

# Zmiany klimatu i zużycie energii – przykłady związków z budową kolei

Henryk BAŁUCH<sup>1</sup>

## Streszczenie

W projektowaniu i budowie nowych linii kolejowych powinny być brane pod uwagę pewne zjawiska globalne, których znaczenie będzie rosło w miarę upływu czasu. Do takich zjawisk należą postępujące zmiany klimatu, jednocześnie następuje wyczerpywanie źródeł nieodnawialnej energii. Zachodzące zmiany mogą tworzyć ciągi skutkowo-przyczynowe, co oznacza, że pewien skutek staje się przyczyną kolejnej zmiany lub dalszych zmian. Artykuł zawiera kilka krótkich przykładów takich ciągów, zarówno tych, które zapoczątkowuje natura i tych, które można zainicjować, myśląc o funkcjonowaniu kolei, które dopiero powstaną.

**Słowa kluczowe:** budowa kolei, klimat i zużywanie energii, ciągi przyczynowo-skutkowe

## 1. Wprowadzenie

Według dostępnych informacji, połączenia lądowe z planowanym Centralnym Portem Komunikacyjnym obejmą m.in. wybudowanie 1300 km nowych linii kolejowych [7]. Będzie również duży zakres modernizacji istniejących linii, związany z tym przedsięwzięciem. Jednym ze składników decydujących o sprawności działania CPK będzie również kolej. Nie wystarczą bowiem najlepiej skonstruowane budowle pola wlotu, najnowsze systemy nawigacyjne, przestronne i bezpieczne terminale, gdy pasażerowie lądujących samolotów będą tłoczyć się na peronach, czekając na opóźnione pociągi, a odlatujący nie zdążą na odprawy. Aby zmniejszyć prawdopodobieństwo występowania takich anomalii, budowane i modernizowane linie kolejowe musi cechować duża niezawodność [3]. W odniesieniu do dróg kolejowych wymaga to spełnienia wielu warunków, spośród których najważniejszymi są:

- skoordynowane i wszechstronnie przeanalizowane projekty, oparte na dokładnym rozpoznaniu warunków gruntowo-wodnych i urządzeń podziemnych,
- doświadczony zespół wykonawczy, dysponujący specjalistycznymi maszynami,
- sprawny nadzór oraz wnikliwe odbiory robót we wszystkich ich fazach, oparte na dokładnych, szczegółowych pomiarach.

Warunki te nie są łatwe do spełnienia i wymagają wielu przemyśleń oraz bardzo dobrych przygotowań

organizacyjnych. Napięty czas, ograniczony potencjał projektowy i zasoby wykonawcze, mogą stwarzać obawę o skupieniu całej uwagi na działaniach kończących się na przekazaniu torów, obiektów i urządzeń do eksploatacji z pominięciem czynników, których znaczenie ujawni się w późniejszym czasie. Artykuł dotyczy uwzględnienia kilku takich czynników w budowie współczesnych kolei.

Prognozując rozwój różnych zjawisk społeczno-gospodarczych i zmian w przyrodzie w skali globalnej, można by na pewno dostrzec wiele oznak korzystnych i niekorzystnych, wpływających na rolę kolei. Trafność takich przewidywań jest trudna do ustalenia. Poza wszelką niepewnością pozostają jednak już obecnie dwa czynniki, które należy brać pod uwagę przy budowie nowych linii kolejowych. Są to wpływy klimatu i wyczerpujące się zasoby nieodnawialnej energii. Ewentualne argumenty, że trudno je uwzględnić, gdyż nie są ujęte w normach, należy przeciwstawić twierdzeniu, że praca projektantów jest pracą twórczą [5], a żadne normy nie zwalniają budowniczych nowych linii kolejowych od myślenia, w jakich warunkach linie te będą funkcjonowały za kilkadziesiąt lat.

