

# WYDAJNOŚĆ KOMPRESORA



**Rozmowy o sprężonym powietrzu**

**MARCIN  
DĄBROWSKI**

## Spis treści

<b>Wstęp</b>	<b>3</b>
<b>Wydajność kompresora o mocy silnika 22 kW</b>	<b>3</b>
<b>Service factor, czyli współczynnik przeciążalności</b>	<b>3</b>
<b>Wydajność sprężarki</b>	<b>4</b>
<b>Norma do określania wydajności sprężarek</b>	<b>4</b>
<b>Wydajność FAD (free air delivery)</b>	<b>4</b>
<b>Znormalizowane warunki wlotowe</b>	<b>5</b>
<b>Kompresory śrubowe/łopatkowe o stałej wydajności</b>	<b>5</b>
<b>Warto jeszcze podkreślić dwa aspekty</b>	<b>6</b>
<b>Wydajność efektywna kompresora</b>	<b>7</b>
<b>Wydajność objętościowa kompresora</b>	<b>7</b>
<b>Przepływ masowy sprężonego powietrza</b>	<b>8</b>
<b>Gdzie stosować przepływ masowy sprężonego powietrza?</b>	<b>8</b>
<b>Jak dokładna jest podawana wydajność kompresora?</b>	<b>9</b>
<b>Metody pomiaru wydajności kompresora</b>	<b>10</b>
<b>I sposób: Pomiar wydajności przepływomierzem masowym</b>	<b>10</b>
<b>II sposób: Pomiar wydajności kompresora z wykorzystaniem zbiornika sprężonego powietrza</b>	<b>11</b>
<b>Pomiar wydajności kompresora</b>	<b>12</b>
<b>Przebieg próby zbiornikowej</b>	<b>13</b>
<b>Pomiar wydajności kompresora śrubowego</b>	<b>14</b>
<b>Wydajność kompresora i różne wyniki</b>	<b>15</b>
<b>Użytkownik kompresora oblicza wydajność</b>	<b>15</b>

# Wydajność kompresora

<b>Wydajność kompresora i ciśnienie tłoczenia</b>	<b>15</b>
<b>Od czego zależy wydajność kompresora?</b>	<b>16</b>
<b>Bądź pewny wydajności sprężarki</b>	<b>17</b>
<b>Na zakończenie</b>	<b>17</b>

## Wstęp

Przeglądając wpisy na portalach tematycznych zajmujących się pneumatyką, można zobaczyć pytania o dobór kompresora do konkretnej aplikacji (jaki kompresor do malowania?, jaki kompresor do piaskowania?), albo jaki jest polecany kompresor z butlą 100 litrów. Jest też pytanie o obliczanie wydajności kompresora, gdy okazało się, że ten kupiony nie spełnia oczekiwań. Czasami też pada pytanie o wzór na wydajność kompresora.

## Wydajność kompresora o mocy silnika 22 kW

Kiedyś wydajność kompresora np. o mocy silnika 22 kW była przewidywalna. Bo kiedyś sprężarki były jakieś inne.

Sprężarka z silnikiem 22 kW miała określoną wydajność efektywną i każdy z branży ją znał. Potem nastąpił rozwój. Rozwój kreatywności połączony z technicznym rozwojem konstrukcji kompresora.

## Service factor, czyli współczynnik przeciążalności

Zastosowanie silników z tzw. service factor pozwoliło na większe obciążenie silnika w warunkach pracy określonych dla tego współczynnika. Service factor to współczynnik przeciążalności.

Współczynnik przeciążalności dla silników elektrycznych obecnie stosowanych w kompresorach jest na poziomie 1,15-1,25. Oznacza to, że silnik kompresora o mocy znamionowej 22 kW można tak obciążyć, że jego maksymalny pobór energii elektrycznej będzie wynosił nawet ponad 27 kW. I to bez żadnego negatywnego wpływu na żywotność silnika kompresora.

W przypadku sprężarek obciążenie oznacza większą wydajność, czyli większe opory tłoczenia, które musi przewyciężyć silnik. Dla silnika o mocy znamionowej 22 kW, przy poborze energii 27 kW, wydajność kompresora będzie większa niż dla mocy 22kW. Kiedyś takie rozwiązanie nie było powszechnie stosowane przez producentów kompresorów.

