

*dr inż. Maciej Andrzejewski*  
*dr inż. Paweł Daszkiewicz*  
*dr inż. Jarosław Czerwiński*  
*Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”*  
*prof. dr hab. inż. Agnieszka Merkisz-Guranowska*  
*Politechnika Poznańska*

## **Shunting locomotive energy consumption assessment during modernization works on the 354 railway line**

### **Ocena energochłonności ruchu lokomotywy manewrowej podczas prac modernizacyjnych na linii kolejowej 354**

*There is some energy wastage in track works caused by long and unproductive stoppages of machines with running engines (ineffective idling). In addition, the frequently occurring low load on the combustion engine results in a substantially high fuel consumption (low general efficiency). The analyzes were conducted to determine the operating conditions and energy consumption of the SM42 locomotive used during the modernization works on the railway line.*

*W pracach torowych obserwuje się pewne marnotrawstwo energetyczne, spowodowane między innymi długimi i bezproduktywnymi postojami maszyn z włączonymi silnikami (nieefektywna praca na biegu jałowym). Ponadto często występujące niewielkie obciążenie silnika spalinowego jest przyczyną zasadniczo dużego zużycia paliwa (mała sprawność ogólna). Przeprowadzone analizy miały na celu określenie warunków eksploatacji i wielkości zużycia paliwa przez lokomotywę SM42 wykorzystywaną w trakcie prowadzenia prac modernizacyjnych na linii kolejowej.*

#### **1. INTRODUCTION**

Performing works within the modernization of railway lines requires the use of specialized machinery and equipment, often equipped with large-volume compression-ignition internal combustion engines with high power outputs. Inevitably, this involves significant fuel consumption and significant emission of harmful pollutants in the exhaust gases [1, 2]. Negative environmental impacts of activities performed during the construction or modernization of railway infrastructure, further enhances the often very outdated machinery with combustion engines that meet the old and fairly liberal emission standards [3, 4].

The distribution of the probability of loading the diesel locomotive to a large extent depends on the nature of its work, and therefore its destination and use. Locomotives intended for a particular type of work should be required to set different requirements or to choose external characteristics of traction engines with particular emphasis on unit fuel consumption.

Based on a series of research works, it is possible to determine the load of a locomotive working in a linear motion as well as in a maneuvering movement.

#### **1. WSTĘP**

Wykonywanie prac w ramach modernizacji linii kolejowych wymaga zastosowania specjalistycznych maszyn i urządzeń, często wyposażonych w silniki spalinowe ZS o dużych objętościach skokowych i dużych mocach użytecznych. Nieuchronnie wiąże się to ze znacznym zużyciem paliwa i znaczną emisją szkodliwych zanieczyszczeń w gazach wylotowych silników [1, 2]. Negatywne oddziaływanie na środowisko czynności wykonywanych w trakcie budowy bądź modernizacji infrastruktury kolejowej, potęguje dodatkowo często bardzo przestarzały park maszynowy z silnikami spalinowymi spełniającymi dawne i dość liberalne normy emisji zanieczyszczeń [3, 4].

Rozkład prawdopodobieństwa obciążenia lokomotywy spalinowej w dużym stopniu jest uzależniony od charakteru jej pracy, a więc przeznaczenia i zastosowania. Lokomotywowi przeznaczonym do określonego typu pracy powinno się stawiać odmienne wymagania lub dobierać charakterystyki zewnętrzne trakcyjnych silników spalinowych ze szczególnym uwzględnieniem jednostkowego zużycia paliwa.

W oparciu o szereg prac badawczych można określić obciążenia lokomotywy pracującej w ruchu liniowym, jak i w ruchu manewrowym. Tego rodzaju

Such data are usually presented in the form of histograms. Locomotives in maneuvering movement have a different character of work than locomotives in passenger and goods traffic. This work is characterized by a high percentage of engine operation in idling conditions and engine operation at low load. According to empirical studies, the percentage share of the locomotive's working time in idling conditions amounts to 51.6 % of the total working time of the locomotive, 33 % on the power up to 10 % of the rated power, while the remaining power shares are very small (Figure 1a). Thus, the nature of the load is, among other things, the cause of high unit fuel consumption.