## 2. Wybrane związki przyczynowo-skutkowe przewidywanych zmian

Następstwa zmian klimatu i wyczerpywania źródeł nieodnawialnej energii mogą mieć różny zasięg

<sup>1</sup> Prof. dr hab. inż.; Instytut Kolejnictwa; e-mail: hbaluch@ikolej.pl.

i stopień oddziaływania na budowę i utrzymanie infrastruktury. Na rysunku 1 przedstawiono tylko kilka cech, które tworzą ciągi (łańcuchy) skutkowo przyczynowe. Rysunek ten zawiera jedynie fragment pewnych zjawisk, a nie ich pełną usystematyzowaną wizję. Obszerniejszy opis zagrożeń wynikających ze zmian klimatu można znaleźć w monografii [2] i w licznych referatach, np. [4].

W związku przyczynowo-skutkowym przyczyna prowadzi do pewnego skutku, skutek ten zaś staje się przyczyną następnego skutku i ten cykl może się powtarzać wielokrotnie. Zależność między przyczyną i skutkiem powinna opierać się, jak twierdził słynny filozof angielski Dawid Hume (1711–1766), na doświadczeniach i nie należy jej określać a priori. W konkretnym przypadku istnieje jednak wiele przesłanek i obserwacji, które można uznać za potwierdzenie przyczynowości przedstawionych na rysunku 1.

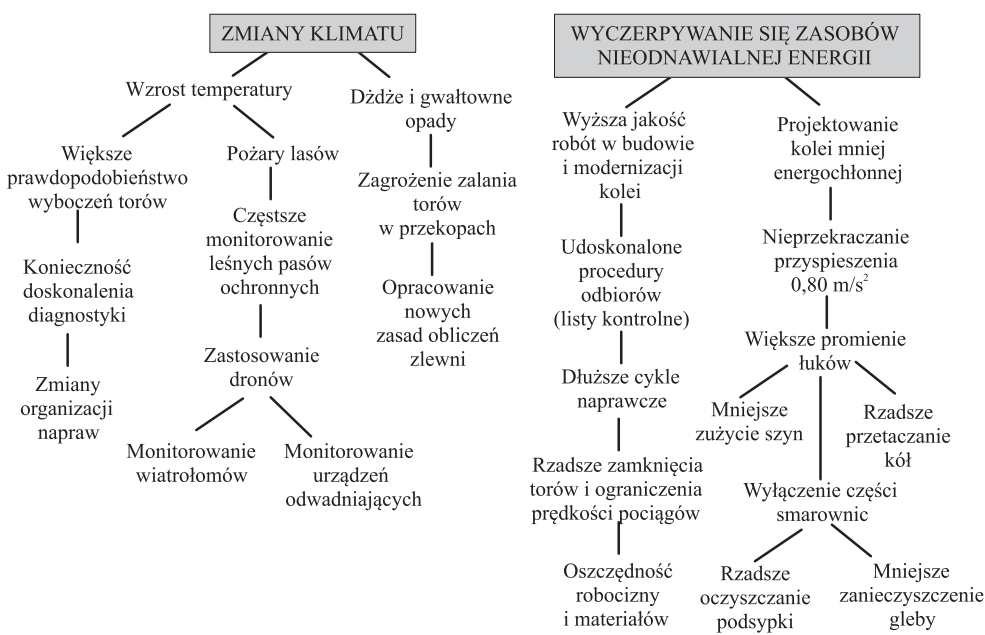
## 2.1. Niektóre skutki zmian klimatu

Transport jest jedną z dziedzin gospodarki narodowej najbardziej wrażliwych na zmiany klimatu. Skutkiem ocieplania atmosfery i rosnącej temperatury będzie m.in. wzrost zagrożeń wybočeniami torów. Ten skutek zaś stanie się przyczyną konieczności doskonalenia diagnostyki nawierzchni. Szczególnie pilna staje się konieczność usprawnienia pomiaru temperatur neutralnych. Instytut Kolejnictwa dysponuje w tym zakresie odpowiednią koncepcją.

Ciąg przyczynowo-skutkowy, obejmujący zagrożenia wybočeniami torów, można by wydłużyć, rozpatrując technologię i organizację napraw nawierzchni kolejowej w skracającym się sezonie robót (praca poza godzinami upałów), szkolenia diagnostów itp. Wzrost temperatur będzie miał również negatywny wpływ na utrzymanie torów klasycznych na liniach mniej obciążonych, gdzie też mogą zachodzić niekorzystne procesy.

