

STANOWISKO LABORATORYJNE DO POMIARU PARAMETRÓW W INSTALACJI SPRĘŻONEGO POWIETRZA

Streszczenie

W Laboratorium Systemów Pneumatycznych (LSP) przeprowadza się pomiary parametrów instalacji pneumatycznych – systemów sprężonego powietrza. Multifunkcyjne przenośne urządzenia pomiarowe są odpowiednie do analizy parametrów systemu sprężonego powietrza. Urządzenia mobilne do sprężonego powietrza mogą służyć do jednoczesnego pomiaru bieżącego zużycia sprężonego powietrza, przecieku, ciśnienia, punktu rosy, temperatury, zużycia prądu. Na podstawie tych pomiarów można na przykład obliczyć koszty przecieku i zużycia sprężonego powietrza.

WSTĘP

W Laboratorium Systemów Pneumatycznych (LSP) Zakładu Urządzeń Mechatronicznych (ZUM) na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn (WMiBM) Politechniki Świętokrzyskiej (PŚk.) w Kielcach przeprowadza się pomiary parametrów instalacji pneumatycznych – systemów sprężonego powietrza, w celu oceny zużycia i kosztów sprężonego powietrza. Ocena ta może być prowadzona w ramach audytu energetycznego do wprowadzenia oszczędności i racjonalizacji zużycia energii sprężonego powietrza w instalacjach pneumatycznych. Profesjonalny audyt może pomóc w diagnozowaniu systemów sprężonego powietrza od procesu wytwarzania poprzez sieć dystrybucji do odbiorców. Audyt energetyczny powinien wykazać sposoby zmniejszenia zużycia energii sprężonego powietrza oraz ocenić potencjał oszczędności energii w systemach sprężonego powietrza [1], [3]. W celu zoptymalizowania zapotrzebowania na sprężone powietrze wdraża się komputerowo wspomaganą analizę jego wykorzystania w instalacjach pneumatycznych. Z technicznego, ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia konieczne jest oszczędzanie energii sprężonego powietrza, dlatego podejmuje się szereg działań, których celem jest zmniejszenie zużycia energii elektrycznej przez poprawę sprawności sprężarek oraz zmniejszenie zużycia energii sprężonego powietrza przez ograniczenie strat ciśnienia i przecieków w instalacjach pneumatycznych.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów instalacji sprężonego powietrza można oszacować koszty zużycia energii, straty energii oraz całkowite koszty eksploatacji. Analiza całkowitych kosztów eksploatacji systemów sprężonego powietrza podczas całego życia technicznego urządzenia (ang. LCC - Live Cycle Cost) wymaga obliczeń i oceny ilościowej za pomocą różnych wskaźników. Do oszacowania zużycia energii w systemach sprężonego powietrza powinno się przeprowadzić szczegółową analizę stanu systemu oraz możliwości jego usprawnienia [2], [4].

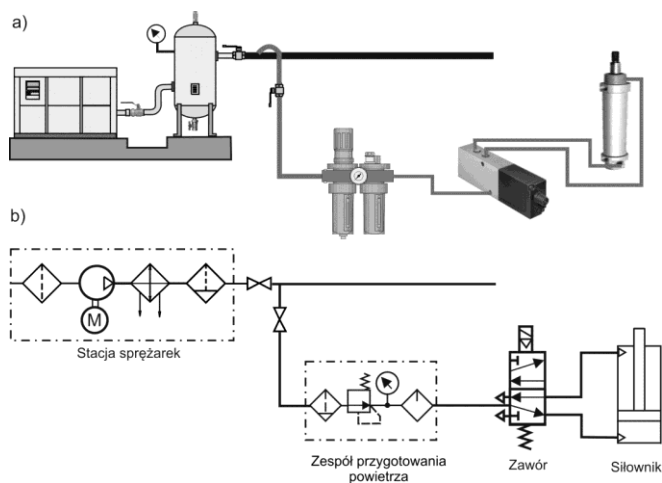
- **Pierwszym krokiem** jest uzyskanie informacji o instalacji sprężonego powietrza: parametrach sprężarki, ciśnieniu w instalacji (za sprężarką, za zespołem uzdatniania powietrza, w zbiorniku i w końcowych punktach instalacji), wartościach ciśnienia i zapotrzebowania powietrza w odbiorcach (w okresie doby, tygodnia, miesiąca, roku).
- **Drugim krokiem** jest przeprowadzenie przeglądu, pomiaru i udokumentowania stanu instalacji sprężonego powietrza w celu określenia: mocy sprężarki na dociążeniu i odciążeniu (podczas biegu jałowego), okresu włączania/wyłączania sprężarki, zuży-