The operation of the locomotive on the marshalling yard is very beneficial, where a significant part of the time the locomotive works is on medium power. The share of the locomotive's working time in mixed traffic (maneuvers and marshalling yard) is presented on the engine load histogram (Figure 1b). This state induces many necessary technical and organizational actions, leading to: reduction of energy consumption (fuel) during engine operation under low load and under idling conditions and maintenance of thermal processes (temperature, combustion, lubrication) and other that contribute to the necessary level maintaining the required durability and quality of the combustion engine operation.

dane przedstawia się zwyczajowo w postaci histogramów. Lokomotywy w ruchu manewrowym mają odmienny charakter pracy niż lokomotywy w ruchu osobowym i towarowym. Praca ta charakteryzuje się dużym procentowym czasem pracy silnika w warunkach biegu jałowego oraz pracą silnika przy małym obciążeniu. Jak wynika z badań empirycznych procentowy udział czasu pracy lokomotywy w warunkach biegu jałowego wynosi 51,6 % całkowitego czasu pracy lokomotywy, 33 % na mocy do 10 % mocy znamionowej, pozostałe zaś udziały mocy są bardzo znikome (rys. 1a). Charakter obciążenia jest więc między innymi przyczyną dużego jednostkowego zużycia paliwa.

Bardzo korzystna jest praca lokomotywy na górcie rozrządowej, gdzie znaczną część czasu lokomotywa pracuje na mocach średnich. Udział czasu pracy lokomotywy w ruchu mieszanym (manewry i górcza rozrządowa) przedstawiono na histogramie obciążeń silnika (rys. 1b). Stan taki wywołuje wiele niezbędnych działań techniczno-organizacyjnych, prowadzących do: obniżenia zużycia energii (paliwa) podczas pracy silnika przy małym obciążeniu i w warunkach biegu jałowego oraz utrzymania na niezbędnym poziomie procesów termicznych (temperatury, spalania, smarowania) i innych, które przyczyniają się do utrzymania wymaganej trwałości i jakości pracy silnika spalinowego.

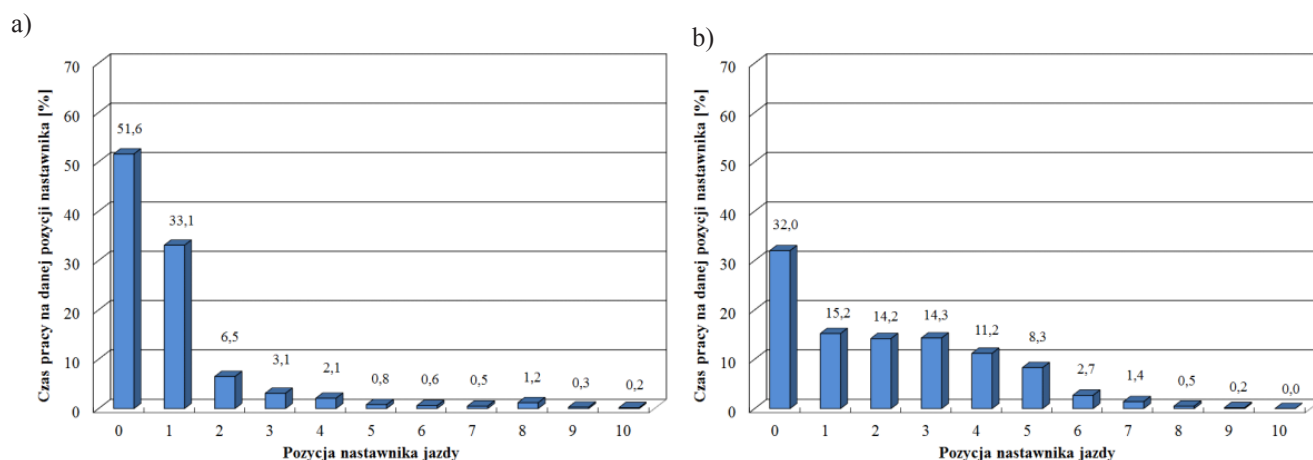


Fig. 1. Load histogram of the SM42 locomotive engine running: only in maneuvering movement (a), in maneuvering traffic and on the marshalling yard (b)