Drugim z przykładowych następstw zmian klimatu są częstsze pożary lasów. Należy się w tym przypadku liczyć z trzema przyczynami, które ujawniły się w tragicznym pożarze lasów w USA w 2018 roku. Są to wysoka temperatura, długi okres suszy i silne wiatry. Możliwości jednostek kolejowych w przeciwdziałaniu takim kataklizmom są ograniczone, ale dobrze zorganizowany monitoring leśnych pasów ochronnych z zastosowaniem dronów, które w pewnym stopniu mogłyby również monitorować naruszenie skrajni przez wiatrołomy i stan urządzeń odwadniających po nawałnicach, wart jest dokładniejszego przeanalizowania.

Projektując nowe linie kolejowe, warto pamiętać o zjawiskach, jakie obserwowano już w Polsce, kiedy to gwałtowne deszcze zalewały drogi pod wiadukta-  
mi, topiąc samochody. Na jednej z linii kolejowych wody opadowe wypełniły drogę pod wiaduktem kolejowym aż do konstrukcji nośnej. Woda na wielu innych odcinkach linii sięgała do główki szyny<sup>2</sup>. Wdarzenia te wymagają m.in. krytycznej oceny sposo-



Rys. 1. Fragmenty ciągów (łańcuchów) przyczynowo-skutkowych [opracowanie własne]

<sup>2</sup> W pewnym stopniu było to spowodowane zatkaniami rowów.

bów obliczeń zlewni w projektowaniu nowych tras, co należałoby przeprowadzić we współpracy z Państwowym Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej. W niektórych przypadkach powodem rozlewisk była niedrożność rowów, co świadczy o tym, że zmiany klimatu mogą uwypuklać degradację istniejącej infrastruktury.

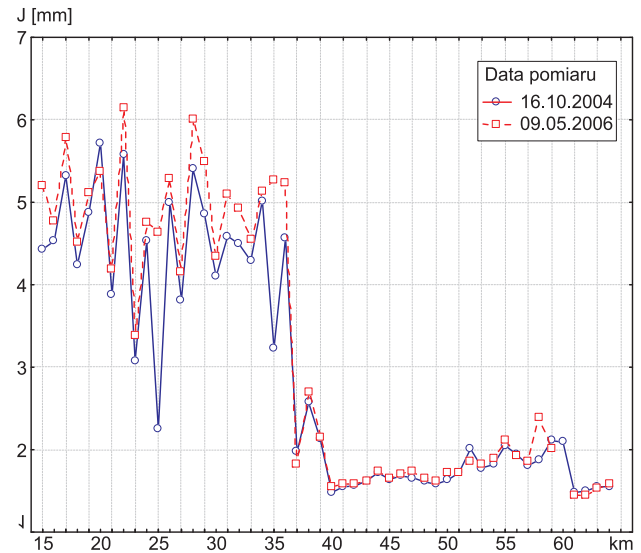
## 2.2. Zużywanie nieodnawialnej energii

Zagadnienia energii w transporcie szynowym stanowią jeden z ważnych problemów, którymi zajmuje się Międzynarodowy Związek Kolei UIC [6]. Dziesiątki czynników decyduje o wielkości zużywanej energii [8]. Jest ich wiele również we wszystkich cyklach życia dróg kolejowych, tj. w ich programowaniu, projektowaniu, budowie i eksploatacji. Opisanie wszystkich wymagałoby wykonania oddzielnego, obszernego opracowania. Dwa szczegóły, przedstawione na rysunku 1 w postaci krótkich ciągów przyczynowo-skutkowych, stanowią tylko przykład, jak rozległe jest pole, na którym można doszukiwać się oszczędności energii.

