

## Koszty modernizacji na przykładzie linii 131

Roksana LICOW<sup>1</sup>, Franciszek TOMASZEWSKI<sup>2</sup>

### Streszczenie

W poszukiwaniu optymalnego wykorzystania środków finansowych przedsiębiorstwa kolejowego (PKP PLK) oraz czasu planowania napraw torów, opracowano model trwałości toru. W modelu przyjęto parametry techniczno-eksploatacyjne linii kolejowej nr 131. W artykule przedstawiono dwa warianty procesu zmian trwałości toru. Pierwszy wariant zakłada oczyszczenie podsypki, drugi – wykonanie modernizacji. W obu wariantach określono koszty prac związanych z oczyszczaniem podsypki i modernizacji torów oraz określono wpływ tych robót na środowisko. W artykule przedstawiono również zakres prac modernizacyjnych i prac związanych z naprawą ciągłą nawierzchni kolejowej.

**Słowa kluczowe:** modernizacja, jakość początkowa, trwałość toru

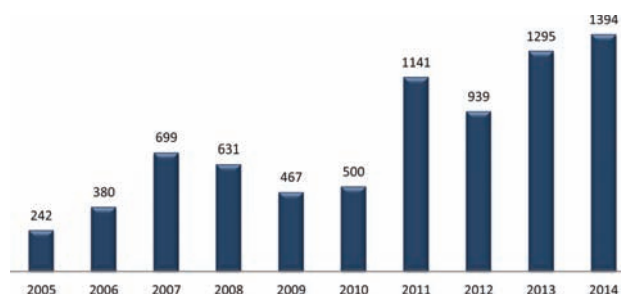
### 1. Wstęp

W Polsce od 2010 roku wzrastają nakłady na finansowanie infrastruktury kolejowej. Dzięki pozyskaniu coraz większych funduszy z ośrodków unijnych zwiększono liczbę projektów modernizacji linii kolejowych w Polsce. Przy zapewnieniu wysokiego poziomu jakości robót modernizacyjnych, jest możliwe oszacowanie czasu życia nawierzchni. Na podstawie modelu trwałości toru przeprowadzono obliczenia szacowanych kosztów dla dwóch wariantów: modernizacji i oczyszczenia nawierzchni. Otrzymałe wyniki mogą posłużyć jako dodatkowe wskaźniki przy określaniu opłacalności inwestycji przy różnych technologiach wykonania.

### 2. Modernizacja linii kolejowych w Polsce

Modernizacja i związana z tym poprawa parametrów techniczno-eksploatacyjnych istniejącej infrastruktury kolejowej, ma kluczowe znaczenie do zapewnienia potrzeb przewozowych towarów i usług w Polsce i na świecie. W 2014 roku PKP Polskie Linie Kolejowe zarządzały liniami kolejowymi o długości 18 516 km. Polska zajmuje trzecie miejsce po Francji i Niemczech pod względem długości linii kolejowych. Dodatkowym walorem polskiej infrastruktury kolejowej jest jej centralne położenie w Europie. Według Raportu Roczny 2014 stan infrastruktury uległ nie-

wielkiej poprawie w stosunku do 2013 roku, co jest wynikiem długoletniego procesu modernizacji głównych szlaków kolejowych w Polsce (rys. 1) [4].



Rys. 1. Długość linii kolejowych w kilometrach zmodernizowanych w Polsce w latach 2005–2014 [źródło: Raport roczny 2014 PKP PLK]

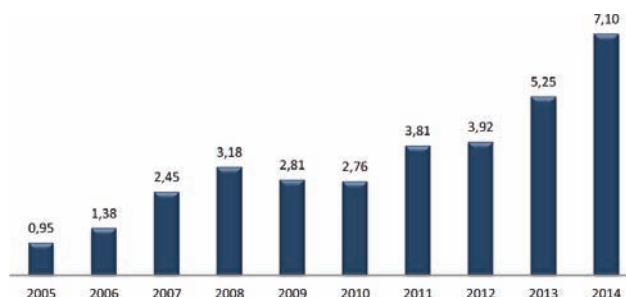
Pojęcie modernizacji linii kolejowej opiera się głównie na poprawie parametrów techniczno-eksploatacyjnych. Związane jest to z całkowitym demontażem poszczególnych elementów infrastruktury kolejowej. Dodatkowym wymogiem projektowym jest wykorzystanie dotychczas zajmowanego terenu lub innych działek kolejowych. Prace modernizacyjne obejmują również elementy i obiekty inżynierskie należące do infrastruktury kolejowej takie, jak: wiadukty, przepusty lub słupy trakcyjne. Na sieci Polskich Linii Kolejowych, proces modernizacji regulują przede wszystkim Standardy Techniczne „Szczegóło-

<sup>1</sup> Mgr inż.; Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska; e-mail: roksana.licow@pg.gda.pl.