Rys. 1. Histogram obciążeń silnika spalinowego lokomotywy serii SM42 pracującej: wyłącznie w ruchu manewrowym (a), w ruchu manewrowym oraz na górcie rozrządowej (b)

## 2. THE METHODOLOGY OF GUIDED ANALYSIS

The research object was a vehicle of the NRMM (Non-Road Mobile Machinery) group – mentioned SM42 diesel locomotive (Fig. 2). It is essentially designed for shunting and marshalling works. It can also be used for light freight trains. The main operational parameter for this locomotive is the maximum engine power that is 588 kW (800 hp).

## 2. METODYKA PROWADZONYCH ANALIZ

Obiektem badań był pojazd z grupy NRMM (Non-Road Mobile Machinery) – wspomniana manewrowa lokomotywa spalinowa SM42 (rys. 2). Jest ona zasadniczo przeznaczona do wykonywania prac przetokowych i rozrządowych. Może być wykorzystywana również do prowadzenia lekkich pociągów towarowych. Głównym parametrem eksploatacyjnym omawianej lokomotywy jest maksymalna moc użyteczna silnika wynosząca 588 kW (800 KM).



Fig. 2. The research object – SM42 locomotive  
Rys. 2. Obiekt badań – lokomotywa SM42



Fig. 3. View from the driver's cab during: loading crushed stone (a), transit to the construction site (b)  
Rys. 3. Widok z kabiny maszynisty w trakcie: załadunku tłucznia (a), przejazdu na plac budowy (b)

For the purpose of the article, the analysis was carried out, among other things, to assess the operating conditions of the SM42 locomotive and the fuel consumption of its engine during track works supporting the modernization of the railway line leading from Poznan to Pila. On this working day, the SM42 locomotive was used to operate five self-unloading wagons, including three “dumpcar” type (with a tipping box) wagons to deliver a new crushed stone to the construction site (Fig. 3b). This crushed stone was loaded onto wagons using a wheel loader (Fig. 3a).

Detailed works schedule which were made using the SM42 locomotive is presented in Table 1. Indirectly from the presented information result various ways and conditions of operation of the SM42 locomotive. On the basis of the recorded measurement data, the percentage share of the individual activities performed by the locomotive in the whole cycle of its work (about 4 h) was determined (Tab. 1).

An attention is drawn to the large share of activities during which the engine of the SM42 locomotive was idling. Overall it was 155 minutes, which accounted for about 64% of the total operating time of the locomotive engine (Fig. 4). In this case, the greatest potential for improving the efficiency of the pro-

Na potrzeby podjętej w artykule analizy dokonano między innymi oceny warunków eksploatacji lokomotywy SM42 oraz zużycia paliwa przez jej silnik w trakcie wykonywania prac torowych wspomagających modernizację odcinka linii kolejowej wiodącej z Poznania do Piły. Tego dnia roboczego lokomotywa SM42 była wykorzystywana do obsługi składu pięciu wagonów samowyładowczych: dwóch wagonów typu szutrówka i trzech typu dumpcar (z przechylnym pudełkiem), celem dostarczenia nowego tłucznia na plac budowy (rys. 3b). Załadunku tłucznia na wagony dokonywano przy wykorzystaniu ładowarki kołowej (rys. 3a).

