

## **Costs of upgrading based on 131 railway line**

### **Koszty modernizacji na przykładzie linii 131**

*In searching for the optimal use of the railway company's financial resources (PKP PLK) and the time of planning the repairs of the tracks, a track durability model was created. The model in its assumptions is based on the technical and operational parameters of the railway line No. 131. The article presents two variants of the process of track durability. The first variant concerns the cleaning of the track, the second one concerns the upgrading. For both variants, the costs of works related to the cleaning and upgrading works of the tracks were determined and the impact of these variants on the environment was determined. The article also presents the scope of upgrading works and works related to the continuous repairs of the railway surface.*

*W poszukiwaniu optymalnego wykorzystania środków finansowych przedsiębiorstwa kolejowego (PKP PLK) oraz czasu planowania napraw torowisk stworzono model trwałości toru. Model w swych założeniach opiera się na parametrach techniczno – eksploatacyjnych linii kolejowej nr 131. W artykule przedstawiono dwa warianty procesu trwałości toru. Pierwszy wariant zakłada oczyszczenie toru, drugi przeprowadzenie modernizacji. Dla obu wariantów określono koszty prac związanych z oczyszczaniem i pracami modernizacyjnymi torowisk oraz określono wpływ tych wariantów na środowisko. W artykule przedstawiono również zakres prac modernizacyjnych i prac związanych z naprawą ciągłą nawierzchni kolejowej.*

#### **1. Introduction**

Since 2010 there has been an increase of expenditures on financing of rail infrastructure in Poland. Thanks to the possibility of obtaining more and more funds from EU Centers, there is an increase in the number of modernization projects of railway lines in Poland. Providing a high level of quality of modernization works, it is possible to estimate the time of railway surface life. In the article based on the track durability model, the calculations of estimated costs for two variants are carried out: upgrading and cleaning of the surface. The presented results can be used as the additional indicators in determining the profitability of investments in the context of the application of different technologies of implementation.

#### **2. Modernization of the railway lines in Poland**

Modernization and the related increase in technical and operational parameters of the existing railway infrastructure have the key importance for providing the transport needs of goods and services in Poland and in the world. In 2014 PKP Polish Railway Lines managed 18 516 km of railway lines, therefore Poland has the third place next after France and Germany in terms of the length of railway lines. An additional advantage of the Polish railway infrastructure is its

#### **1. Wstęp**

Od 2010 roku następuje wzrost nakładów na finansowanie infrastruktury kolejowej w Polsce. Dzięki możliwości pozyskania coraz większych funduszy z Ośrodków Unijnych następuje zwiększenie ilości projektów modernizacji linii kolejowych w Polsce. Przy zapewnieniu wysokiego poziomu jakości robót modernizacyjnych, możliwym jest oszacowanie czasu życia nawierzchni. W artykule na podstawie modelu trwałości toru, przeprowadzono obliczenia szacowanych kosztów dla dwóch wariantów: modernizacji i oczyszczenia nawierzchni. Przedstawione wyniki mogą posłużyć jako dodatkowe wskaźniki przy określaniu opłacalności inwestycji w kontekście zastosowania różnych technologii wykonania.

#### **2. Modernizacja linii kolejowych w Polsce**

Modernizacja i związane z tym podniesienie parametrów techniczno – eksploatacyjnych istniejącej infrastruktury kolejowej ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia potrzeb przewozowych towarów i usług w Polsce i na świecie. W roku 2014 PKP Polskie Linie Kolejowe zarządzały 18 516 km linii kolejowych w związku z czym Polska zajmuje trzecie miejsce zaraz po Francji i Niemczech pod względem długości linii kolejowych. Dodatkowym walorem polskiej in-

central location in Europe. According to the Annual Report 2014, the condition of infrastructure has slightly improved compared to 2013, which is the result of the long-term process of modernization of the largest railway routes in Poland (Figure 1) [4].

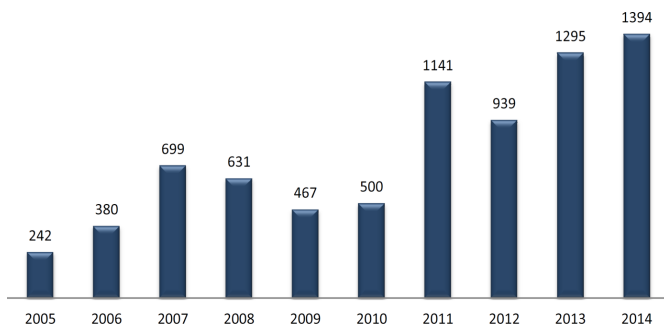


Fig. 1. Amount of modernized kilometers of railway lines in Poland in the years 2005 – 2014 Source: a study based on the Annual Report 2014 of PKP PLK

Rys. 1. Ilość zmodernizowanych kilometrów linii kolejowych w Polsce w latach 2005 – 2014 Źródło: opracowanie na podstawie Raportu rocznego 2014 PKP PLK

The concept of modernization of the railway line is based mainly on increasing the technical and operational parameters. This is mainly connected with the complete dismantling of individual elements of the railway infrastructure. An additional design requirement is the use of previously occupied land or other railway plots. The modernization works also include the engineering elements and objects belonging to the railway infrastructure, such as viaducts, culverts and traction poles. The modernization process of the network of Polish Railway Lines is primarily regulated by the Technical Standards "Detailed Technical Conditions for modernization or construction of railway lines up to speed  $V_{max} \leq 200$  km/h (for conventional rolling stock) or 250 km/h (for rolling stock with a tilting body)" [3].

