



PIOTR PAWEŁKO

NAPĘD I STEROWANIE PNEUMATYCZNE

PODSTAWY

ĆWICZENIA LABORATORYJNE

Wprowadzenie

Materiały przeznaczone są dla studentów Wydziału Inżynierii Mechanicznej i
Mechatroniki

kopiowanie, powielanie, rozpowszechnianie bez wiedzy autora zabronione

Poniższa instrukcja jest fragmentem skryptu o tym samym tytule, wydanym za zgodą
Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie, ISBN
978-83-7518-614-7, 2013, Szczecin

SZCZECIN 2014

1. Wprowadzenie

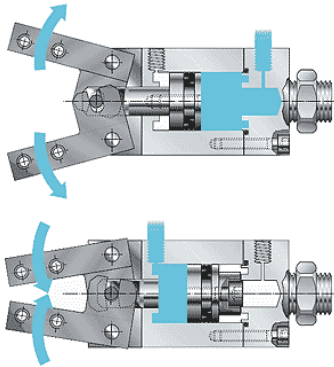
Napęd i sterowanie pneumatyczne od dekad odgrywają znaczącą rolę w różnych gałęziach przemysłu, m.in. w górnictwie, budownictwie, kolejnictwie, motoryzacji, farmacji, obróbki skrawaniem. To właśnie dzięki silnikom pneumatycznym w postaci wiatraków Holendrzy byli w stanie wydrzeć morzu i osuszyć ogromne połacie ziemi. Obecnie dzięki powszechności i dostępności urządzeń stanowiących źródła energii pneumatycznej, rozwojowi wiedzy w zakresie sterowania tą energią, pneumatyka jest stosowana chętnie i praktycznie w każdej gałęzi przemysłu. Istnieje wielu światowych, przy globalizacji rynku, producentów pneumatyki, zarówno tej prostej jak i bardzo zaawansowanej. W ofertach handlowych można spotkać nie tylko składowe elementy pneumatyki, ale także gotowe rozwiązania całych podsystemów. Obecnie inżynier chcący posłużyć się w projektowanym urządzeniu techniką sprężonego powietrza, nie tyle projektuje podzespół pneumatyczny, a raczej go dobiera spośród znormalizowanych elementów lub ich dostępnego typoszeregu. Odnosi się to zarówno do urządzeń wytwarzających sprężone powietrze, przez elementy magazynowania, przenoszenia i sterowania, na odbiornikach kończąc. Wiele gałęzi przemysłu doceniło zalety tego rodzaju energii, szczególnie w automatycznych systemach produkcji. Trudno obecnie jest znaleźć zakład przemysłowy, w którym nie wykorzystuje się napędu bądź sterowania pneumatycznego.

Napęd pneumatyczny jest to napęd mechanizmów maszyn i urządzeń przy wykorzystaniu energii sprężonego gazu - zazwyczaj tym gazem jest powietrze. Stosuje się go w maszynach i urządzeniach technologicznych, głównie do realizacji przesuwów mechanizmów oraz wywoływania określonego nacisku statycznego. Napęd pneumatyczny odbywa się za pomocą siłowników (zazwyczaj o ruchu prostoliniowym) lub silników pneumatycznych (o ruchu wirującym). Urządzenia pneumatyczne wykorzystuje się do:

- napędu urządzeń transportowych - podnośników, podajników, obrotnic itp.,
- zamykania i otwierania okien, drzwi, zasuw, zaworów itp.,
- napędu urządzeń hamulcowych w motoryzacji i kolejnictwie,
- napędu narzędzi ręcznych,
- napędu urządzeń odłączających na stacjach wysokiego napięcia,
- napędu zaworów regulacyjnych w przemyśle chemicznym i przetwórczym,
- zasilania uchwytów obróbkowych i montażowych w maszynach technologicznych,

- napędu pras pneumatycznych,
- transportu pneumatycznego materiałów sypkich, itp.

a)



b)



c)



d)



Rys.1.1 Zastosowanie napędu i sterowania pneumatycznego w przemyśle: a) chwytak pneumatyczny MH 16 Pneumat [18], b) Robot Tron-X Festo [17], c) jednostka wiertarska z uchwytem pneumatycznym CADWIT [24], d) zbijarka pneumatyczna CADWIT [24].

Różnorodność zastosowań techniki sprężonego powietrza wynika przede wszystkim z zalet urządzeń z napędem pneumatycznym. Do istotniejszych zalet zaliczyć należy:

