

Nowoczesny zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza dla modernizowanych EZT serii EN57.

W artykule zaprezentowano najnowszy zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza opracowany i wykonany w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, znajdujący zastosowanie w modernizowanych ezT serii EN57. Zespół ten sterowany jest układem mikroprocesorowym. Przedstawioną konstrukcję zaprojektowano specjalnie dla zastosowań kolejowych, w związku z czym spełnia ona wszystkie, bardzo specyficzne wymagania stawiane takim układom podczas pracy w warunkach trakcyjnych. Jest to zespół kompaktowy, zawierający w sobie wszystkie niezbędne podzespoły, wymagający od użytkownika jedynie zabudowy na pojeździe, podłączenia pneumatycznego oraz dostarczenia energii elektrycznej. Możliwa jest także komunikacja zespołu z pojazdem poprzez magistralę CAN.

1. WSTĘP

W pojazdach trakcyjnych sprężone powietrze jest niezbędnym czynnikiem umożliwiającym ich prawidłowe funkcjonowanie. Sprężone powietrze musi być wytwarzane i uzdatnianie na pojeździe, podczas jego normalnej eksploatacji, w warunkach w jakich jest eksploatowany. Aparatura hamulcowa i układy pneumatyczne pojazdu zasilane tym powietrzem wymagają dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza o odpowiedniej jakości. Te dwa wymagania muszą być spełnione równocześnie uwzględniając takie warunki jak:

- środowisko pracy o dużym zapyleniu,
- bardzo zróżnicowana wilgotność (do 100%),
- szeroki zakres temperatur otoczenia pracy w polskiej strefie klimatycznej klasyfikowanej jako T2 (obejmująca zakres temperatur: $-40^{\circ}\text{C} \div +35^{\circ}\text{C}$),
- narażenie na drgania.

To wszystko powoduje, że konstrukcja układu wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza musi być specjalnie przystosowana dla zastosowania w pojeździe trakcyjnym. Standardowe rozwiązania przemysłowe nie są w stanie spełnić wszystkich wymienionych powyżej wymogów zapewniając jednocześnie wymóg bezawaryjności i niezawodności w zaopatrywaniu układu pojazdu w sprężone powietrze.

Konstruując zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza dla ezT EN57 postawiono następujące założenia:

- sprężarka wraz z całym układem powinna w każdych warunkach niezawodnie dostarczać sprężone powietrze do układu pneumatycznego pojazdu,

- zespół powinien być możliwie trwały, nie wymagający gruntownych napraw przez długi okres eksploatacji,
- ze względu na duży zakres temperatur otoczenia pracy, powinno być zapewnione odpowiednie chłodzenie układu przy wysokich temperaturach dodatnich oraz podgrzewanie układu w temperaturach ujemnych,
- regulacja temperatury poprzez chłodzenie lub podgrzewanie układu powinna się odbywać w sposób automatyczny i możliwie płynny, dostosowując się do bieżących warunków otoczenia,
- dostarczane sprężone powietrze powinno spełniać wymagania ilościowe z możliwością automatycznej i płynnej regulacji wydajności w zależności od chwilowego zapotrzebowania pojazdu na sprężone powietrze (od około $25 \div 50 \text{ m}^3/\text{h}$)
- sprężone powietrze powinno spełniać wymagania jakościowe, czyli jego parametry powinny spełniać wymogi klasy 2.3.2 wg klasyfikacji zawartej w ISO 8573-1,
- zebrany w układzie uzdatniania kondensat powinien być zabezpieczony przed zamrożeniem i automatycznie usuwany z układu,
- układ powinien być zabezpieczony przed nadzwyczajnymi wyłączeniami spowodowanymi np. przez przegrzanie,

- zespół zamontowany na pojeździe, podczas swojej pracy, powinien generować jak najmniej hałasu oraz nie przenosić drgań na pudło pojazdu,
- zespół powinien być chroniony przed nadmiernymi zanieczyszczeniami dostającymi się z zewnątrz, a zwłaszcza pyłem, którego w przypadku zastosowania układu w elektrycznym zespole trakcyjnym serii EN57 jest niezmiernie dużo,
- konstrukcja zespołu powinna być kompaktowa – wszystkie elementy niezbędne do pełnienia założonych funkcji powinny wchodzić w jego skład i być z nim montowane na pojeździe jako jedno urządzenie bez konieczności zabudowy dodatkowych elementów,
- czynności obsługowe powinny być ograniczone do niezbędnego minimum, gwarantującego bezpieczną i prawidłową eksploatację, przy zachowaniu możliwie najlepszej dostępności poszczególnych elementów w pozycji zamontowanej na pojeździe, bez konieczności demontażu zespołu.

