

*dr inż. Maciej Andrzejewski*  
*dr inż. Paweł Daszkiewicz*  
*prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz*  
*dr Włodzimierz Stawecki, prof. IPS*  
*dr inż. Jarosław Czerwiński*  
*mgr Dawid Gallas*  
*Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”*  
*Politechnika Poznańska*

## **Evaluation of the basic exhaust gas parameters of a rail crane engine**

### **Ocena podstawowych parametrów gazów wylotowych silnika żurawia kolejowego**

*The paper presents the research results and analysis of the TAKRAF ZU-EDK-300 rail crane operating conditions, and the basic exhaust gases parameters of its combustion engine while conducting selected track works supporting the modernization of the railway connection between Poznan and Pila. The research results presented in this paper have allowed to determine the exhaust gas energy recovery potential, among other things.*

*W artykule przedstawiono wyniki badań i dokonano analizy warunków użytkowania żurawia kolejowego TAKRAF ZU-EDK-300 oraz podstawowych parametrów gazów wylotowych jego silnika podczas prowadzenia wybranych prac torowych, wspomagających modernizację odcinka linii kolejowej wiodącej z Poznania do Piły. Przedstawione w opracowaniu rezultaty badań pozwoliły między innymi określić potencjał odzysku energii gazów wylotowych.*

#### **1. INTRODUCTION**

The largest railway infrastructure manager in Poland - PKP Polish Railway Lines S.A., with over 96% share in the total publicly available rail network, according to the "Safety Report for 2015", estimates that 18% of infrastructure is in unsatisfactory condition (including 2% in bad condition), and 27% in sufficient (Fig. 1) [4]. In total, this gives 45% of the infrastructure, for which there are more or less serious objections, although this only takes into account the railway surface. As a result of maintenance and repair works as well as investment works carried out in 2015, as of December 31, 2015, there was an improvement of approx. 3% as compared to December 31, 2014. The above-mentioned assessment was made according to the following criteria [4]:

- good grade – only maintenance required, necessary single replacement of track elements, no restrictions of driving speed,
- sufficient grade – the need to replace up to 30% of the track elements, decreasing timetable drive speeds or introducing restrictions of driving speed,
- unsatisfactory grade – wide-reaching track replacement necessary, significant reduction of timetable speeds and a large number of driving speed restrictions.

#### **1. WSTĘP**

Największy zarządca infrastruktury kolejowej w Polsce – PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., dysponujący ponad 96% udziałem w całości ogólnodostępnej sieci kolejowej, zgodnie z „Raportem w sprawie bezpieczeństwa za rok 2015” ocenia, że 18% infrastruktury znajduje się w stanie niezadawalającym (w tym 2% w stanie złym), a 27% w dostatecznym (rys. 1) [4]. Łącznie daje to 45% infrastruktury, co do której istnieją mniej lub bardziej poważne zastrzeżenia, przy czym mowa tu wyłącznie o stanie nawierzchni kolejowej. W wyniku przeprowadzonych w 2015 r. robót utrzymaniowo-naprawczych oraz inwestycyjnych, według stanu na dzień 31 grudnia 2015 r., odnotowano poprawę o ok. 3% w porównaniu ze stanem na dzień 31 grudnia 2014 r. Powyższa ocena dokonana została według następujących kryteriów [4]:

- ocena dobra – wymagana tylko konserwacja, niezbędne pojedyncze wymiany elementów nawierzchni, brak ograniczeń prędkości jazdy,
- ocena dostateczna – potrzeba wymian elementów nawierzchni do 30%, obniżenie prędkości rozkładowych lub wprowadzenie ograniczeń prędkości jazdy,
- ocena niezadawalająca – konieczna wymiana kompleksowa, znaczne obniżenie prędkości rozkładowych oraz duża ilość ograniczeń prędkości jazdy.