<sup>2</sup> Prof. dr hab. inż.; Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu.

we 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 nastąpił wzrost nakładów na inwestycje kolejowe, które w 2014 roku osiągnęły wzrost na poziomie 700% w stosunku do 2005 roku (rys. 2). W ostatnich latach do priorytetowych projektów należy zaliczyć projekt o wartości 8 mld zł z Programu Pendolino, przeznaczony na modernizację linii kolejowych realizowane w latach 2011–2014.



Rys. 2. Nakłady na inwestycje kolejowe w latach 2005–2014 w mld zł [źródło: Raport roczny 2014 PKP PLK]

Nakłady na inwestycje kolejowe są pozyskiwane ze źródeł takich, jak: programy operacyjne, budżet państwa, fundusz kolejowy i temu podobne. Zestawienie funduszy na inwestycje kolejowe w 2014 roku przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1

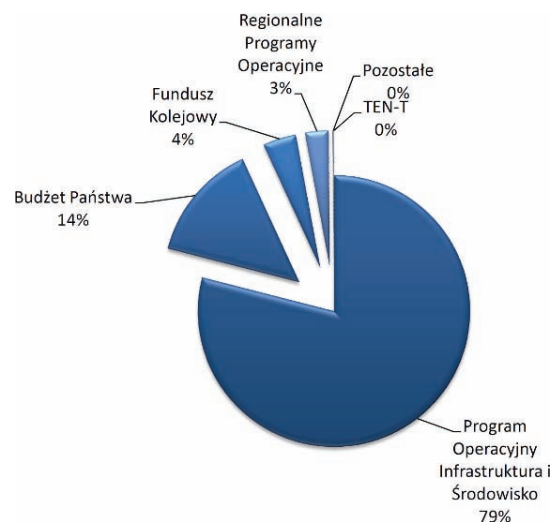
Nakłady finansowe na inwestycje kolejowe w 2014 roku [mln zł]

L.p.	Programy	Nakłady na inwestycje
1	Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko	5 755,7
2	Budżet Państwa	1 030,7
3	Fundusz Kolejowy	288,7
4	Regionalne Programy Operacyjne	201,7
5	Pozostałe	7,2
6	TEN-T	2,3
7	Razem (z uwzględnieniem robót w toku)	7 286,3

[Źródło: Raport roczny 2014 PKP PLK]

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 poprawy 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].



Rys. 3. Nakłady na inwestycje kolejowe w latach 2005–2014 w mld zł [źródło: Raport roczny 2014 PKP PLK]

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

Model trwałości nawierzchni składający się z czterech cykli, opracowano 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 betonowych PS-94 i szyn 60E1 (klasa stali 260) oraz przytwierdzeń typu SB.

Budowa linii kolejowej nr 131 rozpoczęła się od 1852 roku i trwała do 1947 roku. Dopiero w 2013 roku, spółka PKP Polskie Linie Kolejowe zdecydowała o jej rewitalizacji.