Zużycie energii w eksploatacji dróg kolejowych ulegnie zmniejszeniu, gdy uzyska się poprawę jakości robót w budowie i modernizacji linii kolejowych. Może się wydawać, że poprawa jakości robót, zwłaszcza zaś wykonanie ich pełnego zakresu, będzie wymagało większego wydatku energii. Tak będzie istotnie w fazie budowy, natomiast w całym procesie eksploatacji dobrze zbudowanych linii kolejowych wydatki energetyczne staną się znacznie mniejsze niż na liniach zbudowanych wadliwie. Na dowód tego, że często jakość robót na modernizowanych liniach kolejowych jest zła, autor przedstawił wiele przykładów w swych pracach, ostatnio w monografii [2]. Jako jeden z koniecznych warunków poprawy jakości wykonawstwa należałoby wprowadzić zasadę, że nowe linie kolejowe powinny być budowane tak, aby stan nawierzchni przy odbiorze ostatecznym charakteryzował się syntetycznym wskaźnikiem stanu toru  $J \leq 1,0$  mm. Uzyskanie takiej dokładności robót oznacza, że nie trzeba będzie wkrótce po rozpoczęciu eksploatacji przystępować do usuwania pojawiających się odkształceń toru. Znane są przykłady z kolei zagranicznych [2] uzyskiwania wartości  $J$  rzędu 0,5 mm, co zapewnia długie okresy międzynaprawcze, rzadsze zamknięcia torów i ograniczenia prędkości pociągów, a zatem oszczędność energii i materiałów.

Wpływ stanu nawierzchni kolejowej, opisanego wskaźnikiem  $J$  na częstość jej napraw można wykazać, porównując dwa odcinki toru na rysunku 2. Lewa strona wykresu dotyczy toru w złym stanie, prawa zaś, tj. od km 37 w stanie dobrym. Na obu odcinkach przedstawiono przyrosty wskaźników  $J$  w odstępach około 1,5 roku. Na odcinku lewym przyrosty te były

rzędu 1–2 mm, na prawym zaś – poza jednym wyjątkiem – utrzymywały się w granicach  $0,1 \div 0,2$  mm.



Rys. 2. Przyrosty wartości wskaźników stanu toru [opracowanie M. Bałuch]

Wśród warunków zapewniających uzyskanie postulowanej jakości znajduje się konieczność rzetelnego przeprowadzania wszystkich odbiorów robót – od częściowych odbiorów robót zakrytych (zanikających), jak np. odbioru torowiska przed układaniem nawierzchni, ze sprawdzeniem jego kształtu i zagęszczenia, do odbioru ostatecznego po zakończeniu wszystkich robót. Duży wpływ odbiorów na jakość robót uzasadnia poświęcenie nieco miejsca w tym artykule odbiorowi, który nie powinien się odbyć. Był to odbiór ostateczny kilkukilometrowego odcinka toru po modernizacji. Komisja dysponowała pomiarami w postaci tablic i wykresów. Tablica 1 przedstawia fragment ocen syntetycznych na sześciu stumetrowych odcinkach toru. Wartość syntetycznego wskaźnika stanu toru waha się tu od 0,2 do 0,6 mm, a zatem wskazuje na wyjątkowo wysoką, jak na sieć PKP, dokładność robót. Zawartość dalszych kolumn tablicy budzi duże wątpliwości: są to zerowe wartości odchyłeń standardowych nierówności pionowych (oznaczenie: pion) i bliskie zera (0,1 mm) wartości odchyłeń standardowych nierówności poziomych (oznaczenie: poziom).

Warto w tym miejscu przypomnieć, że syntetyczny wskaźnik stanu toru jest funkcją odchyłeń standardowych czterech wielkości geometrycznych:

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5S_e}{3,5}, \quad (1)$$

gdzie:  $S_z$ ,  $S_y$ ,  $S_w$ ,  $S_e$  – odchylenia standardowe odpowiednio – nierówności pionowych, poziomych, wierzchołkowości i szerokości toru.

Tablica 1

## Ocena syntetyczna toru wyliczona na odcinkach 100 m

Wartość graniczna Wskaźnika J: 2,0

Odcinek	J	Odch. standardowe					Wadliwości					W5				
		Szer.	Grad.	Przech.	Wichr.	Pion	Poziom	Szer.	Grad.	Przech.	Wichr.		Pion	Poziom		
,5000	,4000	0,4	0,5	0,3	1,1	1,2	0,0	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
,4000	,3000	0,6	0,6	0,4	1,3	1,7	0,0	0,1	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
,3000	,2000	0,6	0,5	0,3	0,8	1,6	0,0	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
,2000	,1000	0,4	0,7	0,4	0,5	0,8	0,0	0,1	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
,1000	,0000	0,2	0,5	0,3	0,4	0,5	0,0	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
,0000	,9510	0,3	0,6	0,3	0,4	0,5	0,0	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

[Źródło: pomiary stanu toru].