## Wydajność sprężarki

Taki sam proces miał miejsce w określaniu wydajności kompresora. Kilkadziesiąt lat temu wydajność sprężarki odnoszono do jednych warunków normalnych. Potem rozpoczęto zmieniać parametry warunków normalnych. W zależności od normy temperatura otoczenia w warunkach normalnych wynosi 273K, 288K lub 293K.

Wydajność sprężarki to przepływ objętości w jednostce czasu. Powietrze, które zasysa sprężarka, zawiera parę wodną. Gęstość powietrza zmienia się wraz ze zmianą wysokości nad poziomem morza, temperatury i wilgotności. Dlatego też, żeby wszyscy w przemyśle sprężarkowym mogli porównywać wydajność kompresora, to wprowadzono normy międzynarodowe określające warunki, do jakich odnoszona jest np. wydajność sprężarki śrubowej, albo wydajność sprężarki łopatkowej.

## Norma do określania wydajności sprężarek

Najbardziej popularną normą stosowaną przez producentów do określania wydajności sprężarek wyporowych (a taką jest sprężarka śrubowa i sprężarka łopatkowa) to ISO1217:2009. Aneks C (wydajność sprężarki śrubowej o stałej wydajności) lub Aneks E (sprężarki śrubowe o zmiennej wydajności).

## Wydajność FAD (free air delivery)

Paragraf 3.4.1 normy ISO1217 tak określa wydajność sprężarki: jest to rzeczywiste natężenie przepływu gazu, sprężonego i dostarczonego w standardowym przyłączy wylotowym, odniesione do warunków temperatury całkowitej, ciśnienia całkowitego i składu gazu panujących w standardowym punkcie wlotu.

**Tak więc wydajność kompresora FAD jest wydajnością kompresora na wylocie w odniesieniu do powietrza pobieranego na wlocie kompresora w znormalizowanych warunkach.**

## Znormalizowane warunki wlotowe

Znormalizowane warunki wlotowe w zależności od normy to:

- ciśnienie – 1,013 bar
- temperatura – 273K=0°C (ISO1343), 288K=15°C(ISO2533) lub 293K=20°C(ISO1217)
- wilgotność względna – 0%

Porównując wydajność sprężarki FAD różnych producentów, ale tej samej mocy silnika należy zweryfikować, zgodnie z jaką normą wydajność kompresora jest podana i jakie określone są warunki wlotowe. **Różnica może wynosić nawet 9%.**

Grupa Gardner Denver to różne marki kompresorów. Przeglądając ulotki dostępne na stronach producentów tych marek można odnotować następujące wydajności kompresora śrubowego o mocy silnika 22 kW i ciśnieniu roboczym 10 bar mierzone zgodnie z normą ISO1217-Aneks C (dla sprężarek ze stałą prędkością obrotową) oraz następujących warunkach na wlocie: ciśnienie 1,013 bar absolutne, temperatura 20°C, wilgotność względna 0%.

## Kompresory śrubowe/łopatkowe o stałej wydajności

- Hydrovane sprężarka łopatkowa HV22 – 2,96 m<sup>3</sup>/min
- Champion sprężarka śrubowa – FM22 – 3,06 m<sup>3</sup>/min
- Ingersoll Rand sprężarka śrubowa RSb22i – 3,14 m<sup>3</sup>/min
- Gardner Denver sprężarka śrubowa ESM22 – 3,21 m<sup>3</sup>/min
- CompAir sprężarka śrubowa L22 – 3,21 m<sup>3</sup>/min
- Gardner Denver sprężarka śrubowa ESM23 – 3,45 m<sup>3</sup>/min
- CompAir sprężarka śrubowa L23 – 3,45 m<sup>3</sup>/min

Jak widać dla tej samej mocy znamionowej silnika 22 kW przy ciśnieniu roboczym 10 bar, wydajność kompresora jest w zakresie 2,96-3,45 m<sup>3</sup>/min.

**Różnica dochodzi do 16,5% !.**

# Wydajność kompresora

Powyższe dane odpowiadają na pytanie, jaka jest wydajność kompresora o mocy silnika 22kW.