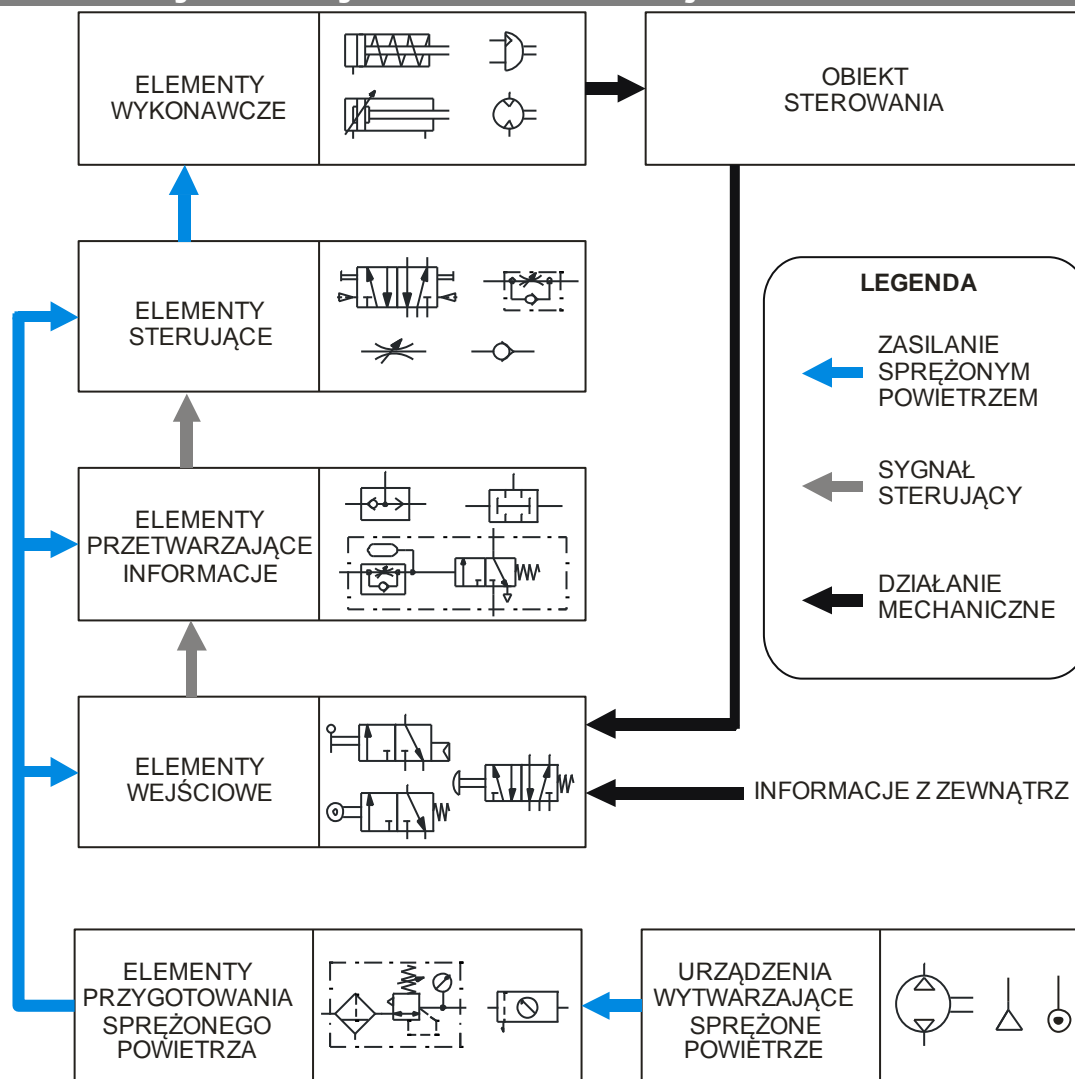
- ogólną dostępność powietrza,
- możliwość uzyskiwania dużego zakresu ciśnień (nawet do 300 bar, standardowo 6-12 bar) i natężeń przepływu sprężonego powietrza,
- wytwarzanie nadciśnienia lub podciśnienia w układach pneumatycznych,
- prosta instalacja - brak przewodów powrotnych czynnika, odpowietrzenie, odprowadzenie zużytego czynnika z układu następuje do otoczenia,

- bezpieczeństwo i czystość tego typu napędu,
- duża szybkość działania,
- łatwość kontrolowania i zabezpieczenia układów przed przeciążeniami,
- łatwość uzyskania ruchu prostoliniowo-zwrotnego,
- uzyskiwanie bardzo wysokich prędkości ruchu,
- możliwość uzyskiwania dużego zakresu generowanych sił i momentów w przetwornikach energii sprężonego powietrza – siłownikach i silnikach [3].

Naturalną tendencją rozwojową było zaimplementowanie do techniki napędu i sterowania pneumatycznego elektrotechniki (sterowanie elektropneumatyczne), a następnie elektroniki, umożliwiając stosunkowo łatwą budowę układów pneumatycznych programowalnych (PLC lub CNC).

Jako podstawowe grupy elementów pneumatycznych układów napędu i sterowania, można wymienić:

- elementy wykonawcze (siłowniki i silniki pneumatyczne).
- elementy sterujące pracą członów wykonawczych (m.in. zawory rozdzielające, zawory zwrotne, dławiące, reduktory ciśnienia).
- elementy przetwarzające informacje (zawory: logiczne rozdzielające, opóźniające, progowe, sekwencyjne, wyspy zaworowe, sterowniki pneumatyczne).
- elementy wejściowe (przyciski, dźwignie, łączniki drogowe).
- elementy przygotowania sprężonego powietrza (filtry, reduktory, smarownice, elementy kontrolne).
- elementy wytwarzania sprężonego powietrza (sprężarki, zbiorniki, osuszacze),
- elementy do magazynowania sprężonego powietrza (zbiorniki),
- przewody zasilające i sterujące.



Rys. 1.2. Schemat blokowy układu pneumatycznego [3].

Rysunek 1.2 przedstawia schemat blokowy układu pneumatycznego, z wyszczególnieniem podstawowych grup elementów pneumatyki. Wskazano na nim możliwe wzajemne oddziaływanie i przepływ strumieni zarówno zasilających jak i sygnałów sterujących.