cia energii elektrycznej, ciśnienia na wyjściu ze sprężarki, całkowitego wycieku powietrza, temperatury powietrza wlotowego w relacji do temperatury powietrza otoczenia, działania układów regulacyjnych w sprężarce i w systemie sprężonego powietrza, wskaźników zużycia energii w układzie sprężonego powietrza, stopnia wykorzystania całej sieci oraz poszczególnych jego gałęzi (również wyłączonych), ilości wydzielanego kondensatu w sieci dystrybucyjnej i w miejscu poboru powietrza, stanu filtrów, zaworów i przyrządów pomiarowych (mocy elektrycznej, temperatury, ciśnienia, wilgotności względnej i przepływu).

- **Trzecim krokiem** jest ocena możliwych do zastosowania środków technicznych w celu uzyskania redukcji kosztów i oszczędności energii w systemie sprężonego powietrza na podstawie przyjętych wskaźników oceny efektywności eksploatacji instalacji pneumatycznej.

1. INSTALACJE PNEUMATYCZNE

Schemat instalacji pneumatycznej (systemu sprężonego powietrza) składającej się ze stacji sprężarek i instalacji pneumatycznej z podłączonym układem napędu pneumatycznego zamieszczono na rysunku 1.

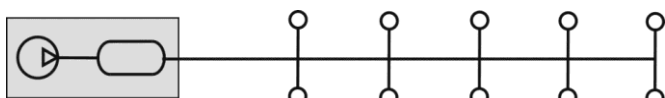


Rys. 1. System instalacji pneumatycznej: a) schemat ideowy, b) schemat pneumatyczny [4]

Instalacje pneumatyczne zbudowane są z rur sztywnych (stalowych, aluminiowych lub tworzyw sztucznych), w których wyróżnia się:

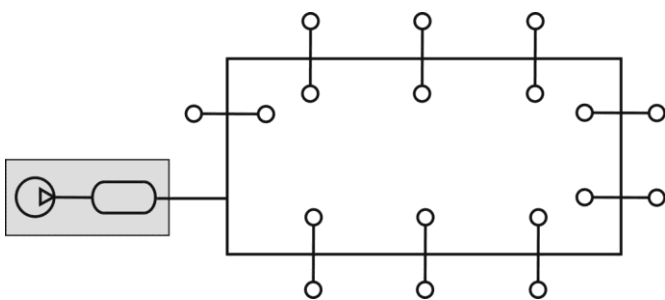
- główną rurę zasilającą (RG), która służy do przesyłania sprężonego powietrza ze sprężarki (centrali sprężonego powietrza) do obszarów poboru sprężonego powietrza,
- rury dystrybucyjne (RD), które rozprawdzają sprężone powietrze do poszczególnych rejonów poboru sprężonego powietrza,
- rury serwisowe (RS), które doprowadzają sprężone powietrze do miejsc (punktów) poboru sprężonego powietrza,
- punkty poboru sprężonego powietrza (PB) lub moduły przyłączeniowe służące do połączenia punktów poboru sprężonego powietrza w rurach serwisowych z punktami poboru sprężonego powietrza w odbiornikach.

Schematy podstawowych układów instalacji pneumatycznych typu otwartego - liniowego, typu zamkniętego - oczkowego i typu zamkniętego - rozgałęzieniowego pokazano na rysunkach 2-4 [7].