Since 2005 there has been an increase in expenditure on railway investments, which reached an increase of 700% in 2014 compared to 2005 (Figure 2). A project from the Pendolino Program worth PLN 8 billion intended for modernization of railway lines implemented in 2011-2014 has included to the priority projects in recent years.

Expenditures on railway investments are obtained from many sources, such as: operational programs, state budget, railway fund, etc. The list of funds for railway investments in 2014 is presented in table 1.

Fig. 3. Expenditures on railway investments in 2005 - 2014 in PLN billion Source: a study based on the Annual Report 2014 of PKP PLK

Rys. 3. Nakłady na inwestycje kolejowe w latach 2005 – 2014 w mld zł Źródło: opracowanie na podstawie Raportu rocznego 2014 PKP PLK

frastruktury kolejowej jest jej centralne położenie w Europie. Według Raportu Rocznego 2014 stan infrastruktury uległ niewielkiej poprawie w stosunku do roku 2013 co jest wynikiem przyjętego długoletniego procesu modernizacji największych szlaków kolejowych w Polsce (rys. 1) [4].

Pojęcie modernizacji linii kolejowej opiera się głównie na zwiększeniu parametrów techniczno – eksploatacyjnych. Związane jest to przede wszystkim z całkowitym demontażem poszczególnych elementów infrastruktury kolejowej. Dodatkowym wymogiem projektowym jest wykorzystanie dotychczas zajmowanego terenu lub innych działek kolejowych. Prace modernizacyjne obejmują również elementy i obiekty inżynierskie przynależne do infrastruktury kolejowej takie jak wiadukty, przepusty czy słupy trakcyjne. Na sieci Polskich Linii Kolejowych proces modernizacji regulują przede wszystkim Standardy Techniczne „Szczegółowe Warunki Techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) lub 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem)” [3].

Od 2005 roku następuje wzrost nakładów na inwestycje kolejowe, które osiągnęły wzrost na poziomie 700% w roku 2014 w stosunku do roku 2005 (rys. 2). Do priorytetowych projektów w ostatnich latach należał projekt z Programu Pendolino o wartości 8 mld zł przeznaczony na modernizację linii kolejowych realizowany w latach 2011 – 2014.

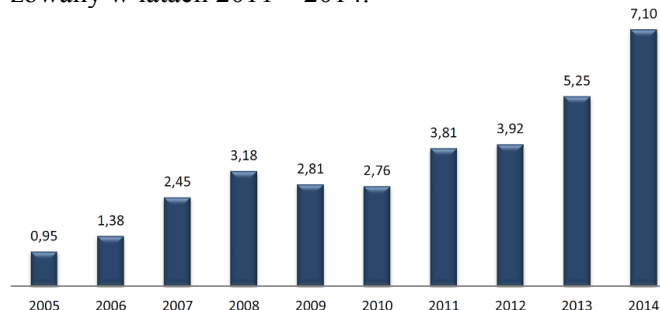
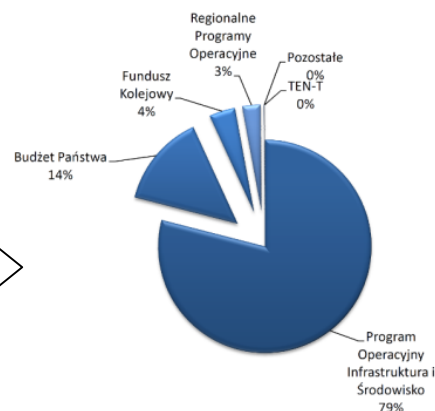


Fig. 2. Expenditures on railway investments in 2005 - 2014 in PLN billion Source: a study based on the Annual Report 2014 of PKP PLK

Rys. 2. Nakłady na inwestycje kolejowe w latach 2005 – 2014 w mld zł Źródło: opracowanie na podstawie Raportu rocznego 2014 PKP PLK