Jak wynika z rys. 1.2 źródłem energii w układach pneumatycznych jest sprężone powietrze, wytwarzane w sprężarkach. Ich napęd sprężarek jest realizowany najczęściej silnikiem elektrycznym dla sprężarek stacjonarnych, lub spalinowym w przypadku sprężarek mobilnych. Istnieje naturalne ograniczenie transportowania powietrza przez przewody do ok. 1 km, co wynika ze spadku ciśnienia, na skutek m.in. zjawiska tarcia powietrza o ścianki przewodu. Jednak dzięki zjawisku ściśliwości powietrza (ok. 2000 razy większa niż oleju hydraulicznego) można je łatwo magazynować w zbiornikach. Generowana siła w elementach napędowych mieści się w zakresie do kilkunastu kN, przy stosowanym ciśnieniu powietrza w pneumatyce technicznej nieprzekraczającym wartości

10 bar (1 MPa). Cechą wspólną układów hydraulicznych i pneumatycznych jest prostota sterowania zarówno siłą lub momentem obrotowym poprzez sterowanie ciśnieniem, oraz sterowania prędkością liniową siłowników lub prędkością obrotową silników przez regulację przepływu.

Do ustalania wartości ciśnienia wykorzystuje się zawory redukcyjne, do ustawienia przepływu (wydajności objętościowej lub masowej) stosuje się zawory dławiące. Dla zadań inżynierskich można przyjąć, że czynnik roboczy, jakim jest sprężone powietrze, jest praktycznie nieczuły na wahania temperatury otoczenia, zmiany temperatury powietrza są istotne jedynie z punktu widzenia skraplania się pary w powietrzu czyli „punktu rosy”.

Pneumatyka wykorzystuje do opisu zasad działania poszczególnych elementów jak i całych układów znormalizowany zapis symboliczny, zawarty w normach PN - ISO 1219-1 1991 [8] oraz PN-ISO 1219-2:1998 [9].

Poprawnie zaprojektowany układ pneumatyczny jest rezultatem odpowiedniego doboru wszystkich składowych elementów wchodzących w jego skład, oraz działający wg ustalonego programu pracy. Na kompletny projekt takiego układu składają się cyklogram pracy, schemat funkcjonalny oraz lista dobranych elementów układu.

Skrypt ten jest zbiorem informacji zawartych w różnych opracowaniach dotyczących pneumatyki i sterowania pneumatycznego, wyselekcjonowanych w sposób umożliwiający przeprowadzenie praktycznych ćwiczeń laboratoryjnych z wykorzystaniem bazy laboratoryjnej znajdującej się w Laboratorium Podstaw Pneumatyki i Hydrauliki Instytutu Technologii Mechanicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Celem tego skryptu jest rozpowszechnienie podstawowej wiedzy umożliwiającej przeprowadzenie obliczeń, symulacji, doboru elementów układów pneumatycznych i elektropneumatycznych.

2. Podstawy teoretyczne

Terminologia techniki napędu i sterowania pneumatycznego była usystematyzowana międzynarodową normą ISO 5598 z 1985 r. i jej odpowiednikiem w języku polskim była norma PN-91/M-73001 [10]. Norma ta została wycofana bez zastąpienia, lecz nadal w literaturze pojawiają się definicje istotniejszych sformułowań [26].

- **Pneumatyka** - dziedzina nauki i techniki zajmująca się prawami rządzącymi przepływem sprężonego powietrza; w powszechnym rozumieniu także technika napędu i sterowania pneumatycznego.
- **Przepływ** - ruch płynu (gazu lub cieczy) wywołany różnicą ciśnień.
- **Napęd pneumatyczny** - technika wprowadzania w ruch mechanizmów maszyn i urządzeń z wykorzystaniem energii sprężonego powietrza lub innego gazu.
- **Sterowanie pneumatyczne** - w bardziej ogólnym ujęciu technika oddziaływania w określony sposób na parametry układu za pomocą sprężonego powietrza jako nośnika informacji; w ujęciu szczegółowym sterowanie ciśnieniem (jako rodzaj sterowania), w którym stosuje się powietrze w przewodzie sterowania.
- **Napęd i sterowanie pneumatyczne** - napęd i sterowanie, w którym przekazywanie i sterowanie energią odbywa się za pośrednictwem powietrza pod ciśnieniem (lub innego gazu) jako jej nośnika.
- **Układ pneumatyczny** - to układ, w którym nośnikiem energii i informacji jest sprężony gaz (najczęściej powietrze);
- **Układ pneumatyczny** - to zbiór wzajemnie połączonych elementów pneumatycznych przeznaczonych do przekazywania i sterowania energią za pośrednictwem gazu pod ciśnieniem, jako jej nośnika w obwodzie zamkniętym.
- **Zespół pneumatyczny** - zbiór wzajemnie połączonych elementów pneumatycznych przeznaczonych do wypełniania określonych funkcji.
- **Warunki nominalne** - warunki stanu ustalonego, w których zaleca się użytkować element, zespół lub układ pneumatyczny określone na podstawie odpowiednich badań; są one na ogół podawane jako "wielkości nominalne" w katalogach i oznaczane symbolami literowymi, np.: q_n , p_n , T_n itd.
- **Natężenie przepływu** - objętość lub masa płynu przepływającego przez rozpatrywany przekrój poprzeczny drogi przepływu w jednostce czasu; natężenie

przepływu sprężonego powietrza należy odnosić do warunków znormalizowanej atmosfery odniesienia.

