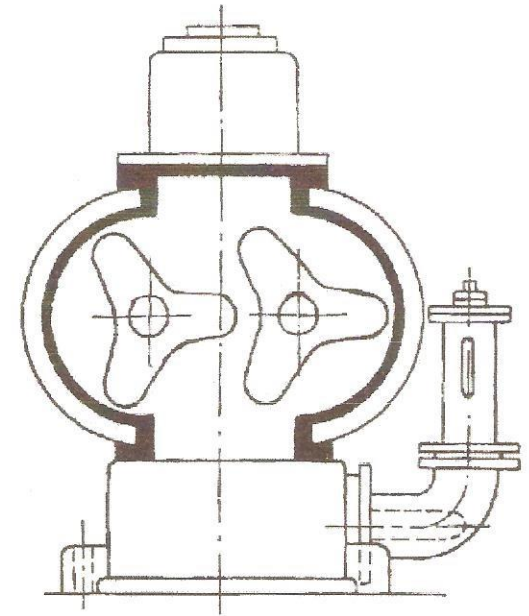
Urządzenie ssawne wytwarza podciśnienie niezbędne do zassania mieszaniny popiołu i powietrza oraz do pokonania oporów przepływu mieszaniny przez rurociągi i urządzenia rozładownicze (np. cyklon). Do zasysania powietrza w instalacjach ssawnych stosuje się:

- smoczki parowe,
- pompy rotacyjne,
- pompy tokowe,
- pompy próżniowe rozbryzgowo,
- wentylatory.

# Odpopielanie pneumatyczne ssawne



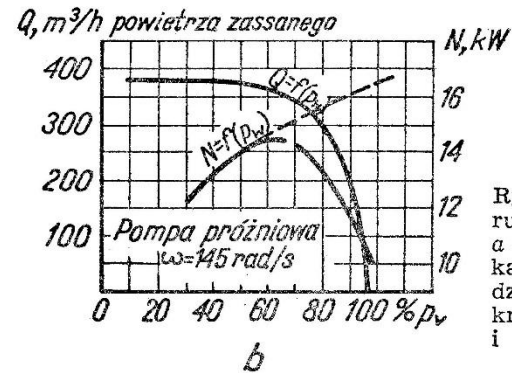
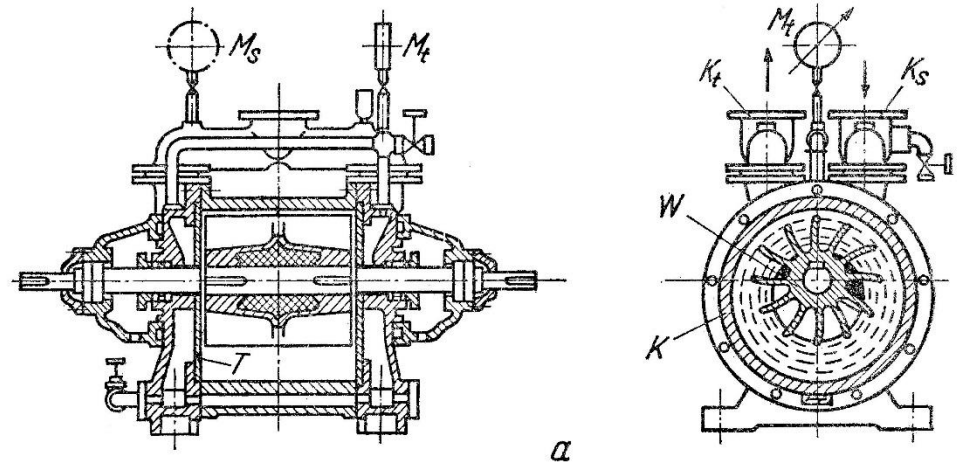
Smoczek parowy: niska sprawność, duże zużycie pary (ok. 1 kg pary/1kg powietrza), generowanie hałasu, urządzenie rezerwowe.



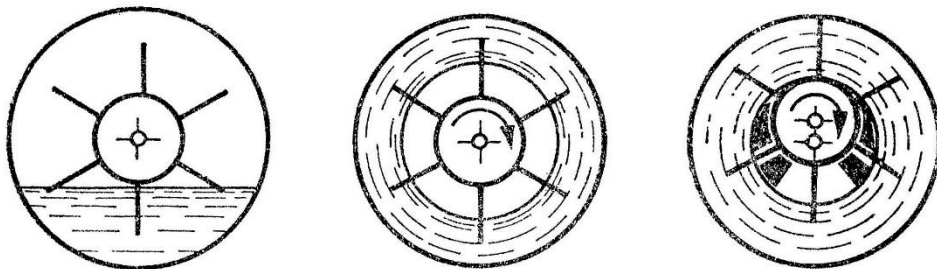
Pompa rotacyjna, wysoka sprawność, małe podciśnienie (ok. 15,5 kPa), szybkie zużywanie się elementów.

# Odpopielanie pneumatyczne ssawne

Pompy próżniowe z wirującym pierścieniem wodnym dają 85% próżni, nie są wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza, jak że w pierścieniu wodnym następuje wydzielanie drobnych zanieczyszczeń stałych.



Rys. 33. Pompa próżniowa z wirującym pierścieniem wodnym: a — budowa, b — charakterystyka; K — kadłub, T — tarcza rozdzielcza, W — wirnik, K<sub>s</sub> i K<sub>t</sub> — króćce ssawny i tłoczny, M<sub>t</sub> i M<sub>s</sub> — manometry na ssaniu i tłoczeniu

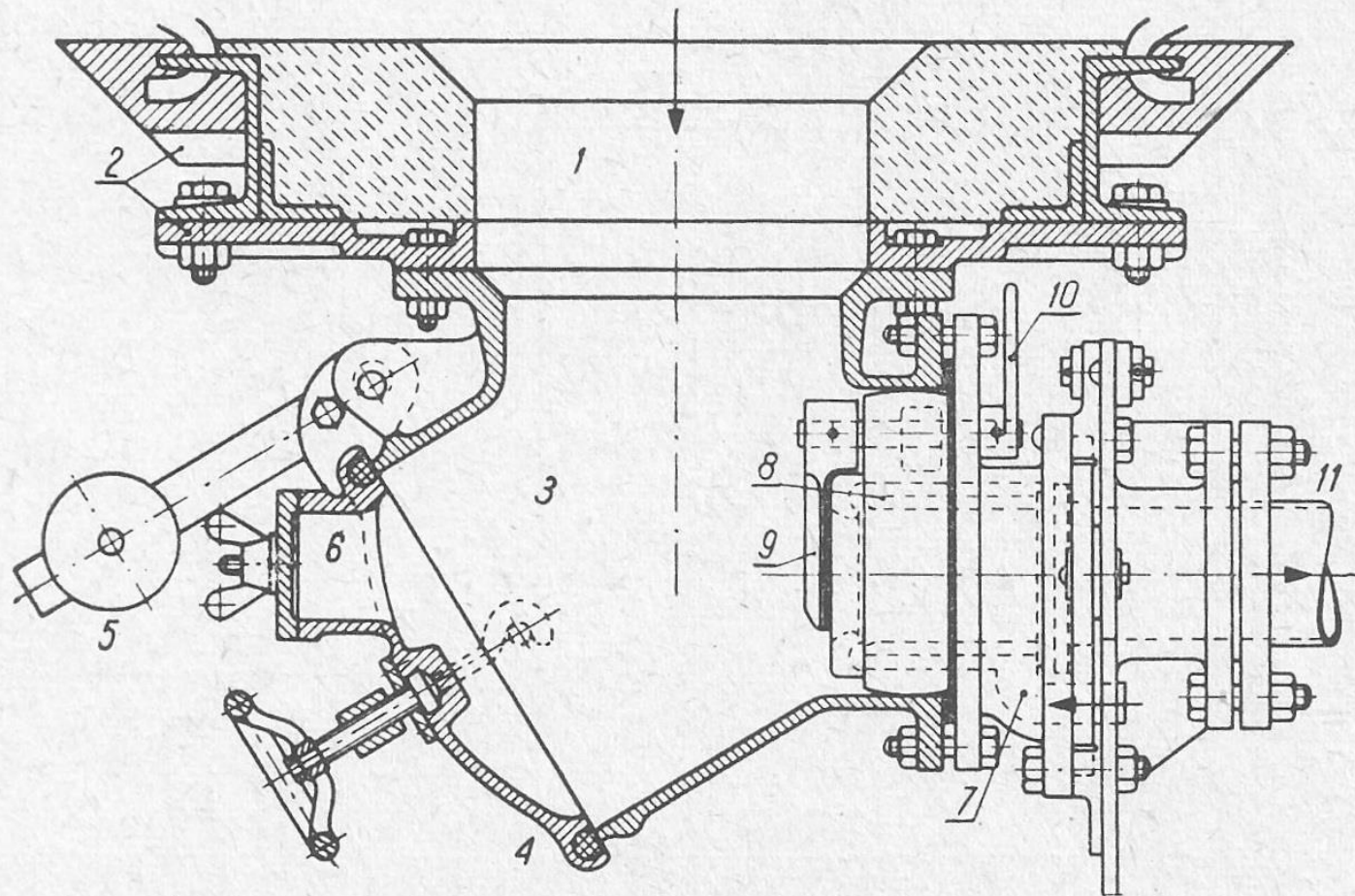


# Odpopielanie pneumatyczne ssawne

Instalacje ssawne zazwyczaj wykonane są następująco:

- Pod lejami popiołowymi kotła umieszczona jest skrzynka ssawna z zamontowaną dyszą ssącą. Powyżej skrzynki znajduje się zasuwka popiołowa oddzielająca ją od leja popiołowego.
- Pod wylotami lejów żuźlowych (w paleniskach pyłowych pod komorą paleniskową) pomiędzy zasuwką, a skrzynką znajdują się kruszarki do rozdrabniania żuźla do wielkości ok 20 mm (max. 40 mm).
- Popiół i żużel odprowadza się rurociągiem do stacji oddzielającej w postaci np. cyklonu.
- Powietrze zasysane z cyklonów przez urządzenie zasysające jest zanieczyszczone drobnymi cząstkami popiołu.