Różnice w wydajności kompresora biorą się z różnic konstrukcyjnych sprężarki, ale wydajność kompresora to nie wszystko. Ważny jest jeszcze pobór mocy przez kompresor przy określonym ciśnieniu i dopiero wtedy można określić jego jakość energetyczną.

## Warto jeszcze podkreślić dwa aspekty

- Wydajność sprężarki w warunkach rzeczywistych odbiega od wydajności podanej w ulotkach. Z reguły temperatura otoczenia, ciśnienie atmosferyczne i wilgotność powietrza różnią się od warunków normatywnych.
- Wydajność kompresora zmienia się w miarę upływu czasu z powodu zużycia się wewnętrznych elementów sprężarki. Dlatego warto monitorować wydajność, aby określić moment, kiedy sprężarka będzie wymagać remontu.

## Wydajność efektywna kompresora

Producenci kompresorów podają wydajność, odnosząc się do norm określających referencyjne warunki powietrza tj. ciśnienia, temperatury i wilgotności.

Jednostką wydajności są l/sek, m<sup>3</sup>/min lub m<sup>3</sup>/godz i jest to **objętościowa wydajność sprężarki**.

## Wydajność objętościowa kompresora

Wydajność objętościowa kompresora to rodzaj wydajności, którą można stosować w przypadkach, gdy nie jest potrzebna wysoka dokładność i nie chcemy porównywać jej w różnych miejscach instalacji pneumatycznej.

Pamiętaj, że wraz ze wzrostem długości instalacji sprężonego powietrza z reguły zwiększają się spadki ciśnienia, czyli na końcu instalacji ciśnienie jest mniejsze niż przy sprężarce.

Podobna zmiana ma miejsce wraz ze zmianą temperatury – im wyższa temperatura, tym wyższa objętość.

Przykład z życia wzięty to balon nadmuchany określoną ilością powietrza. Wsadzony do lodówki zmniejszy swoją objętość.

Wystawiony na słońce zwiększy swoją objętość. **A w środku była ta sama ilość powietrza.**

Albo pompka do roweru. Jak zatkamy wylot i wciśniemy tłok, to ciśnienie zwiększy się, a objętość w cylindrze pompki się zmniejszy. **A w środku była ta sama ilość powietrza.**



## Przepływ masowy sprężonego powietrza

Ta ilość powietrza charakteryzowała się masą i była niezmienna, niezależnie od tego jak zmieniała się jego temperatura lub objętość.

Oznacza to, że pomiar przepływającej masy w instalacji podawanej w kg/godz jest dokładniejszym pomiarem i jednocześnie porównywalnym, niezależnie od tego, w jakim punkcie instalacji sprężonego powietrza wykonujesz pomiar. Dlatego, że uwzględnia i wykorzystuje parametr, ile waży powietrze, a nie jaką zajmuje objętość.

Ale oznacza też to, że przy sprężarce, jeżeli przyjmie się warunki referencyjne, można podawać wydajność objętościową, bo wszystkie kompresory będą mieć takie same porównywalne warunki.

## Gdzie stosować przepływ masowy sprężonego powietrza?

Jeżeli chcemy weryfikować bardzo dokładnie zużycie sprężonego powietrza przez maszyny lub poziom wycieków sprężonego powietrza, należałoby zastosować **miernik przepływu powietrza wykonujący pomiar masowy** i gwarantujący porównywalne odczyty.



Dzięki temu, w przypadku zwiększonego zużycia sprężonego powietrza można łatwo porównać wyniki z danymi historycznymi sprzed kilku miesięcy. Dzięki temu odcinamy się od zmiennego w czasie ciśnienia i temperatury.

## Jak dokładna jest podawana wydajność kompresora?

Norma ISO1217-Aneks C wskazuje następujące tolerancje pomiarowe wydajności objętościowej dla sprężarek waporowych:

- Wydajność poniżej 0,5 m<sup>3</sup>/min – tolerancja pomiaru wydajności +/- 7%
- Wydajność 0,5-1,5 m<sup>3</sup>/min – tolerancja pomiaru wydajności +/- 6%
- Wydajność 1,5-15 m<sup>3</sup>/min – tolerancja pomiaru wydajności +/- 5%
- Wydajność powyżej 15 m<sup>3</sup>/min – tolerancja pomiaru wydajności +/- 4%

Dla Ciebie jako użytkownika najważniejsza jest rzeczywista wydajność efektywna kompresora, bo z taką wydajnością będziesz pracować swoimi narzędziami. Od tego czy sprężarka osiąga oczekiwaną wydajność, zależą Twoja efektywność, jakość, skuteczność i prędkość wykonywanej pracy.