- **Atmosfera odniesienia** - warunki określone za pomocą parametrów stosowane do przedstawiania wyników badań i charakterystyk elementów pneumatyki, w celu zapewnienia ich porównywalności. Parametry znormalizowanej atmosfery odniesienia to: temperatura 20°C, wilgotność względna 65%, ciśnienie 100 kPa.
- **ANR** - symbol międzynarodowy znormalizowanej atmosfery odniesienia wg ISO 8778 ; symbol ten podaje się za wyrażeniem danej wielkości fizycznej.
- **Symbol graficzny** - umowny abstrakcyjny rysunek przedstawiający cechy funkcjonalne elementu lub zespołu zgodnie z normą lub przepisami.
- **Symbole graficzne elementów pneumatycznych** - symbole graficzne elementów pneumatycznych oraz wyposażenia dodatkowego stosowane w napędach i sterowaniach pneumatycznych (patrz. [8]).
- **Schemat** - rysunek sporządzony przy zastosowaniu symboli graficznych, przedstawiający w sposób uproszczony zasady działania lub budowy zespołu, układu; schemat zawiera informacje dotyczące rozmieszczenia, połączeń, wymiarów, podstawowych wielkości charakterystycznych, sposobów sterowania elementami i zespołami (patrz. [9]).
- **Schemat funkcjonalny** - rysunek sporządzony przy zastosowaniu symboli graficznych, przedstawiający funkcje zespołu, obwodu lub układu (pneumatycznego, hydraulicznego, hydrauliczno-pneumatycznego).

W odróżnieniu od ciała stałego, ciecz i gaz charakteryzuje się płynnością. W związku z tym dla cieczy i gazu stosuje się łączną nazwę płyn.

Podstawowe prawa wykorzystywane w obliczeniach układów pneumatycznych:

- model gazu doskonałego w skład którego wchodzi prawo Clapeyrona, prawo Joule'a-Thomsona, prawo Avogarda,
- definicja warunków normalnych,
- Prawo Pascala dla płynów w stanie spoczynku,
- Prawo zachowania masy oraz Równanie ciągłości przepływu, Prawo zachowania energii (równanie Bernoulliego) dla płynów w ruchu.

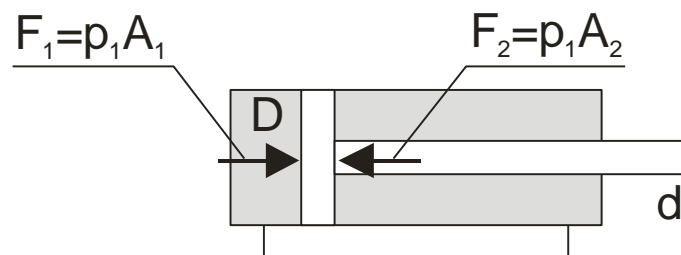
Ich teoretyczna znajomość jest podstawą do zrozumienia zagadnień związanych z napędami i sterowaniem pneumatycznym, i nie wchodzi w zakres tego opracowania.

3. Siłownik pneumatyczny

Danymi wejściowymi do określania wielkości siłownika napędowego są zazwyczaj:

- siła użyteczna (obciążenie) F_u
- zakres ruchu (skok) s
- charakter obciążenia (obciążenie na całej długości skoku, na początku skoku lub na końcu itp.).

Przeprowadzone obliczenia mają na celu określenie nominalnej średnicy siłownika (D_N) i zużycia powietrza przez ten siłownik (Q) oraz sprawdzenie rzeczywistego czasu ruchu tłoczyska (t).



Rys. 2.1. Siłownik jednotłoczkowy - oznaczenia

Teoretyczną siłę pchającą lub ciągnącą siłownika dwustronnego działania obliczamy ze wzoru:

$$F = p \cdot A$$

gdzie:

p - ciśnienie powietrza [bar]

A - czynna powierzchnia tłoka tzn. [cm^2]

$A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$ - do obliczenia siły pchającej

$A_2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)$ - do obliczenia siły ciągnącej

D - średnica tłoka [cm]

d - średnica tłoczyska [cm]

Rzeczywista siła na tłoczysku siłownika zależy od zmian ciśnienia w czasie napełniania i opróżniania komór siłownika oraz zmian siły tarcia w uszczelnieniach. W praktyce korzystne jest posługiwanie się współczynnikiem η , wyrażającym stosunek siły użytecznej F_u do siły teoretycznej F . Zalecane wartości współczynnika η wynoszą:

Tabela 2.1 Współczynnik η dla siłowników tłokowych [23]

Sposób pracy	Wartości współczynnika η
Ruch powolny, obciążenie działające na końcu skoku	0,8
Ruch szybki, obciążenie działające na końcu skoku lub ruch powolny, obciążenie działające na całym skoku	0,75
Ruch szybki, obciążenie działające w przybliżeniu na całym skoku	0,65

Teoretyczne siły pchające lub ciągnące siłowników tłokowych z jednostronnym tłoczyskiem oblicza się wykorzystując powyższe wzory. Należy jednak pamiętać, że rzeczywista siła na tłoczysku siłownika nie jest stała, a zmienia się w czasie wraz ze zmianą prędkości ruchu tłoczyska, zmianą ciśnień w komorach siłownika: napełnianej i opróżnianej oraz zmianą siły tarcia w uszczelnieniach. W celu ułatwienia projektantom zadania wstępnych obliczeń fizycznych parametrów elementów wykonawczych układów pneumatycznych, producenci zamieszczają zestawienia tabelaryczne wybranych parametrów fizycznych dla swoich wyrobów.