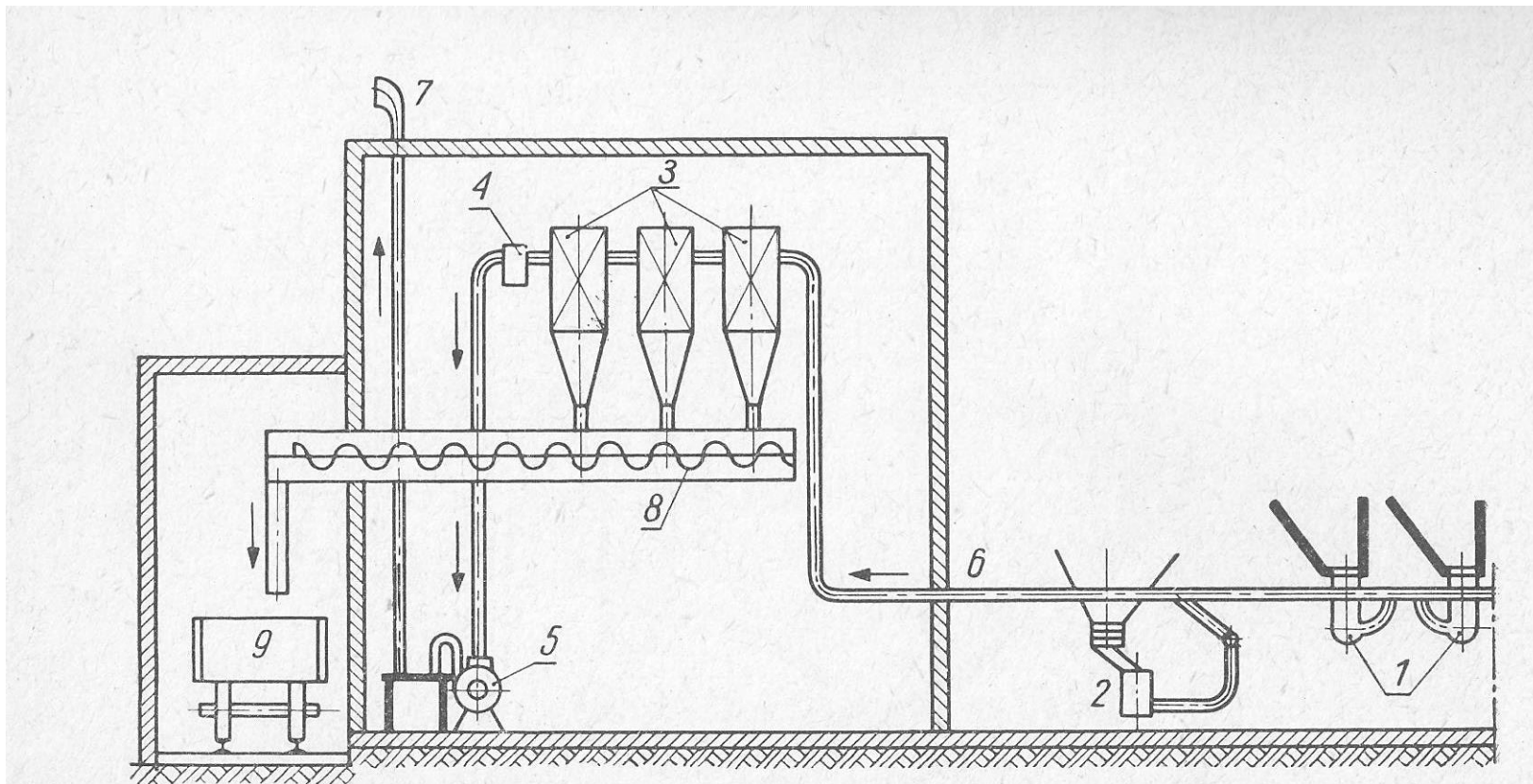
# Odpopielanie pneumatyczne ssawne



Rys. 16-6. Podajnik do pneumatycznego odpopielania ssawnego: 1 — lej popielnikowy z wykładziną ognioodporną; 2 — rama; 3 — głowica podajnika; 4 — otwór boczny z uszczelnioną pokrywą; 5 — dźwignia z obciążnikiem; 6 — wziernik; 7 — dopływ powietrza „wtórny”; 8 — kanał pierścieniowy przy rurze ssawnej; 9 — zasuwa odcinająca; 10 — dźwignia do uruchamiania zasuwy; 11 — rurociąg ssawny



# Odpopielanie pneumatyczne ssawne



Rys. 16-7. Schemat urządzenia pneumatycznego odpopielania ssawnego: 1 — podajnik popiołu; 2 — podajnik z kruszarką żużla; 3 — cyklony; 4 — filtr powietrza; 5 — pompa próżniowa ze zbiornikiem wody; 6 — rurociąg ssawny; 7 — rurociąg powietrza odlotowego; 8 — przenośnik ślimakowy; 9 — wagon

# Odpopielanie pneumatyczne ssawne

Parametry OP ssawnego:

- Prędkość przepływu mieszanki popiołu i powietrza w przewodzie ssawnym wynosi 30-40 m/s.
- Podciśnienie w tym przewodzie waha się w przedziale 0,02-0,06 MPa w zależności od odległości transportu.
- Stosunek ilości powietrza do ilości popiołu  $\mu=1-10$ .
- Wydajność układu odpopielania ssawnego wynosi: 2,8-5,6 kg/s.
- Odpopielanie ssawne stosuje się najczęściej do transportu popiołu na niewielkie odległości: do 100 m.

# Odpopielanie pneumatyczne ssawne

Zalety OP ssawnego:

- Transport popiołu spod lejów pod kotłami jest bardzo prosty
- Rurociągi odprowadzające popiół zajmują mało miejsca, co pozwala na ich łatwe prowadzenie pomiędzy istniejącym wyposażeniem.
- Jeżeli urządzenia transportowe są nieszczelne (np. wskutek wytarcia elementu) to pomieszczenie kotłowni nie ulega zapyleniu, gdyż powietrze jest zasysane
- Odpopielanie ssawne stosuje się najczęściej do transportu popiołu na niewielkie odległości: do 100 m.

# Odpopielanie pneumatyczne ssawne

Wady OP ssawnego:

- Ograniczony zasięg, co powoduje, że znajduje zastosowanie głównie w części wewnętrznej (np. kotłowni)
- Stosunkowo szybkie wycieranie się aparatury i rurociągów. Zjawisko to występuje głównie w miejscach nagłej zmiany kierunku przepływu (kolana, cyklon).
- Możliwość odpopielania tylko jednego punktu (np. skrzynka ssawna pod lejem).
- Trudności w wykryciu nieszczelności.p

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

W obiektach gdzie użytkowane są duże jednostki kotłowe konieczne jest składowanie ogromnych ilości popiołu często na zwałach oddalonych na znaczne odległości od kotłowni. W takich sytuacjach zastosowanie znalazły instalacje odpopielania tłoczego, do transportu lotnych popiołów na odległości liczone nawet w kilometrach.

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

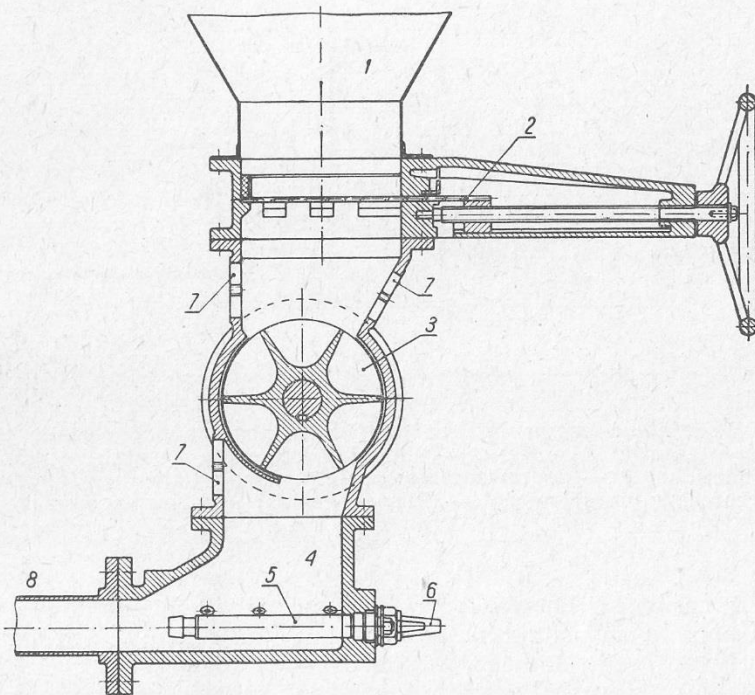
Instalacje tłoczne buduje się zazwyczaj jako dwustopniowe:

- Pierwszy stopień: odbiór pyłu z punktów odbioru (np. leje pod elektrofiltrem) do blisko posadowionych zbiorników pośrednich, przy użyciu aparatów wydmuchowych lub rynien aeracyjnych,
- Drugi stopień do transportu ze zbiornika pośredniego do końcowego realizowany jest za pomocą pyłowych pomp ślimakowych lub pomp zbiornikowych (inaczej zasilacz komorowy).

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

W pierwszym stopniu **aparaty wydmuchowe** przyłączone mogą być oddzielnie lub grupami do rurociągów doprowadzających pył do zbiornika pośredniego. Popiół gromadzony jest w zbiorniku a powietrze po oczyszczeniu np. w baterii cyklonów kierowane jest atmosfery lub na wlot do odpylacza głównego. Stosuje się możliwie krótkie trasy rurociągów (10-40 m), ponieważ ze wzrostem odległości wydajność aparatów szybko spada przy stałym zużyciu powietrza.

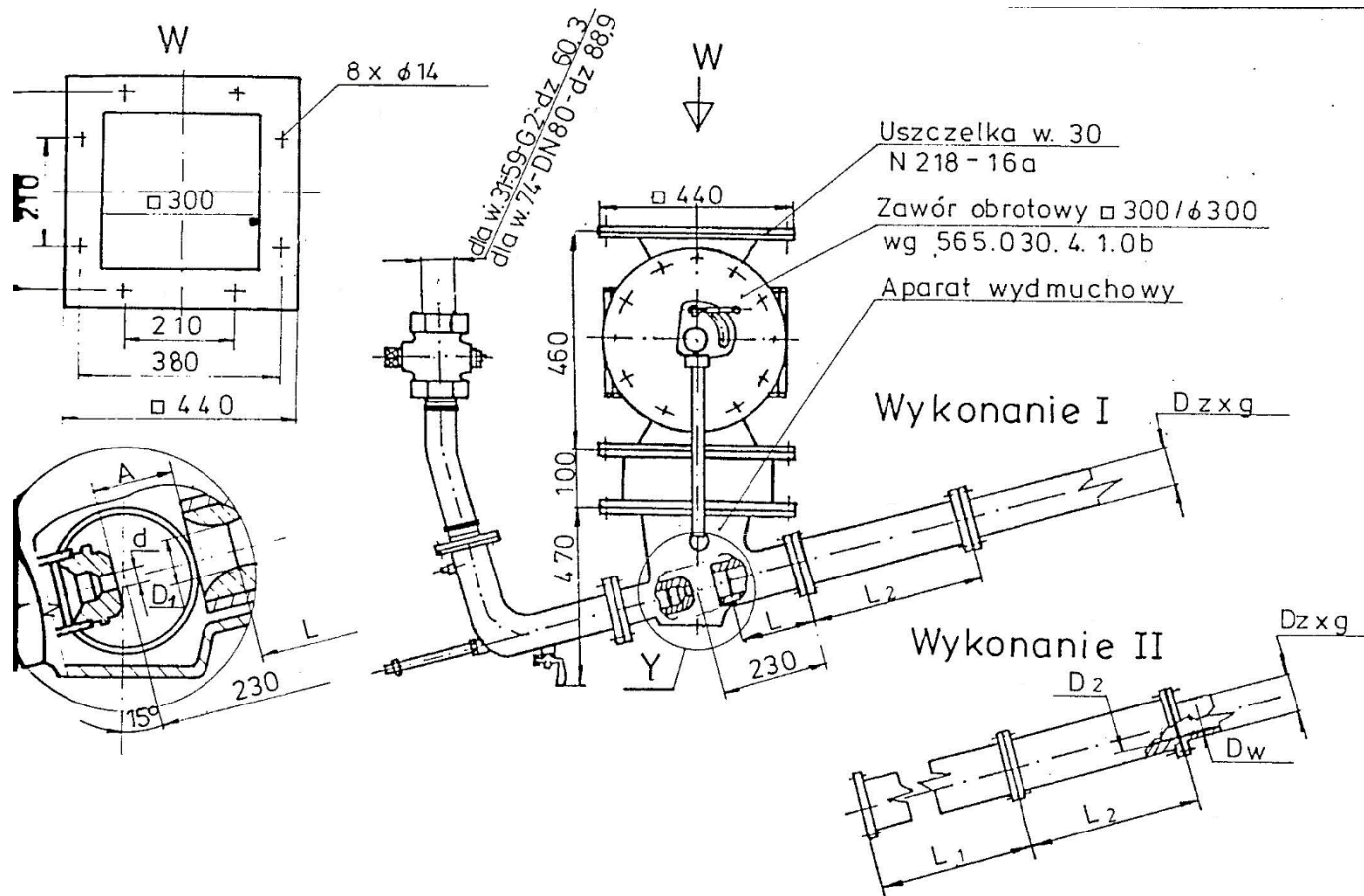
# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne



Rys. 16-8. Podajnik z dozownikiem komorowym do pneumatycznego odpopielania tłoczego: 1 — lej popielnikowy; 2 — zasuwa odcinająca; 3 — dozownik komorowy; 4 — komora robocza; 5 — dysza powietrzna; 6 — doprowadzenie powietrza (pod ciśnieniem); 7 — otwory rewizyjne; 8 — rurociąg przesyłowy



