

Karolina PERZ, Aleksandra REWOLIŃSKA, Katarzyna GRZEŚKOWIAK

e-mail: karolina.perz@put.poznan.pl

Zakład Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, Poznań

Wyznaczanie strat ciśnienia w instalacji sprężonego powietrza

Wprowadzenie

Sprężone powietrze to mieszanina gazów charakteryzująca się brakiem barwy, smaku oraz zapachu o ciśnieniu wyższym od ciśnienia atmosferycznego [Atlas Copco, 2011]. W procesie sprężania powietrze uzyskuje wymagane w procesie technologicznym ciśnienie robocze. Kolejnym krokiem jest odpowiednie przygotowanie go do realizacji procesu produkcyjnego pod względem zapewnienia odpowiedniej klasy czystości.

Przygotowanie powietrza najwyższej jakości wymaga zastosowania odpowiednich urządzeń i filtrów. Każdy taki element jak i rozpiętość sieci powoduje spadki ciśnienia powietrza w instalacji. Dokładna analiza procesu – zarówno przygotowania jak i dystrybucji sprężonego powietrza pozwala na dostosowanie zapotrzebowania powietrza do potrzeb zakładu, co w istotny sposób wpływa na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej podczas jego wytwarzania i transportu [Halkiewicz, 2009; Kocełuch, 2009; Dindorf, 2010; Perz, 2012].

Celem pracy jest określenie spadków ciśnienia na komponentach tworzących sieć oraz w rurociągu transportującym sprężone powietrze. Aby to zrealizować utworzono program komputerowy do oszacowania strat ciśnienia w instalacji, co pozwoli na określenie optymalnej wartości ciśnienia powietrza wychodzącego ze sprężarki.

Wymagania higieniczne oraz jakościowe

W zależności od zastosowania ustalane są odpowiednie wymagania jakościowe dotyczące czystości sprężonego powietrza. Na przykład w przemyśle spożywczym jakość oraz czystość sprężonego powietrza ma szczególne znaczenie ze względu na możliwość jego kontaktu z żywnością. Przed wykorzystaniem należy je odpowiednio przygotować: oczyścić z zanieczyszczeń, uzdatnić, a na końcu odoleić [Perz, 2011].

Klasa czystości sprężonego powietrza jest określana w zależności od jego zastosowania ponieważ, nie każde zastosowanie wymaga powietrza najwyższej jakości. W niektórych przypadkach dostarczanie takiego powietrza do maszyny, czy urządzenia byłoby po prostu nieekonomiczne. Powietrze o najwyższej klasie czystości – sterylne, wykorzystuje się w przemyśle spożywczym do maszyn pakujących, w dozownikach, w procesie homogenizacji czy napowietrzania, czyli wszędzie tam gdzie ma ono bezpośredni kontakt z żywnością i może w znaczny sposób wpływać na produkt finalny.

Przygotowanie sprężonego powietrza realizowane jest w specjalnych urządzeniach sprężarkowych, składowane w zbiornikach, a jego transport odbywa się przy wykorzystaniu rur i elementów instalacji pneumatycznych [Atlas Copco, 2011]. Indywidualnie do każdej technologii czy procesu produkcji dobiera się proces oczyszczania sprężonego powietrza, który jest zależny od wymaganej klasy czystości powietrza. Wykorzystuje się w tym celu elementy takie jak: osuszacze, filtry, chłodnice, odwadniacze, separatory i spusty kondensatu.

