

Streszczenie po polsku

Praca dotyczy procesu doboru filtra cząstek stałych do retrofitingu eksploatowanego pojazdu kolejowego specjalnego przeznaczenia za pomocą obliczeniowej mechaniki płynów oraz weryfikacji rozwiązania w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Opisywane rozwiązanie pozwala na ograniczenie emisji związków szkodliwych spalin z eksploatowanych pojazdów bez ingerencji w konstrukcję silnika spalinowego.

Wprowadzanie coraz bardziej rygorystycznych norm emisji spalin, wymusza na producentach silników oraz pojazdów stosowanie bardziej wyrafinowanych rozwiązań w celu redukcji związków szkodliwych zawartych w spalinach. Przepisy dotyczące dopuszczalnych wartości emisji spalin obejmują również grupę mobilnych maszyn pozadrogowych NRMM, do której należą pojazdy kolejowe. Aktualnie każdy dopuszczany na rynek silnik spalinowy musi spełniać wymagania normy Stage V. Przepisy te dotyczą jednak nowych jednostek napędowych. W przypadku eksploatowanych silników spalinowych w pojazdach kolejowych, obowiązującymi wymaganiami emisyjnymi są te z roku jego dopuszczenia na rynek. Tabor kolejowy w Polsce odznacza się znaczną średnią wieku oraz stopniem wyeksploatowania. Z tego względu pojazdy kolejowe starszej generacji cechują się podwyższoną emisyjnością nie tylko względem nowszych pojazdów, ale również względem wymagań emisyjnych według których zostały dopuszczone na rynek.

Najskuteczniejszym rozwiązaniem w celu redukcji negatywnego wpływu emisji spalin na środowisko jest wymiana wyeksploatowanego taboru na nowy. Wiąże się to jednak ze znacznymi nakładami finansowymi. Z tego względu proces ten zachodzi bardzo powoli. Innymi rozwiązaniami są modernizacja, remontyzacja, tj. wymiana silnika na nowy oraz okresowe naprawy związane z utrzymaniem pojazdu na poziomie P4 lub P5. Rozwiązania te są popularne ze względu na znacznie mniejsze koszty względem zakupu nowego taboru. Jednakże, działania te odbywają się zazwyczaj zgodnie z resursem utrzymaniowym pojazdu, który dla naprawy głównej jednostki napędowej, lub jej wymiany, może wynosić od kilku do kilkunastu lat.

Biorąc pod uwagę powyższe, w celu redukcji emisji spalin z eksploatowanych pojazdów kolejowych, zdecydowano się wykorzystać retrofiting układu oczyszczania spalin. Przeanalizowano literaturę w celu przeglądu dostępnych rozwiązań oraz wykonanych badań w tym obszarze tematycznym. Nie znaleziono informacji na temat prac związanych z retrofitingiem pojazdu kolejowego specjalnego przeznaczenia. Scharakteryzowano tabor kolejowy w Polsce pod względem rodzaju, przeznaczenia, liczebności oraz średniej wieku. Przeanalizowano udziały czasu pracy pojazdów szynowych.

Następnie przeprowadzono pomiary dotyczące charakteru oraz udziałów czasu pracy pojazdu specjalnego podczas pełnej zmiany roboczej trwającej 12h. Pojazd był eksploatowany w rzeczywistych warunkach na linii kolejowej PKP. Przedmiotem jego pracy był przewóz i uzupełnienie tłucznia pod torami. Na bazie zarejestrowanych wyników podzielono wykonaną pracę ze względu na rodzaj, obciążenie oraz zakresy prędkości. Praca na biegu jałowym stanowiła największy udział czasu pracy i wyniosła 61,7%.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania w rzeczywistych warunkach eksploatacji na bocznicach kolejowej z wykorzystaniem pojazdu do retrofitingu tego samego typu, co pojazd eksploatowany podczas badań udziałów czasu pracy. Wykorzystano mobilną aparaturę do pomiaru emisji spalin typu PEMS w celu zbadania i określenia problemu emisyjnego związanego z emisją cząstek stałych pod względem ich masy oraz liczby. Badania przeprowadzono dla kilku opracowanych przejazdów różniących się od siebie profilem

pochylenia wzdłużnego torów, wykonywaną pracą oraz obciążeniem. Oszacowano średnią emisję pojazdu specjalnego dla trasy rzeczywistej w trakcie zmiany roboczej.