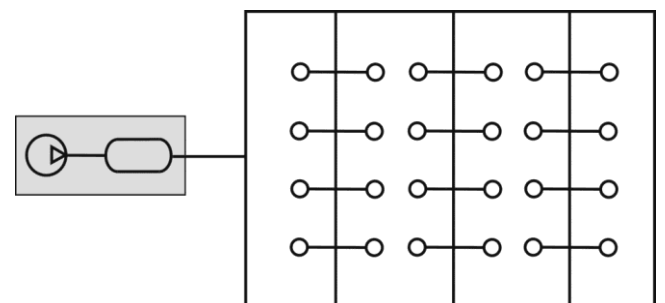


Rys. 2. Schemat instalacji pneumatycznej typu otwartego - liniowego

Przy projektowaniu instalacji sprężonego powietrza należy zapewnić pochylenia nie mniejsze niż 0,5% w kierunku zgodnym z przepływem sprężonego powietrza ze względu na spływ kondensatu, oprowadzenie rur serwisowych od rurociągu dystrybucyjnego od góry, a w odcinki proste rurociągów o długości większej niż 30 mb należy wbudować kompensacyjne wydłużalniki pętlicowe. Wszystkie punkty poboru powietrza, z wyjątkiem gałęzi spustowych, powinny mieć wyprowadzenie ku górze. Odejścia z instalacji głównej z góry przewodu zasilającego zapobiega przedostawaniu się już wytrąconego kondensatu do odbiorników. Usuwanie wody jest najbardziej efektywne przy wysokim ciśnieniu. W instalacji pneumatycznej należy unikać skomplikowanej drogi przepływu (bez zagięć) oraz nieodpowiedniego rozmiaru rur.

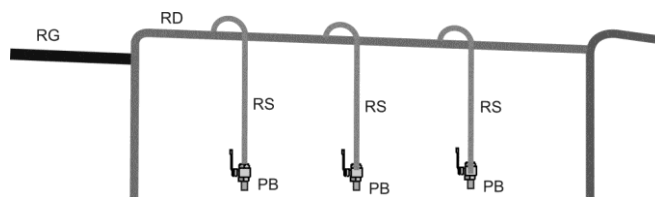


Rys. 3. Schemat instalacji pneumatycznej typu zamkniętego - oczkowego



Rys. 4. Schemat instalacji pneumatycznej typu zamkniętego - rozgałęzieniowego

Schemat fragmentu instalacji pneumatycznej zamieszczono na rysunku 5.



Rys. 5. Fragment instalacji pneumatycznej: RG – rura główna, RD – rura dystrybucyjna, RS – rura serwisowa, PB – punkt poboru sprężonego powietrza