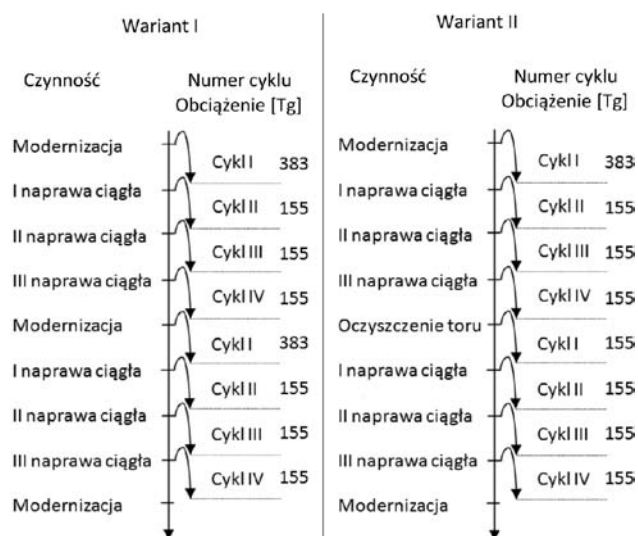
W modelu, pierwszy cykl obliczono dla obciążenia przeniesionego przez szynę od odbioru eksploatacyjnego, gdzie  $Q=0$  do pierwszej naprawy ciągłej. Dla wszystkich cykli, graniczne odchylenie standardowe nierówności pionowych przyjęto na poziomie 2,1 mm [1]. Dla bardzo dobrego poziomu jakości, gdzie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

kolejnej naprawy ciągłej. Długość obliczonych cykli odpowiada przeniesieniu obciążenia 155 Tg dla bardzo dobrego poziomu jakości po naprawie ciągłej [6].



Rys. 4. Linia kolejowa nr 131 z obszarem Zakładu Polskich Linii Kolejowych w Gdyni [6]

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 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.



Rys. 5. Warianty cyklu życia toru dla modernizacji i naprawy ciągłej [źródło: opracowanie własne]

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

Przedstawiono szacowane koszty dwóch wymienionych wariantów (tablica 2). Koszt modernizacji według pierwszego wariantu od modernizacji do modernizacji wynosi 3 367 000 zł/km, koszt drugiego wariantu z oczyszczaniem podsypki wynosi 2 550 000 zł/km.

Tablica 2

#### Szacowane koszty poszczególnych robót torowych

Nazwa zadania/elementu	Cena jednostkowa [zł]
<b>Materiał i prace podsypkowe [km]:</b>	
• wysypanie tłucznia	350 000
• wielokrotne podbicie	
• obsługa geodezyjna	
• praca zgarniarki	
<b>Montaż toru wraz z pracami podsypkowymi [km]</b>	45 000
<b>Oczyszczenie podsypki [km]</b>	100 000
<b>Podkłady PS-94 i przytwierdzenie typu SB [sztuka]</b>	220
<b>Rozbiórka toru [km]:</b>	
• rozbiórka i pocięcie szyn	75 000
• wywiezienie szyn na miejsce składowania odpadów	
<b>Szyna 60E1 [m]</b>	215

[Źródło: opracowanie własne]

W analizie kosztów, wariant z oczyszczeniem podsypki jest tańszy niż przeprowadzenie modernizacji, jednak w wyniku modernizacji uzyskuje się poprawę parametrów techniczno-eksploatacyjnych oraz wydłuża się o 10 lat czas pracy nawierzchni w stosunku do wariantu z oczyszczeniem podsypki.

## 4. Wpływ modernizacji na otoczenie

### 4.1. Ochrona środowiska

Do 2014 roku względy środowiskowe w procesie składania wniosku o pozwolenie na budowę regulował dokument decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach realizacji inwestycji, jaką jest modernizacja oparta na raporcie o oddziaływaniu na środowisko. Od 2014 roku raport o oddziaływaniu na środowisko został zaktualizowany przez Polskie Linie Kolejowe

do Standardowych Wymagań dla Dokumentacji Środowiskowej [7]. 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.

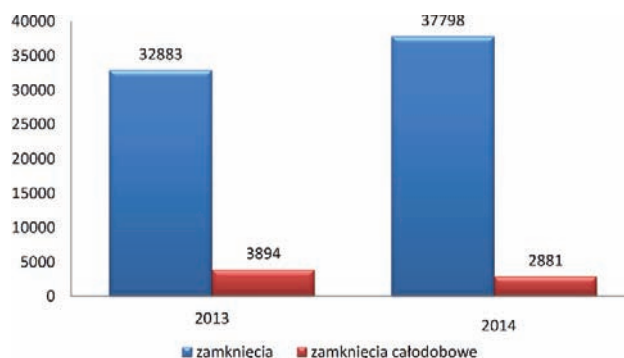
W związku ze zmianą zawartości i szczegółowości dokumentów określających walory środowiskowe terenów znajdujących się w bliskim sąsiedztwie linii kolejowych, Polskie Linie Kolejowe rozpoczęły projekt o nazwie „Przygotowanie dokumentacji środowiskowej dla wybranych projektów infrastrukturalnych perspektywy finansowej 2014–2020”. Przedsięwzięcie ma na celu zebranie jak największej ilości 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 może zmniejszyć koszty ponoszone w czasie eksploatacji oraz liczby niezbędnych zamknięć torowych. Dodatkowo obliczenie wskaźników demontażu nawierzchni, jej recyklingu i złomowania może decydująco wpłynąć na walory środowiska naturalnego przy optymalnym zarządzaniu gospodarką odpadami [5].