Wszystkie powyższe założenia powinny być spełnione w sposób ciągły, niezależnie od warunków w jakich będzie eksploatowany pojazd. Możliwe stało się to dzięki zastosowaniu bardzo zaawansowanego sterownika mikroprocesorowego produkcji własnej Instytutu Pojazdów Szynowych „TABOR” i wprowadzeniu zaawansowanych inteligentnych algorytmów sterujących pracą układu na podstawie danych zebranych z licznych czujników pomiarowych.

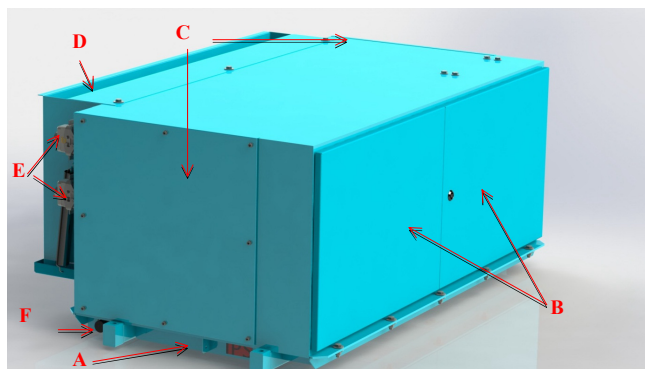
2. OPIS BUDOWY ZESPOŁU

Zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza składa się z:

- ramy z obudową,
- inercyjnego odpylacza zanieczyszczeń,
- agregatu sprężarkowego,
- zespołu wentylatora i chłodnicy,
- układu uzdatniania sprężonego powietrza, w skład którego wchodzi:
 - separator cyklonowy,
 - filtr dokładny,
 - osuszacz adsorpcyjny,
 - filtr przeciwpylowy,
- sterownika mikroprocesorowego.

Widok kompletnego modelu zespołu przedstawiono w trójwymiarowym środowisku projektowym pokazano poniżej, na Rys. 1.

Na Rys. 1 przedstawiono zespół w stanie gotowym do zabudowy, kompletnie zmontowany. Obudowa osadzona jest na ramie (A), która posiada łapy z otworami służące do osadzenia na wsporniku podczas montażu na pojeździe. Obudowa zespołu jest szczelna co chroni układy przed pyłami i zanieczyszczeniami.



Rys. 1 Zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza produkcji IPS „TABOR” dla modernizowanych eozt serii EN57
A – rama, B – uchylne drzwi, C – odejmowalne pokrywy obsługowe, D – odpylacz inercyjny, E – przyłącza elektryczne, F – przyłącze pneumatyczne

Wyposażona jest w uchylne drzwi (B) oraz odejmowane dwie pokrywy obsługowe (C). Na tylnej powierzchni obudowy zamocowany jest odpylacz inercyjny (D), przez który pobierane jest z otoczenia powietrze do sprężania i do chłodzenia agregatu. Odpylacz ma na celu usunięcie z powietrza doprowadzającego do wnętrza zespołu takich zanieczyszczeń jak pył z klocków hamulcowych lub inne duże, stałe zanieczyszczenia. Dno odpylacza jest uchylne, zamocowane na zawiasach i sprężynach, w celu umożliwienia bieżącego i łatwego usuwania zebranych w nim zanieczyszczeń przez obsługę. Również na tylnej powierzchni obudowy znajdują się szczelne przyłącza elektryczne: 3x400V i 24V (E). Dzięki takiemu rozwiązaniu są one chronione przed uszkodzeniem. Poniżej, na dolnej bocznej powierzchni ramy znajduje się przyłącze pneumatyczne (F).