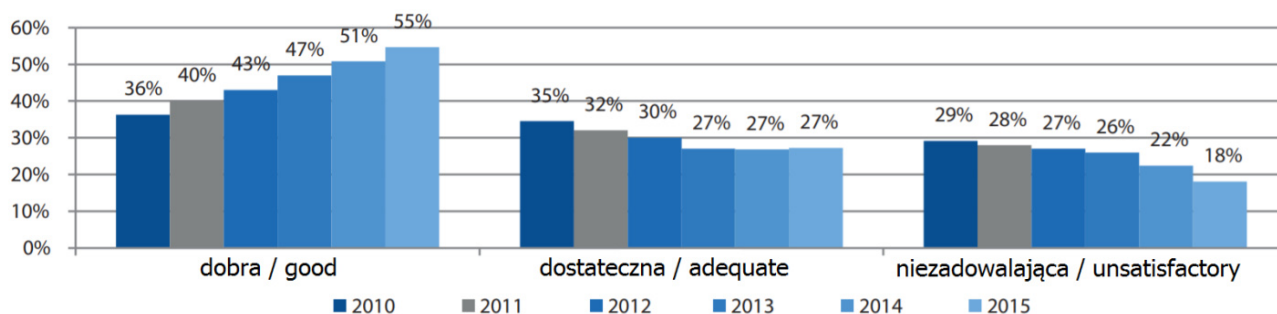


Fig. 1. Assessment of the technical condition of PKP PLK railway infrastructure in 2010–2015 [4]

Rys. 1. Ocena stanu technicznego infrastruktury kolejowej spółki PKP PLK w latach 2010–2015 [4]

Modernization and other activities related to the railway lines condition improvement are one of the most important tasks carried out by PKP PLK S.A., for which the company – as the national infrastructure manager – drew funds from its own resources as well as from the Rail Fund. The company implements a large-scale program for modernization and revitalization of railway lines. The scope of individual investment projects usually includes comprehensive replacement of railway surface, SRK equipment and power (traction and non-traction), as well as modernization of one level railroad crossings and their replacement with two-level intersections. For these tasks rail machines and two-rail vehicles are used, which are specially designed for the construction and maintenance of tracks and rail infrastructure [1, 3].

The article contains the results of research and analysis of the conditions of use of the TAKRAF ZU-EDK-300 rail crane and the basic parameters of its engine exhaust gases while conducting track works during the modernization of a part of the railway line near Poznan (the route to Pila).

## 2. RESEARCH OBJECT AND THE CONDITIONS OF ANALYSIS

The research vehicle belonged to the NRMM (Non-Road Mobile Machinery) group – the TAKRAF ZU-EDK-300 railway crane (Fig. 2). It is essentially designed for performing track work, for lifting and moving loads and for track construction. It is also capable of carrying out any work that requires lifting and moving: loads, equipment, elements for building the track or its surroundings. The crane can operate under an electric traction network, but only when it is not powered. The maximum lifting capacity depends on its reach and is 50 Mg. In addition to the basic operating parameters of the mentioned crane, the maximum power output of the engine of 588 kW (800 HP) should be mentioned.

For the purposes of the article, the performed analyzes included the assessment of the ZU-EDK-300 crane operating conditions and the exhaust gas parameters of the internal combustion engine during track work, carrying out the modernization of the railway section leading from Poznan to Pila (Fig. 3). On

Modernizacja i inne działania związane z poprawą stanu linii kolejowych to jedne z najważniejszych zadań realizowanych przez PKP PLK S.A., na które spółka – jako narodowy zarządca infrastruktury – czerpała fundusze zarówno z zasobów własnych, jak również z Funduszu Kolejowego. Spółka realizuje zakrojony na szeroką skalę program modernizacji i rewitalizacji linii kolejowych. Zakres przedmiotowy poszczególnych projektów inwestycyjnych obejmuje zwykle kompleksowe wymiany nawierzchni kolejowej, urządzeń SRK i elektroenergetyki (trakcyjnej i nietrakcyjnej), a także modernizacje przejazdów kolejowo-drogowych w jednym poziomie oraz ich likwidacje i zastępowanie skrzyżowaniami dwupoziomowymi, do czego wykorzystywane są maszyny torowe i pojazdy dwudrogowe, które zaprojektowane są specjalnie do celów budowy i utrzymania torów oraz infrastruktury [1, 3].