Tabela 2.2 Teoretyczna siła pchająca na tłoczysku siłowników dwustronnego działania z jednostronnym tłoczyskiem [23]

Teoretyczna siła pchająca [daN] [kG]								
Średnica siłownika	Ciśnienie powietrza [MPa]							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
D12	3.39	4.52	5.65	6.79	7.92	9.05	10.18	11.31
D16	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.09	18.10	20.11
D20	9.42	12.56	15.70	18.85	21.99	25.13	28.27	31.42
D25	14.72	19.63	24.54	29.42	34.36	39.27	44.17	49.09
D32	24.12	32.17	40.21	48.25	56.29	64.34	72.38	80.42
D40	37.7	50.2	62.8	75.4	88.0	100.5	113.0	125.7
D50	59	78.5	98	117	137	157	176	196
D63	93.5	124	155	187	218	249	280	311
D80	150	201	251	301	351	402	452	502
D100	235	314	392	471	549	628	706	785
D125	368	490	613	736	859	981	1104	1227
D160	603	804	1005	1206	1407	1608	1810	2011
D200	942	1257	1571	1885	2199	2513	2827	3142
D250	1473	1963	2454	2945	3436	3927	4418	4909
D320	2492	3322	4153	4984	5814	6645	7476	8306

Orientacyjne zużycie powietrza (sprowadzone do warunków normalnych) w czasie n pełnych suwów siłownika (wysunięcie i wsunięcie tłoczyska) oblicza się według wzoru:

$$V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (2 \cdot D^2 - d^2) \cdot s \cdot n \cdot \left(\frac{p_r}{p_a} + 1 \right) + V_1 \quad [\text{cm}^3]$$

gdzie:

D, d - średnica tłoka, tłoczyska [cm]

s - skok siłownika [cm]

n - ilość pełnych suwów siłownika

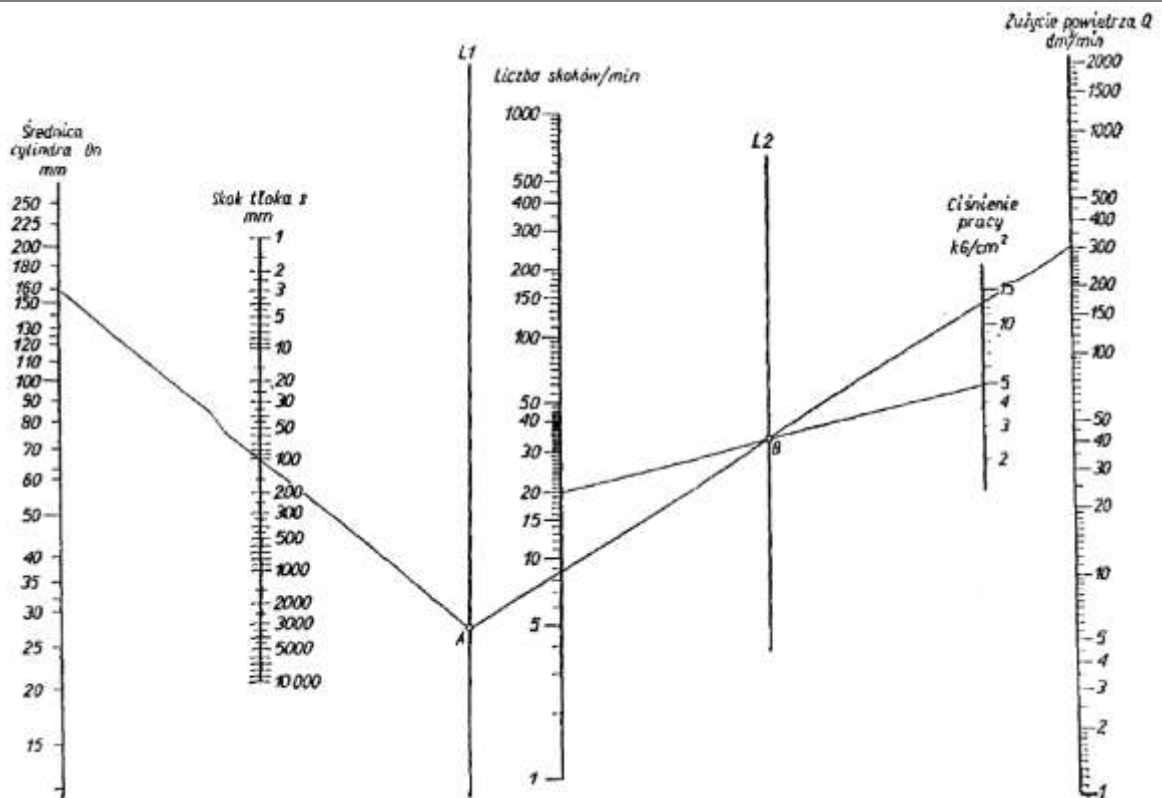
p_r, p_a - ciśnienie robocze (nadciśnienie) i atmosferyczne [bar]

V_s - objętość szkodliwa (np. objętość przewodów doprowadzających) [cm³]

Tabela 2.3 Orientacyjne zużycie powietrza na jeden pełny cykl pracy siłownika dwustronnego działania z jednostronnym tłoczyskiem [23]

Orientacyjne zużycie powietrza przy ciśnieniu 0.63 Mpa [normalne dm ³]														
Średnica siłownika [mm]														
	D12	D16	D20	D25	D32	D40	D50	D63	D80	D100	D125	D160	D200	D250
Zużycie dla skoku 100 mm	0.165	0.293	0.459	0.716	1.174	1.835	2.867	4.551	7.339	11.47	17.92	29.36	45.87	71.67
Przyrost zużycia na każde następne 100 mm skoku	0.144	0.272	0.401	0.659	1.117	1.649	2.681	4.274	7.061	10.88	17.33	28.44	44.95	70.23

Ponadto w celu określenia zużycia powietrza w pracy cylindra można posłużyć się nomogramem przedstawionym na rys. 2.2. Nomogram służy do obliczeń siłowników jednostronnego działania. W przypadku siłowników dwustronnego działania wyznaczone wartości zużycia powietrza należy podwoić. Nomogram uwzględnia napełnianie objętości szkodliwych, które w praktyce wynoszą do 30% objętości napełnianej w cylindrze.