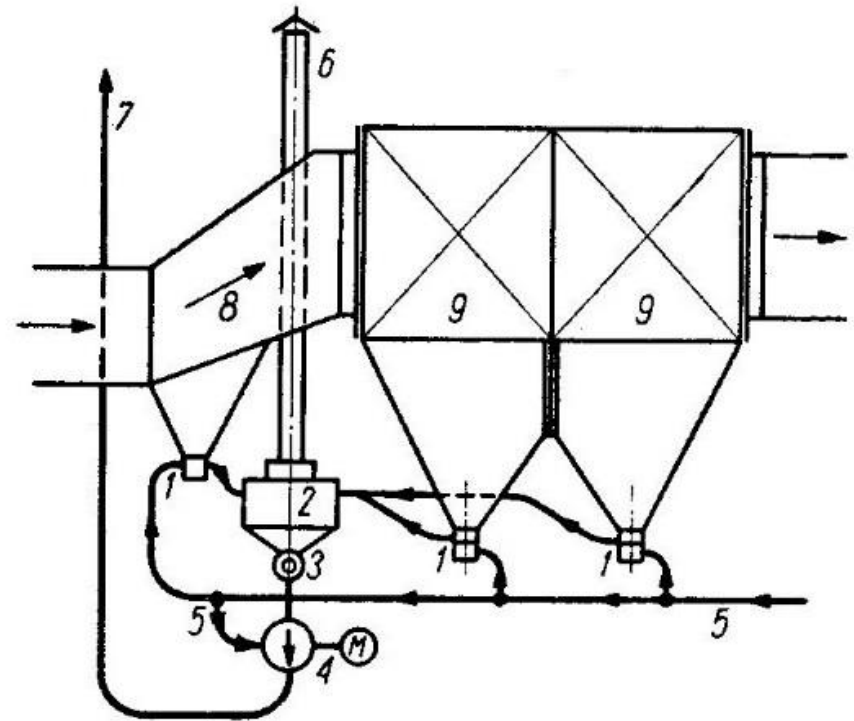
# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne



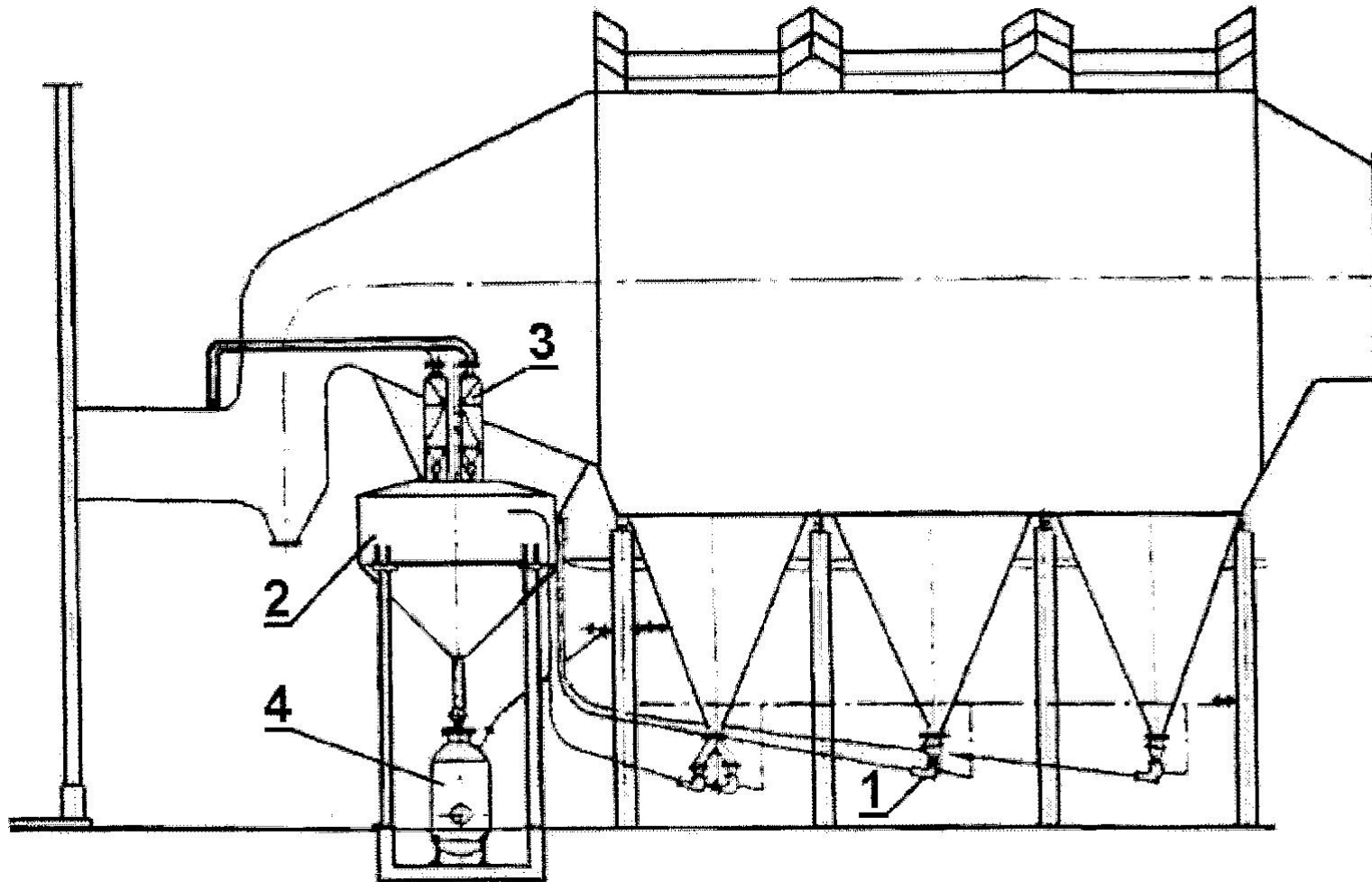
Aparat wydmuchowy

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

Rys. 16-10. Schemat urządzenia pneumatycznego odpopielania tłocznego: 1 — podajnik; 2 — oddzielnik pyłu; 3 — zasuwa bębnowa; 4 — pompa Fullera (dozownik); 5 — rurociąg powietrza nośnego; 6 — odpowietrzenie; 7 — rurociąg tłoczny; 8 — kanał spalin; 9 — elektrofiltry

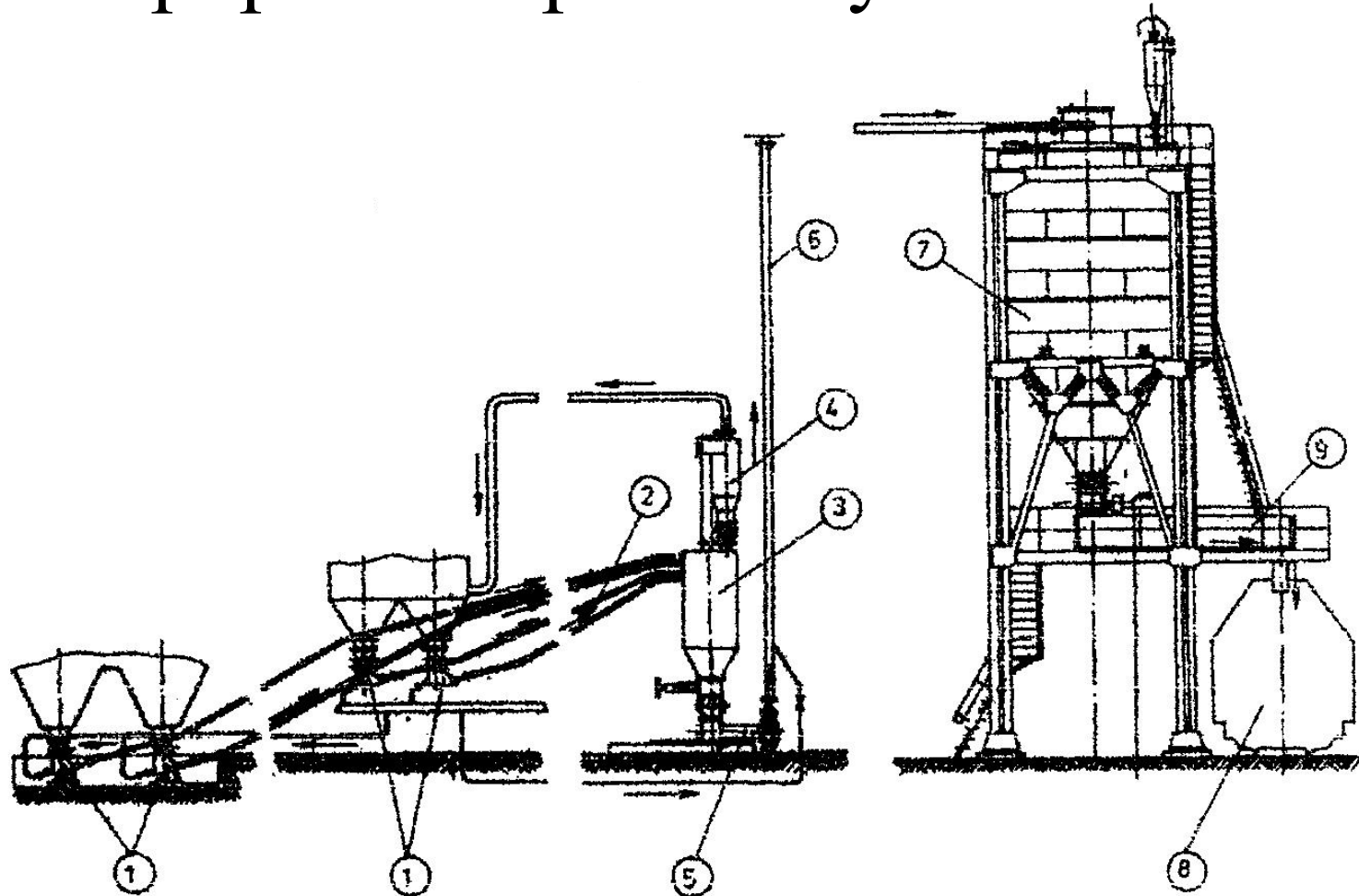


# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne



Instalacja tłoczna: 1-aparat wydmuchowy, 2-zbiornik, 3-bateria cyklonów (oddzielacz), 4-pompa zbiornikowa (do transportu dalekiego)

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne



Układ tłoczny z aparatami wydmuchowymi: 1-aparat wydmuchowy, 2-przewody przesyłowe bliskie, 3-pośredni zbiornik popiołu, 4-bateria cyklonów, 5-pompa pyłowa, 6-przewody przesyłowe dalekie, 7-zbiornik retencyjny (końcowy), 8-wagon, 9-przenośnik ślimakowy

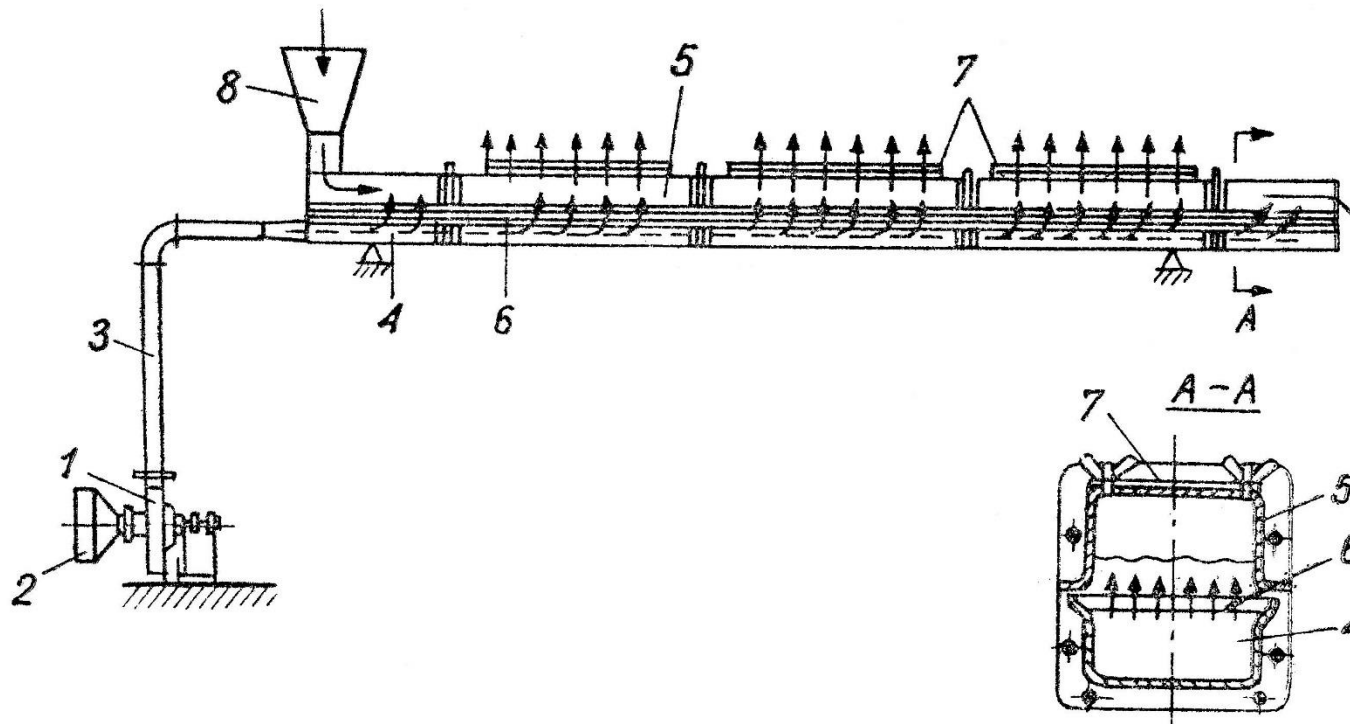
# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

W systemach transportu bliskiego stosuje się również **rynny aeracyjne**, które składają się z dwóch części: koryta górnego i dolnego. Koryta te oddzielone są od siebie wkładką filtracyjną (np. w postaci filcu technicznego o grub. 20 mm).