Artykuł zawiera wyniki badań i analizę warunków użytkowania żurawia kolejowego TAKRAF ZU-EDK-300 oraz podstawowych parametrów gazów wylotowych jego silnika podczas wykonywania prac torowych w trakcie modernizacji fragmentu linii kolejowej w okolicach Poznania (trasa na Piłę).

## 2. OBIEKT BADAŃ I WARUNKI PROWADZONYCH ANALIZ

Obiektem badań był pojazd z grupy NRMM (Non-Road Mobile Machinery) – żuraw kolejowy TAKRAF ZU-EDK-300 (rys. 2). Jest on zasadniczo przeznaczony do wykonywania prac torowych, służy do podnoszenia i przemieszczania ładunków oraz elementów służących do zabudowy torowiska. Umożliwia również wykonywanie wszelkich prac wymagających podnoszenia i przemieszczania: ładunków, urządzeń, elementów nawierzchniowych zabudowanych w torze lub jego otoczeniu. Żuraw może pracować pod elektryczną siecią trakcyjną, ale pod warunkiem jej wyłączenia. Maksymalny udźwig maszyny uzależniony jest od jej wysięgu i wynosi 50 Mg. Z grupy podstawowych parametrów eksploatacyjnych omawianego żurawia należy jeszcze wymienić maksymalną moc użyteczną silnika wynoszącą 588 kW (800 KM).

this working day, the railway crane was essentially used to remove old wooden sleepers from the track and load them onto the platform along with the pieces of used rails (Fig. 4).



Fig. 2. Rail crane TAKRAF ZU-EDK-300 with a railway platform  
Rys. 2. Żuraw kolejowy TAKRAF ZU-EDK-300 wraz z platformą kolejową

### 3. RESULTS AND ANALYSIS

The whole work cycle lasted about 4 hours. After the crane engine was started and the steady operating state was achieved, the train traveled from the train station to the construction site. After completing the track work, due to the track being temporarily occupied, the crane made a few hundred meters drive to the waiting point followed by a return trip to the station. It should be noted that two short stops at railway crossings took place while the machine traveled.



Fig. 4. Rail crane ZU-EDK-300 during track work  
Rys. 4. Żuraw kolejowy ZU-EDK-300 w trakcie wykonywania prac torowych

Figures 5 and 6 show the first 100 minutes of the basic machine operation parameters of the engine exhaust gases, where the engine is the source of the source of propulsion and power supply to the tested crane's hydraulic system. In the first phase of the test, there was an engine warm up phase and preparation

Na potrzeby podjętej w artykule analizy dokonano między innymi oceny warunków eksploatacji żurawia ZU-EDK-300 oraz parametrów gazów wylotowych silnika spalinowego podczas wykonywania prac torowych, wspomagających modernizację odcinka linii kolejowej wiodącej z Poznania do Piły (rys. 3). Tego dnia roboczego żuraw kolejowy był zasadniczo wykorzystywany do usuwania z torowiska i załadunku na platformę starych drewnianych podkładów kolejowych wraz z fragmentami zużytych szyn (rys. 4).



Fig. 3. Location of the performed work using the rail crane ZU-EDK-300 (developed on the basis of Google Maps)

Rys. 3. Miejsce prowadzenia prac przy wykorzystaniu żurawia ZU-EDK-300 (opracowano na podstawie Google Maps)

### 3. WYNIKI BADAŃ WRAZ Z ICH OMÓWIENIEM

Cały cykl pracy maszyny trwał około 4 h. Po uruchomieniu silnika żurawia i osiągnięciu ustabilizowanego stanu cieplnego nastąpił przejazd z bazy taborowej na plac budowy. Po zakończeniu prac torowych, z uwagi na chwilową zajętość toru, nastąpił kilkusetmetrowy przejazd żurawiem do punktu oczekiwania, a następnie przejazd powrotny do bazy. Należy nadmienić, że w trakcie przemieszczania się maszyny miały miejsce dodatkowo dwa krótkie postoje w okolicach przejazdu kolejowego.