Rys. 2.2. Nomogram zużycia powietrza w cylindrach jednostronnego działania [1]

Przy prowadzeniu obliczeń często rezygnuje się z jednostek ISO. Jest to spowodowane praktycznym „wycuciem” jednostek i niepopelnieniem błędów przy szybkich wstępnych obliczeniach.

Bar jest jednostką miary ciśnienia w układzie jednostek CGS (*Centymetr Gram Sekunda*)

1 bar jest to nacisk jaki generuje ciężar 1 kg przyłożony na powierzchni 1 cm²

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

4. Przewody pneumatyczne

Jednym z najistotniejszych parametrów, który jest brany pod uwagę przy doborze odpowiedniego przewodu pneumatycznego prócz medium jakie będzie nim transportowane, średnicy wewnętrznej i zewnętrznej przewodu, środowiska – warunków otoczenia w jakim będzie stosowany, jest charakterystyka ciśnieniowa. W skład owej charakterystyki ciśnieniowej wchodzi następujące parametry:

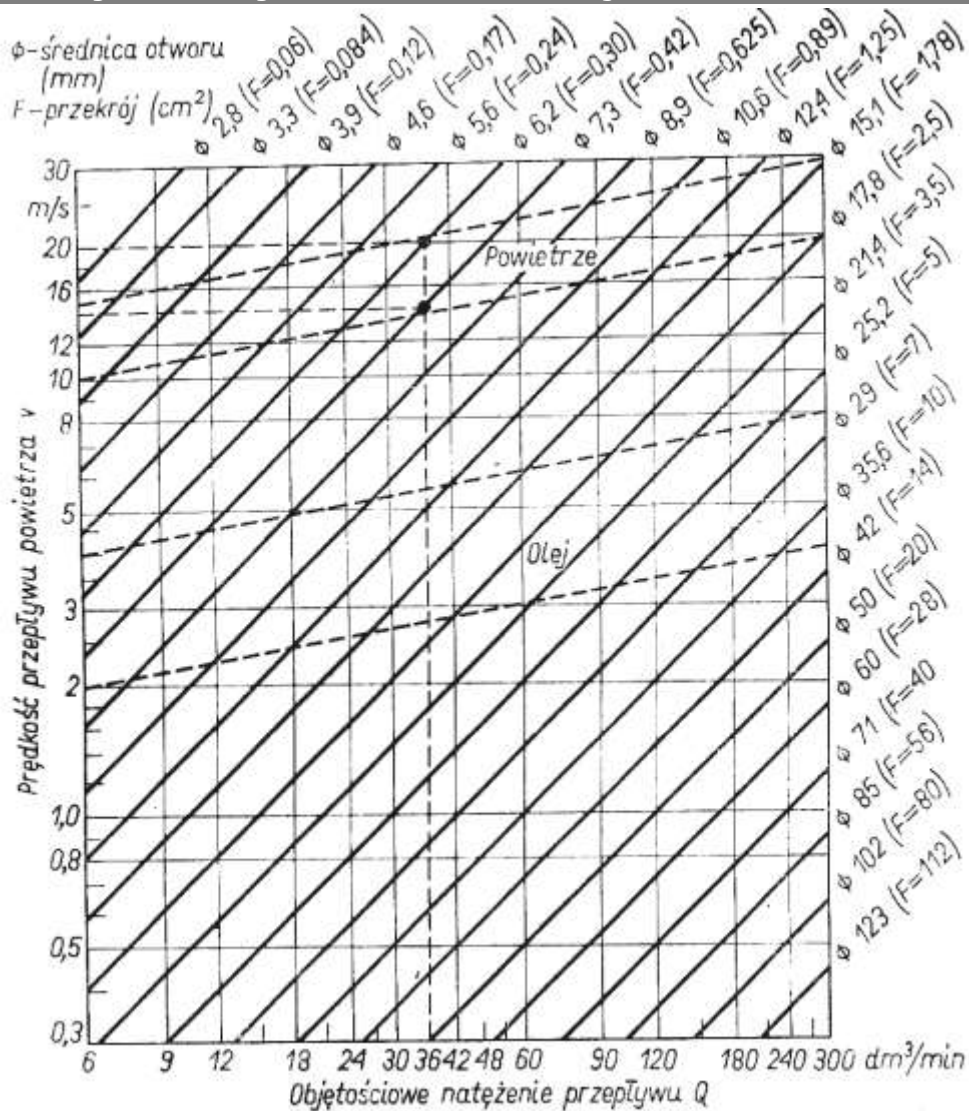
a) **ciśnienie robocze** – jest maksymalnym dopuszczalnym nadciśnieniem przy jakim przewody pneumatyczne mogą być stosowane,

b) **ciśnienie próbne** – sięga do 50% powyżej ciśnienia roboczego w zależności od konstrukcji przewodu pneumatycznego. Przy ciśnieniu próbnym, przewód nie może wykazywać jakichkolwiek nieszczelności lub trwałego odkształcenia.

c) **ciśnienie rozrywające** – to ciśnienie przy jakim przewody ulegają zniszczeniu. Ciśnienie robocze służy do ustalenia poziomu ciśnienia roboczego z odpowiednim uwzględnieniem normalnych współczynników bezpieczeństwa.

Przy projektowaniu układów z napędem pneumatycznym należy określić minimalną średnicę wewnętrzną przewodów, którymi ma być doprowadzane sprężone powietrze do elementów odbiorczych. Aby określić odpowiednie przekroje przewodów, należy znać maksymalną rzeczywistą wartość objętościowego natężenia przepływu przez te przewody i dopuszczalne spadki ciśnienia na wyjściach tych przewodów. Na ogół przyjmuje się, że straty ciśnienia w przewodach nie powinny przekraczać 5-10% wartości ciśnienia roboczego w układzie. Zwykle przyjmuje się także, że prędkość przepływu sprężonego powietrza przez przewody powinna mieścić się w granicach 10-40 m/s.