Koryto dolne zasilane jest sprężonym powietrzem, które jest czynnikiem nośnym dla transportowanego pyłu. Powietrze z koryta dolnego pod ciśnieniem ok. 3 kPa przenika przez warstwę wkładu aeracyjnego do koryta górnego, gdzie nad jego powierzchnią tworzy poduszkę powietrzną.

Warunkiem prawidłowego transportowania pyłu za pomocą rynny jest jej ustawienie w stosunku do poziomu pod określony kąt, zwykle: 3-5°.

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne



Rys. 114. Schemat przenośnika aeracyjnego: 1 — wentylator, 2 — filtr, 3 — przewody doprowadzające, 4 — komora dolna, 5 — komora górna, 6 — przegroda, 7 — wylot powietrza, 8 — zasilacz materiału

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

W stosowanych rozwiązaniach pył z leja zbiorczego zsypuje się do górnego koryta rynny areacyjnej i pod wpływem siły ciężkości i powietrza jako czynnika nośnego swobodnie spływa do punktu odbioru, powietrze transportowe odprowadzane jest do odpylacza. W zależności od wymiarów rynny i jej nachylenia uzyskuje się wydajności: 20-40 /h (5,5-11 kg/s).

Zapotrzebowanie powietrza wynosi: 0,05 m<sup>3</sup>/s (180 m<sup>3</sup>/h) na 1m<sup>2</sup> powierzchni przegrody przy ciśnieniu 2-3 kPa.

Zalety rynien aeracyjnych to: małe zużycie powietrza i energii elektrycznej brak elementów ruchomych. Wadą jest konieczność zachowania spadków, co wymaga zapewnienia odpowiedniej wysokości zabudowy lejów popiołowych.

# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

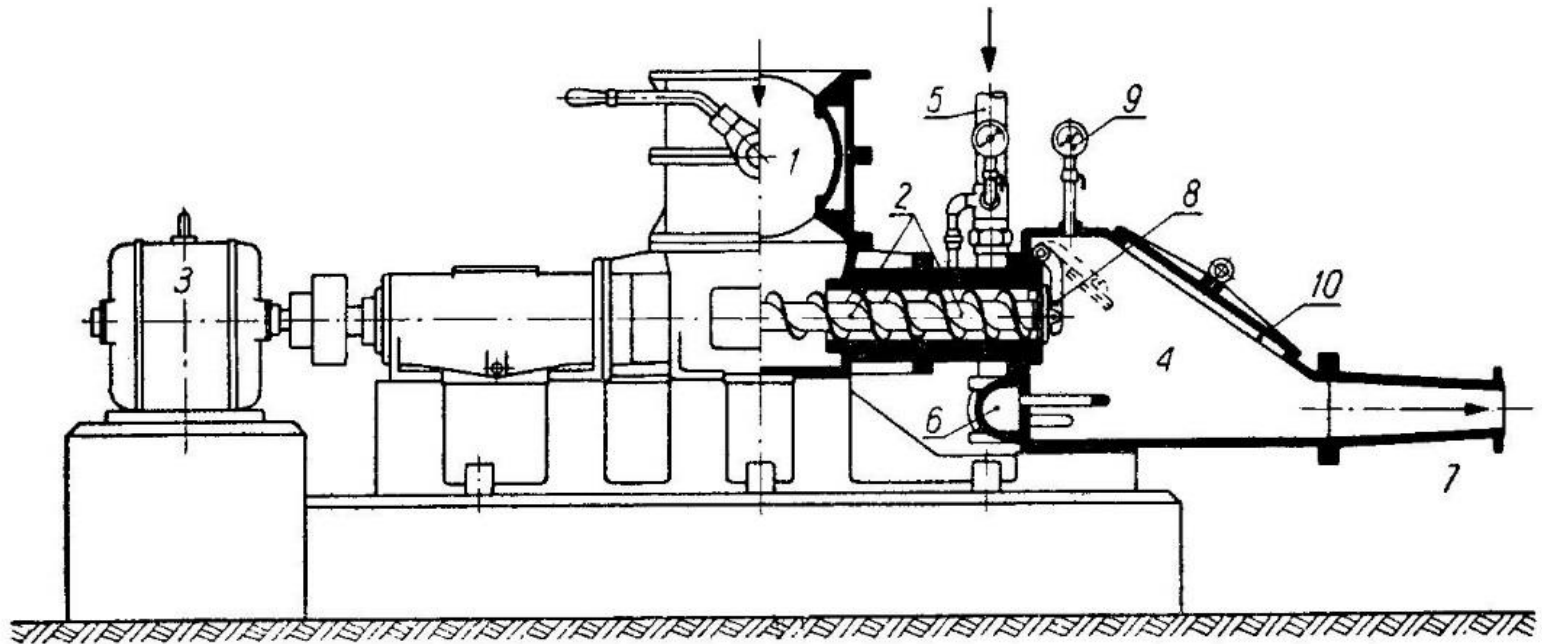
W **drugim stopniu** instalacji odpopielania pneumatycznego tłoczego stosuje się pyłowe **pompy ślimakowe i pompy zbiornikowe**.

W tych układach transportowych każda pompa pracuje na osobny rurociąg. Dla wyrównania (ograniczenia wzrostu) prędkości stosuje się stopniowanie średnic rurociągów transportowych w miarę obniżania ciśnienia. Rurociągi doprowadzone zostają do zbiorników retencyjnych wyposażonych w urządzenia do oczyszczania powietrza (cyklony, filtry tkaninowe) zbiorniki opróżniane są na wagon przy wykorzystaniu podajników ślimakowych z możliwością zraszania wodą, lub na przENOŚniki do transportu na składowisko – zależnie od przyjętego rozwiązania.



# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

**Pompy ślimakowe (Fullera)** pracują w trudnych warunkach, a końcowy segment ślimaka i wirnik wymagają częstej wymiany. Przy pracy na większe odległości (600-800 m) osiąga małe wydajności 3,0-4,2 kg/s (10-15 t/h) przy dużym ciśnieniu (ok. 0,5 MPa) i zużyciu powietrza 0,5 m<sup>3</sup>/s (1800 m<sup>3</sup>/h).



Rys. 16-9. Podajnik z pompą Fullera do pneumatycznego odpopielania tłoczego:  
1 — zawór z zasuwą bębnową; 2 — ślimak dozujący; 3 — silnik napędowy; 4 — komora podajnika; 5 — doprowadzenie powietrza; 6 — kanał powietrza z dyszami; 7 — rurociąg przesyłowy; 8 — kłapa zwrotna; 9 — manometr; 10 — otwór rewizyjny

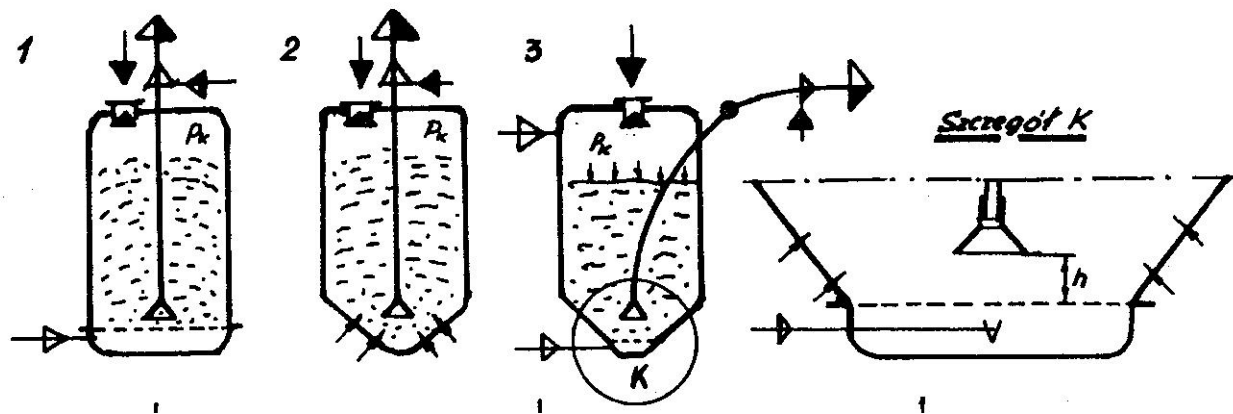
# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

**Pompy zbiornikowe (zasilacze komorowe)** to kolejne urządzenie stosowane w układach transportu tłoczego, nie posiada elementów wirujących, cechuje się mniejszym zapotrzebowaniem na powietrze, które wynosi 0,16-0,32 m<sup>3</sup>/s (600-1200 m<sup>3</sup>/h) przy ciśnieniu 0,27-0,30 MPa. Praca pomp zbiornikowych może zostać w pełni zautomatyzowana. Pompy zbiornikowe są szeroko stosowane do transportu materiałów suchych, wilgotnych i higroskopijnych, wykazujących tendencje do zbrylania się oraz ziarnistych o wielkości kawałków do 0,3 średnicy rurociągu transportowego. Umożliwiają transport przy wysokim stężeniu mieszaniny, na duże odległości

Pompy zbiornikowe dzielą się na fluidyzujące, przetłaczające i dyszowe.

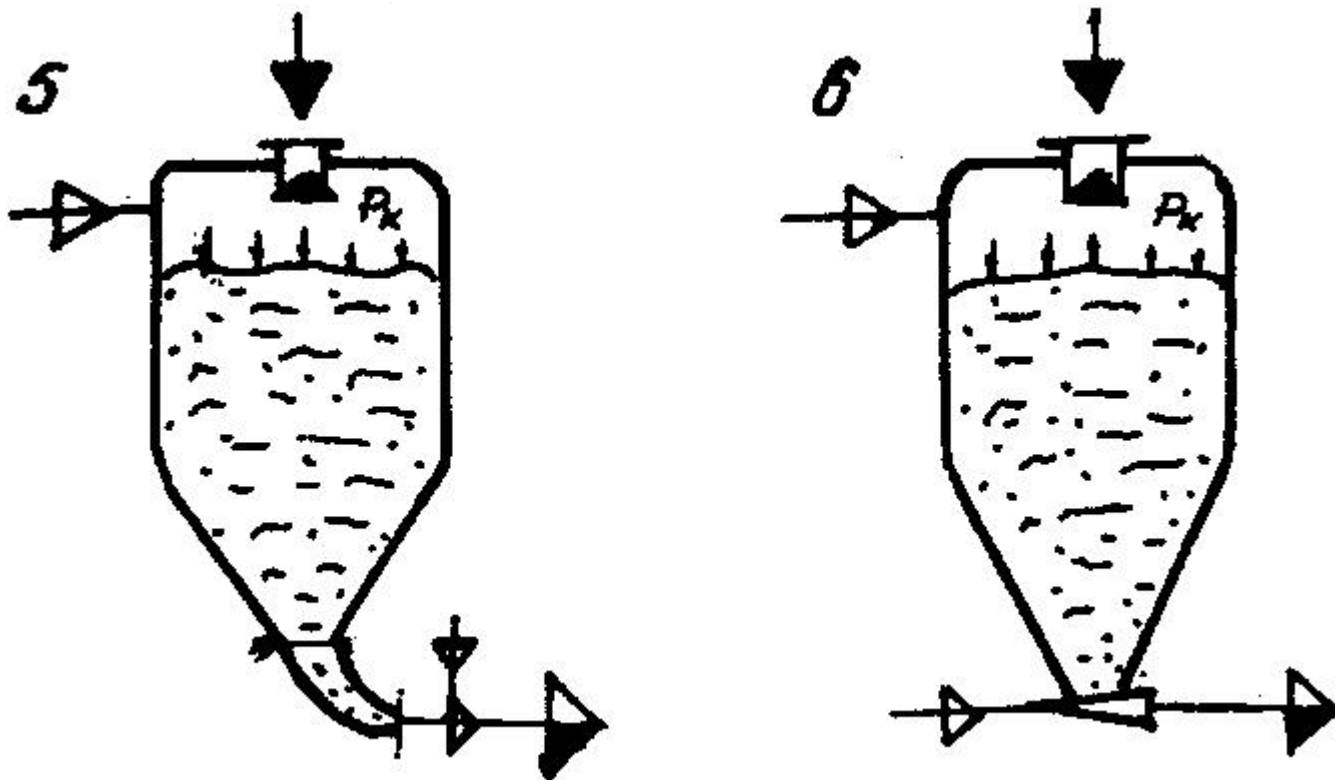
# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

**Pompy zbiornikowe fluidyzujące:** ich zasada działania polega na wytworzeniu w komorze fazy fluidalnej i wprowadzeniu jej pod ciśnieniem do w stanie napowietrzonej do rurociągu transportowego.