**Table 1. Financial expenditures for railway investments in 2014**

**Tabela. 1. Nakłady finansowe na inwestycje kolejowe w 2014 roku**

L.p./ No	Programy/ Programs	Nakłady na inwestycje [mln zł]/ Expenditures on investments [PLN billion]
1.	Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko/Operational Program- Infrastructure and Environment	5 755,7
2.	Budżet Państwa/ State Budget	1 030,7
3.	Fundusz Kolejowy/ Railway Fund	288,7
4.	Regionalne Programy Operacyjne/ Regional Operational Programs	201,7
5.	Pozostałe/ Others	7,2
6.	TEN-T/ TEN-T	2,3
7.	Razem (z uwzględnieniem robót w toku)/ Total (including works in progress)	7 286,3

Source: a study based on the Annual Report 2014 of PKP PLK  
Źródło: opracowanie na podstawie Raportu rocznego 2014 PKP PLK

The Operational Program Infrastructure and Environment has the largest share in financing of railway investments (Figure 3). The Railway Fund, i.e. the own resources of the railway company, is only 4% of the expenditures on financing of railway investments in Poland. In order to increase the technical and operational parameters and parameters of railways modernization, it is important to gradually increase the financial expenditures for these undertakings. Only the appropriate policy of a railway company and assistance from Government Programs can ensure an increase in financial expenditures and consequently, a dynamic development of the network of Polish Railway Lines [4].

### 3. Modernization costs on the example of the surface durability model

A surface durability model consisting of four cycles was developed by the authors for the case of the revitalized line No. 131 Chorzów Batory - Tczew at the premises of the Polish Railway Lines Department in Gdynia (Figure 4). After revitalization, the operating speed of 160 km/h is valid on the line, the surface consists of reinforced concrete sleepers PS - 94 and raw rails (steel class 260) 60E1 and fastenings of SB type.

The construction of the railway line No. 131 began from 1852 and lasted for the war period until 1947. It was only in 2013, after 66 years of operation of the line, PKP Polish Railway Lines decided to revitalize it.

Nakłady na inwestycje kolejowe są pozyskiwane z wielu źródeł takich jak: programy operacyjne, budżet państwa, fundusz kolejowy, itp. Zestawienie funduszy na inwestycje kolejowe w 2014 roku przedstawiono w tabeli 1.

Największy udział w finansowaniu inwestycji kolejowych ma Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (rys. 3). Fundusz Kolejowy czyli środki własne przedsiębiorstwa kolejowego to zaledwie 4% nakładów na finansowanie inwestycji kolejowych w Polsce. W celu zwiększania parametrów techniczno – eksploatacyjnych i modernizacji dróg szynowych ważne jest sukcesywne zwiększanie nakładów finansowych na wymienione przedsięwzięcia. Tylko odpowiednia polityka przedsiębiorstwa kolejowego oraz pomoc z Programów Rządowych może zapewnić wzrost nakładów finansowych a co za tym idzie dynamiczny rozwój sieci Polskich Linii Kolejowych [4].

### 3. Koszty modernizacji na przykładzie modelu trwałości nawierzchni

Model trwałości nawierzchni składający się z czterech cykli został opracowany przez autorów dla przypadku linii rewitalizowanej nr 131 Chorzów Batory - Tczew na terenie Zakładu Polskich Linii Kolejowych w Gdyni (rys. 4). Po rewitalizacji, na linii obowiązuje prędkość eksploatacyjna 160 km/h, nawierzchnia składa się z podkładów żelbetowych PS – 94 i szyn surowych (klasa stali 260) 60E1 oraz przytwierdzeń typu SB.

Budowa linii kolejowej nr 131 rozpoczęła się w 1852 roku i trwała poprzez okres wojenny do roku 1947. Dopiero w 2013 roku, po 66 latach eksploatacji linii, spółka PKP Polskie Linie Kolejowe zdecydowały o jej rewitalizacji.

W modelu pierwszy cykl został obliczony dla obciążenia przeniesionego przez szynę od odbioru eksploatacyjnego, gdzie  $Q = 0$  do pierwszej naprawy ciągłej. Dla wszystkich cykli, graniczne odchylenie standardowe nierówności pionowych przyjęto na poziomie 2,1 mm [1]. Dla bardzo dobrego poziomu jakości, gdzie odchylenie standardowe nierówności pionowych po modernizacji wynosi 0,1 mm obliczono długość cyklu do pierwszej naprawy ciągłej. Długość ta wyniosła przeniesienie obciążenia na poziomie 383 Tg. Każdy kolejny cykl został określony od naprawy ciągłej do kolejnej naprawy ciągłej. Długość obliczonych cykli wynosi przeniesienie obciążenia na poziomie 155 Tg dla bardzo dobrego poziomu jakości po naprawie ciągłej [5].