Na osi rzędnych wykresu jest podana prędkość przepływu powietrza v przez przewód w m/s, a na osi odciętych wartości objętościowego natężenia przepływu Q w tym przewodzie w dm³/min. Skośne linie nomogramu określają średnicę wewnętrzną przewodu w mm lub przekrój wewnętrzny przewodu w cm². Jeśli np. rozpatrywany siłownik pneumatyczny wymaga maksymalnego natężenia objętościowego przepływu przez przewód $Q = 36$ dm³/min, wtedy należy przyjąć wewnętrzną średnicę tego przewodu w granicach 6,2—7,3 mm (odpowiednio przekroje $A = 0,3-0,42$ cm²). Powyższy wykres można wykorzystywać do wstępnego doboru średnic wewnętrznych przewodów.



Rys. 3.1. Nomogram do określenia średnicy wewnętrznej przewodu (przekroju przewodu) w zależności od wartości objętościowego natężenia przepływu Q (powietrza lub oleju) [2].

W celu określenia strat ciśnienia na zaworze trzeba znać odpowiednie dane charakteryzujące opór przepływu czynnika roboczego przez ten zawór. Do tego celu producenci zaworów podają zwykle w katalogach następujące wartości:

- współczynnik K_v (współczynnik wymiarowy zaworu),
- objętościowe natężenie przepływu powietrza przez zawór w określonych warunkach.

Najczęściej jest to nominalne natężenie przepływu, to jest wartość objętościowego natężenia przepływu Q przy nominalnym ciśnieniu na wlocie zaworu i stracie ciśnienia na zaworze równej $\Delta p = 10 \text{ N/cm}^2$ (1 kg/cm^2). Wartość natężenia przepływu odnosi się do warunków fizycznych normalnych (0°C , ciśnienie normalne $10,13 \text{ N/cm}^2$ lub $1,033 \text{ kg/cm}^2$, normalne przyspieszenie ziemskie $9,80665 \text{ m/s}^2$). Tak zdefiniowane natężenie

przepływu jest dość łatwe do zmierzenia i daje pojęcie o wartości straty ciśnienia na określonym zaworze.

$$Q = K_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{p}}$$

gdzie:

Q - objętościowe natężenie przepływu

Δp - spadek ciśnienia na zaworze

p - ciśnienie przed zaworem

K_v - współczynnik wymiarowy zaworu

Współczynnik wymiarowy zaworu K_v , daje umożliwia syntetyczne ujęcie oporów przepływu określonych zaworów. Uwzględnia on średnicę nominalną zaworu, kształt kanałów zaworu oraz chropowatość ścianek kanałów przepływowych, a więc wszystkie podstawowe parametry mające wpływ na przepływ czynnika przez zawór. Dzięki niemu można bezpośrednio porównać teoretycznie dwa identyczne zawory o tych samych parametrach podstawowych (ciśnienie, natężenie przepływu). Staje się niezbędny do wyznaczania strat w instalacji pneumatycznej.

Dla większości typowych elementów armatury hydraulicznej miejscowe opory przepływu wyznaczane są doświadczalnie i podawane w zależności od średnicy nominalnej. Podaje się jednak nie wartości współczynnika oporu miejscowego, lecz tzw. długość zastępcza, odnosząc wartość oporów miejscowych do wartości oporu przepływu w prostym odcinku rurociągu o takiej samej średnicy jak średnica nominalna elementu i długości „ l_z ” równej długości zastępczej.

Rozpatrując całą instalację należy zsumować długości zastępcze l_z wszystkich elementów pośredniczących w przepływie czynnika oraz dodać do tego rzeczywistą długość przewodów w instalacji. Wówczas uzyskana długość przewodu l służącą określeniu rzeczywistych strat służy jako jedna z danych do obliczenia spadku ciśnienia w instalacji [1].

$$\Delta p_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2 = \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} \frac{Q^2}{A^2}$$

gdzie:

λ - współczynnik strat liniowych (dla przewodów o gładkich ściankach przyjmuje się 0,025, lub dla przepływu laminarnego oblicza się go ze wzoru $\lambda = 64/Re$)