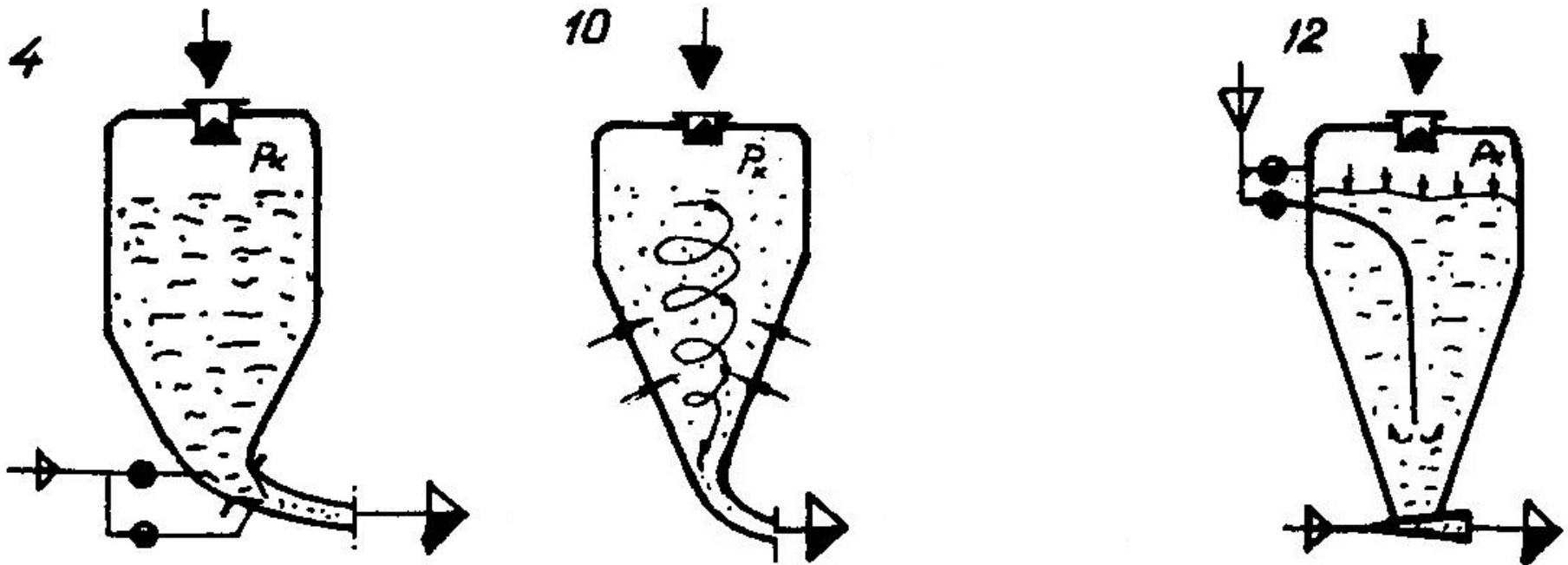
# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

**Pompy zbiornikowe przetłaczające:** ich zasada działania polega na wtłaczaniu materiału do rurociągu transportowego pod wpływem ciśnienia gazu panującego w komorze pompy, na górna powierzchnie materiału.



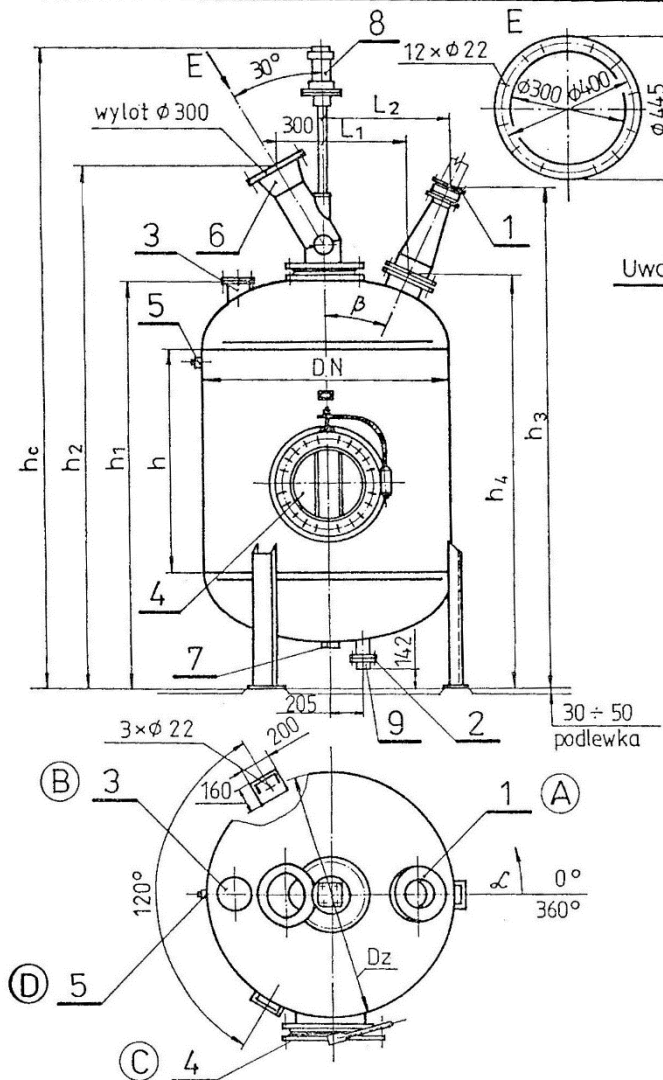
# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

**Pompy zbiornikowe dyszowe:** ich zasada działania polega na wprowadzeniu materiału w stanie napowietrzonym do rurociągu transportowego za pomocą strugi powietrza wprowadzanego układem dysz.



# Odpopielanie pneumatyczne tłoczne

## Pompa zbiornikowa DN × h



Dane techniczne	
Ciśnienie obliczen. $p_0$	0,7 MPa
Ciśnienie próbne $1,25 p_0$	0,875 MPa
Temperatura obliczen. $t_0$	433K (160°C)

### Uwaga:

Zakres ciśnień pracy siłownika pneumat. poz. wynosi 0,25 MPa ÷ 0,6 MPa

1. Kołnierz pł. (wg tabel) króćca tłoczno mieszanki pyło - powietrznej
2. Kołnierz pł. (wg tabeli) króćca zas. sprężonym powietrzem.
3. Króćiec rezerwow DN 150
4. Właz okrągły  $\phi$  500
5. Króćiec podłączenia termometru M 27 × 2
6. Doprowadzenie popiołu; głowica DN 300
7. Króćiec odwadniający z zaworem zapor. głow. kołn. Dn = 25  $p_n = 1,6$  MPa Nr kat. 205
8. Siłownik pneumat. dwustronnego działania
9. Króćciec do spawania.

(A)(B)(C)(D) – kąty położenia oznaczonych króćców w stosunku do nogi „zerowej”

Kołnierze poz. 1 i 2 wg PN-88/H-74731

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

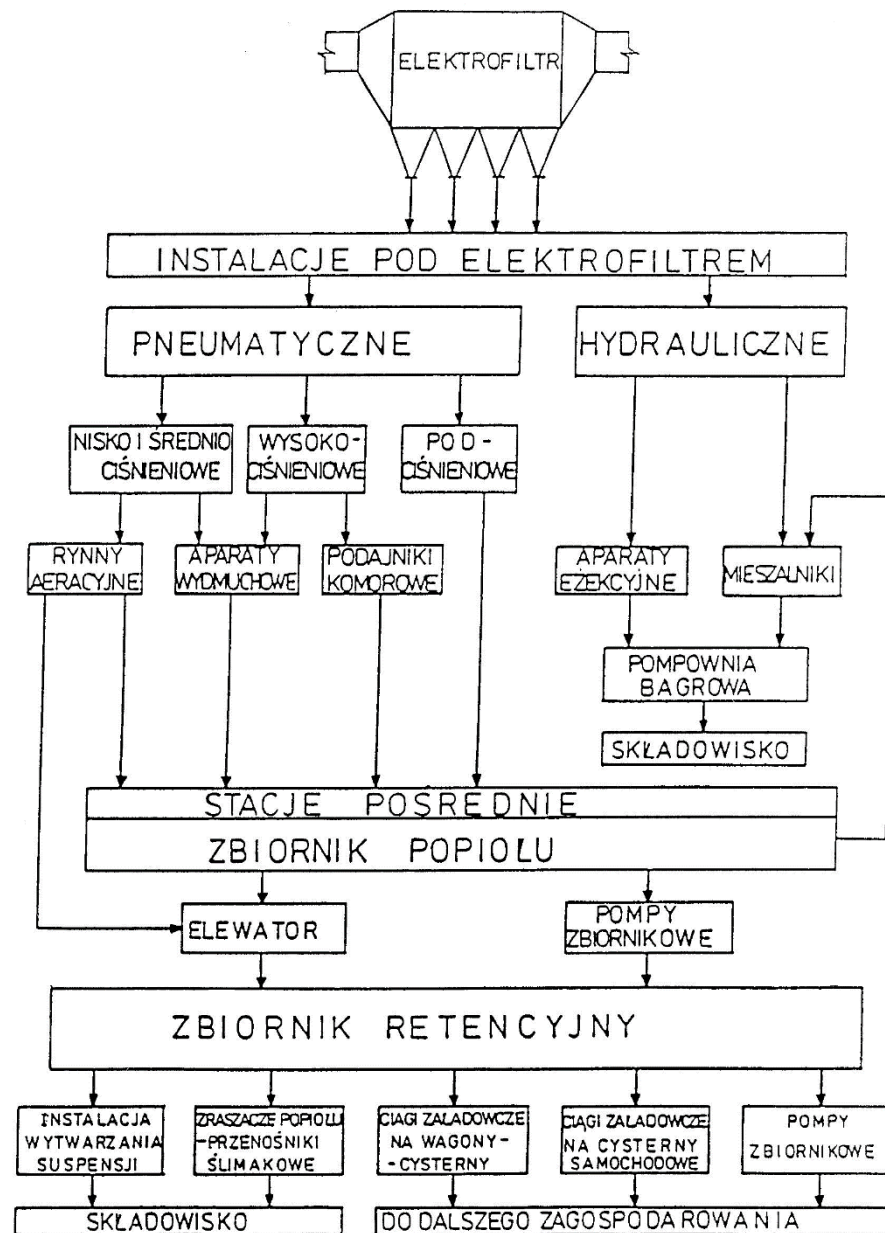
Do separacji pyłu ze spalin w średnich i dużych zakładach energetycznych często stosuje się elektrofiltry (EF). Jednym z podstawowych warunków ich prawidłowej pracy jest ciągłe odprowadzanie wytrąconego popiołu z lejów zbiorczych. Opróżnianie lejów powinno przebiegać na bieżąco, tak aby ilość zalegającego w nich pyłu była optymalna, stosownie do rodzaju stosowanej instalacji transportu pneumatycznego (TP).