W celu określenia granic eksploatacyjnych toru przedstawiono dwa warianty cyklu życia nawierzchni dla linii kolejowej nr 131 Chorzów Batory – Tczew (rys. 5). Pierwszy wariant zakłada przeprowadzenie dwóch modernizacji, gdzie pierwsza jest początkiem omawianego wariantu przy odbiorze eksploatacyjnym i obciążeniu  $Q = 0$ , natomiast druga modernizacja

In the model, the first cycle was calculated for the load transferred by the rail from the operational acceptance where  $Q = 0$  to the first continuous repair. For all cycles, the limited standard deviation of vertical irregularities was assumed at 2.1 mm [1]. For a very good level of quality, where the standard deviation of vertical irregularities after modernization is 0.1 mm, the length of the cycle to the first continuous repair was calculated. This length amounted to a load transfer of 383 Tg. Each next cycle was determined from the continuous repair to another continuous repair. The length of the calculated cycles is a load transfer of 155 Tg for a very good level of quality after the continuous repair [5].

In order to determine the operational limits of the track, two variants of the life cycle of the surface for the railway line No. 131 Chorzów Batory - Tczew are presented (Figure 5). The first variant assumes carrying out two modernizations, where the first is the beginning of the discussed variant in the operational acceptance and load of  $Q = 0$ , while the second modernization takes place after about 28 years of track operation. The annual load of 131 line is approximately 30 Tg. The total life cycle of the first variant is approximately 56 years.

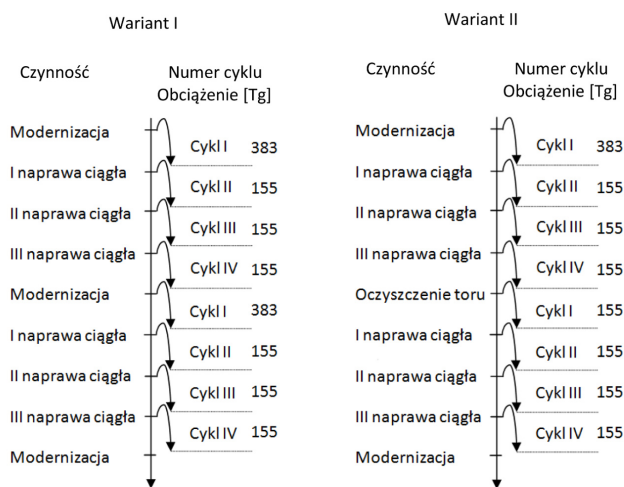


Fig. 5. Variants of the track life cycles for modernization and continuous repair Source: own study

Rys. 5. Warianty cykli życia toru dla modernizacji i naprawy ciągłej Źródło: opracowanie własne

In the second variant, it is assumed that durability will be calculated from modernization and more precisely from the operational acceptance for  $Q = 0$  to repair using the track cleaner. The track cleaning method will be used after 28 years of track use. The total life cycle for the second variant is about 48 years.

Based on Table 2, the estimated costs for the two listed variants are presented. The first variant from modernization to modernization includes a total cost of PLN 3 367 000 zł/km. The second variant with track cleaning gives cost of PLN 2 550 000 zł/km.

następuje po około 28 latach eksploatacji toru. Obciążenie roczne linii nr 131 wynosi około 30 Tg. Całkowity cykl życia pierwszego wariantu wynosi w przybliżeniu 56 lat.



Fig. 4. Railway line No. 131 with the area of the Department of Polish Railway Lines in Gdynia [5]

Rys. 4. Linia kolejowa nr 131 z obszarem Zakładu Polskich Linii Kolejowych w Gdyni [5]

Table 2 Estimated costs of individual track works  
Tabela 2 Szacowane koszty poszczególnych robót torowych

Nazwa zadania/ elementu Name of task/element	Cena jednostkowa w zł/ Unit price in zł	Jednostka miary/ Unit of measure
Materiał i balastowanie: / Material and ballasting - wysypanie tłucznia/ pouring crushed stone - wielokrotność podbicia/ multiple tamping - obsługa geodezyjna/ geodetic service - zgarniarka/ scraper	350 000	km
Montaż toru wraz z balastowaniem/ Track assembly with ballasting	45 000	km
Oczyszczenie toru/ Track cleaning	100 000	km
Podkład PS-94 i przytwierdzenie typu SB/ PS-94 sleeper and fastening of SB type	220	piece
Rozbiórka toru/ Track disassembly - rozbiórka i pocięcie szyn/ disassembly and rails cutting - wywiezienie szyn na miejsce składowania odpadów/ removal of rails to place of waste storage	75 000	km
Szyna 60E1/ 60E1 rail	215	Metr/metre

Source: own study  
Źródło: opracowanie własne

In the cost analysis, the variant with carrying out a track cleaning turned out to be a much cheaper option than carrying out the modernization. However, during the modernization it is obtained an increase in the technical and operational parameters and according to the model calculations the working time of the surface extends by 10 years in relation to the variant with track cleaning.