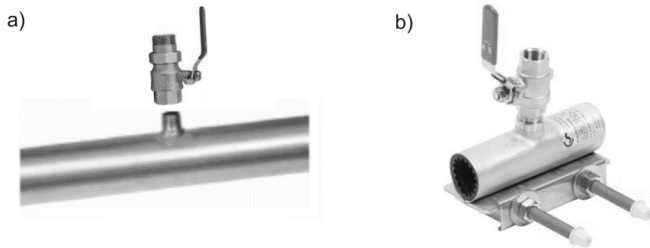
2. PRZYRZĄDY POMIAROWE

Do pomiaru parametrów instalacji pneumatycznej służy stacjonarny lub mobilny zestaw pomiarowy, np. typu DS300 firmy CS Instruments GmbH zamieszczony na rysunku 6 [5]. Zestaw pomiarowy DS300 umożliwia jednoczesny pomiar natężenia prądu, natężenia przepływu, ciśnienia, temperatury i temperatury ciśnieniowego punktu rosy w określonych przedziałach czasu. Wyniki pomiarów analizowane są na komputerze PC z wykorzystaniem specjalnych aplikacji, np. do graficznego przedstawienia danych z dziennym bądź tygodniowym okresem. Podstawowe dane służą do oceny kosztów i zużycia prądu przez sprężarkę w okresie dociążenia i odciążenia, obliczenia kosztów i zużycia sprężonego powietrza, obliczenia kosztów przecieku sprężonego powietrza, określenia temperatury i temperatury ciśnieniowego punktu rosy. Przetworniki pomiarowe można łatwo włączyć do instalacji pneumatycznej przez szybkozłączki i zawory kulowe. Na podstawie zebranych danych można podjąć działania optymalizujące system sprężonego powietrza, np. optymalizację pracy sprężarki, optymalizację układu rurociągu pneumatycznego w celu zapobiegania spadkom ciśnienia, ograniczenie przecieku w instalacji pneumatycznej, redukcję ciśnienia zasilania, obniżenie temperatury na wlocie sprężarki.



Rys. 6. Zestaw pomiarowy DS300 firmy CS Instruments GmbH: 1 – przyrząd pomiarowy DS300, 2 – przepływomierz, 3 – czujnik temperatury punktu rosy, 4 – przetwornik ciśnienia, 5 – amperomierz cęgowy, 6 – czujnik temperatury, 7 – komputer PC

Pomiary ciśnienia, natężenia przepływu, temperatury i punktu rosy wykonuje się w dowolnym punkcie instalacji pneumatycznej przez zawór kulowy 1/2", 3/4" lub 1" (cala). Zawór kulowy przykręca się do króćca przypawanego do rury lub obejmy rury (rys. 7).

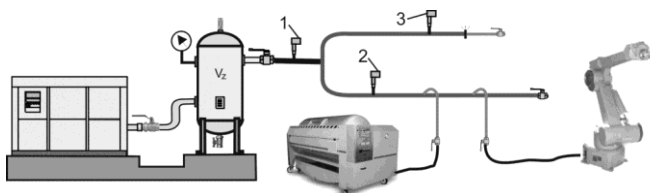


Rys. 7. Zawór kulowy przykręcany do przyspawanego króćca (a) lub obejmy rury (b) (CS Instrument GmbH)

Przez króćce wykonuje się odwierty w rurociągu za pomocą specjalnej odwiertnicy. Zalety punktu pomiarowego przez zawór kulowy to: proste włożenie sondy pomiarowej do rury o dowolnej średnicy, szybkie przeprowadzenie pomiarów ciśnienia, przy takim sposobie pomiaru nie występuje przewężenie rury, instalacja pneumatyczna może być pod ciśnieniem, nie trzeba przerywać pracy urządzeń, nie trzeba demontować rur instalacji i tworzyć dodatkowych obejść, zawory kulowe są powszechnie dostępne i niedrogie.

3. PUNKTY POMIAROWE

Osiągnięcie dużej dokładności pomiaru natężenia przepływu jest możliwe przy zachowaniu odpowiednich odległości przepływomierza od złązek w rurociągu instalacji pneumatycznej, zalecanych normie ISO 5167-1. Schemat instalacji pneumatycznej z znacznymi punktami pomiarowymi natężenia przepływu w rurociągu głównym, zużycia powietrza w odbiornikach i przecieku w rurociągu przedstawia rysunek 8. Prawidłowe rozmieszczenie przepływomierzy w rurociągach pneumatycznych z uwzględnieniem odległości od różnych złączy na dopływie i wypływie przepływomierza zamieszczono w tabeli 1.

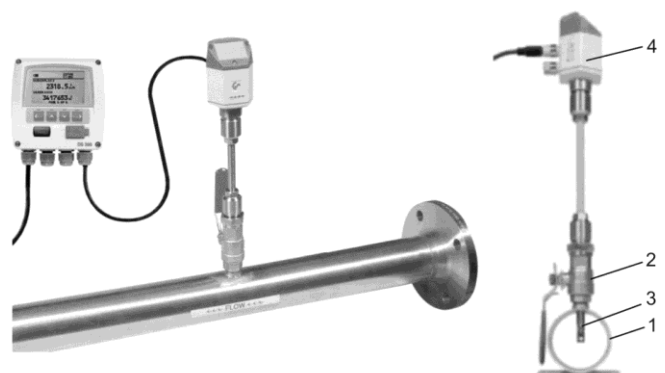


Rys. 8. Schemat rozmieszczenia przepływomierzy do pomiaru: 1 – natężenia przepływu w rurociągu głównym, 2 – zużycia powietrza w odbiornikach, 3 – przecieku w rurociągu [4]