Szczegółowy przebieg prac przy wykorzystaniu lokomotywy SM42 zaprezentowano w tablicy 1. Pośrednio z przedstawionych informacji wynikają różne sposoby i warunki eksploatacji, którym poddawana

była lokomotywa SM42. Na podstawie zarejestrowanych danych pomiarowych, określono procentowy udział poszczególnych czynności wykonywanych przy użyciu przedmiotowej lokomotywy w całym cyklu jej pracy wynoszącym około 4 h (tab. 1).

Uwagę zwraca duży udział czynności, podczas których silnik lokomotywy SM42 pracował na biegu jałowym. Łącznie było to 155 minut, co stanowiło około 64 % całego czasu pracy silnika lokomotywy (rys. 4). W takim właśnie przypadku upatruje się największych możliwości wpłynięcia na poprawę efektywności pracy układu napędowego przedmiotowej lokomotywy (uzyskanie większej sprawności procesu spalania paliwa). W wyniku realizacji różnych działań organizacyjno-technicznych powinno się zapewnić minimalny czas przestoju maszyny z włączonym silnikiem.

Na podstawie wykonanych analiz można zaobserwować, że silnik lokomotywy pracował w wąskim zakresie obciążenia – głównie na nastawniku jazdy w pozycji 2 i 3. Wyższe pozycje zastosowano jedynie z uwagi na konieczność pokonania większych oporów ruchu w trakcie podjeżdżania z wagonami w stanie ładownym pod wzniesienie terenu, występujące na krótkim odcinku trasy.

Table 1. Activities performed using the SM42 shunting locomotive  
 Tablica 1. Czynności wykonywane przy wykorzystaniu lokomotywy manewrowej SM42

| Czynność/Action   | Czas trwania/Duration | Udział/Share |
|---|-----------------------|--------------|
| Uruchomienie silnika + postój/<br>Start of the engine + vehicle stop                            | 28 min 34 s           | 11,9 %       |
| Przejazd do miejsca składowania tłucznia/<br>Drive to the place of storage of the crushed stone | 2 min 5 s             | 0,8 %        |
| Postój – oczekiwanie na załadunek wagonów/<br>Vehicle stop – waiting for wagons loading         | 6 min 55 s            | 2,9 %        |
| Załadunek 5 wagonów/<br>Loading of 5 wagons   | 65 min 10 s           | 26,7 %       |
| Przejazd na plac budowy – I etap/<br>Drive to construction site – I stage                       | 5 min 54 s            | 2,5 %        |
| Postój przed przejazdem kolejowym/<br>Vehicle stop before the railway crossing                  | 45 min 8 s            | 18,5 %       |
| Przejazd na plac budowy – II etap/<br>Drive to construction site – II stage                     | 3 min 45 s            | 1,6 %        |
| Rozładunek wagonów – prace na nowym torze/<br>Unloading of wagons – works on a new track        | 51 min 12 s           | 21,0 %       |
| Przejazd powrotny do bazy – I etap/<br>Return drive to the base – I stage                       | 3 min 5 s             | 1,2 %        |
| Postój przed przejazdem kolejowym/<br>Vehicle stop before the railway crossing                  | 14 min 15 s           | 5,8 %        |
| Przejazd powrotny do bazy – II etap/<br>Return drive to the base – II stage                     | 5 min 31 s            | 2,5 %        |
| Postój + wyłączenie silnika/<br>Vehicle stop + stop of the engine                               | 10 min 48 s           | 4,5 %        |

pulsion system of the locomotive is achieved (achieving greater combustion efficiency). As a result of the various organizational and technical activities, the minimum downtime of the machine with the running engine should be ensured.

On the basis of the analysis, it can be observed that the engine of the locomotive was operating in a narrow range of loads – mainly on the 2 and 3 position of the driving adjuster. Higher positions were used only because of the need to overcome the greater movement resistance while traveling with full wagons under a small hill, occurs on a short segment of the route.