#### 4. Influence of modernization on environment

##### 4.1. Environmental protection

By 2014 in the process of submitting the application for a building permission, environmental considerations were regulated by a document of decision on the environmental conditions of investment realization which is modernization based on the report on impact on environment. Since 2014, the report on impact on environment has been updated by the Polish Railway Lines into the Standard Requirements for Environmental Documentation [6]. The current changes include:

- definition of requirements for carrying out the tests and analyses of the quality of rainwater;
- assessment of the undertaking's impact on Surface Water Uniform Elements (JCWP);
- change of the record of calculations and the results of vibroacoustic measurements.

Due to the change of the content and detail of documents defining the environmental values of the areas close to the railway lines, Polish Railway Lines has started a project called "Preparation of environmental documentation for selected infrastructure projects of the financial perspective 2014-2020". The undertaking is aimed at gathering as much as possible data about the resources and the state of the environment in the nearby areas managed by PKP PLK [4].

An additional aspect that can be used in the rational management of building material and its utilization is the assessment of the life cycle cost LCC (*Life Cycle Cost*), i.e. the cumulative cost of a specific product at every stage of its life. This cycle begins at the moment of undertaking the conceptual works on the object to its physical liquidation, e.g. scrapping and recycling. Using this method can reduce the costs incurred during operation and the number of necessary track closures. In addition, calculation of the ratios of surface disassembly, its recycling and scrapping may have a decisive impact on the natural environment's value while optimizing waste management [7].

##### 4.2. Safety during the investment realization

During carrying out the modernization works, one of many important issues is the safety and comfort of travelers. Every investment carried out on the area of railway lines requires the track closures. Their timely planning and implementation is a key activity while providing the railway traffic safety. In addition, the appropriate organization of traffic by introducing the

W drugim wariantcie założono, że trwałość zostanie obliczona od modernizacji a dokładnie od odbioru eksploatacyjnego dla  $Q = 0$  do naprawy z wykorzystaniem oczyszczarki torowej. Wykorzystanie metody oszczyszczenia toru nastąpi po 28 latach eksploatacji toru. Całkowity cykl życia dla drugiego wariantu wynosi około 48 lat.

Na podstawie tabeli 2, przedstawiono szacowane koszty dla dwóch wymienionych wariantów. Wariant pierwszy od modernizacji do modernizacji obejmuje całościowy koszt na poziomie 3 367 000 zł/km. Wariant drugi z przeprowadzeniem oczyszczenia toru daje koszt 2 550 000 zł/km.

W analizie kosztów wariant z przeprowadzeniem oczyszczenia toru okazał się wariantem tańszym wariantem niż przeprowadzenie modernizacji. Jednak to podczas modernizacji uzyskujemy podniesienie parametrów techniczno – eksploatacyjnych oraz według obliczeń modelowych czas pracy nawierzchni wydłuża się o 10 lat w stosunku do wariantu z oczyszczeniem toru.

#### 4. Wpływ modernizacji na otoczenie

##### 4.1. Ochrona środowiska

Do 2014 roku w procesie składania wniosku o pozwolenie na budowę względu środowiskowe regulował dokument decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach realizacji inwestycji jaką jest modernizacja w oparciu o raport o oddziaływaniu na środowisko. Od 2014 roku raport o oddziaływaniu na środowisko został przez Polskie Linie Kolejowe zaktualizowały do Standardowych Wymagań dla Dokumentacji Środowiskowej [6]. Obecne zmiany obejmują:

- określenie wymagań dotyczących wykonania badań i analizy jakości wód opadowych;
- ocena oddziaływania przedsięwzięcia na Jednolite Części Wód Powierzchniowych (JCWP);
- zmiana zapisu obliczeń oraz wyników pomiarów wibroakustycznych.

W związku ze zmianą zawartości i szczegółowości dokumentów określających walory środowiskowe terenów znajdujących się w bliskim sąsiedztwie linii kolejowych, Polskie Linie Kolejowe rozpoczęły projekt o nazwie „Przygotowanie dokumentacji środowiskowej dla wybranych projektów infrastrukturalnych perspektywy finansowej 2014-2020”. Przedsięwzięcie ma na celu zebranie jak najwięcej danych o zasobach i stanie środowiska na terenach pobliskich zarządzanych przez PKP PLK [4].

Dodatkowym aspektem mogącym posłużyć w racjonalnym zarządzaniu materiałem budowlanym i jego utylizacją jest ocena kosztu cyklu życia LCC (*Life Cycle Cost*) czyli skumulowany koszt określonego produktu na każdym etapie jego życia. Cykl ten rozpoczyna się w momencie podjęcia prac koncepcyjnych nad obiektem do jego fizycznej likwidacji np. złomowania, recyklingu. Zastosowanie tej metody

restrictions in the movement of trains and changing the timetable in the case of long-term closures significantly increases the level of safety of the conducting investment. Fig. 6 presents the number of track closures in 2013 and 2014.