Wewnątrz obudowy (Rys. 2) znajduje się agregat sprężarkowy (a) składający się z silnika elektrycznego o mocy 7,5kW, przystosowanego do sterowania falownikami, i kompaktowej olejowej sprężarki śrubowej. Kompaktowej to znaczy stopnia sprężającego wraz ze zbiornikiem oleju, filtrem oleju, termostatem oleju, separatorem oleju oraz układem dolotowym i wylotowym powietrza. Zarówno silnik jak i sprężarkę śrubową zamocowano do ramy poprzez wibroizolatory, które izolują przedostawanie się hałasu i drgań na pozostałe elementy zespołu i pudło pojazdu. Przeniesienie momentu obrotowego z silnika na stopień sprężarkowy odbywa się poprzez sprzęgło ROTEX z zastosowaniem najnowszego typu wkładek, bardziej odpornego na zużycie niż dotychczas stosowane. Agregat sprężarkowy wyposażony jest w dwie grzałki oleju – nurnikową zanurzoną w zbiorniku oleju oraz matę grzewczą owiniętą na filtrze oleju. Obok agregatu sprężarkowego znajduje się zespół chłodnicy (b), składający się z chłodnicy olejowo-powietrznej, kolektora i wentylatora osiowego z silnikiem elektrycznym. Wentylator powoduje pobieranie powietrza z wnętrza zespołu i wyrzucanie go na zewnątrz – pod pojazd. Dzięki zastosowaniu kolektora pomiędzy

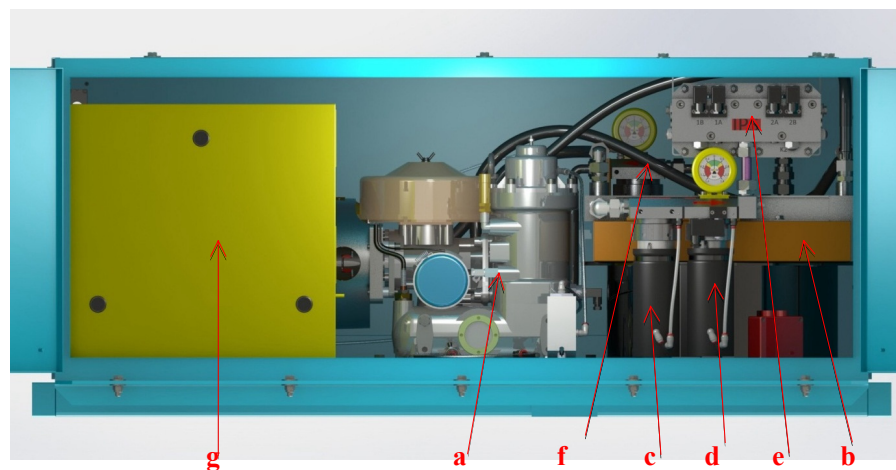
chłodnicą a wentylatorem, powietrze pobierane jest równomiernie z całej powierzchni chłodnicy, powodując pełne wykorzystanie jej mocy cieplnej. W bliskim otoczeniu chłodnicy zabudowano także separator cyklonowy (c), filtr dokładny (d), osuszacz adsorpcyjny (e) i filtr przeciwpylowy (f). Separator cyklonowy oraz filtr dokładny wyposażone są w automatyczny spust zebranego przez nie kondensatu, sterowany poprzez zawory elektropneumatyczne. Posiadają one także otulinę ocieplającą oraz grzałki chroniące przed zamrożeniem zebranego kondensatu podczas eksploatacji w niskich temperaturach, których załączaniem steruje, tak samo jak w przypadku zaworów spustu kondensatu, sterownik mikroprocesorowy. Filtr dokładny filtruje płynące przez niego powietrze z dokładnością 0,01µm. Filtr ten wyposażony jest w ekonometr, dzięki któremu czas eksploatacji wkładu filtrującego jest maksymalnie wydłużony. Wymiany wkładu filtrującego dokonuje się dopiero gdy nastąpi faktyczne jego zabrudzenie, powodujące odpowiedni spadek ciśnienia (wskazywany przez ekonometr). Osuszacz adsorpcyjny jest osuszaczem dwukomorowym, w którym komory pracują naprzemiennie w trybie: osuszanie i regeneracja. Filtr przeciwpylowy wyposażony jest w ręczny (kontrolny) zawór usuwania pyłu, natomiast jego dokładność filtracji jest na poziomie 10 µm. Tak jak filtr dokładny, jest wyposażony również w ekonometr do precyzyjnego określania momentu wymiany wkładu filtrującego. Przed agregatem sprężarkowym znajduje się sterownik mikroprocesorowy (g) sterujący pracą całego zespołu, zabudowany we własnej obudowie w której znajdują się: falowniki silnika sprężarki i silnika wentylatora chłodnicy, jednostka CPU, wejściowe i wyjściowe moduły pomiarowo sterujące, zabezpieczenia prądowe, styczniki do za- i wyłączania obwodów grzewczych, czujniki ciśnienia i temperatury oraz złącze diagnostyczne służące do kontroli parametrów pracy sprężarki.