Zerowe lub bliskie zera wartości  $S_z$  oraz  $S_y$  przekreślają więc całkowicie wydrukowany wynik  $J$ . Powód tych błędów staje się zrozumiały po odczytaniu fragmentu pomiarów wydrukowanych w odstępach 1 m (tabl. 2). Wartości przechyłki około 80 mm świadczą, że jest tu łuk. W takim przypadku strzałki łuku (oznaczenie poziom) powinny być wyraźnie różne od zera. Z tych dwóch fragmentów pomiarów zestawionych w tablicach 1 i 2 wynika niezbitcie, że w pomiarach, na podstawie których odebrano roboty, zabrakło dwóch podstawowych parametrów, tj. nierówności pionowych i poziomych. Wykazują to ponadto wykresy, gdzie pod trapezem przechyłki znajduje się prosty wykres strzałek<sup>3</sup>.

Pomijając, ze względu na ograniczone ramy artykułu, opis przeprowadzonej analizy przyczyn źródłowych tego przypadku, warto zaproponować sposób prowadzenia odbiorów robót eliminujący podobne uchybienia. Zadanie takie powinny spełniać procedury odbiorów poszczególnych grup robót oparte na listach kontrolnych (*check lists*), które są stosowane w różnych specjalnościach<sup>4</sup>. W konkretnym przypadku odpowiednio opracowane listy kontrolne spełniałyby trzy zadania:

- 1) określałyby właściwą kolejność zadań składających się na całość odbiorów,
- 2) zapobiegałyby pominięciu poszczególnych składników dokumentacji odbiorczej,
- 3) wciągałyby do całości odbioru członków komisji będących specjalistami nietechnicznymi (prawników, ekonomistów).

Zastosowanie list kontrolnych w odbiorach robót zakrytych mogłoby wpłynąć korzystnie zwłaszcza na poprawę skuteczności napraw, tj. drugiego, obok dokładności, składnika jakości robót [3]. Podstawą opracowania list powinny być doświadczenia zebrane z różnych odbiorów, a ich autorami – osoby mające nie tylko wiedzę teoretyczną, lecz również własne spostrzeżenia z działalności praktycznej.

### 2.3. Uwzględnienie zużycia energii w rozważaniach projektowych

O zużyciu energii na projektowanych oraz budowanych liniach kolejowych będą decydowały dziesiątki parametrów, charakteryzujących wszystkie specjalności kolejowe. Tylko ich wyliczenie, od założonej prędkości maksymalnej do konstrukcji taboru, sieci i zasilania, automatyki, nawierzchni oraz podtorza, zajęłoby kilkadziesiąt pozycji. Jako przykład ciągów przyczynowo-skutkowych obejmujących zużycie energii przyjęto tylko jeden parametr, od którego są uzależnione układy geometryczne toru, tj. nierównoważone przyspieszenie poprzeczne.

W budowie nowych linii kolejowych oraz modernizacji istniejących należy przestrzegać zasady, że układy geometryczne torów nie powinny być zmieniane w ciągu co najmniej kilkadziesiąt lat, najlepiej jednak założyć, iż projektuje się je na 100 lat. Uwzględniając taki paradygmat, autor proponuje przyjęcie zasady, aby na projektowanych liniach kolejowych nie przekraczać przyspieszenia 0,8 m/s<sup>2</sup>. Skutkiem tego byłyby większe promienie łuków. To z kolei wpłynęłoby na zmniejszenie zużycia szyn i rzadsze przetaczanie kół oraz możliwość rezygnacji z części smarownic. Rezygnacja ze smarowania szyn oznaczałaby dłuższe okresy między oczyszczaniem podsypki, uniknięcie zanieczyszczania gleby i utylizacji tłuczni pokrytego smarem. W pewnych przypadkach zmniejszenie promieni łuków wpłynęłoby na zmniejszenie oporów ruchu i hałasu.