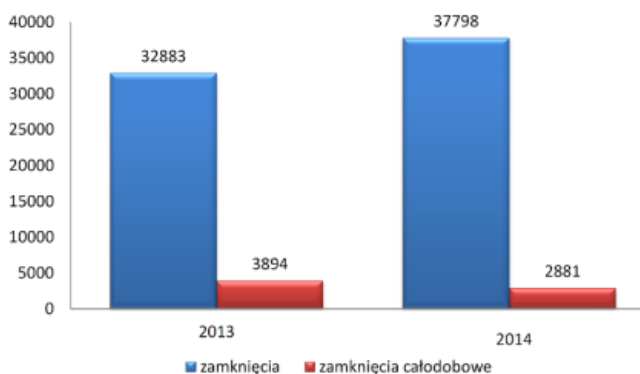


Fig. 6. Number of track closures in 2013 and 2014

Source: a study based on the Annual Report 2014 of PKP PLK

Rys. 6. Liczba zamknięć torowych w latach 2013 i 2014

Źródło: opracowanie na podstawie Raportu rocznego 2014 PKP PLK

In 2014, the total number of closures increased by 13% compared to 2013, but the number of round-the-clock closures in 2014 increased by 26% compared to 2013. An increase in the number of closures is connected with an increasing number of modernization works on the network of Polish Railway Lines.

The problem of track closures does not only concern the modernization process but also includes the post-modernization works. During the final acceptance of the modernized line there is a need to close the track in order to cut the stretch of rails and determine the compatibility of temperatures and stresses in them.

Since 2014 PKP PLK has taken additional measures to improve the safety of people working on the realization of investment works near the active railway tracks. These activities include, among others, increasing the staff of traffic posts for the period of the investment. An additional element is the implementation of thematic audits in the field of railway traffic safety during the carrying out the investment works and the controls in this scope. 37 controls were carried out on existing investments in 2014. There were also introduced the stricter fines for contractors for inadvertences and irregularities in the field of occupational hygiene and safety [4].

## 5. Maintenance technologies

In order to maintain the assumed technical and operational parameters in the modernized track, the Polish Railway Lines are forced to react quickly even in case of small damages appearing in the infrastructure elements. Track works in damage removal can be divided into:

- intervention including emergency,
- contract.

może zmniejszyć koszty ponoszone w czasie eksploatacji oraz ilości niezbędnych zamknięć torowych. Dodatkowo obliczenie wskaźników rozmontowania nawierzchni, jej recyklingu i złomowania może decydująco wpłynąć na walory środowiska naturalnego przy optymalnym zarządzaniu gospodarką odpadową [7].

### 4.2. Bezpieczeństwo podczas realizacji inwestycji

Podczas prowadzenia prac modernizacyjnych jedną z wielu ważnych kwestii jest kwestia bezpieczeństwa oraz komfortu podróżnych. Każda inwestycja prowadzona na obszarze linii kolejowych wymaga zamknięć torowych. Ich odpowiednie zaplanowanie w czasie i wdrożenie jest kluczową czynnością przy zapewnieniu bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Dodatkowo odpowiednia organizacja ruchu poprzez wprowadzenie obostrzeń w ruchu pociągów oraz zmianę rozkładu jazdy w przypadku długotrwałych zamknięć wpływa znacząco podniesienie poziomu bezpieczeństwa prowadzonej inwestycji. Na rys. 6 przedstawiono ilość zamknięć torowy w latach 2013 i 2014.

W 2014 roku łączna liczba zamknięć wzrosła o 13% w stosunku do roku 2013, natomiast liczba zamknięć całodobowych w roku 2014 wzrosła o 26% w stosunku do roku 2013. Wzrost liczby zamknięć związany jest z coraz większą ilością prac modernizacyjnych na sieci Polskich Linii Kolejowych.

Problem zamknięć torowych nie dotyczy tylko procesu modernizacji lecz obejmuje również prace pomodernizacyjne. Podczas odbiorów końcowych zmodernizowanej linii następuje potrzeba zamknięcia toru w celu przecięcia toków szynowych i określenia zgodności temperatur i naprężeń w nich występujących.

Od 2014 roku Spółka PKP PLK przedsięwzięła dodatkowe środki w celu poprawy bezpieczeństwa osób pracujących przy realizacji prac inwestycyjnych w pobliżu czynnych torów kolejowych. Działania te obejmują między innymi zwiększenie obsad posterunków ruchu na czas prowadzenia inwestycji. Dodatkowym elementem jest wdrożenie audytów tematycznych w zakresie bezpieczeństwa ruchu kolejowego w czasie wykonywania robót inwestycyjnych oraz kontrole w tym zakresie. W roku 2014 przeprowadzono 37 kontroli na istniejących inwestycjach. Wprowadzono również zaostrzone kary pieniężne dla wykonawców za uchybienia i nieprawidłowości w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy [4].

