Źródło: COMEST

# Instalacje sprężonego powietrza – rodzaje i praktyczny dobór

Dobry projekt układu rozmieszczenia przewodów sprężonego powietrza i zastosowane materiały mają duży i niedoceniany wpływ na skuteczność całego systemu. Jednym z głównych czynników wpływających na koszty budowy i modernizacji systemów zasilania sprężonym powietrzem to koszty instalacji rurociągów. Nie warto na tym oszczędzać!

**Bohdan Szafrański**

Ogólna klasyfikacja materiałów przeznaczo- Charakterystyka sprawności głównych elementów systemu, czyli sprężarek i osuszaczy jest ważna, ale zbyt małe średnice przewodów mogą wpływać na sterowanie pracą sprężarek, zwiększając nadmiernie częstotliwość ich pracy, co przedwcześnie zużywa urządzenie i zwiększa zapotrzebowanie na energię. Compressed Air Challenge (CAC) zaleca, aby różnica ciśnień w całym systemie dystrybucji począwszy od sprężarki do końcowego punktu odbioru i jego użycia przed filtrami i regulatorami powinna być mniejsza niż 10%. Na osuszaczach i filtrach powietrza tracimy zazwyczaj 5–6%, czyli rurociągi powinny być tak zaprojektowane, by różnice ciśnień nie były wyższe niż 4–5% przy przepływach szczytowych, a najlepiej, żeby były jeszcze mniejsze. Na pewno warto zajrzeć do podręczników udostępnianych przez CAC, w których przedstawiono zasady dobrych praktyk przy skalowaniu rurociągów w systemach sprężonego powietrza. Specjaliści odradzają, by podczas układania rurociągów ulegać pokusie instalowania rur o takim samym przekroju jak na wyjściu sprężarki. Wynika on z ekonomiki produkcji sprężarek, a nie z optymalizacji różnicy ciśnień w rzeczywistym systemie sprężonego powietrza.

Jak zaprojektować optymalną do potrzeb własnej produkcji instalację sprężonego powietrza? Katarzyna Tomczyk – Transair Manager Poland w Parker Hannifin Sales Poland zwraca uwagę, że większość projektów instalacji sprężonego powietrza jest wykonywana przez projektantów instalacji sanitarnych i traktowana, jest jako wyposażenie techniczne budynku. Jakość tych projektów pozostawia wiele do życzenia, bo na przykład projektuje się instalacje z rur ocynkowanych w formie pierścienia dookoła hali, bez obliczeń, bilansu zużycia powietrza i wielkości spadków ciśnienia dla takiej instalacji. Jak dodaje, doradztwo w zakresie doboru sprężarek i urządzeń do

uzdatniania powietrza jest dobrze rozwinięte, to nadal brakuje poradników o projektowaniu rurociągów rozprowadzających sprężone powietrze. Jeśli chce się zaprojektować energooszczędną instalację, należy dokładnie przeanalizować zapotrzebowanie na sprężone powietrze pod względem: jego ilości, jakości, ciśnienia oraz zużycia w czasie. Nie ma sensu sprężać powietrze do 10 bar tylko po to, żeby na maszynach redukować je do wartości 6 bar. Określenie poziomu zużycia w czasie pozwoli z kolei dobrać odpowiedniej wielkości zbiorniki buforowe i ustawić je w pobliżu największych rozbiorów. Katarzyna Tomczyk zwraca uwagę, że przesyłanie powietrza w rurociągach generuje straty powodowane tarciem i aby je zminimalizować, warto stosować tzw. rury gładkie. Dodatkowe straty wywołują wszelkie zmiany kierunku przepływu (kolana, trójniki) oraz zawory, bo takie elementy „dławią" przepływ. Zamiast tabel, w których podano informacje o tzw. długościach przeliczeniowych, dla każdego z tych elementów zależnie od średnicy i odpowiednich równań można wykorzystać do tego celu odpowiednie oprogramowanie, np. Transair Flow Calculator firmy Parker Hannifin. Nie warto też umieszczać zbiorników sprężonego powietrza na końcu instalacji (w celu zapewnienia odpowiedniego ciśnienia), ale stosować je w pobliżu urządzeń, które w krótkim okresie potrzebują dużej ilości powietrza (zapobiegnie to „wyciąganiu" powietrza z całej instalacji). Jak dodaje, instalacja powinna mieć odpowiednią liczbę zaworów odcinających i warto pogrupować odbiory tak, by jedna maszyna lub linia produkcyjna była podłączona z jednego rurociągu zasilającego. Takie rozwiązanie ułatwia wszelkie prace serwisowe, które mogą być prowadzone bez wyłączania większej części zakładu. Minimalizuje to też liczbę zaworów montowanych na rurociągach rozprowadzających, co pozwala zmniejszyć spadki ciśnienia i wprowadzić opomiarowanie zużycia sprężonego powietrza przez dane urządzenie.