### 3. THE ANALYSIS OF OPPORTUNITIES TO INCREASE EFFICIENCY OF WORK

Improving the work efficiency of the SM42 locomotive in terms of reducing energy consumption, the authors looked at the possibility of shortening the duration of some activities carried out within track works (Tab. 1). In order to estimate fuel savings (as part of improving work organization), first it was proposed to reduce engine idling time by 50 % (I proposed work cycle). This reduced the work time by 45 minutes, resulting in a reduction in fuel consumption of around 16 % (Fig. 6).

Then (II proposed work cycle) a further reduction of the time of the first locomotive stoppage before the railway crossing was proposed for next minutes (up to about 7 minutes as in the case of the second stop after the previously proposed changes of 50 % reduction of

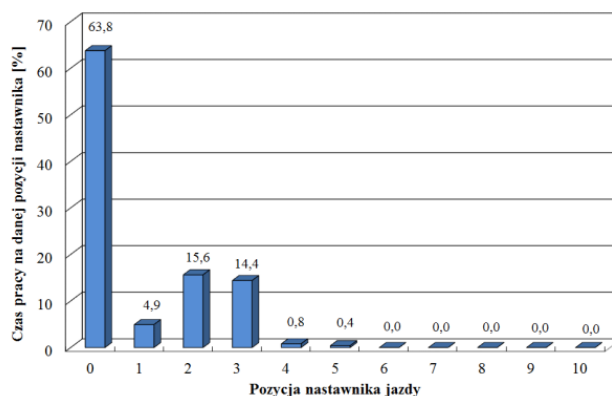


Fig. 4. The histogram of the engine load of the analysed SM42 locomotive (4 h of work)

Rys. 4. Histogram obciążeń silnika spalinowego analizowanej lokomotywy SM42 (4 h pracy)

### 2. ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZWIĘKSZENIA EFEKTYWNOŚCI PRACY

Poprawę efektywności pracy lokomotywy SM42 w aspekcie zmniejszenia energochłonności jej ruchu autorzy upatrywali w możliwości skrócenia czasu trwania niektórych czynności wykonywanych w ramach prac torowych (tab. 1). Celem oszacowania oszczędności w zużyciu paliwa przewidywanych w ramach poprawy organizacji pracy przedmiotowej lokomotywy, w pierwszej kolejności zaproponowano skrócenie czasu pracy lokomotywy przy biegu jałowym silnika o połowę (I proponowany cykl pracy). Pozwoliło to skrócić czas wykonywania wszystkich

locomotive idling time). Thanks to this, the time of performing all track works was reduced from 4 to 3 h, thus achieving a reduction of fuel consumption by about 21 % compared to 4 hours of locomotive use (Fig. 6).

The confirmation of the above effects of the proposed organizational activities is a significant reduction of engine idling time from about 64 % to 55 % – the suggested I work cycle (Fig. 5a). As a result of the use of the II suggested locomotive work cycle, it is possible to expect a reduction of the share of engine idling time by almost 13 % (Figure 5b). As could be expected, the reduction of the locomotive's first stop time was almost the greatest by almost 40 minutes. This resulted in a drop in the share of stoppage time before the railway crossing in the entirety of activities performed by the locomotive from 18.5 to 4.2 %.