Określone zostały parametry dotyczące rozmiarów oraz konstrukcji nośnika trzech filtrów cząstek stałych łączących w sobie rozwiązania filtrów typu wall-flow oraz flow-through. Wytypowane rozwiązania filtrów DPF zamodelowano w programie do wirtualnego projektowania CAD. Następnie na podstawie wyników badań z poprzedniego etapu określono trzy charakterystyczne punkty pracy. W celu analizy parametrów pracy zamodelowanych filtrów wykorzystano obliczeniową mechanikę płynów. Przeprowadzono analizy numeryczne trzech modeli filtrów dla trzech różnych warunków pracy. Na podstawie otrzymanych wyników wybrany został model do retrofitingu pojazdu kolejowego, cechujący się najkorzystniejszymi wskaźnikami pracy.

Pojazd szynowy został wyposażony w wytypowany filtr, a następnie przeprowadzono weryfikację poprawności doboru pod względem redukcji emisji cząstek stałych podczas rzeczywistej eksploatacji na bocznicy kolejowej. Oszacowano średnią emisję PM oraz PN dla przejazdu po trasie w rzeczywistych warunkach eksploatacji podczas pełnej zmiany roboczej. Wykorzystanie prototypowego filtra do retrofitingu pojazdu szynowego pozwoliło na średnią redukcję PM o 32,6%, a PN o 83% dla rozpatrywanej trasy.

Streszczenie po angielsku

This paper discusses the process of selecting a diesel particulate filter for retrofitting an in-service auxiliary rail vehicle using computational fluid dynamics and verifying the solution under real-world operating conditions. This solution reduces harmful exhaust emissions from in-service vehicles without altering the internal combustion engine design.

The launching of increasingly stringent exhaust emission standards forces engines and vehicles producers to implement more sophisticated solutions to reduce harmful compounds contained in exhaust gases. Regulations regarding exhaust emission limits also apply to the NRMM (Non-Road Mobile Machinery) group, which includes rail vehicles. Currently, every combustion engine approved for market must meet the Stage V standard. However, these regulations apply to new power units. For railway combustion engines in service, the applicable emission requirements are those from the year of their production. Polish railway rolling stock is characterized by a significant average age and degree of wear. For this reason, older generation rail vehicles suffer from increased emissions not only compared to newer vehicles but also compared to the emission requirements under which they were approved for market.

The most effective solution for reducing the negative impact of exhaust emissions on the environment is to replace worn-out vehicles with new ones. However, this requires significant financial outlays. Therefore, this process is very slow. Other solutions are modernization, remotorization, i.e., replacing the engine with a new one, and periodic repairs related to maintaining the vehicle at the P4 or P5 level. These solutions are popular due to the significantly lower costs compared to purchasing new vehicles. However, these activities are usually carried out in accordance with the vehicle's maintenance schedule, which can range from several to a dozen years for the repair or replacement of the main drive unit.

Considering the above, in order to reduce exhaust emissions from operating railway vehicles, it was decided to retrofit the exhaust aftertreatment system. The literature was analyzed to review available solutions and research conducted in this area. No information was found on retrofitting auxiliary rail vehicles. The rolling stock in Poland was characterized in terms of type, purpose, number, and average age. The share of rail vehicles operating time was analyzed.

In the next step, measurements were taken of work specification and share of the auxiliary rail vehicle's operating time during a full 12-hour shift. The vehicle was operated under real-world conditions on a PKP railway line. Its task was to transport and replenish ballast under the tracks. Based on the recorded results, the work performed was divided by type, load, and speed range. Idling constituted the largest share of operating time, accounting for 61.7%.

The next stage involved testing auxiliary rail vehicle for retrofit under real-world operating conditions on a railway siding. A mobile PEMS exhaust emission measurement system was used to investigate and define the emission problem related to particulate matter emissions, in terms of their mass and number. The tests were conducted for several designed runs, each differing in terms of track gradient, type of work and load. The average emission of the auxiliary rail vehicle for the actual route during a work shift were estimated.

The dimensions and structure of the porous media for three diesel particulate filters, combining wall-flow and flow-through filter solutions, were determined. The selected DPF filter were modeled in a virtual CAD design program. Three characteristic operating points were then determined based on the test results from the previous stage. Computational fluid dynamics was used to analyze the operating parameters of the modeled filters. Numerical analyses of the three filter models were conducted for three different operating conditions. Based on the

obtained results, the model with the most favorable operating parameters was selected for rail vehicle retrofitting.

The rail vehicle was retrofitted with the selected filter. The correctness of the selection process was verified in terms of reducing particulate matter emissions during real operation on the railway siding. Average PM and PN emissions were estimated for a full shift of operation along the route under real operating conditions. Using the prototype filter for rail vehicle retrofitting allowed for an average PM reduction of 32.6% and PN reduction of 83% for the route under consideration.