## Metody pomiaru wydajności kompresora

Do pomiaru wydajności kompresora masz dwa sposoby.

### I sposób: Pomiar wydajności przepływomierzem masowym

Metoda dokładniejsza, która pozwala uniezależnić się od zmiennego ciśnienia i temperatury zasysanego powietrza.

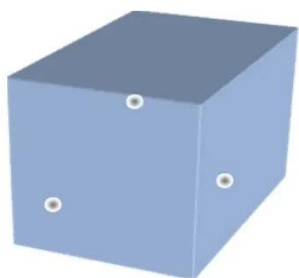


Przepływomierz wykorzystuje kalorymetryczną zasadę pomiaru i z tego względu nie jest wymagany dodatkowy pomiar ciśnienia i temperatury.

Objętość jest zmniejszana przy wzroście ciśnienia. Masa jednak pozostaje niezmienną. Dlatego też w zmiennych warunkach ciśnienia skutecznym jest tylko masowy pomiar przepływu.

This is a text placeholder - click this text to edit.

**Sprężanie zmniejsza objętość, ale nie masę!**



**Masa = 14kg**  
Ciśnienie = 1 bar  
Objętość = 10 m<sup>3</sup>  
Gęstość = 1,4 kg/m<sup>3</sup>

=



**Masa = 14kg**  
Ciśnienie = 5 bar  
Objętość = 2 m<sup>3</sup>  
Gęstość = 7,0 kg/m<sup>3</sup>

**Tylko pomiar przepływu masy daje prawidłowe wartości jeżeli jest ona sprężona**

Wpływu temperatury unika się poprzez kompensację temperaturową. W ten sposób wartości pomiarowe są optymalne w całym zakresie temperatur procesu przepływu masy.

## II sposób: Pomiar wydajności kompresora z wykorzystaniem zbiornika sprężonego powietrza

Ten pomiar wydajności można podzielić na dwa etapy:

### I etap

Zmierzenie czasu napompowania przez sprężarkę zbiornika sprężonego powietrza od ciśnienia atmosferycznego, czyli manometrycznego równego 0 bar, do ciśnienia wyłączenia sprężarki. Ciśnienie wyłączenia sprężarki zależy od jej nastaw i konstrukcji, ale do przyszłych obliczeń przyjmujemy parametry mojej prywatnej sprężarki.

**Wzór na wydajność kompresora (w litrach na minutę) jest następujący:**

**(pojemność zbiornika x ciśnienie/ liczba sekund) x 60**

W garażu posiadam kompresor tłokowy.



Zgodnie z danymi producenta:

- Pojemność zbiornika wynosi 24 litry.
- Wydajność na wlocie 150 l/min
- Wydajność na wyjściu 120 l/min
- Ciśnienie włączenia 6 bar
- Ciśnienie maksymalne 8 bar

## Pomiar wydajności kompresora

Kompresor potrzebuje 91 sekund do nabicia zbiornika buforowego od 0 do 8 bar.

Podstawiając te dane do wzoru na wydajność kompresora, mamy następujący wynik:

**(pojemność zbiornika x ciśnienie / liczba sekund) x 60**

$$(24 \times 8 / 91) \times 60 = 126,6 \text{ litrów/minutę}$$

Niby świetnie, ale naprawdę interesuje mnie wydajność kompresora rzeczywista w zakresie ciśnienia roboczego moich urządzeń potrzebujących do szybkiej i efektywnej pracy ciśnienia 7 bar.

### II etap

Czas nabicia zbiornika sprężonego powietrza od ciśnienia 6 bar do ciśnienia 8 bar wyniósł 33 sekundy.