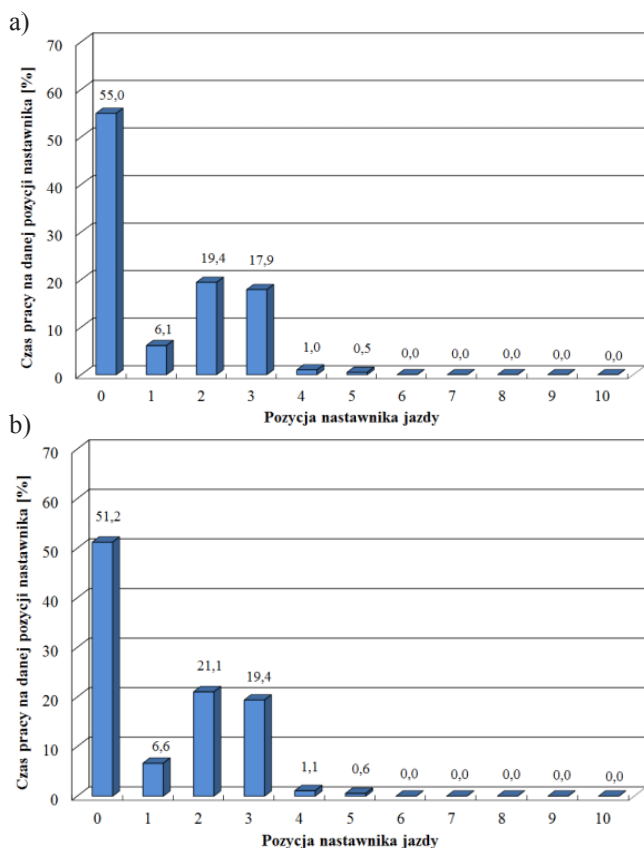


Fig. 5. The histogram of the engine load of the analyzed SM42 locomotive: I proposal – 3.25 h of work (a), II proposal – 3 h of work (b)

Rys. 5. Histogram obciążeń silnika spalinowego analizowanej lokomotywy SM42: I propozycja – 3,25 h pracy (a), II propozycja – 3 h pracy (b)

#### 4. SUMMARY

All actions leading to the improvement of the efficiency of machines designed to carry out works on railway tracks, to reduce fuel consumption and emission of harmful exhaust components, seem to be valuable. The authors of this article undertook to assess the possibility of rationalization of their exploitation.

prac torowych o 45 minut oraz uzyskać zmniejszenie zużycia paliwa o około 16 % (rys. 6).

Następnie (II proponowany cykl pracy) zaproponowano dalsze skrócenia czasu pierwszego postoju lokomotywy przed przejazdem kolejowym o kolejne minuty (do wartości około 7 minut jak ma to miejsce w przypadku drugiego postoju po wcześniej zaproponowanych zmianach 50 % redukcji czasu pracy lokomotywy przy biegu jałowym silnika). Dzięki temu czas wykonywania wszystkich prac torowych zmniejszono z 4 do 3 h, uzyskując tym samym zmniejszenie zużycia paliwa o około 21 % wobec 4 h użytkowania lokomotywy (rys. 6).

Potwierdzeniem powyższych efektów proponowanych działań organizacyjnych jest znaczące zmniejszenie udziału czasu pracy silnika lokomotywy na biegu jałowym z około 64 % do wartości 55 % w przypadku I proponowanego cyklu pracy (rys. 5a). W wyniku zastosowania II sugerowanego cyklu pracy lokomotywy można oczekiwać zmniejszenia udziału czasu pracy silnika na biegu jałowym o prawie 13 % (rys. 5b). Jak można było przypuszczać w największym stopniu przyczyniła się do tego redukcja czasu pierwszego postoju lokomotywy aż o prawie 40 minut. Skutkowało to spadkiem udziału postoju przed przejazdem kolejowym w całości czynności wykonywanych przez lokomotywę z 18,5 na 4,2 %.

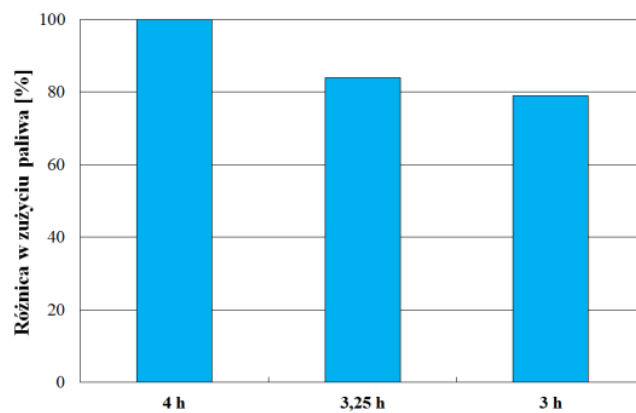


Fig. 6. The difference in the energy consumption of locomotive  
Rys. 6. Różnica w energochłonności ruchu lokomotywy