Na rysunkach 5 i 6 zaprezentowano przykładowe przebiegi (pierwsze 100 minut pracy maszyny) podstawowych parametrów gazów wylotowych silnika, stanowiącego źródło napędu i zasilania instalacji hydraulicznej badanego żurawia. W pierwszej fazie testu występowała faza nagrzewania silnika i przygotowywanie do dalszej pracy. W końcowej fazie tego procesu temperatura gazów wylotowych zawierała się w zakresie 170–190°C (rys. 5). W trakcie przejazdu na plac budowy temperatura gazów wylotowych była nieco mniejsza, gdyż zawierała się w większości w przedziale 160–170°C, na co wpływ miało chłodzące oddziaływanie układu wylotowego w trakcie ruchu pojazdu. Taki przebieg temperatury gazów wylotowych umożliwia zastosowanie generatora termoelektrycznego TEG jako układu odzysku energii. Jak wspomniano we wstępie składa się on z modułów termoelektrycznych TEM wykonanych na bazie  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Jest to obecnie najpopularniejszy materiał wykorzystywany do budowy tzw. niskotemperaturowych modułów TEM – osiągają one współczynnik

for further work. At the end of this process, the exhaust gas temperature was in the range of 170 - 190°C (Fig. 5). Then the exhaust gas temperature decreased during the journey to the construction site as it remained mostly in the range of 160 - 170°C, which was influenced by the cooling effect of the exhaust system due to vehicle movement. For exhaust gases at this temperature it is possible to use the thermoelectric generator (TEG) as an energy recovery system. As mentioned in the introduction, it consists of TEM thermocouple modules based on  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  material. It is currently the most popular material used to construct TEM thermocouples, allowing them to achieve the thermoelectric efficiency factor  $ZT = 1$  at 175°C.

It is clear from the analysis of the recorded exhaust gas flow rate that the crane engine has been working in the range of engine load characteristics (changing the operating conditions of the crane). This is evidenced by the visible fluctuations in the value of this parameter from a constant level of approximately 430 - 440 kg/h (Fig. 6).