Tab. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych natężenia przepływu w rurociągach pneumatycznych (CombiMass) [6]

Rodzaj złązek	Schemat rurociągu
Złaczka redukcjna na dopływie, złaczka rozszerzenia na wypływie	
Złaczka rozszerzenia na dopływie, złaczka redukcjna na wypływie	
Jedno kolanko 90° na dopływie i wypływie	
Dwa kolanka 90° na jednym poziomie na dopływie i wypływie	
Dwa kolanka 90° na dwóch poziomach na dopływie i wypływie	
Trzy kolanka 90° na trzech poziomach na dopływie i wypływie	

Sposób włączenie przepływomierza termicznego (termoanometrycznego) do rurociągu przez zawór kulowy zamieszczono na rysunku 9.



Rys. 9. Sposób włączenia przepływomierza termicznego DS 300 do rurociągu: 1 – rura, 2 – zawór kulowy, 3 – sonda pomiarowa, 4 – przepływomierz [5]

Przepływomierz termiczny stosuje się do pomiaru przepływu masowy q_m w jednostkach kg/s. W przepływomierzach termicznych znajduje się przetwornik, który przetwarza prędkość przepływu gazu (sprężonego powietrza) na wyjściowy sygnał napięciowy u_{wyj} według zależności:

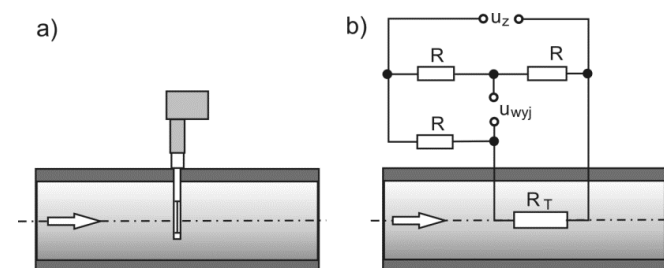
$$q_{vn} \approx u_{wyj} \quad u_{wyj} = k \lambda \rho v (T_s - T_g) \quad (1)$$

gdzie: u_{wyj} – napięcie wyjściowe, k – stała geometryczna (przekrój rury, $k=A$), λ – współczynnik przewodnictwa cieplnego gazu, ρ – gęstość gazu, v – prędkość przepływu gazu, T_s – temperatura czujnika, T_g – temperatura gazu.

Wyjściowy sygnał napięciowy u_{wyj} jest skalowany dla objętościowego natężenia przepływu q_{vn} w normalnych jednostkach [Nm³/s] lub [Nm³/min] dla znormalizowanych warunków fizycznych. Na dokładności pomiaru ma wpływ ciśnienie atmosferyczne p_a i temperatura otoczenia T_a . Można przyjąć, że pomiar odbywa się przy stałym ciśnieniu p_g i temperaturze T_g gazu, wtedy objętościowe natężenie przepływu ma postać:

$$q_v = q_{vn} \frac{T_a}{T_g} \frac{p_g}{p_a} \quad (2)$$

Schemat ideowy układu pomiarowego natężenia przepływu za pomocą przepływomierza termooanemometrycznego zamieszczono na rysunku 10. Przepływomierze termooanemometryczne służą do pomiaru prędkości przepływu za pomocą termoelementu umieszczonego w strumieniu gazu. W tej metodzie pomiarowej wykorzystuje się zależność rezystancji i temperatury termorezystora od prędkości przepływu płynu. Termorezystor R_T włączony w układ mostka, ogrzewany jest prądem elektrycznym przepływającym przez niego. Przepływający gaz powoduje obniżenie temperatury termorezystora, w wyniku tego elektryczny mostek pomiarowy jest nierównoważony. Te zmiany można obserwować mierząc napięcie wyjściowe U_{wyj} przy stałej wartości prądu. Ten sposób pomiaru zapewnia stabilny pomiar przepływu w rurociągach pneumatycznych.