Nie można przy tym dopuścić do wtórnego porywania popiołu zgromadzonego w lejach, co może mieć miejsce w przypadku nieszczelności urządzeń odcinających lub dozujących pył, zainstalowanych pod lejami (zasuwy, dozowniki celkowe). Przyczyną tego zjawiska jest różnica ciśnień pomiędzy komorą EF, w której stale panuje podciśnienie, a instalacją TP pracującą na nadciśnieniu lub na podciśnieniu mniejszym niż panujące w komorze EF. Wtórne porywanie pyłu nie występuje jedynie w przypadkach instalacjach podciśnieniowych (ssących), które obecnie są rzadko stosowane.

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

Schemat strukturalny instalacji odpopielania elektrofiltrów składa się z:

- instal. odbioru popiołu spod EF,
- stacji pośrednich w rejonie EF z urządz. do transp. dalekiego,
- zbiornika retencyjnego z instalacjami załadunku cystern/wytwarzania suspensji/instalacjami transportu na składowisko.





# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

Wyraźną tendencją w projektowaniu i budowie instalacji odpopielania jest odchodzenie od instalacji transportu hydraulicznego, ze względu na ich negatywne oddziaływanie na pracę EF.

Istotne ze względu na dobór rodzaju odpopielania jest kryterium zużycia energii opisane wzorem:

$$E=N/m$$

gdzie: E – zużycie energii na jednostkę masy transportowanego popiołu , [kWh/Mg]

N – moc dostarczona do instalacji TP, [kW]

m – strumień masy popiołu osadzonego w lejach EF, który jest transportowany pneumatycznie, [Mg/h]

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Instalacje pod elektrofiltrem

Wartości zużycia energii E przez różne instalacje TP popiołu odbieranego z lejów EF podano w poniższej tabeli.

Lp.	Rodzaj instalacji	E kWh/Mg
1.	Rynny aeracyjne	0,4-1,3
2.	Aparaty wydmuchowe (powietrze sprężane przez dmuchawy)	3,5-4,0
3.	Aparaty wydmuchowe (powietrze sprężane przez sprężarki)	10
4.	Podajniki komorowe (zasilacze komorowe)	3

Z analizy wartości E wynika, że najmniejszą energochłonnością cechują się rynny aeracyjne, które zasilane są powietrzem sprężonym przez wentylator. Zakres zużycia energii w r. aeracyjnych jest szeroki, gdyż mogą one pracować z włączonymi nagrzewnicami (czas rozruchu) lub bez nich (stabilna praca).

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Instalacje pod elektrofiltrem

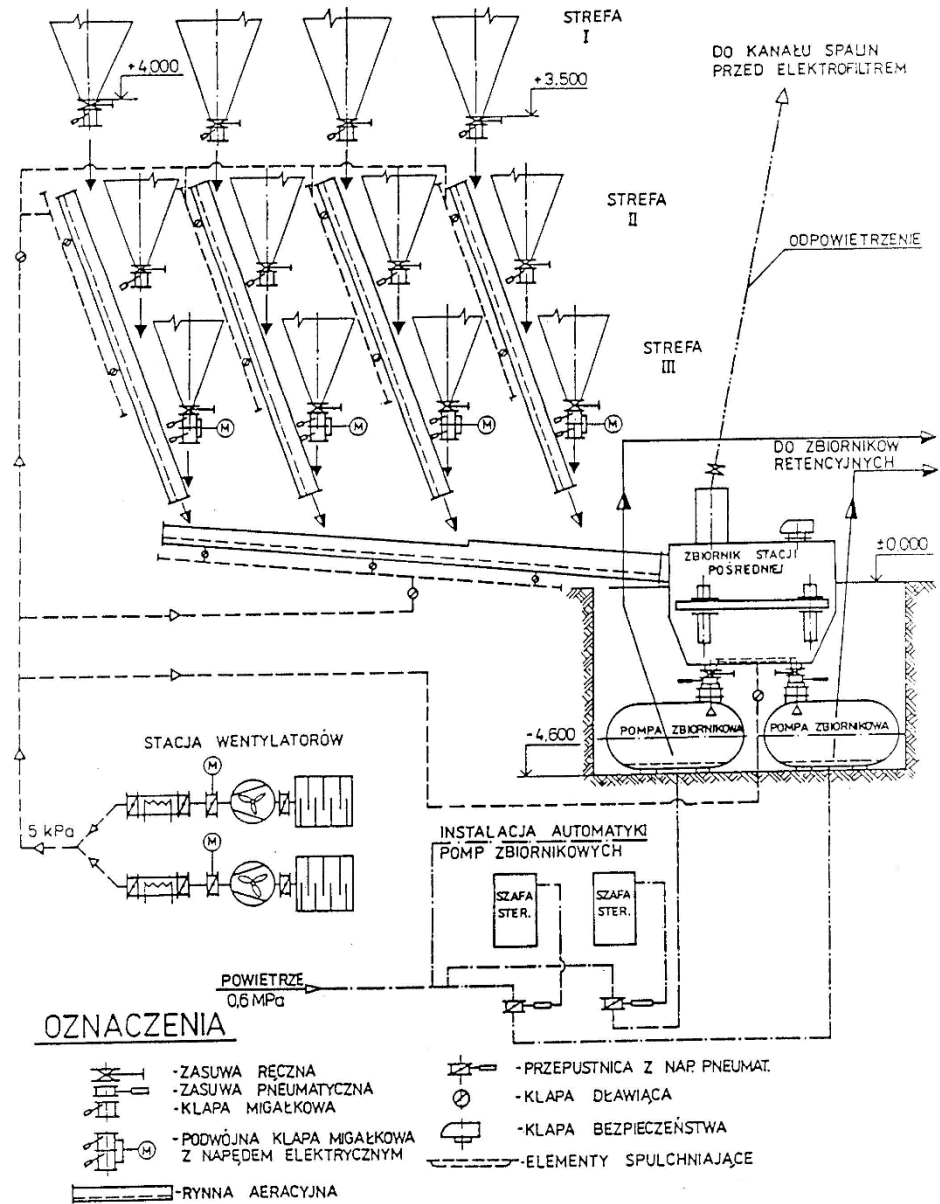
### **Rynny aeracyjne (RA)**

Zasada działania RA powoduje, że wymagają one dużych wysokości położenia wylotu z lejów EF względem podłoża. Dla EF 3-strefowych wysokość konieczna do zabudowy instalacji z RA wraz ze zbiornikiem pośrednim popiołu umiejscowionym pod EF wynosi 8-9 m, a dla EF 4-strefowego – 9-10 m. Wymóg ten jest często trudny do spełnienia szczególnie przy modernizacji instalacji odpopielania dla istniejących EF, które zwykle są posadowione zbyt nisko (wyloty lejów około 2-4 m nad podłożem).

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Instalacje pod elektrofiltrem

Przykład instalacji TP popiołu lotnego z wykorzystaniem RA, przy modernizacji odpopielania o niskiej zabudowie, jest instalacja w El. Łagisza. Do zabudowy instalacji RA wraz ze zbiornikiem popiołu i podajnikami komorowymi wykorzystano istniejącą pompownię bagrową.

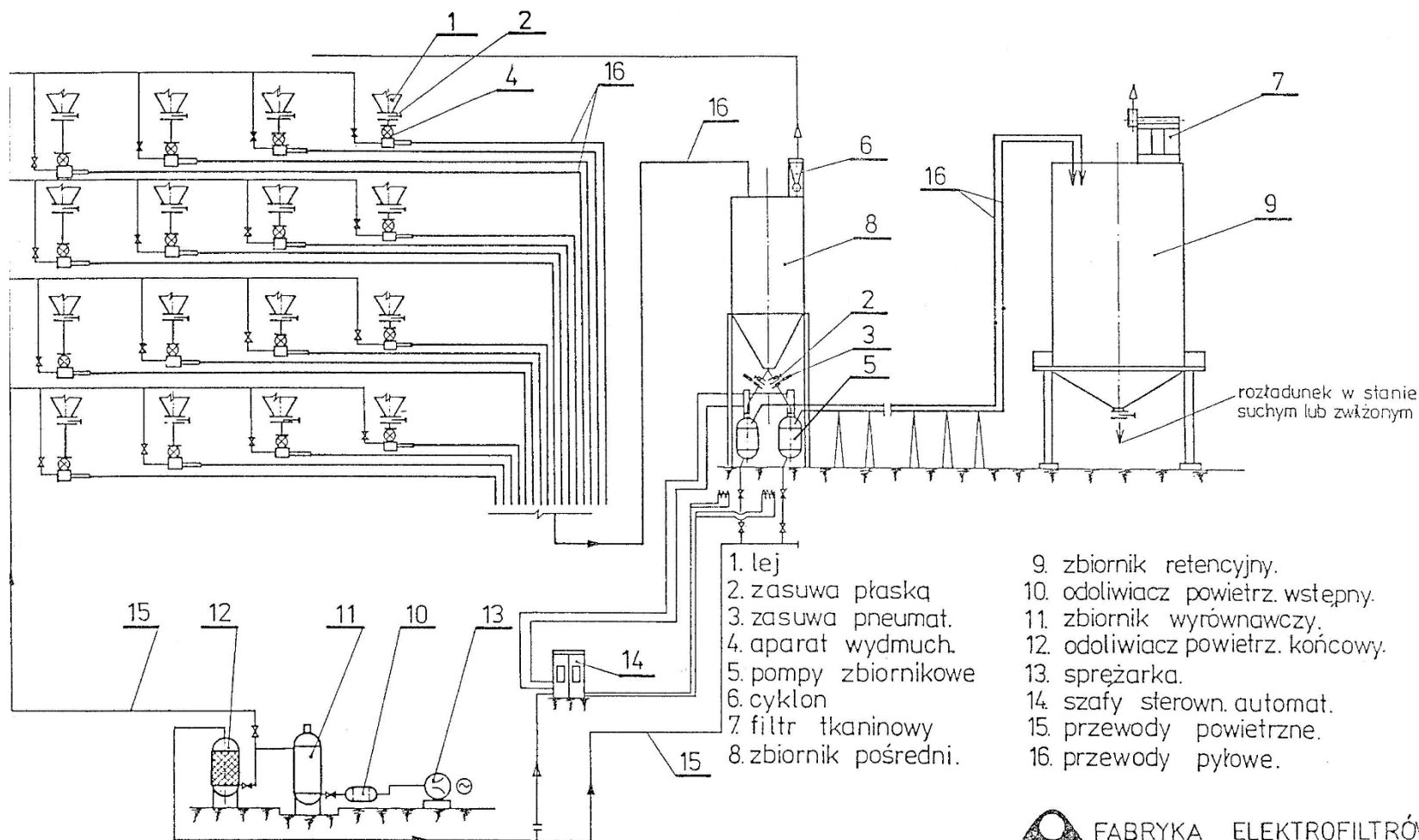


Źródło: materiały f-my ELWO S.A.

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Instalacje pod elektrofiltrem

Schemat instalacji TP popiołu lotnego przy pomocy aparatów wydmuchowych



Źródło: materiały f-my ELWO S.A.