## 4.2. Bezpieczeństwo podczas realizacji inwestycji

Podczas prowadzenia prac modernizacyjnych, jedną z wielu ważnych kwestii, są kwestie 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 przez wprowadzenie obostrzeń w ruchu pociągów oraz zmianę rozkładu jazdy w przypadku długotrwałych zamknięć wpływa znacząco na podniesienie poziomu bezpieczeństwa prowadzonej inwestycji. Na rysunku 6 przedstawiono liczbę zamknięć torów w latach 2013 i 2014.

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



Rys. 6. Liczba zamknięć torów w latach 2013 i 2014 [źródło: Raport roczny 2014 PKP PLK]

Problem zamknięć torowych nie dotyczy tylko procesu modernizacji, lecz obejmuje również prace pomodernizacyjne. Podczas odbiorów końcowych zmodernizowanej linii są zamykane tory 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 2014 roku przeprowadzono 37 kontroli na istniejących inwestycjach. Wprowadzono również zastrzone 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 naprawy nawet drobnych uszkodzeń elementów infrastruktury. Prace torowe przy usuwaniu uszkodzeń można podzielić na:

- interwencyjne, w tym awaryjne,
- kontraktowe.

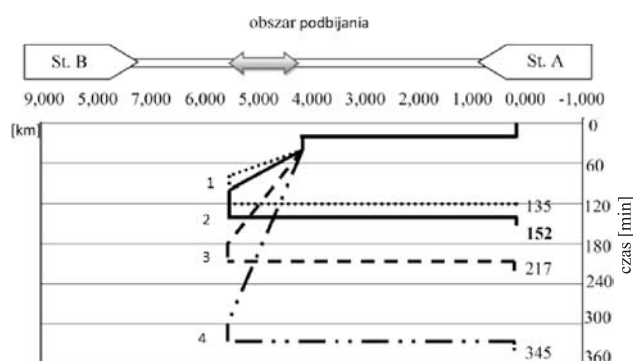
Prace interwencyjne są to wszelkie krótkoterminowe czynności mające na celu utrzymanie założonych parametrów techniczno-eksploatacyjnych, które nie mogą być przewidziane w długoterminowych planach robót kontraktowych. Przypadkiem robót awaryjnych są prace nad usuwaniem skutków awarii i klęsk żywiołowych.

Prace kontraktowe są to wszelkie prace długoterminowe, zaplanowane z czasowym wyprzedzeniem

w celu organizacji zamknięć torowych. Do prac kontraktowych możemy zaliczyć modernizację, rewitalizację lub naprawę główną toru.

Do najczęściej wykonywanych prac z użyciem ciężkich maszyn należy regulacja położenia toru. Przy zastosowaniu maszyn do formowania warstwy podsypki, ważne jest użycie maszyny o odpowiedniej wydajności, co wiąże się z długością zamknięcia toru dla ruchu (rys. 7). W analizie określono czas trwania zamknięcia toru uwzględniający procedury ruchowe oraz czterokilometrową odległość dojazdu do uszkodzonego miejsca. Najdłuższy czas pracy osiągnęła podbijaarka rozjazdowa UNIMAT, wymagająca dłuższego o 100% zamknięcia szlaku, w stosunku do podbijaarki STOPFEXPRESS. Wynika to z wyposażenia podbijaarki STOPFEXPRESS w system roboczej jazdy ciągłej. Maszyny wyposażone w rejestratory ułatwiają ocenę parametrów toru przed otwarciem do ruchu.

Pomimo dużej uniwersalności podbijaerek rozjazdowych do podbijania rozjazdów i prostych odcinków torów, podbijaarki takie jak UNIMAT, wyklucza się z prac interwencyjnych na szlakach o dużym natężeniu ruchu ze względu na długi czas pracy.