Na co najczęściej nie zwraca się dostatecznej uwagi, projektując instalacje sprężonego powietrza? Jak twierdzi Wojciech Halkiewicz z firmy 7bar, często za małe są średnice, układy nie są zamykane w pierścienie, projekty nie umożliwiają montażu pomiarów przepływu i ciśnienia dla wydziałów, czy maszyn (brak odcinków o odpowiedniej długości oraz projektów uwzględniających taką logikę). Wyjścia (przyłącza do maszyn) powinny być zabudowywane w sposób uniemożliwiający porywanie z rurociągu wody, tak więc np. za pomocą "łabędziej szyi", czy też z góry albo z boku rurociągu. Natomiast częstym błędem są przyłącza wykonane prosto w dół od głównej arterii. Największym błędem, jego zdaniem, jest szukanie najniższej ceny „za metr rury" lub też najniższego kosztu instalacji, zamiast szukania rozwiązania, które będzie bezpieczne, efektywne, „przewidzi" przyszłe potrzeby użytkownika przez najbliższych dwadzieścia lat oraz będzie łatwe do modyfikacji. Ważny dla systemu jest dobór zbiornika wyrównawczego, a częstym błędem handlowców jest dobór zbyt małego, uzupełnia Wojciech Halkiewicz.

Również według mgra inż. Krzysztofa Szymańskiego Application Managera w firmie Kaeser Kompressoren, projektując instalację sprężonego powietrza należy przeprowadzić dokładną analizę: przeznaczenia, ilości tłoczonego powietrza w jednostce czasu, ciśnienia i odległości przesyłu, a całkowite straty przesyłu powietrza nie powinny przekraczać 0,1 bara. Przypomina też, aby odejścia branżowe od rurociągu głównego były podłączane od góry, by nie zalać odbiorów możliwym kondensatem. Znaczenie ma stosowanie instalacji pierścieniowych dających możliwość równomiernych obciążeń, prawidłowo zaprojektowana wentylacja sprężarkowni oraz instalacja odprowadzenia kondensatu. Jak dodaje, firma miała możliwość zapoznania się z wieloma projektami instalacji sprężonego powietrza i niezależnie od ich autorów zauważono, że niestety zastosowano w nich wszystkich założenia takie jak przy projektowaniu instalacji cieczowych (dla cieczy), głównie systemów HVAC.

## Z jakiego materiału rurociąg?

*– Wady i zalety materiałów, z których wykonuje się rurociągi, wynikają nie tylko z rodzaju materiału, z którego je wykonano czy też z systemu ich połączeń* – mówi Wojciech Halkiewicz. Jego zdaniem kluczowe w przypadku przesyłu medium, którego: ciśnienie, temperatura, zawartość zanieczyszczeń, natężenie przepływu, tak często się zmieniają, jest bezpieczeństwo ludzi i sprzętu oraz efektywność energetyczna. O bezpieczeństwie instalacji decyduje właściwie dobrany materiał oraz staranność wykonania, a także spełnianie wymogów zasad sztuki, w tym dotyczących mocowań, uchwytów i kompensacji długości związanej ze zmianą temperatury. Wykonawca instalacji powinien wypełnić wymogi zaleceń dyrektywy dla prostych urządzeń ciśnieniowych PED. Między innymi dostarczyć certyfikaty materiałowe na rurociągi i złączki, które potwierdzą, że układ rurociągów został zbudowany z materiałów mogących pracować pod zmiennym ciśnieniem, przy zmiennych temperaturach sprężonego powietrza, które najczęściej zawiera wodę i olej (tzw. płyn chłodzący sprężarki jest to często substancja reagująca z uszczelnienia-