FABRYKA ELEKTROFILTRÓW  
"ELWO"  
W PSZCZYŃIE

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Instalacje pod elektrofiltrem

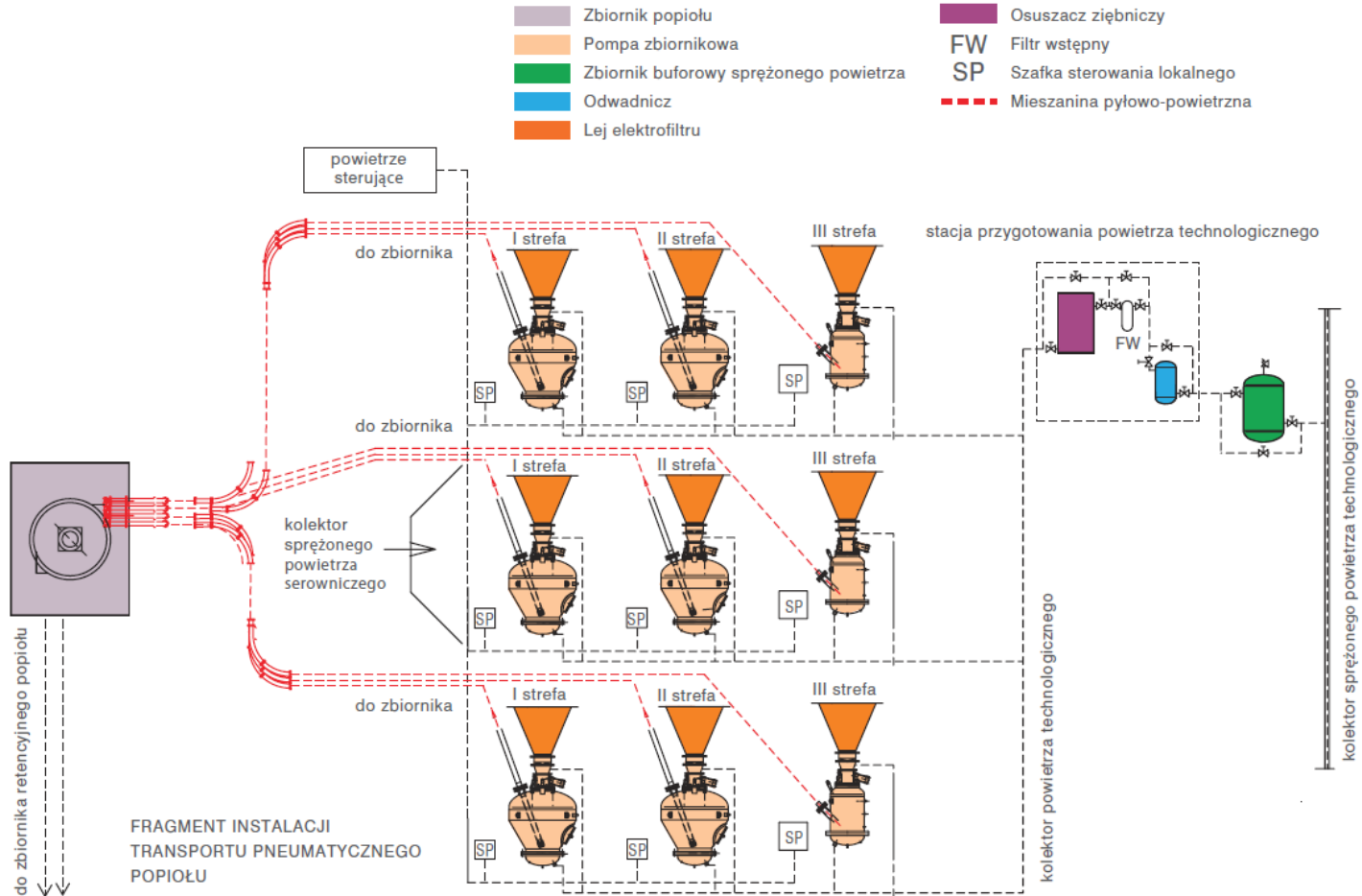
Przykład instalacji TP popiołu lotnego przy pomocy aparatów wydmuchowych



# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Instalacje pod elektrofiltrem

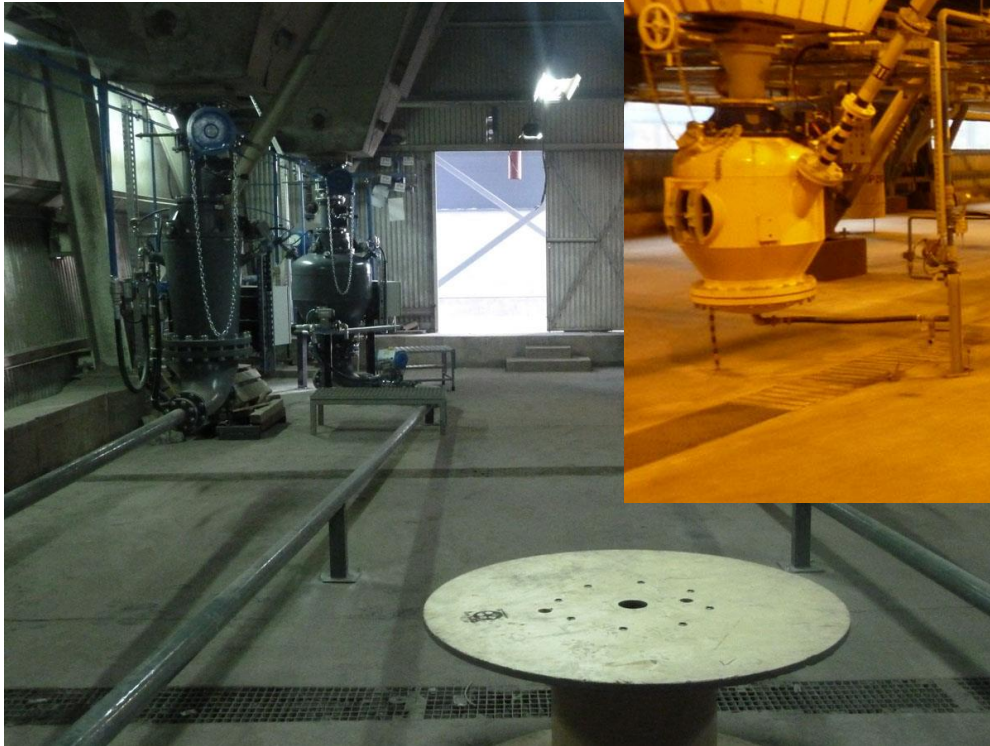
Schemat instalacji TP popiołu lotnego przy pomocy podajników komorowych



# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Instalacje pod elektrofiltrem

Schemat instalacji TP popiołu lotnego przy pomocy podajników komorowych





# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Stacje pośrednie

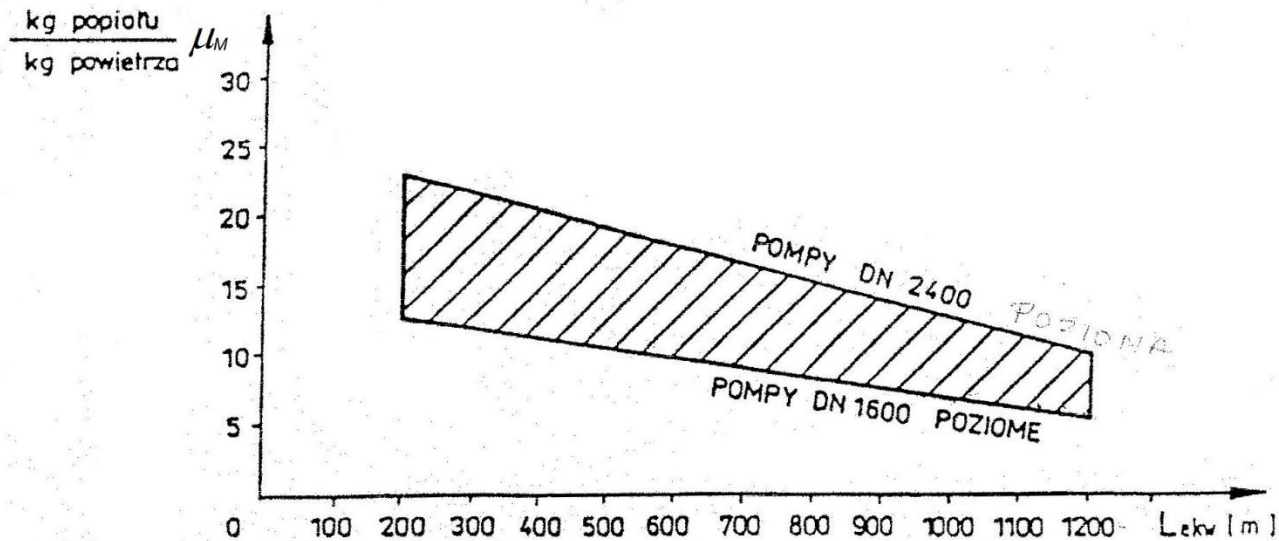
Zwykle pod elektrofiltrem lub w jego pobliżu umieszcza się stację pośrednią ze zbiornikiem popiołu i podajnikami komorowymi umożliwiającymi daleki TP (około 1 km).

Podstawowym urządzeniem stacji pośredniej jest podajnik komorowy wraz z układem automatycznej regulacji. Podajnik ten, w zależności od jego wielkości i długości linii transportowej, osiąga wydajność 10-80 Mg/h. Medium transportującym jest sprężone powietrze o ciśnieniu 0,4-0,6 MPa. Zapotrzebowanie na sprężone powietrze wynosi 1500-5500 kg/h.

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Stacje pośrednie

Ważnym parametrem jest również stężenie masowe  $\mu_M$  popiołu uzyskiwane w rurociągu transportowym.

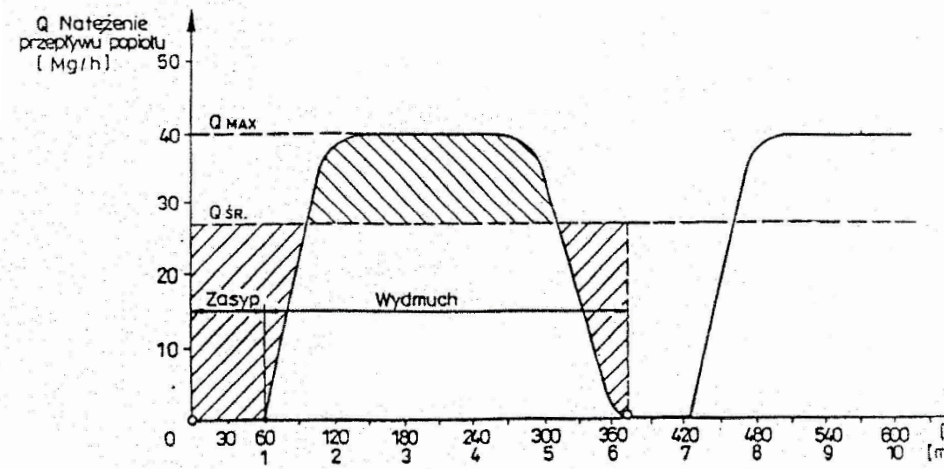


Zależność koncentracji masowej  $\mu_M$  w funkcji długości trasy przesyłowej

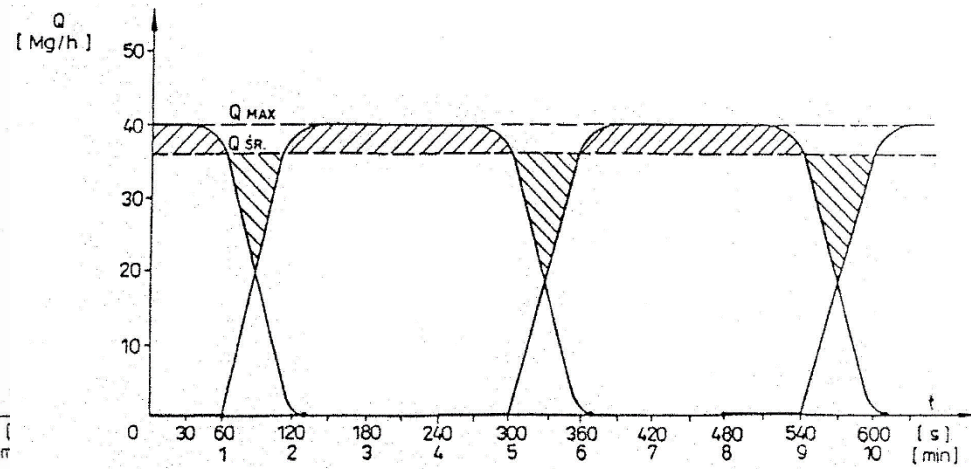
# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Stacje pośrednie

Ze względu na cykliczną pracę podajnika komorowego, jego wydajność jest średnim strumieniem przepływu popiołu w trakcie całego cyklu pracy podajnika. W większości pracujących instalacji TP zabudowane są dwa podajniki komorowe, które pracują naprzemiennie z zazębianiem cykli i zasilają jeden rurociąg transportowy.