#### 4. PODSUMOWANIE

Wszelkie działania prowadzące do poprawy efektywności pracy maszyn przeznaczonych do wykonywania prac na torach kolejowych, celem zmniejszenia zużycia paliwa i emisji szkodliwych składników spalin, wydają się być wartościowymi. Autorzy niniejszego artykułu podjęli się oceny możliwości racjonalizacji ich eksploatacji. Przedstawiono w nim analizę warunków pracy i zużycia paliwa przez spalinową lokomotywę manewrową SM42, wykorzystywaną właśnie przy pracach torowych.

It presents an analysis of working conditions and fuel consumption by an SM42 diesel shunting locomotive, used just for track works.

It should be underlined in the discussed aspects that during operation of diesel locomotives in real conditions, the energy utilization rates of the locomotive are significantly different from those achieved at full power, especially when there is a very high proportion of engine idling. It is also important that in the control system of the locomotive driving system, the control is discrete, determined by the position of the driving adjuster.

Further research and development works will be aimed at improving the work efficiency of this vehicle, taking into account further organizational and technical activities. In order to further improve the use of chemical energy provided in the fuel, after completing the supplementary tests, an energy balance will be prepared to develop appropriate operating guidelines for operators and users of the SM42 locomotive.

W poruszanych aspektach należy podkreślić, że podczas pracy lokomotyw spalinowych w warunkach rzeczywistych, eksploatacyjne wskaźniki wykorzystywania energetycznego lokomotywy znacznie się różnią od tych, które uzyskuje się przy jej pracy na mocy znamionowej, a szczególnie wówczas, gdy wystąpi bardzo duży udział pracy silnika na biegu jałowym. Istotne jest też to, że w systemie sterowania układem napędowym lokomotywy sterowanie ma charakter dyskretny, zdeterminowany pozycją nastawnika jazdy.

Dalsze prace naukowo-badawcze będą ukierunkowane na poprawę efektywności pracy tego pojazdu z uwzględnieniem kolejnych działań organizacyjno-technicznych. W celu poprawy wykorzystania energii chemicznej dostarczanej w paliwie, po wykonaniu badań uzupełniających, przewiduje się sporządzenie swoistego bilansu energetycznego, który posłuży opracowaniu stosownych wytycznych eksploatacyjnych dla operatorów i użytkowników lokomotywy SM42.

## BIBLIOGRAPHY / LITERATURA

- [1] Feo-Valero M., Garcí'a-Mene'ndez L., del Saz-Salazar S., *Rail freight transport and demand requirements: an analysis of attribute cut-offs through a stated preference experiment*. *Transportation* (2016) 43:101–122, DOI 10.1007/s11116-014-9566-x
- [2] Krezo S., Mirza O., He Y., Kaewunruen S., Sussman J.M., *Carbon Emissions Analysis of Rail Resurfacing Work: A Case Study, Practical Guideline and Systems Thinking Approach*. *Proceedings of the Second International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance*, J. Pombo, (Editor), paper 288, pp. 1–14, Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland.
- [3] Marciniak Z., Stawecki W., Merkisz J., Pielecha I., Pielecha J., *Możliwości modyfikacji taboru spalinowego w celu zmniejszenia jego oddziaływania na środowisko naturalne*. *Technika Transportu Szynowego*, 3/2011, s. 43–48.
- [4] Merkisz-Guranowska A., Andrzejewski M., Daszkiewicz P., Gallas D., Stawecka H., *The impact of the modernization of imported diesel locomotives on pollutant emissions*. *Pojazdy Szynowe* 2/2016, Wydawnictwo IPS „TABOR”, s. 8-12.