## 5. Technologie utrzymania

W celu utrzymania założonych parametrów techniczno – eksploatacyjnych w zmodernizowanym torze, Polskie Linie Kolejowe są zmuszone do szybkiej reakcji w odniesieniu do drobnych uszkodzeń pojawiających się w elementach infrastruktury. Prace torowe w usuwaniu uszkodzeń można podzielić na:

The intervention works are all short-term activities aimed at maintaining the assumed technical and operational parameters, which cannot be predicted in long-term plans of contract work. The case of emergency works is work on removing the consequences of failures and natural disasters.

The contract works are all long-term works, planned in advance in order to organize the track closures. The contract works include upgrading, revitalization and main repair of the track.

The most often performed works with using the heavy machines is the regulation of the track position. When using machines for forming a heap of crushed stone it is important to maintain the appropriate machine efficiency, which is related to the length of the track closure (Figure 7). The duration of the closure of the track, taking into account the traffic procedures and the four kilometer distance of travel to the damaged place, is determined in the analysis. The longest working time is achieved by the UNIMAT turnout tamping machine, requiring by 100% longer closing of the route than the STOPFEXPRESS tamping machine. It results from the equipment of the STOPFEXPRESS tamping machine in the continuous working driving system. In addition, the machines equipped with recorders make assessment of the parameters of the track before it is opened to traffic easier.

Despite the great versatility of the use of turnout tamping machines for turnouts and straight sections such as UNIMAT, they are excluded from intervention works on high traffic routes due to the long working time.

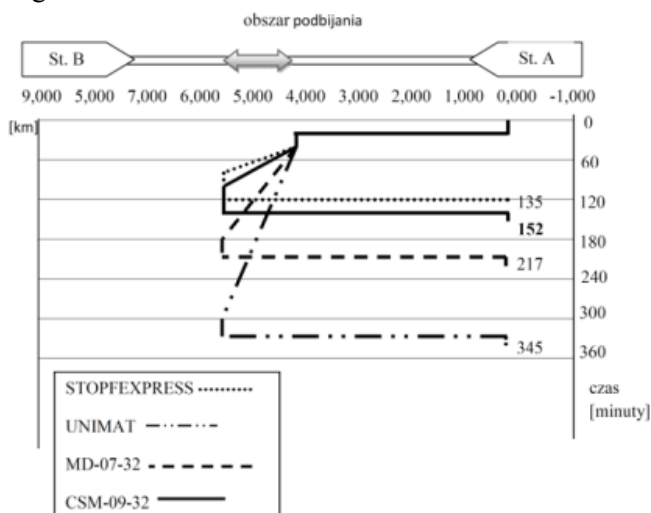


Fig. 7. Time of closing the tamping route on a section of 1.5 km, depending on the machine type Source: own study

Rys. 7. Czas zamknięcia szlaku podbijanego na odcinku 1,5 km, zależny od typu maszyny Źródło: opracowanie na podstawie [2]

German railways in the 1990s implemented a new type of automatic tamping machines equipped with a system of local faults removal. This aimed at reducing the costs of line maintenance. In addition the automatic tamping machines were equipped with a bearing

- interwencyjne w tym awaryjne,
- kontraktowe.

Prace interwencyjne są to wszelkie krótkoterminowe czynności mające na celu utrzymanie założonych parametrów techniczno – eksploatacyjnych, które to czynności nie mogą być przewidziane w długoterminowych planach robót kontraktowych. W przypadku robót awaryjnych są to prace nad usuwaniem skutków awarii i klęsk żywiołowych.

Prace kontraktowe są to wszelkie prace długoterminowe, zaplanowane z czasowym wyprzedzeniem w celu organizacji zamknięć torowych. Do prac kontraktowych możemy zaliczyć modernizację, rewitalizację oraz naprawę główną toru.

Do najczęściej wykonywanych prac z użyciem ciężkich maszyn jest regulacja położenia toru. Przy zastosowaniu maszyn do formowania przyzmy tłucznia ważne jest zachowanie odpowiedniej wydajności maszyny, która wiąże się z długością zamknięcia torowego (rys. 7). W analizie określono czas trwania zamknięcia toru uwzględniający procedury ruchowe oraz czterokilometrową odległość dojazdu do uszkodzonego miejsca. Najdłuższy czas pracy osiągnęła podbijarka rozjazdowa UNIMAT, wymagająca o 100% dłuższego zamknięcia szlaku, niż podbijarka STOPFEXPRESS. Wynika to z wyposażenia podbijarki STOPFEXPRESS w system roboczej jazdy ciągłej. Dodatkowo, maszyny wyposażone w rejestratory ułatwiają ocenę parametrów toru przed otwarciem do ruchu.

Pomimo dużej uniwersalności z zastosowania podbijarek rozjazdowych do rozjazdów i odcinków prostych takich jak UNIMAT wyklucza się je z prac interwencyjnych na szlakach o dużym natężeniu ruchu ze względu na długi czas pracy.