**Źródło:** 7bar

mi i tworzywami sztucznymi). Instalacja powinna mieć aktualną dokumentację modyfikowaną po zmianach. Wykonawca powinien stosować materiały umożliwiające wystawienie na cały system certyfikatu zgodności. Wiedza z tym związana jest dostępna na stronach Urzędu Dozoru Technicznego. Rurociągi to też ważny element wpływający na bezpieczeństwo dostaw tego medium energetycznego.

O efektywności energetycznej decyduje właściwie dobrany przekrój i właściwy przebieg rurociągów – niezależnie od wybranego materiału, dodaje Wojciech Halkiewicz. W rurociągach o gładkich ściankach straty tzw. warstwy przyściennej są mniejsze. Natomiast parametrem dobrze i w prosty sposób wspomagającym dobór rurociągu jest prędkość strumienia powietrza w rurociągu. Zbyt duża prędkość powoduje stratę ciśnienia, która jest proporcjonalna do kwadratu prędkości. Jeśli więc prędkość jest za duża – strata rośnie z jej kwadratem. Prędkość w kolektorach sprężarek nie powinna przekraczać 5–7 m/s, w głównych arteriach przesyłowych powinna być na poziomie około 10 m/s, a dopiero na przyłączach można zaakceptować na możliwie najkrótszym odcinku prędkość około 15 m/s. Można podać tu prostą zasadę 5–10–15, ale trzeba pamiętać, że przesył powietrza jest jak przesył prądu – żeby uniknąć strat, powinniśmy mieć możliwie duży przekrój i możliwie krótki odcinek przesyłu. Strata przesyłu w warunkach idealnych to 0,1 bar od sprężarkowni do punktu końcowego sieci. Natomiast dobra praktyka sugeruje zachowywanie straty przesyłu nie większej niż 2–5% ciśnienia początkowego, ale zawsze z wyliczeniem – jaki to stanowi roczny koszt utraconej energii. Zaleca, skorzystać na przykład z kalkulatorów dostępnych na stronie firmy 7bar lub ze wzoru:

$$d_{rury} = \sqrt[5]{\frac{1{,}6 \times 10^{3} \times V^{1{,}85} \times L}{10^{10} \times \Delta P \times P_{max}}} \quad [m]$$

Na co zwracać uwagę dobierając materiał i armaturę do budowy rurociągu? Zdaniem Wojciecha Halkiewicza najbezpieczniej jest stosować systemy dedykowane do sprężonego powietrza, łatwo modyfikowalne (bo systemy sprężonego powietrza podlegają częstym zmianom). Dobrze jest stosować materiały, dla których istnieją narzędzia do projektowania i doboru, oraz systemy, które już ktoś stosuje przez więcej niż 10–20 lat (np. sprawdzone systemy aluminiowe takie jak Transair Parker), bo średnie życie instalacji sprężonego powietrza w fabryce, to znacznie więcej niż 20 lat.

Zgodnie z opinią wielu specjalistów, warto zainteresować się systemami dystrybucji sprężonego powietrza wykonanymi z aluminium, które stosuje się w ostatnich latach coraz częściej. Specjaliści z firmy Parker Hannifin wymieniają sześć powodów, dla których warto stosować rury aluminiowe do montażu instalacji sprężonego powietrza:

- ponieważ sprężone powietrze jest najdroższym medium energetycznym, a aluminiowe rurociągi gwarantują, że spadki ciśnienia zostaną zachowane na niskim poziomie przez cały okres użytkowania i instalacja będzie szczelna,
- rury aluminiowe nie korodują,
- niższe koszty montażu – nie trzeba jak w przypadku stosowania rur stalowych spawać je lub gwintować, co wymaga specjalistycznego sprzętu i przeszkolonych pracowników; jak się podaje, aluminiowe systemy pozwalają nawet na trzykrotne skrócenie czasu montażu,
- rury aluminiowe są też lżejsze (czterokrotnie) od stalowych, a dziś hale produkcyjne budowane są w technologii lekkich szkieletów stalowych,
- ograniczone są wycieki sprężonego powietrza (głównie w instalacjach wykonanych w technologii połączeń gwintowanych),
- brak kosztów serwisowania instalacji – gwarantuje to fabryczne lakierowanie proszkowe oraz technologia pewnych połączeń dostosowana do średnic; ponadto wszystkie elementy systemowe nadają się do wielokrotnego użycia.

Katarzyna Tomczyk poleca lekki, modułowy wykonany z aluminium system Transair. To kompletny system zawierający nie tylko rurociągi, złącza i technologię, ale również oprogramowanie pozwalające na dobranie optymalnej średnicy rurociągu oraz gwarancja efektywności energetycznej całego systemu. Pozwala on na zminimalizowanie spadków ciśnienia, dzięki gładkim ścianom wewnętrznym i pełnoprzelotowym złączom. System gwarantuje, że użytkownik będzie miał w punkcie poboru powietrze tej klasy, do jakiej uzdatnił je w sprężarkowni, a po zmontowaniu system nadaje się do natychmiastowej pracy.

**Źródło:** 7bar

Krzysztof Szymański przypomina jednak, że podstawowym wyznacznikiem jest przeznaczenie sprężonego powietrza i wymagania użytkownika. Przykładowo przemysł farmaceutyczny, spożywczy, elektroniczny mają wymagania najwyższych klas czystości powietrza wg normy IS0 8573-1 (2010). W tych przemysłach podstawowym materiałem do budowy rurociągów są stale nierdzewne, a w szczególnych przypadkach dopuszczalne jest też stosowanie miedzi. Natomiast do budowy rurociągów w wielu pozostałych gałęziach przemysłu stosowane są stale węglowe ocynkowane, aluminium i tworzywa sztuczne. Przy tych ostatnich należy zwrócić uwagę na zmienną wytrzymałość przy zmianach temperatury otoczenia i temperatury przesyłanego medium.

Nawiązując do dyskusji o przewadze jednego rodzaju materiału nad innym użytym do budowy systemu zasilania sprężonym powietrzem, Wojciech Kwaśnicki z firmy COMEST, proponuje spojrzeć na to zagadnienie z trochę innej strony. Jego zdaniem często prowadzimy akademickie dyskusje o przewadze jednych materiałów nad innymi. Rozważamy problem głównie od strony kosztów. Czy nie lepiej kupić droższe materiały, które szybciej się instaluje, lub może tańsze, ale za to wymagające większej liczby godzin montażowych? Sprawdzamy współczynniki oporu i prognozujemy czy rura za 15 lat „zarośnie". Zapominamy przy tym o dwóch najistotniejszych zagadnieniach. Chodzi o dobór właściwych przekrojów instalacji oraz dbałość o szczelność systemu. To prawda, że względy praktyczne stawiają instalacje rozłączne (np. TransAir i John Guest) ponad instalacjami łączonymi na stałe (gwinty, spawanie, zaciskanie, zgrzewanie). To prawda, że aluminium i niektóre tworzywa sztuczne są lekkie i łatwe w montażu, gdy stal ma po prostu swój ciężar i wymaga mocniejszych podpór. Zgadza się też to, że w instalacjach rozłączalnych łatwiej o estetykę wykonania, gdy w zgrzewanych i zaciskanych błędy naprawiamy, wymieniając cały odcinek. Co z tego jednak, że instalacja będzie ładna i położona w dwa dni, jeśli spadki ciśnienia wygenerują gigantyczne starty? To samo z wyciekami. Kto wie, ile traci użytkownik instalacji, która nie jest okresowo badana na nieszczelności i naprawiana? Jak jednak dodaje, znów dochodzimy do punktu, w którym łatwość demontażu instalacji może znacznie ograniczyć koszty i czas naprawy. Realne problemy, które widzi to: przekroje (zazwyczaj za małe i/lub za mała pojemność zbiorników) oraz wycieki. Jego zdaniem, same materiały, z jakich wykonane są rury to kwestia wtórna i mniej wpływająca na koszty eksploatacji sprężonego powietrza.