Podstawiając te dane do zmodyfikowanego wzoru na wydajność kompresora, mamy następujący wynik:

**[pojemność zbiornika x (ciśnienie wyłączenia – ciśnienie załączenia) / liczba sekund] x 60**

$$[24 \times (8-6) / 33] \times 60 = 87,3 \text{ litrów/minutę}$$

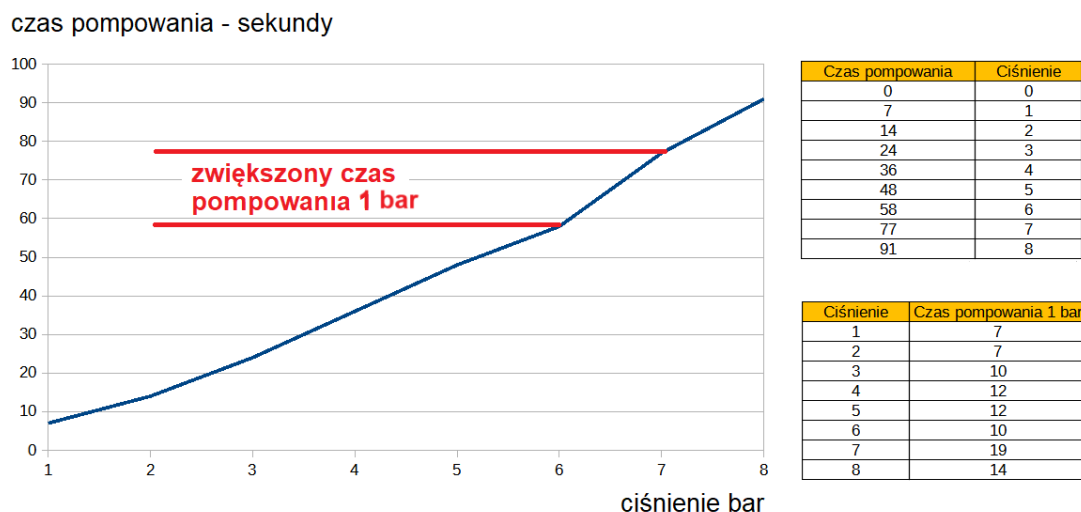
Wydajność rzeczywista sprężarki tłokowej jest mniejsza o 30%, niż reklamuje ją producent, ale dla pistoletu do zaprawek malarskich, przedmuchiwania, pompowania kół, malowania aerografem i innych prac hobbystycznych jest w dalszym ciągu wystarczająca.

Gdybym jednak potrzebował takiego kompresora do profesjonalnego zastosowania i byłbym 30% wolniejszy niż konkurencja, to pewno splajtowałbym bardzo szybko 😊