Koleje niemieckie w latach 90-tych wdrożyły nowy typ podbijarek automatycznych wyposażonych w system likwidacji usterek miejscowych. Miało to na celu obniżenie kosztów utrzymania linii. Dodatkowo automatyczne podbijarki były wyposażone w układ namiarowy z odpowiednim oprogramowaniem i rejestratorami dzięki czemu ręczny pomiar przed podbiciem i po jego zakończeniu nie był konieczny.

Na Polskich Liniach Kolejowych do robót interwencyjnych powinny być wykorzystywane podbijarki CSM-09-32 zakupione w latach 90. Czas zamknięcia toru jest najkrótszy z możliwych a co więcej wbudowane rejestratory powinny ułatwiać ocenę parametrów toru przed otwarciem do ruchu [2].

## 6. Wnioski

Od 2005 roku nastąpił wzrost nakładów finansowych na podniesienie poziomu jakości infrastruktury kolejowej w Polsce dzięki czemu wzrasta ilość prowadzonych inwestycji. Największy udział w finansowaniu mają środki pozyskiwane z Funduszy Unijnych.

system with appropriate software and recorders, thanks to which the manual measurement before tamping and after its completion was not necessary. The CSM-09-32 tamping machines purchased in the 1990s should be used on Polish Railway Lines for interventional works. The time of closing the track is the shortest possible and, what is more, the built-in recorders should make the assessment of the track parameters before opening to traffic easier [2].

## 6. Conclusions

Since 2005 there has been an increase in financial expenditures to improve the quality of rail infrastructure in Poland, thanks to which the number of investments is growing. The funds obtained from EU Funds have the largest share in financing

The possibility of obtaining additional financial expenditures should induce the railway companies to rationally use these means using appropriate technologies. The use of appropriate technologies is connected with rational use of track closures on the most loaded lines in Poland.

The article presents the lengths of repair cycles for two variants: modernization and cleaning of the track. The estimated costs for these variants are also calculated. It is shown that the variant with track cleaning needs less financial expenditures than modernization, but the time of surface life is 10 years shorter compared to the model with modernization. Calculation of these ratios leaves the question whether it is better to repair cheaper and shorter or more expensive and longer. It is worth to carry out the additional detailed analysis of the risks connected with the assessment of the profitability of two analyzed variants.

Możliwość uzyskania dodatkowych nakładów finansowych powinna skłaniać przedsiębiorstwa kolejowe do racjonalnego wykorzystywania tych środków przy zastosowaniu odpowiednich technologii. Użycie odpowiednich technologii wiąże się z racjonalnym wykorzystywaniem czasu zamknięć torowych na liniach najbardziej obciążonych w Polsce.

W artykule przedstawiono długości cykli naprawczych dla dwóch wariantów: modernizacji i oczyszczenia toru. Obliczono również szacowane koszty dla tych wariantów. Wykazano, że wariant z oczyszczeniem toru potrzebuje mniejszych nakładów finansowych niż modernizacja jednak czas życia nawierzchni jest krótszy o 10 lat w stosunku do modelu z modernizacją. Obliczenie tych wskaźników pozostawia pytanie czy lepiej remontować taniej i krócej czy drożej i dłużej. Warto przeprowadzić dodatkowo szczegółową analizę ryzyk związanych z oszacowaniem opłacalności dwóch przeanalizowanych wariantów.

## Bibliography /Literatura

- [1] Bałuch M.: *Jakość robót jako wyznacznik cykli napraw nawierzchni. Problemy Kolejnictwa – Zeszyt 152, Warszawa 2013.*
- [2] Frączek R., Malara H.: *Wybrane kierunki rozwoju technologii utrzymania dróg szynowych ze szczególnym uwzględnieniem robót interwencyjnych. Problemy Kolejnictwa - Zeszyt 137/138. Warszawa 2013.*
- [3] Licow R., Urbaniak M.: *Wybrane aspekty wpływu modernizacji i rewitalizacji infrastruktury kolejowej na środowisko. Zeszyty Naukowe – Techniczne SITK Kraków, (skierowany do druku).*
- [4] PKP Polskie Linie Kolejowe: *Raport Roczny 2014. (<http://www.plk-sa.pl/>, online: 26.10.2015).*
- [5] Tomaszewski F., Licow R.: *Wpływ modernizacji linii kolejowych na poprawę wybranych parametrów techniczno – eksploatacyjnych. Przegląd Komunikacyjny – Zeszyt 9, Wrocław 2015.*
- [6] Tomaszewski F., Wojciechowska E.: *Transport kolejowy a ochrona środowiska. Technical Transactions – Zeszyt 4, Kraków 2011.*
- [7] Szwaczkiewicz K., Szmagliński J.: *Ocena kosztu życia szyn kolejowych w modernizacji układów geometrycznych. Przegląd Komunikacyjny – Zeszyt 9, Wrocław 2015.*