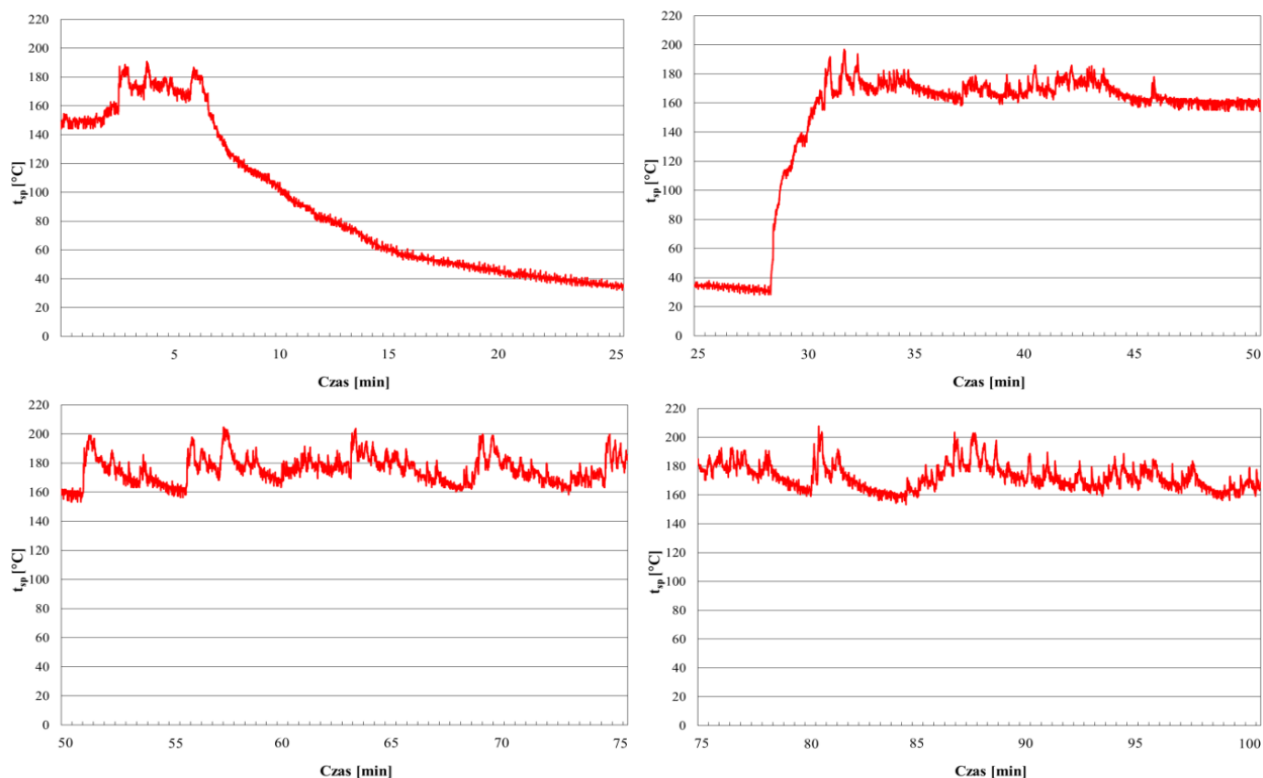


Fig. 5. The railway crane ZU-EDK-300 engine exhaust gases temperature

Rys. 5. Temperatura gazów wylotowych silnika żurawia kolejowego ZU-EDK-300

#### 4. CONCLUSIONS

The assessment of the railway crane operating conditions and the basic exhaust gas parameters of the internal combustion engine contribute to the determination of the energy recovery potential. To achieve this goal, the next step in research will be to determine the exhaust gas energy flow in the various parts of the exhaust system of the tested crane. It is also

efektywności termoelektrycznej  $ZT = 1$  dla temperatury 175°C.

Z analizy zarejestrowanych wartości natężenia przepływu gazów wylotowych wynika, iż silnik żurawia pracował w zakresie charakterystyki obciążeniowej (zmiana warunków pracy żurawia kolejowego). Świadczą o tym widoczne fluktuacje wartości tego parametru od stałego poziomu wynoszącego około 430–440 kg/h (rys. 6).

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona ocena warunków pracy żurawia kolejowego oraz podstawowych parametrów gazów wylotowych silnika spalinowego stanowi przyczynek do określenia potencjału odzysku energii. Aby zrealizować ten cel kolejnym krokiem będzie wyznaczenie strumienia energii gazów wylotowych w poszczególnych częściach układu wylotowego badanego żurawia. Przewidziane jest również rozszerzenie badań i wykonanie analiz przy innych pracach przytaczanej maszyny.

Na podstawie uzyskanych wyników analiz strumienia energii gazów wylotowych dokonany zostanie wybór metody odzysku i rekuperacji energii. W tym przypadku przewidywane jest zastosowanie generatora termoelektrycznego TEG z komercyjnymi modułami termoelektrycznymi TEM [2, 5]. Dzięki temu możliwy będzie wzrost efektywności spalinowego układu napędowego żurawia oraz ograniczenie negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne maszyn dedykowanych do prac kolejowych.