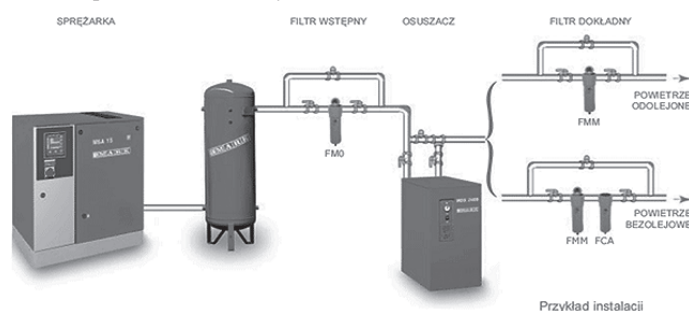
Pierwszym etapem usuwania cząstek stałych jest odfiltrowywanie dużych cząstek stałych. Proces ten wykonywany jest najczęściej w filtrze zgrubnym umieszczonym przed sprężarką. Kolejny etap to usuwanie wody. W instalacji montowane są osuszacze czyli urządzenia pochłaniające wodę z czynnika roboczego. W wielu przypadkach należy również pozbyć się oleju, ponieważ zaolejone powietrze mogłoby bardzo źle wpłynąć na produkt finalny. W tym celu wykorzystuje się odolejacz, które wyłapują cząstki oleju z obiegu instalacji pneumatycznej. W zależności od wymaganej klasy czystości powietrza stosuje się w dalszej części procesu odpowiedni stopień filtracji. Tak przygotowane powietrze może zostać użyte w przemyśle nie narażając producenta na uszkodzenie lub zniszczenie produktu.

Sieci pneumatyczne

Sprężone powietrze w instalacjach pneumatycznych pełni funkcję nośnika energii jak i informacji. Jest ono czynnikiem roboczym odpowiedzialnym za przenoszenie energii między jej źródłem czyli sprężarką, a odbiornikiem – maszyną czy urządzeniem. Do układu sprężania powietrza należą:

- urządzenia wytwarzające czynnik: sprężarki,
- urządzenia uzdatniające: filtry, chłodnice, osuszacze, spusty kondensatu,
- elementy przechowujące medium: zbiorniki powietrza,
- elementy sterujące, wykonawcze, łączniki i przewody.

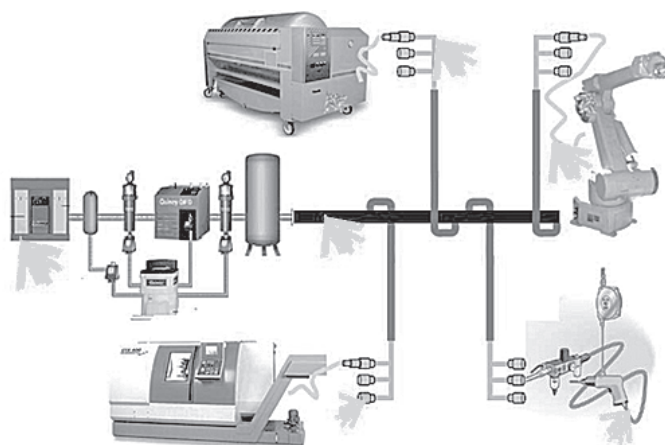
Przykładową strukturę instalacji pneumatycznej z głównymi komponentami przedstawiono na rys 1.



Rys. 1. Schemat instalacji pneumatycznej [Mark-kompresor, 2014]

Straty ciśnienia na poszczególnych elementach sieci

Mimo powszechności i wygody użytkowanie sprężonego powietrza ma również wady. Jedną z nich są wysokie koszty na jego wytworzenie i uzdatnianie. Analizy kosztów energii zużytej na wytworzenie czynnika roboczego wykazują, że jest to jedno z droższych – jeśli nie najdroższe medium [Kocełuch, 2009]. Dodatkowo koszty wzrastają w przypadku, gdy instalacja jest nieszczelna, źle zaprojektowana lub po prostu przewody są w znacznej części skorodowane, co powoduje wzrost chropowatości oraz zmniejszenie światła przewodów. Czynniki te należy brać pod uwagę przy projektowaniu instalacji, a dodatkowo należy dążyć do optymalnego wykorzystania czynnika roboczego, aby znacznie obniżyć koszty eksploatacyjne. Na rys. 2 pokazano miejsca, w których nieszczelności występują najczęściej.