# Wydajność kompresora

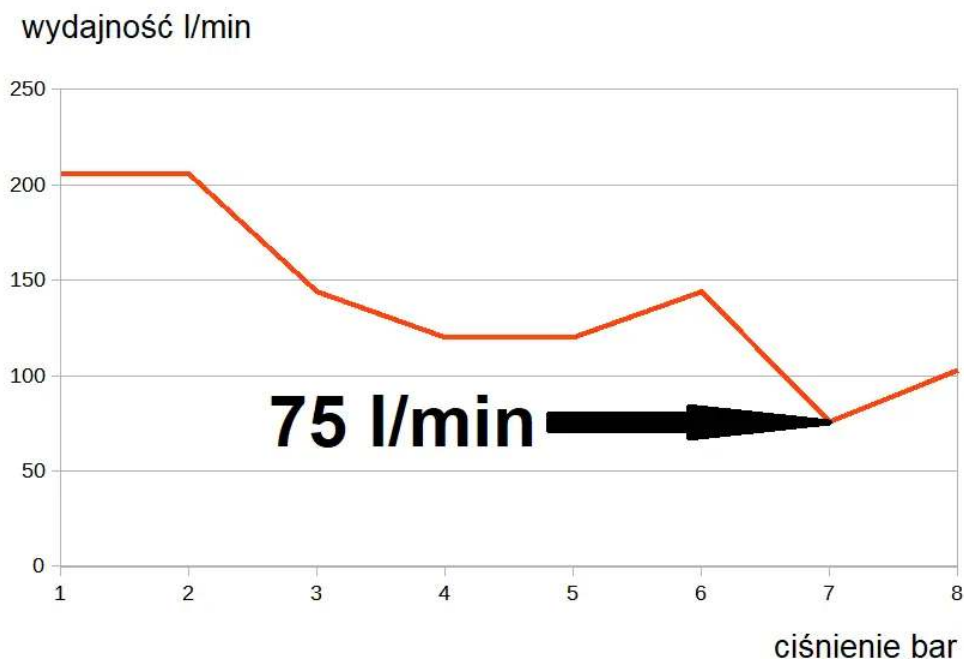
## Przebieg próby zbiornikowej

Na poniższym wykresie widać jak wygląda przebieg próby zbiornikowej.



Następny wykres pokazuje wydajność kompresora w poszczególnych przedziałach ciśnień tj. od 0 do 1 bar, od 1 do 2 bar, ....., od 7 do 8 bar.

Widać, że przy sprężaniu powietrza od 6 bar do 7 bar następuje wyraźny spadek wydajności kompresora, a to jest ten zakres, który najbardziej mnie jako użytkownika interesuje.



# Wydajność kompresora



Poszedłem dalej i podłączyłem przepływomierz oraz pistolet do zaprawek malarskich. Spust w pistolecie ustawiłem tak, że utrzymywałem przez ponad minutę stałe ciśnienie 7 bar podczas procesu sprężania. Był to punkt, w którym wydajność sprężarki była równa zapotrzebowaniu na sprężone powietrze i wynosiła zgodnie ze wskazaniem przepływomierza masowego jedynie 75,5 l/min.

## Pomiar wydajności kompresora śrubowego

Omówiona metoda zbiornikowa pomiaru rzeczywistej wydajności kompresora została wykonana dla sprężarki tłokowej.

Tak samo można obliczyć wydajność sprężarki śrubowej lub kompresora łopatkowego w zakresie ciśnienia od 0 bar do ciśnienia wyłączenia sprężarki.

Jeżeli jest to instalacja przemysłowa z wolnostojącym zbiornikiem sprężonego powietrza to do objętości samego zbiornika powinieneś dodać objętość przewodu rurowego pomiędzy kompresorem i zbiornikiem.

W przypadku pomiaru wydajności kompresora **II etap**, postępujemy podobnie mierząc czas sprężania od dolnego ciśnienia włączenia sprężarki do maksymalnego ciśnienia tj. ciśnienia górnego, wyłączającego sprężarkę. Rejestrujemy oba ciśnienia na zbiorniku sprężonego powietrza i podstawiamy do wzoru na obliczanie wydajności kompresora:

**[pojemność zbiornika x (ciśnienie wyłączenia – ciśnienie załączenia) / liczba sekund] x 60.**

W tym przypadku pomijamy pojemność instalacji i bierzemy pod uwagę jedynie pojemność zbiornika buforowego.

## Wydajność kompresora i różne wyniki

Jeden z użytkowników sprężarek tłokowych chciał rozwinąć temat wydajności kompresora. **Zrobił pomiary, podstawił wyniki do wzoru na wydajność kompresora i dane pokazały mu dwie różne wydajności.**

## Użytkownik kompresora oblicza wydajność

Użytkownik posiada dwa kompresory: ze zbiornikiem o pojemności 50 l oraz pojemności 100 l. Pompa dwutłokowa w układzie V. Oba kompresory użytkownik zakupił w tej samej firmie, więc teoretycznie wg niego pompa jest identyczna.



Przy obliczaniu wydajności zgodnie ze wzorem, w przypadku zbiornika 50 l teoretyczna wydajność jest wyższa porównując do obliczeń wydajności przy zbiorniku 100 l.

Użytkownik chciałby uzyskać informację, czy jest możliwość ustalenia wydajności wyżej podanych kompresorów, ile generują l/min typowo na wydmuchu?

## Wydajność kompresora i ciśnienie tłoczenia

Niedopowiedziana została jeszcze kwestia przy jakim ciśnieniu ma być obliczona wydajność sprężarki, bo ta zmienia się wraz ze zmianą ciśnienia tłoczenia.