Rys. 7. Czas zamknięcia szlaku podbijanego na odcinku 1,5 km, zależny od typu maszyny: 1) STOPFEXPRESS, 2) CSM-09-32, 3) MD-07-32, 4) UNIMAT; źródło: opracowano na podstawie [2]

W latach dziewięćdziesiątych XX w. koleje niemieckie wdrożyły nowy typ podbijaerek automatycznych wyposażonych w system likwidacji usterek miejscowych. Miało to na celu obniżenie kosztów utrzymania linii. Dodatkowo, automatyczne podbijaarki 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 zaleca się wykorzystanie podbijaerek CSM-09-32 zakupionych w latach dziewięćdziesiątych, gdyż czas zamknięcia toru jest najkrótszy z możliwych, a wbudowane rejestratory ułatwiają 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 wzrosła liczba prowadzonych inwestycji. Największy udział w finansowaniu mają środki pozyskiwane z Funduszy Unijnych. Możliwość uzyskania dodatkowych nakładów finansowych powinna skłaniać przedsiębiorstwa kolejowe do racjonalnego wykorzystywania tych środków przy zastosowaniu odpowiednich technologii, co wiąże się z racjonalnym wykorzystywaniem czasu zamknięć torowych na najbardziej obciążonych liniach w Polsce.

W artykule obliczono długości cykli naprawczych dla dwóch wariantów: modernizacji i oczyszczenia toru oraz szacowane koszty tych wariantów. Wykazano, że wariant z oczyszczeniem toru potrzebuje 25% mniejszych nakładów finansowych niż modernizacja, jednak czas życia nawierzchni jest krótszy o 15% w stosunku do modelu z modernizacją. Obliczenie tych wskaźników nasuwa pytanie: czy lepiej remontować taniej i krócej czy drożej i dłużej. Dodatkowo warto przeprowadzić szczegółową analizę ryzyka związanego z oszacowaniem opłacalności dwóch przeanalizowanych wariantów.

## 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 Naukowo-Techniczne SITK Kraków, Z. 3(107), s. 133–145.
4. *Raport Roczny 2014*, PKP Polskie Linie Kolejowe: (<http://www.plk-sa.pl/>, online: [dostępny 26.10.2015]).
5. Szwaczkiewicz K., Szmagliński J.: *Ocena kosztu życia szyn kolejowych w modernizacji układów geometrycznych*, Przegląd Komunikacyjny, Zeszyt 9, Wrocław 2015.
6. Tomaszewski F., Licow R.: *Wpływ modernizacji linii kolejowych na poprawę wybranych parametrów techniczno-eksploatacyjnych*, Przegląd Komunikacyjny, Zeszyt 9, Wrocław 2015.
7. Tomaszewski F., Wojciechowska E.: *Transport kolejowy a ochrona środowiska*, Technical Transactions, Zeszyt 4, Kraków 2011.

## Cost of Track Modernization Based on the Railway Line 131

### Summary

In the search for the optimal use of financial resources railway company (PKP PLK) and time planning repairs of tracks created life of the track model. Model in its assumptions is based on technical – exploitation parameters of railway line No. 131. The article presents two variants of the process of life of the track. The first option assumes cleaning the track, the second to carry out upgrading. For both options, the costs of work associated with cleaning and upgrading works tracks and identifies the impact of these variants on the environment. The article also presents the scope of upgrading works and works related to the surface rail of a continuous repair.

**Keywords:** upgrading, initial quality, track durability

## Затраты на модернизацию на примере линии 131

### Резюме

В поисках оптимального использования финансовых средств железнодорожного предприятия (ПКП ПЛК) и времени планировки ремонтов железных дорог была разработана модель срока службы рельсового пути. Модель в своих предположениях основан на технических и эксплуатационных параметрах железнодорожной линии № 131. В статье представлены два варианта процесса срока службы пути. Первый вариант предполагает очистку пути, второй – его модернизацию. Для обоих вариантов была указана стоимость работ связанных с очисткой и модернизации железной дороги и их влияние на окружающую среду. В статье указан также объем работ в рамках модернизации и работ связанных с постоянным ремонтом верхнего строения пути.

**Ключевые слова:** модернизация, начальное качество, срок службы пути