3. OPIS DZIAŁANIA ZESPOŁU

Ogólna zasada działania zespołu podobna jest do innych tego typu konstrukcji. Sprężarka tłoczy powietrze przez chłodnicę i układ uzdatniania do zbiornika głównego pojazdu. Jednakże wyróżniające przedstawiany zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza typu 102ZW 02-1, są różnorodne i kompleksowe systemy pomiarowe i sterowania układem tak aby właściwie dopasowywał się do chwilowych warunków środowiskowych. Wszystkie działania mają na celu stworzenie układu, który będzie niezawodny, utrzyma właściwe parametry sprężonego powietrza bez względu na warunki, a przede wszystkim spełniającego wymagania eksploatacji na kolei. W następnych podpunktach przedstawiono różne funkcje realizowane przez sterownik.

3.1. Zimny rozruch, sterowanie podgrzewaniem

Sposób rozruchu agregatu sprężarkowego jest zależny od temperatury oleju sprężarki. Gdy temperatura oleju zawiera się w przedziale temperatury dodatnich, rozruch zimnej sprężarki odbywa się bez podgrzewania, poprzez falownik, który realizuje tzw. miękki start czyli płynne nabieranie prędkości obrotowej przez silnik sprężarki. Gdy temperatura oleju zawiera się w drugim przedziale niedużych temperatur ujemnych, rozruch sprężarki następuje z pewnym opóźnieniem, gdyż najpierw załączane jest podgrzewanie oleju. Olej podgrzewany jest w określonym zaprogramowanym czasie, przez ten czas sterownik blokuje uruchomienie sprężarki. Gdy temperatura oleju jest bardzo niska uruchamiana zostaje podobna procedura, z tą różnicą, że na dłuższy czas. W obu przypadkach możliwe jest szybsze uruchomienie sprężarki niż założone w programie, związane jest to z temperaturą oleju – gdy podgrzewanie oleju doprowadzi jego temperaturę do wartości założonej w programie sterowania w krótszym czasie niż założony programowo.



Rys. 2 Wnętrze zespołu wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza produkcji IPS „TABOR” dla modernizowanych eozt serii EN57: a – agregat sprężarkowy, b – zespół chłodnicy, c – separator cyklonowy, d – filtr dokładny, e – osuszacz adsorpcyjny, f – filtr przeciwpylowy

W przypadku gdy podgrzewanie nie zdoła doprowadzić temperatury oleju (w punkcie pomiarowym) do założonej temperatury, sprężarka uruchomi się po zakończeniu czasu blokady uruchomienia.

Może zdarzyć się sytuacja, że sprężarka po uruchomieniu w tak krótkim czasie napełni zbiornik główny pojazdu do ciśnienia wyłączenia, że olej nie osiągnie wymaganej temperatury 50°C. Jest to sytuacja niekorzystna w przypadku wielokrotnego jej powtarzania, ponieważ w oleju sprężarki zbiera się wówczas woda, niosąc za sobą niebezpieczeństwo korozji a nawet uszkodzenia stopnia sprężającego. Woda ta jest usuwana z oleju gdy temperatura oleju jest wyższa niż 60°C. W związku z tym, sterownik poprzez odpowiednie zawory, w zaistniałej sytuacji (gdy temperatura oleju jest niska, a ciśnienie w zbiorniku głównym sugeruje jej wyłączenie), utrzymuje dalszą pracę sprężarki, bez napełniania zbiornika głównego. Prędkość obrotowa silnika sprężarki zostaje obniżona i stan taki utrzymany jest przez czas, wystarczający do osiągnięcia przez olej temperatury, gwarantującej usunięcie wody z oleju.