Podsumowując, można też zapytać, czy warto zdecydować się na system instalacji od jednego producenta? Jak mówi Krzysztof Szymański, każdy z systemów dostępnych na naszym rynku ma swoje specyficzne cechy. Na rynku jest kilku producentów systemów aluminiowych lub ocynkowanych. Różnią się one sposobami połączeń, narzędziami montażowymi i rozmiarami komponentów. Jego zdaniem o wyborze systemu/dostawcy decyduje dostępność materiału i korzystne warunki finansowe. Kolejnym czynnikiem jest łatwość dalszej rozbudowy instalacji.

**Źródło:** 7bar

**Źródło:** 7bar

Według Wojciecha Halkiewicza aspekt techniczny wskazuje na to, aby kierować się bezpieczeństwem, niezawodnością i efektywnością energetyczną, a przy zapewnieniu tych warunków – ostatecznie – łącznym kosztem posiadania instalacji przez 20 lat. Dla wielu użytkowników ważna jest też kwestia odpowiedzialności za system, którą najlepiej skoncentrować w jednych, pewnych rękach dostawcy, lub wykonawcy oraz wypełnianiem zaleceń dobrej praktyki i PED. Radzi zainteresować się nowościami na przykład dostępnymi w ofercie jego firmy, takimi jak złączki dla przyłączy sprężarek w kolektory z wejściem pod kątem 45 stopni, czy też tzw. czwórniki krzyżowe albo trójniki redukujące dużą średnicę do mniejszego ringu w ofercie rurociągów aluminiowych.

Specjaliści zgodnie podkreślają wagę właściwej konserwacji instalacji sprężonego powietrza. Również jako najważniejszego elementu, który trzeba brać pod uwagę już przy pracach projektowych. Nieszczelności systemu sprężonego powietrza mogą być bardzo kosztowne. Również układ sprężarki może być mniej wydajny i wymagać częstszej konserwacji, jeśli właściwie nie zaprojektuje się usuwania kondensatów i zanieczyszczeń oraz systemu ich okresowej kontroli. Radzi się też, by podczas układania rurociągów rozważyć systemy pętli, w których jest druga dodatkowa równoległa ścieżka. To sposób na zmniejszenie przepływu w każdej z nich i redukcję ciśnienia.

Na pewno warto przy okazji każdej modernizacji lub rozbudowy systemu dystrybucji sprężonego powietrza przeprowadzić wcześniej prace projektowe, w których uwzględni się wymiarowanie i rozmieszczenie rurociągów. Trudno jest definitywnie odpowiedzieć na pytanie, czy lepszy jest system dystrybucji powietrza klasyczny scentralizowany, czy składający się z wielu mniejszych wydziałowych. Raczej wszyscy skłaniają się dziś do opinii, że każdy z nich ma swoje zalety i wady. Wydaje się natomiast, że warto rozważyć na przykład umieszczenie sprężarek w głównych punktach zapotrzebowania na sprężone powietrze (wydzielone systemy) i połączyć z wykorzystaniem systemu centralnego. Na pewno na świecie nadal będziemy obserwować duże zainteresowanie wykorzystaniem sprężonego powietrza w przemyśle. Jak podano w raporcie przygotowanym przez firmę badawczą Global Market Insights i zatytułowanym „Compressed Air Treatment Equipment Market" w ponad 75% wszystkich stosowanych dziś cyklów produkcyjnych w przemyśle, wymagane jest sprężone powietrze przynajmniej w jakimś momencie cyklu operacyjnego. Jak prognozuje się w raporcie, cały rynek urządzeń do uzdatniania sprężonego powietrza ma w 2024 roku powinien przekroczyć wartość 11 mld dolarów. ■