Rys. 2. Miejsca najczęściej występujących przecieków [Dindorf, 2010]

Elementy sieci pneumatycznej jak: filtry, osuszacze, zawory, regulatory ciśnienia oraz rurociągi mają istotny wpływ na wartość ciśnienia w instalacji. Każdy z nich generuje straty, które mogą znacznie obniżyć wartość ciśnienia. Początkowo straty na tych elementach są niewielkie, ale z upływem czasu np. wkłady użytkowanych filtrów ulegają zanieczyszczeniu i wówczas straty ciśnienia rosną. Dodatkowo może dojść do przedostania się niektórych cząstek zanieczyszczeń do obiegu, dlatego należy pamiętać o regularnym wymianieniu lub regenerowaniu wkładów filtrów.

Spadki ciśnienia powodowane są również przez linie zasilające. Straty zależą od długości i średnicy rurociągu oraz chropowatości powierzchni wewnątrz rur. Opory miejscowe elementów rurociągu mogą być wyrażane za pomocą oporu prostego odcinka rurociągu o ekwiwalentnej długości. Wzrost ciśnienia sprężonego powietrza również zwiększa opory przepływu.

Prezentacja programu FINCH

Autorski program o nazwie *FINCH* (Rys. 3) powstał w języku programowania *Delphi*. Służy do obliczania strat ciśnienia w instalacjach sprężonego powietrza zgodnie z obowiązującymi procedurami. Umożliwia obliczanie zastępczej długości rurociągu, czyli odległości między odbiornikiem a sprężarką, wynikającej z zastosowania komponentów tworzących orurowanie instalacji.



Rys. 3. Ekran główny programu *FINCH*

Zgodnie z wymogami normy [PN 76/M-34034, 1976] każdy komponent rurociągu typu: kolanko, zawór, trójnik lub złączka jest zamieniany na zastępczy odcinek prostego rurociągu powodujący taki sam spadek ciśnienia jak rozpatrywany element. Program pozwala w ten sposób na obliczanie strat miejscowych w instalacjach pneumatycznych, a wielkość strat zależy od zastosowanych dodatkowych elementów w sieci. Zastępcza długość rurociągu jest zależna od odległości między odbiornikiem a sprężarką, a także od liczby dodatkowych komponentów w instalacji sprężonego powietrza.

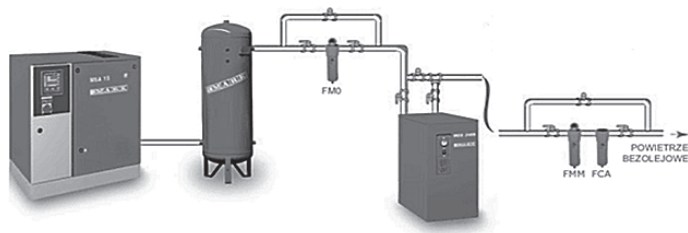
Kolejną możliwością jest obliczanie strat ciśnienia na orurowaniu. Ubytki te zależą od wydajności, liczby sprężarek, a także długości zastępczej i średnicy rurociągu.

Ostatni etap obliczeń w programie stanowi określenie strat ciśnienia związanych z liczbą dodatkowych komponentów, takich jak: filtry, osuszacze i chłodnice. W bazie programu zawarte są podstawowe współczynniki strat odpowiadające poszczególnym elementom, jednak użytkownik może zmienić ich wartość zgodnie ze współczynnikami podanymi przez producenta. Po wprowadzeniu danych wejściowych program sumuje ubytki i oblicza całkowite straty ciśnienia w instalacji pneumatycznej.

Przykład obliczeniowy

Opis instalacji. Analizie poddano sieć sprężonego powietrza w zakładzie przemysłu spożywczego zajmującego się przetwórstwem owoców i warzyw. Badania strat ciśnienia zostały przeprowadzone na jednej gałęzi produkcyjnej, w której sprężone powietrze służy do dozowania produktu do słoików.

Linia zasilana jest sprężarką o ciśnieniu roboczym 0,7 MPa i wydajności $18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, odległość między sprężarką a maszyną wynosi 80 m. W instalacji znajdują się filtry: zgrubny i dokładny, osuszacz ziębnioczy oraz filtr sterylny zamontowany fabrycznie w maszynie dozującej. Dodatkowo w instalacji jest 6 kolanek ($R = r$) i trzy zawory kulowe. Średnica rurociągu wynosi 10 mm. Schemat instalacji przedstawiony został na rys. 4.