Podgrzewanie elementów uzdatniania sprężonego powietrza (separatora cyklonowego, filtra dokładnego, osuszacza adsorpcyjnego) załączane jest gdy temperatura otoczenia spadnie poniżej 4°C. W przypadku blokady rozruchu sprężarki i uruchomienia grzałek oleju, włączane są także grzałki elementów uzdatniania i nie są wyłączane po uruchomieniu sprężarki – pracują ciągle, dopóki temperatura otoczenia utrzymuje się poniżej 4°C.

3.2. Sterowanie wydajnością sprężarki i układu chłodzenia

Agregat sprężarkowy napędzany jest silnikiem elektrycznym, którego prędkością obrotową w zakresie 2920÷4670 obr/min steruje falownik silnika sprężarki. Dzięki temu uzyskiwana wydajność agregatu sprężarkowego jest regulowana w zakresie 25÷54 m³/h (±7%). Regulacja wydajności, czyli prędkości obrotowej silnika sprężarki, odbywa się w zależności. Jeżeli ciśnienie w zbiornikach głównych jest niskie, agregat pracuje z maksymalną wydajnością. Następnie wraz ze wzrostem ciśnienia w zbiorniku głównym pojazdu, płynnie maleje prędkość obrotowa silnika sprężarki, aż do osiągnięcia prędkości minimalnej i zaprzestania tłoczenia. Olej sprężarki śrubowej, po osiągnięciu temperatury otwarcia zaworu termostaticznego, chłodzony jest w chłodnicy. Intensywność chłodzenia jest zależna od temperatury otoczenia i temperatury oleju. Pomiarów obu tych wartości dokonują czujniki zabudowane wewnątrz sterownika i w zbiorniku oleju sprężarki. Odczyty interpretowane są przez sterownik mikroprocesorowy, który płynnie steruje układem chłodzenia. Regulacja wydajności chłodzenia odbywa się płynnie, reagując na zmiany

temperatury oleju i otoczenia, dzięki czemu olej bardzo szybko doprowadzany jest do najoptymalniejszej temperatury pracy i jest chroniony przed przegrzaniem oraz nadmiernym wychłodzeniem.

3.3. Praca układu uzdatniania

Działanie sterownika przy sterowaniu układem uzdatniania sprężonego powietrza polega na regularnym cyklicznym opróżnianiu zbiorników poszczególnych elementów (filtra dokładnego i separatora cyklonowego) z zebranego w nich kondensatu oraz na regulacji pracy osuszacza membranowego poprzez wystawianie zaworów elektropneumatycznych odpowiedzialnych za te czynności. Sterownik załącza i wyłącza także grzałki: separatora cyklonowego, filtra dokładnego i osuszacza adsorpcyjnego, opisano to w podpunkcie 2.1. niniejszego rozdziału.

3.4. Sytuacje nadzwyczajne

Sytuacje nadzwyczajne to sytuacje zagrażające prawidłowej pracy sprężarki, przed którymi zabezpieczono układ. Największym zagrożeniem jest przegrzanie się sprężarki poprzez niedostateczne chłodzenie oleju (np. zabrudzona chłodnica), które skutkuje zaprzestaniem tłoczenia sprężonego powietrza. Aby nie dopuszczać do sytuacji awaryjnego wyłączenia sprężarki wprowadzono trzy progi zabezpieczeń przed takim stanem. Pierwszy próg to uruchomienie maksymalnej wydajności wentylatora chłodnicy, stan taki utrzymywany jest tak długo jak jest to potrzebne czyli do ochłodzenia oleju do temperatury normalnej lub do osiągnięcia kolejnego progu temperatury. Po przekroczeniu drugiego progu temperatury oleju wentylator nadal pracuje z maksymalną wydajnością a dodatkowo zmniejszane są obroty silnika sprężarki do około 2160 obr/min. Dzięki takiemu rozwiązaniu maksymalnie wykorzystane są możliwości chłodzenia układu przy zachowaniu tłoczenia sprężonego powietrza do zbiorników głównych pojazdu. Dodatkowo, jeżeli zespół jest podłączony do magistrali CAN pojazdu, na pulpicie maszynisty wyświetli się komunikat o wysokiej temperaturze oleju sprężarki i konieczności kontroli stanu zabrudzenia chłodnicy oraz jej oczyszczenia. Dopiero w przypadku gdy tak intensywne chłodzenie oleju nie jest wystarczające i temperatura cały czas rośnie, dojdzie do awaryjnego wyłączenia sprężarki. Ponowne jej uruchomienie jest możliwe gdy temperatura oleju spadnie do temperatury poniżej pierwszego progu zabezpieczającego.