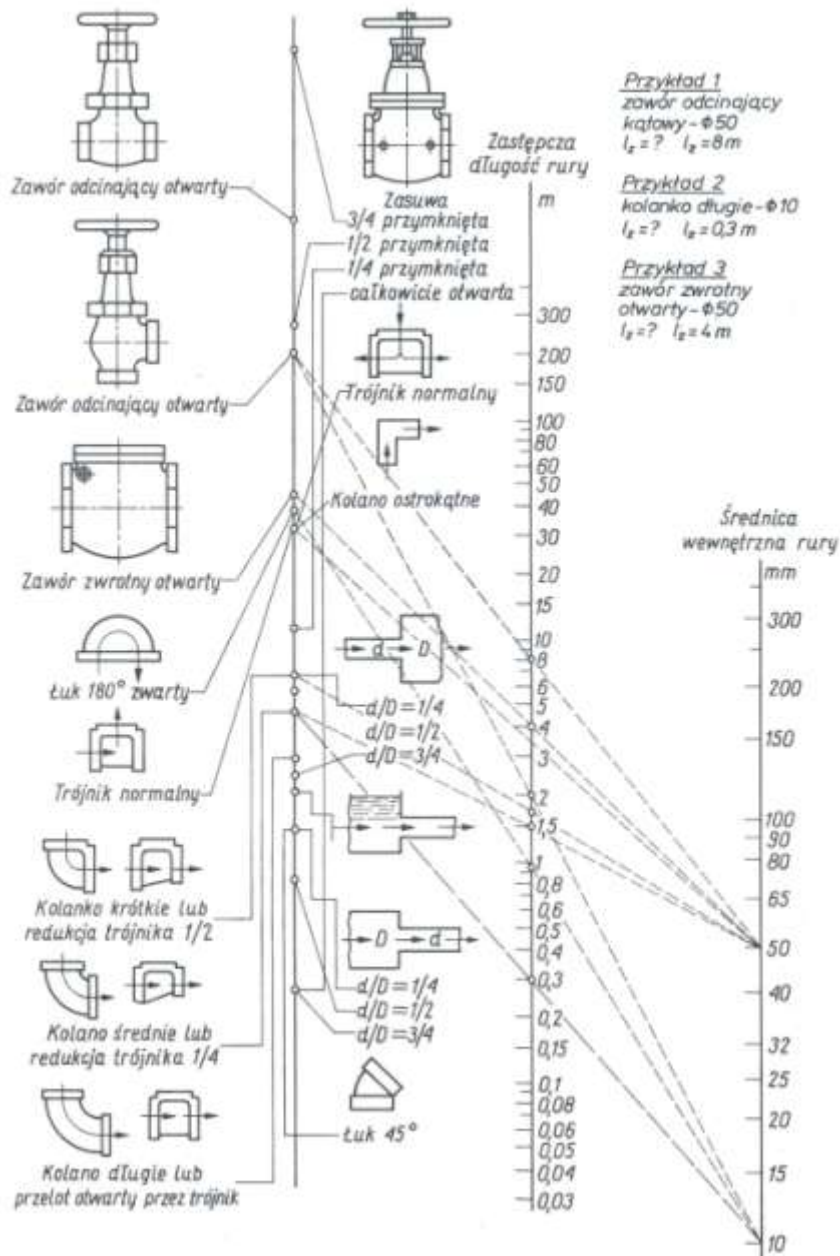
l - długość przewodu,

d - średnica przewodu (lub średnica równoważna d_r dla przewodów niekołowych)

Q - objętościowe natężenie przepływu

A - pole przekroju przepływu

r - gęstość czynnika



Rys. 3.2. Nomogram do wyznaczania orientacyjnych wartości zastępczej długości l_e przewodu dla różnych oporów miejscowych występujących w instalacjach pneumatycznych [1].

LITERATURA

Książki

- [1] Szenajch W. Napęd i sterowanie pneumatyczne, WNT, Warszawa 1992.
- [2] Szenajch W. Przyrządy uchwytu i sterowanie pneumatyczne, WNT, Warszawa 1983.
- [3] Niezgoda J., Pomierski W.: Sterowanie pneumatyczne ćwiczenia laboratoryjne, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1998
- [4] Lewandowski D. i inni.: Pneumatyka i hydraulika urządzeń mechanicznych - laboratorium. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1999
- [5] Węsierski Ł.: Podstawy pneumatyki. AGH, Kraków, 1990
- [6] Węsierski, Ł. N.; Rzeczywiste działanie elementów pneumatycznych, Pneumatyka; 2000 | nr 5 | 20-22
- [7] Świder J., Sterowanie i automatyzacja procesów technologicznych i układów mechatronicznych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006

Normy

- [8] PN - ISO 1219-1 1991 - Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Symbole graficzne i schematy układów -- Symbole graficzne
- [9] PN-ISO 1219-2:1998, Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Symbole graficzne i schematy układów -- Schematy układów
- [10] PN-M-73001:1991 + Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne. Terminologia.
- [11] PN-ISO 2944:2005 - Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Ciśnienia nominalne
- [12] PN-ISO 3320:1998 - Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Średnice cylindrów i średnice tłoczków -- Szereg metryczny
- [13] PN-ISO 3322:1998 - Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Cylindry (siłowniki) -- Ciśnienia nominalne
- [14] PN-ISO 4393:1998 - Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Cylindry -- Skoki tłoka; szereg podstawowy
- [15] PN-ISO 4397:1994 - Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Łączniki i części współpracujące -- Średnice nominalne zewnętrzne przewodów sztywnych lub półsztywnych i średnice nominalne wewnętrzne przewodów giętkich
- [16] PN-M-73020:1973 - Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne -- Elementy i zespoły hydrauliczne i pneumatyczne -- Ogólny podział i oznaczenie

Strony www z okresu 01.01.-30.01.2013

- | | |
|--|---|
| [17] Materiały firmy FESTO | www.festo.com |
| [18] Materiały firmy PNEUMAT | www.pneumat.com.pl |
| [19] Materiały firmy CAMOZZI | www.camozzi.com |
| [20] Materiały firmy SMC | www.smc.pl |
| [21] Materiały firmy AIR-COM | http://air-com.pl |
| [22] Materiały firmy BIBUS MENOS | www.bibusmenos.pl |
| [23] Materiały firmy PREMA | www.prema.pl |
| [24] Materiały firmy CADWIT | www.cadwit.pl |
| [25] Materiały firmy MINDMAN | www.mindman.com.tw |
| [26] Napęd i Sterowanie Hydrauliczne i Pneumatyczne | www.hip.agh.edu.pl |
| [27] Materiały firmy Air-Com | www.air-com.pl |
| [28] Politechnika Krakowska, Instytut Konstrukcji Maszyn | http://graf.mech.pk.edu.pl/ |