Rys. 4. Schemat przykładowej instalacji sprężonego powietrza, która została poddana analizie

Analiza strat ciśnienia. Za pomocą autorskiego programu *FINCH* opisaną instalację poddano analizie polegającej na określeniu strat ciśnienia sprężonego powietrza przy określonych parametrach roboczych.

Zmieniano średnicę rurociągu w celu uzyskania jak najmniejszej wartości strat ciśnienia na orurowaniu. Rzeczywista średnica rurociągu wynosząca 10 mm przy założonych parametrach przepływu czynnika przez instalację generuje straty ciśnienia rzędu 20% (Tab. 1). Redukcja takiej straty pociąga za sobą wysokie koszty za energię potrzebną do napędu sprężarki.

Można zauważyć (Tab. 1), że optymalną jest średnica 30 mm, przy której strata na orurowaniu wynosi 0,0005 MPa. Dalsze zwiększanie średnicy nie powoduje już znacznego wzrostu ciśnienia, może jednak wpływać na koszt inwestycyjny instalacji.

Tab. 1. Straty ciśnienia w sieci sprężonego powietrza

Średnica rurociągu, [mm]	10	20	30	40
Długość zastępcza, [m]	97,4	97,4	97,4	97,4
Straty ciśnienia, [MPa]				
Na orurowaniu	0,123	0,0038	0,0005	0,0001
Na komponentach: filtr zgrubny; filtr dokładny; filtr sterylny; osuszacz ziębnioczy	0,016	0,016	0,016	0,016
Straty całkowite	0,139	0,0198	0,0165	0,0161

Podsumowanie

Praca przybliżyła zagadnienia związane ze stratami ciśnienia w instalacjach sprężonego powietrza.

Autorski program *FINCH* ma ułatwić pracę instalatorom sieci pneumatycznych oraz ich właścicielom. Pozwala na wyznaczenie start ciśnienia i daje możliwości skontrolowania instalacji już istniejących.

W przyszłości planowana jest rozbudowa programu o możliwość doliczania do strat całkowitych ubytków liniowych, wywołanych tarciem wewnętrznym, które występuje podczas transportu czynnika roboczego rurociągami.

LITERATURA

- Atlas Copco, 2011. *Technika sprężonego powietrza. Poradnik*. wyd. 7 2011. (03.2014): <http://www.atlascopco.com/plpl/aboutus/airacademy/compressedairmanual.aspx>
- Dindorf R., 2010. Ocena możliwości oszczędzania energii w systemach sprężonego powietrza. *Energetyka*, nr 1 (667), 7-14
- Halkiewicz W., 2009. *Jak oszczędzać energię w systemach sprężonego powietrza*. FEWE, Katowice (03.2014): http://www.portal.pemp.pl/biblioteka/roboczy/pemp_seria_wydawnicza_5.pdf
- Koceluch A., 2009. *Sprężone powietrze generatorem kosztów cz. I*. (03.2014): <http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artukul/article/sprezone-powietrze-generatorem-kosztow-cz-i/>
- Mark-kompresor, 2014. *Osuszacze ziębniocze MDX*. Hand Sp. z oo sp. k., Sulechów (dystrybutor)
- Perz K., 2011. Zanieczyszczenia sprężonego powietrza stosowanego w przemyśle spożywczym. *Inż. Ap. Chem.*, **50**, nr 2, 44-45
- Perz K., 2012. Wpływ nieszczelności instalacji sprężonego powietrza na zużycie energii w przemyśle spożywczym. *Probl. Eksp.*, nr 1, 141-147
- Perz K., 2012. Straty energii w układach sprężonego powietrza w zakładach przemysłu spożywczego. *Postępy Nauki i techniki*, nr 13, 86-93
- PN-76/M-34034, 1976. *Zasady obliczeń strat ciśnienia. Rurociągi*