## Od czego zależy wydajność kompresora?

Wydajność kompresora zależy od wielu czynników. Do porównania wydajności obu kompresorów należy znaleźć odpowiedzi na kilka aspektów:

- **Warunki otoczenia** – czy pomiary były robione równocześnie? Zmiana temperatury, ciśnienia atmosferycznego i wilgotności wpływa na wydajność kompresora.
- **Czystość filtra powietrza** – czy oba kompresory mają taką samą czystość filtra? Brudny filtr powietrza to zwiększone opory na ssaniu co wpływa na wydajność na wydmuchu.
- **Zużycie sprężarki i występujące przedmuchy wewnętrzne** – czy ilość godzin pracy pompy jest taka sama? W miarę upływu czasu pracy zwiększają się nieszczelności/luzy i wydajność praktyczna kompresora zmienia się.
- **Warunki termiczne sprężarki (zimna czy wygrzana)** – sprężarka nabijająca zbiornik 100l bardziej rozgrzeje się niż przy nabijaniu 50l – czyli wystąpią większe przedmuchy i w efekcie mniejsza wydajność.
- **Błąd pomiarowy** związany z odczytem czasu, ciśnienia na manometrze oraz dokładność manometrów i nastaw na presostacie zarządzającym ciśnieniami pracy kompresora.
- **Błąd pojemności zbiornika sprężonego powietrza** – czy na pewno 50l to pojemność wodna 50l i 100l to pojemność wodna 100l?
- **Napięcie w sieci** – czy pomiary były w tym samym czasie z tego samego źródła zasilania?

Dodałbym jeszcze wątpliwość czy obie pompy są jednakowe, bo zakup kompresorów w tej samej firmie nie jest gwarantem ich identyczności. Można byłoby zamienić pompy na zbiornikach/kompresorach i porównać wyniki dla poprawności twierdzenia, że pompy są identyczne.

## Bądź pewny wydajności sprężarki

Wspomniane tolerancje pomiaru wydajności dotyczą również i tych kompresorów. Dlatego ważne jest, aby kupić sprężarkę od producenta o ustanowionej światowej renomie, by być potem pewnym podawanych parametrów.

Niektórzy klienci kupujący duże sprężarki przemysłowe, zdecydowali się dopłacić do ceny, aby być w fabryce podczas testów wydajności sprężarki. Wycieczka do fabryki grupy Gardner Denver w Simmern w Niemczech, Lonate we Włoszech lub Redditch w Wielkiej Brytanii to **niezapomniane przeżycie. To świetny początek długiej i bezproblemowej eksploatacji kompresora o znanej wydajności.**

## Na zakończenie

Dziękuję za przeczytanie tego eBooka o tematyce sprężonego powietrza.

Jeśli masz jakieś pytania lub uwagi dotyczące zawartości w tym eBooku, proszę o kontakt ze mną pod adresem [kontakt@sprezarkownia.info.pl](mailto:kontakt@sprezarkownia.info.pl)

Natomiast, gdybyś chciał poznać więcej zagadnień dotyczących sprężarek, sprężonego powietrza, instalacji pneumatycznych, uzdatniania sprężonego powietrza lub produkcji azotu to zapraszam na stronę [www.sprezarkownia.info.pl](http://www.sprezarkownia.info.pl)

Bardzo chętnie wyjaśnię dodatkowe aspekty, które Cię interesują.

Dziękuję za zaufanie.

*Marcin Dąbrowski*

# Poznaj mnie, zanim zaczniemy współpracę

Uczestniczyłem w wielu projektach sprzedażowych. Głównie są to dobra inwestycyjne w długim procesie zakupowym. Ostatnie 20 lat mojej aktywności to praca w obszarze przemysłu, produkcji i usług przemysłowych.



Mam 4 zasady w procesie doradztwa i sprzedaży:

**Rzetelnie przygotowuję się** do spotkania lub rozmowy telefonicznej

**Podczas** kontaktu staram się zdobyć jak najwięcej informacji potrzebnych do rozwiązania problemu

**Szybko przedstawiam** rozwiązania problemu i oczekuję też szybkiej informacji zwrotnej

**Liczę na otwartość** i partnerskie podejście do współpracy, bo inaczej szkoda tracić czas małowartościowe relacje