Rys. 10. Schemat włączenia przepływomierza termicznego do rurociągu (a) oraz schemat ideowy układu pomiarowego (b) [4]

WNIOSKI

Pomiary parametrów instalacji pneumatycznych są podstawą optymalnej dystrybucji sprężonego powietrza w zakładach przemysłowych oraz warunkiem poprawnego działania urządzeń odbiorczych. Jest to również niezbędny element prowadzący do wzrostu efektywności energetycznej przedsiębiorstwa oraz obniżenia kosztów wytwarzania. Systemy pomiarowe parametrów instalacji pneumatycznej stanowią podstawowy środek do osiągnięcia celu, jakim jest bezawaryjna i ekonomiczna realizacja zadań produkcyjnych w zakładach przemysłowych. Przetworniki pomiarowe można łatwo włączyć do instalacji pneumatycznej przez standardowe szybkozłączki i zawory kulowe. Na podstawie zebranych danych można

podjąć działania optymalizujące system sprężonego powietrza. W przemysłowych instalacjach pneumatycznych dąży się do oszczędności energii przez racjonalizację zużycia sprężonego powietrza. Jedną z głównych przyczyn strat energii w systemach pneumatycznych są straty ciśnienia i przecieki sprężonego powietrza spowodowane różnymi czynnikami, np. niedokładnością wykonania i montażu, starzeniem, korozją oraz uszkodzeniem elementów instalacji pneumatycznych, jak: połączeń instalacji (złączek, przewodów), filtrów, regulatorów ciśnienia, zaworów bezpieczeństwa, zaworów odcinających, zaworów spustu kondensatu, zbiornika. Bazując na analizie zebranych danych należy podjąć działania optymalizujące system sprężonego powietrza, np. przez sprawdzenie przecieku w układzie sprężonego powietrza, analizę cyklu pracy sprężarki, redukcję ciśnienia zasilania.

BIBLIOGRAFIA

1. Bertoldi P., Elle M.: The European Motor Challenge Programme Catalogue 2003 to 2009. European Commission, DG JRC, Institute for Energy. Brussels 2009.
2. Dindorf R.: Energooszczędne sterowanie układami pneumatycznymi. Pneumatyka, nr 2, 2007.
3. Dindorf R.: Pomiary w instalacjach pneumatycznych. Napędy i sterowanie pneumatyczne. Poradnik konstruktora maszyn i urządzeń. Wydawnictwo Verlag Dashofer, Warszawa 2013.
4. Dindorf R., Woś P.: Przetworniki i układy pomiarowe w systemach hydraulicznych i pneumatycznych. Monografia M63. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014.
5. Katalog „Measuring Professional” firmy CS Instruments.
6. Katalog „Thermal Gas Flow” firmy Combimass.
7. Ruppelt E.: Druckluft-Handbuch. Vulkan-Verlag, Essen 1998.

LABORATORY STATION TO THE MEASUREMENTS OF THE PARAMETERS IN COMPRESSED AIR SYSTEMS

Abstract

In the Laboratory of Pneumatronic Systems (LPS) carry out the measurements of parameters of pneumatic installations – compressed air systems. Multifunction portable measuring instruments enables to the analysis of compressed air systems. Mobile instruments for compressed air can agree to the simultaneous measurement actual consumption of compressed air, leakage, pressure, dew point, temperature, current consumption. On the basic these measurements can be example calculation of leakage and compressed air consumption.

Autorzy:

Dindorf Piotr - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Tel. +48 413424481, dindorf@tu.kielce.pl

Woś Piotr - Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Tel. +48 41 3424504, wod@tu.kielce.pl