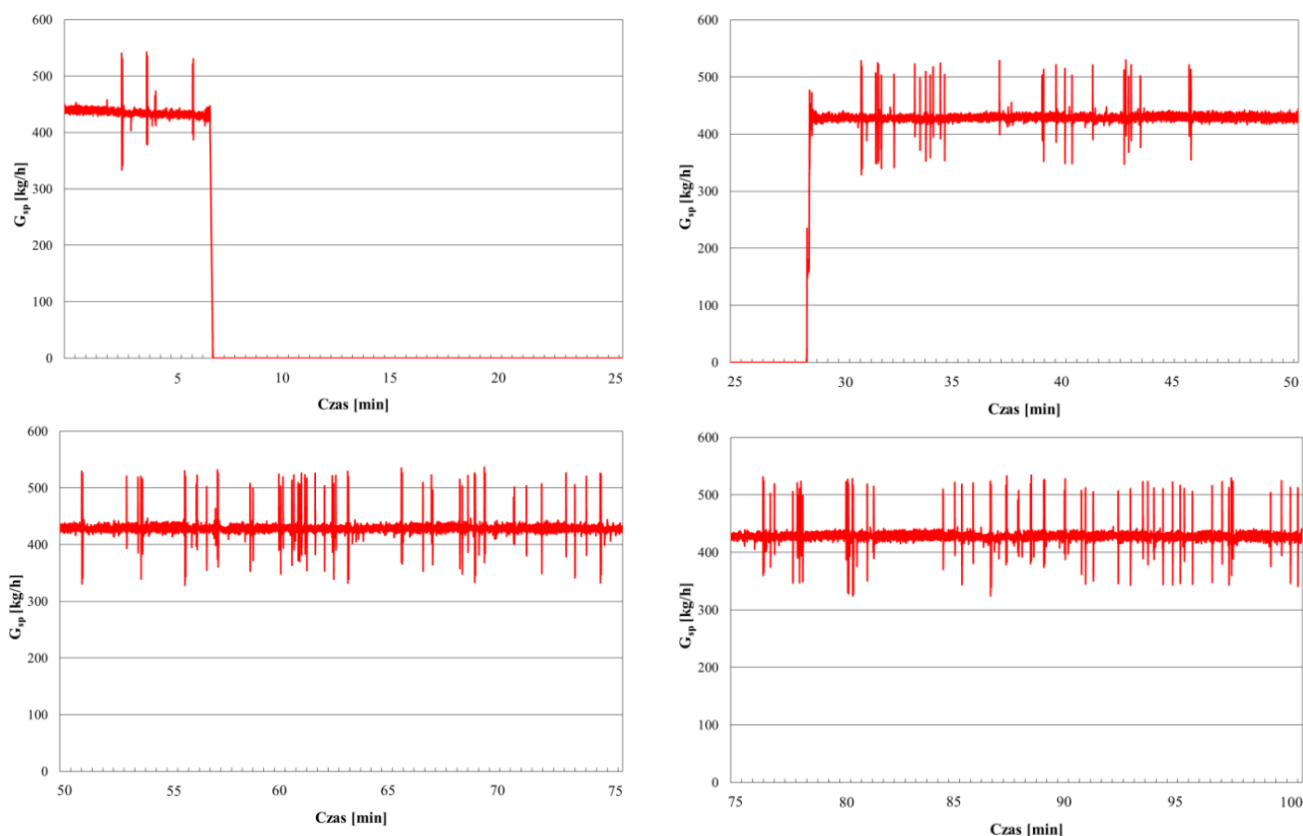


Fig. 6. The railway crane ZU-EDK-300 engine exhaust gases flow rate

Rys. 6. Natężenie przepływu gazów wylotowych silnika żurawia kolejowego ZU-EDK-300

possible to extend the study and carry out analyzes for other rail works of the cited machine.

The method of energy recovery and recuperation will be selected based on the obtained analysis results of the exhaust gases energy stream. In this case, the use of a TEG thermoelectric generator is expected using commercial TEM thermocouples [2, 5]. This will increase the efficiency of the crane's propulsion system and reduce the negative environmental impact of machines dedicated to railway work.

## BIBLIOGRAPHY / LITERATURA

1. Gronowicz J., *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1996.
2. Kronenberg J., Bergier T. red., *Wyzwania zrównoważonego rozwoju w Polsce*. Fundacja Sendzimira, Kraków 2010.
3. Krzemieniecki A., *Tabor kolejowy*. WKiŁ, Warszawa 1976.
4. *Urząd Transportu Kolejowego, Ocena funkcjonowania rynku transportu kolejowego i stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego w 2015 roku*, Warszawa.
5. Wojciechowski K.T., Zybala R., Tomankiewicz J., Fuc P., et al., *Influence on Back Pressure on Net Efficiency of TEG Generator mounted in the Exhaust System of a Diesel Engine*. *Thermoelectric Goes Automotive II*, Expert Verlag, Renningen 2012, p. 177–188.