Sterownik zabezpiecza także układ przed nadmiernym wzrostem ciśnienia i temperatury, będąc dodatkowym elementem zabezpieczenia poprzedzającym np. otwarcie się zaworu bezpieczeństwa sprężarki. Dodatkowo w sterowniku zabudowano zabezpieczenia przed odwrotnym podłączeniem zasilania sprężarki, które mogło by spowodować nieprawidłowy kie-

runek obrotu śrub stopnia sprężającego, co skutkuje ich zatarciem. Układ zbudowano w taki sposób że nieprawidłowe podłączenie skutkuje jedynie niemożliwością uruchomienia agregatu.

3.5. Diagnostyka

Zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza oferuje także, dzięki rozbudowanemu sterownikowi, pełną diagnostykę elektroniczną. Sterownik wyposażono w złącze diagnostyczne CAN, dzięki któremu, po podłączeniu do tego złącza laptopa, użytkownik ma pełną informację o parametrach pracy i o ewentualnych błędach. Diagnostowanie pozwala na lokalizowanie awarii poszczególnych elementów elektrycznych układu jak np. awarie zaworów sterujących czy grzałek. Dodatkowo sterownik wysyła komunikaty o stanach pracy zespołu do magistrali CAN pojazdu, w których informuje o stanach zagrożenia pracy sprężarki i jej ewentualnych awariach.

4. PODSUMOWANIE

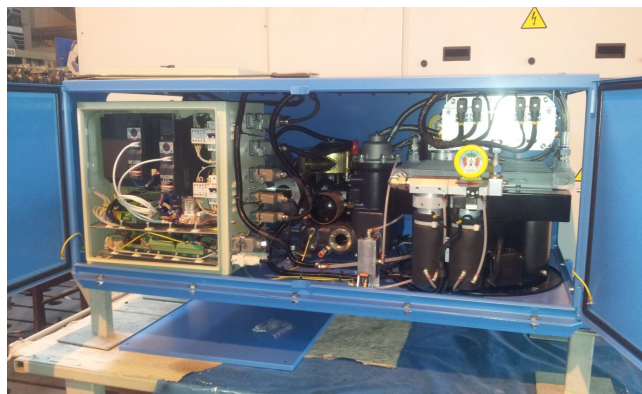
Zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza 10ZW 02-1 jest kompletnym zespołem, w pełni przygotowanym do pełnionej przez siebie funkcji w trudnych warunkach eksploatacji. Nie wymaga zabudowy dodatkowych uzupełniających urządzeń. Został zaprojektowany i zaprogramowany tak aby niezawodnie dostarczał sprężone powietrze do układów pneumatycznych pojazdu szynowego. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono jedną z wyprodukowanych sztuk podczas prób odbiorczych w IPS „TABOR”.



Rys. 3 Wyprodukowany zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza podczas prób odbiorczych w IPS „TABOR” – widok z zewnątrz

Zespół ma niewielkie wymiary gabarytowe. Zapewnia zasilanie w sprężone powietrze w zmiennych warunkach środowiskowych otoczenia pracy oraz w zmiennych stanach pracy sprężarki. Zespół opracowano w oparciu o wieloletnie doświadczenia z eksploatacji i serwisowania poprzedniej wersji zespołu.

Proces projektowy wsparto także badaniami zespołu przeprowadzonymi w komorze klimatycznej znajdującej się w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR”, w której to komorze badano pracę zespołu symulując temperatury od -30°C do $+40^{\circ}\text{C}$.



Rys. 4 Wyprodukowany zespół wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza podczas prób odbiorczych w IPS „TABOR” – widok po otwarciu drzwi czołowych i sterownika

Obecnie w eksploatacji znajduje się kilkadziesiąt tego typu zespołów wytwarzania i uzdatniania sprężonego powietrza. Dzięki przystosowaniu nowoczesnych układów diagnostycznych i komunikacji z pojazdem CAN, zespół znajduje zastosowanie w pojazdach modernizowanych oraz w pojazdach nowo budowanych.