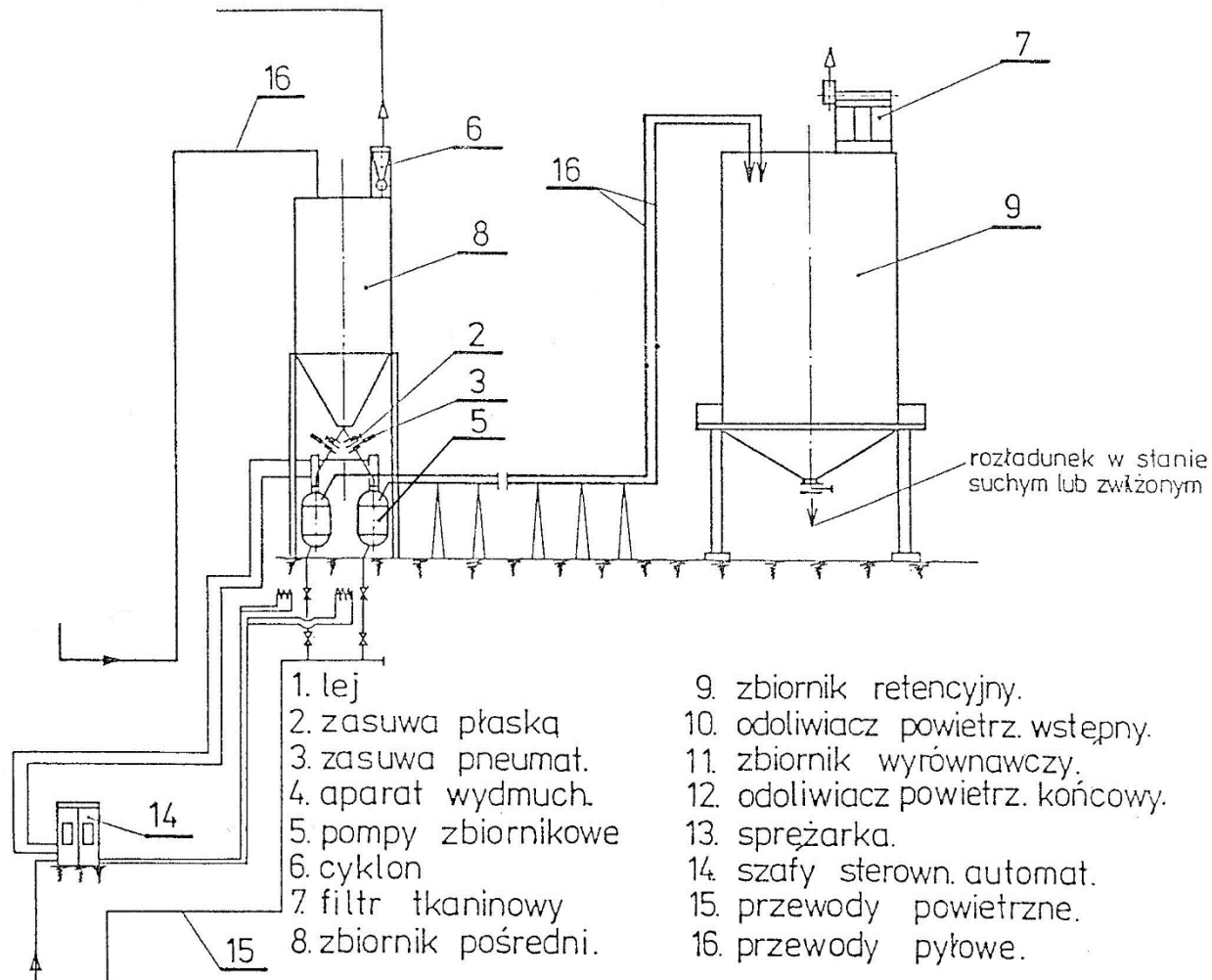
Wykres pracy pojedynczej pompy zbiornikowej -  $L_{ekw} = 200$  m



Wykres pracy układu dwóch pomp zbiornikowych działających sekwencyjnie.

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Stacje pośrednie



# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Stacje pośrednie



Górna część zbiornika pośredniego z odsysaniem powietrza

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Zbiornik retencyjny

Do zbiornika retencyjnego trafia popiół lotny ze zbiorników pośrednich umiejscowionych w bezpośredniej bliskości elektrofiltrów. Jego zadaniem jest buforowanie podawanego popiołu i załadunek na środki transportu kołowego (cysterny samochodowe lub wagonowe) lub wysyłka na składowisko.

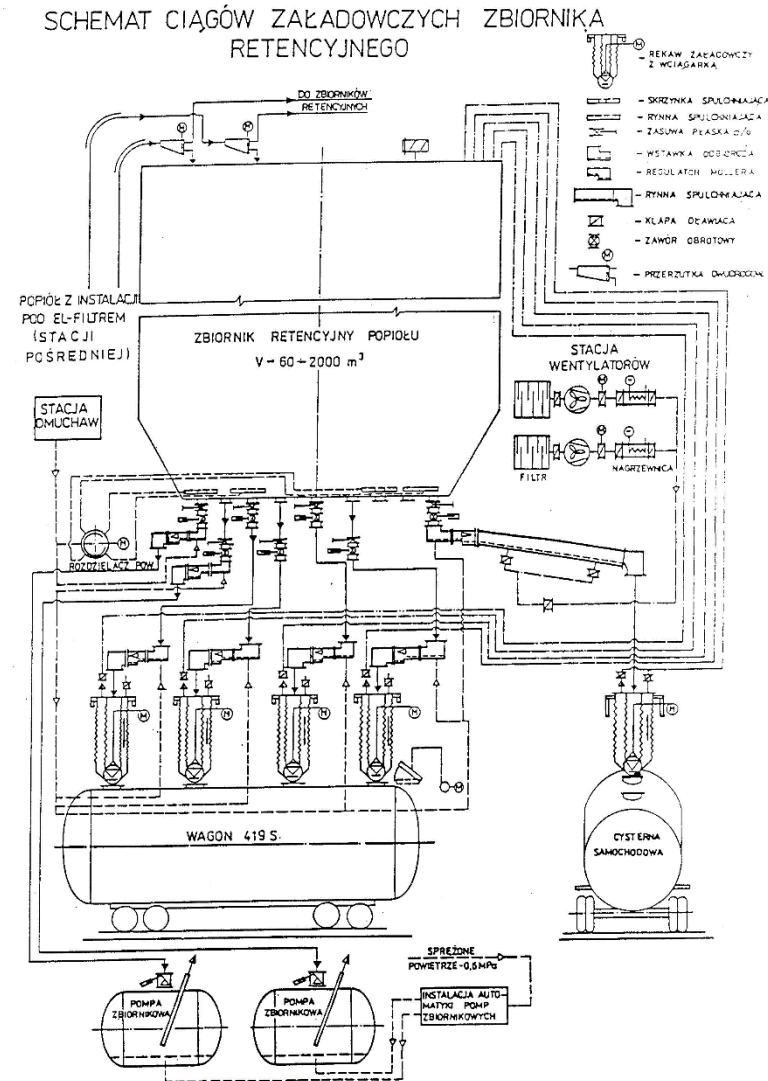
Wyróżnia się następujące instalacje załadunku popiołu pod zbiornikami retencyjnymi:

- ciągi załadunku w stanie suchym na cysterny,
- ciągi załadunku w stanie zwilżonym na samochody i wagony otwarte,
- ciągi wytwarzania gęstej mieszanki popiołów z wodą tzw. suspensji.

Najpopularniejszym rozwiązaniem są ciągi załadunkowe w stanie suchym. Ciągi te buduje się pod zbiornikami retencyjnymi o różnej pojemności, od 20-30 m<sup>3</sup> (adaptowane typowe zbiorniki na cement), do dużych zbiorników o pojemności 2000 m<sup>3</sup>.

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Zbiornik retencyjny



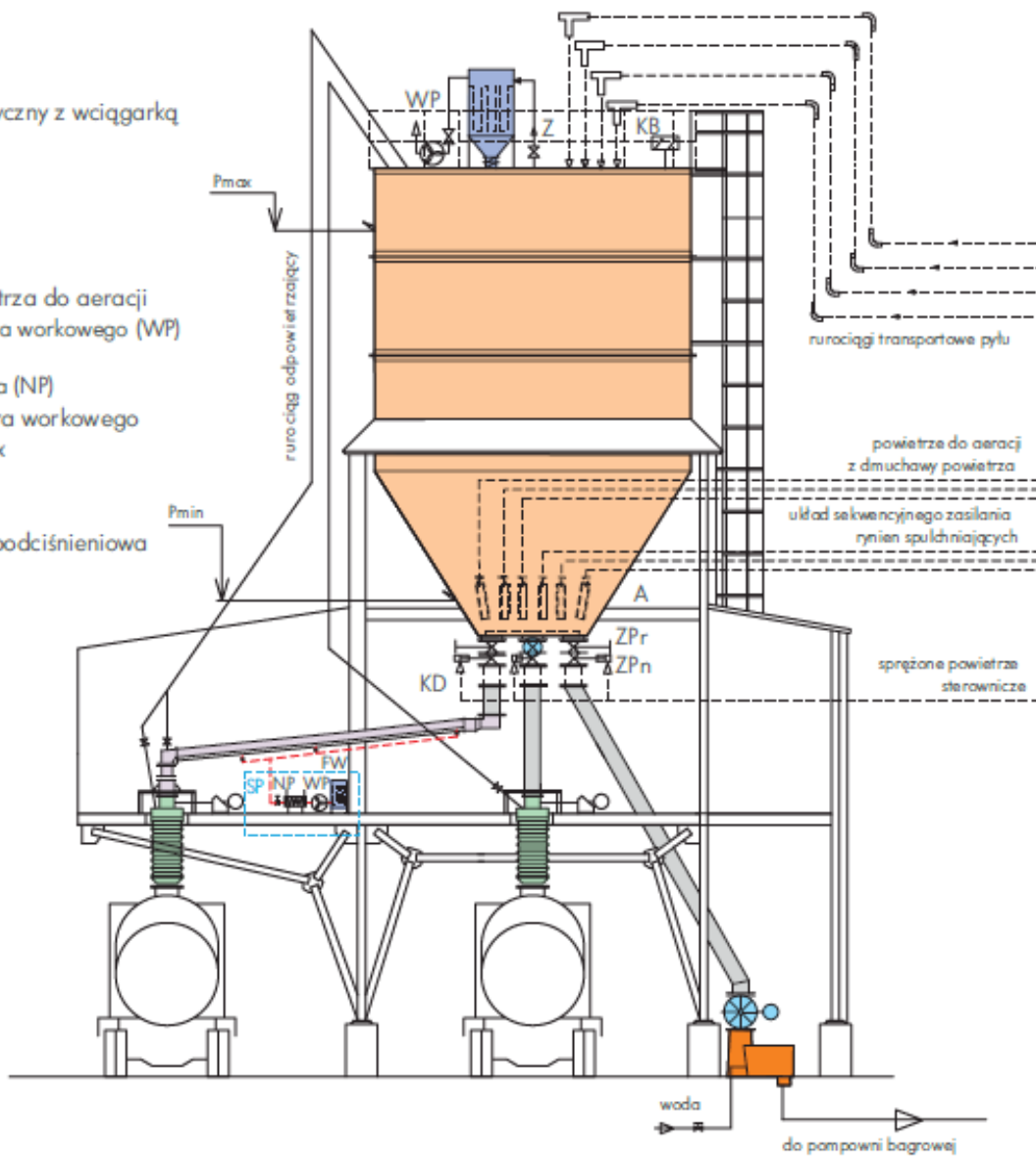
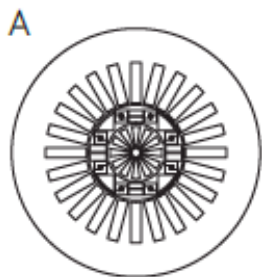
Źródło: materiały f-my ZVVZ-Enven Engineering, s.a.

Źródło: materiały f-my ELWO S.A.

# Instalacje pneumatycznego odpopielania elektrofiltrów

## Zbiornik retencyjny

- Zbiornik pyłu
- Rękaw załadunkowy automatyczny z wciągarką
- Rynna aeracyjna
- Filtr powietrza
- Urządzenie dozujące
- Mieszalnik popiołu
- Zsyp pyłu
- SP Stacja przygotowania powietrza do aeracji
  - wentylator promieniowy filtra workowego (WP)
  - filtr workowy (FW)
  - nagrzewnica przedmuchowa (NP)
- WP Wentylator promieniowy filtra workowego
- Pmax Czujnik poziomu pyłu zb-max
- Pmin Czujnik poziomu pyłu zb-min
- Z Zawory
- KB Kłapa bezpieczeństwa nad-podciśnieniowa
- ZPr Zasuwa płaska ręczna
- ZPn Zasuwa płaska z napędem
- KD Kompensator dławikowy
- A Aeracja dna zbiornika
- Rurociągi powietrza



PRZYKŁADOWY ZBIORNIK PYŁU Z UKŁADEM ROZŁADUNKU