### 3. Wnioski

Spodziewany duży zakres budowy nowych linii kolejowych w Polsce, stwarza okazję do takiego ich wykonania, aby po upływie kilkadziesiąt lat przyszłe po-

<sup>3</sup> Zrezygnowano z zamieszczania tych wykresów, uznając, że wystarczającym dowodem braków w pomiarach są tablice.

<sup>4</sup> Propozycje nowej odmiany list, tzw. list kontrolno-ostrzegawczych znajdują się w monografii [2] i pracy [3].

Tablica 2

## Fragment pomiarów w odstępach 1 mm

KILOMETR [km]	SZEROKOŚĆ [mm]	GRADIENT [mm]	PRZECHYŁKA [mm]	WICHROWATOŚĆ [mm]	PION [mm]	POZIOM [mm]
,6960	0,6	0,5	75,2	-2,8	0,0	0,0
,6950	0,2	0,4	75,7	-2,7	0,0	0,0
,6940	-0,1	0,4	76,3	-2,5	0,0	-0,1
,6930	-0,3	0,2	76,8	-2,3	0,0	0,0
,6920	-0,1	-0,2	77,2	-2,1	0,0	-0,1
,6910	0,3	-0,4	77,5	-1,7	-0,1	-0,1
,6900	0,3	0,0	77,8	-1,3	0,0	-0,1
,6890	0,0	0,4	77,9	-1,2	0,0	-0,1
,6880	-0,2	0,2	78,1	-1,4	0,0	0,0
,6870	0,0	-0,1	78,4	-1,6	0,0	0,0
,6860	0,4	-0,4	78,9	-1,9	0,0	-0,2
,6850	0,4	0,0	79,4	-2,2	0,0	0,0
,6840	0,2	0,2	79,8	-2,5	0,0	0,0
,6830	0,2	0,0	80,3	-2,5	0,0	-0,1
,6820	0,2	0,0	80,9	-2,4	0,0	-0,1
,6810	0,2	0,0	81,4	-2,3	0,0	-0,1
,6800	0,2	0,1	81,8	-2,1	0,0	-0,1
,6790	0,1	0,1	82,1	-1,7	0,0	-0,1
,6780	-0,2	0,3	82,4	-1,5	0,0	0,0
,6770	0,0	-0,2	82,6	-1,4	0,0	0,0
,6760	0,7	-0,7	82,8	-1,5	0,0	-0,2
,6750	0,8	-0,1	83,2	-1,8	0,0	0,0
,6740	1,0	-0,2	83,7	-2,1	0,0	-0,1
,6730	1,1	-0,1	84,2	-2,3	0,0	-0,1
,6720	0,8	0,2	84,7	-2,4	0,0	0,0
,6710	0,2	0,6	85,1	-2,4	0,0	0,0
,6700	0,3	0,0	85,6	-2,3	0,0	-0,1
,6690	0,4	-0,1	86,1	-2,2	0,0	-0,1
,6680	0,3	0,1	86,5	-2,3	0,0	0,0
,6670	0,3	0,0	86,9	-2,4	0,0	-0,1
,6660	0,2	0,1	87,4	-2,3	0,0	0,0
,6650	-0,1	0,2	87,9	-2,2	0,0	-0,1
,6640	0,0	-0,1	88,4	-2,1	0,0	0,0
,6630	0,0	0,0	88,7	-2,0	0,0	-0,1
,6620	0,1	-0,1	89,1	-1,9	0,0	0,0
,6610	0,6	-0,5	89,4	-1,8	0,0	-0,2
,6600	0,9	-0,2	89,8	-1,7	0,0	0,0

[Źródło: pomiary stanu toru].

kolenia mogły wyrażać o nich taką opinię, jaka odnosiła się po półwieczu do budowy w okresie międzywojennym Gdyni i Centralnego Okręgu Przemysłowego.

Budowa nowych linii kolejowych powinna mieć wsparcie naukowe, istnieje bowiem szeroki krąg zagadnień, w którym polscy naukowcy i inżynierowie mogą ułatwić osiągnięcie celów formułowanych przez decydentów lub nawet, jak twierdził R.L. Ackoff (1919–2009) [1], pomóc im w formułowaniu tych celów. W myśleniu o ambitnych celach warto zastanawiać się, jakie będzie ich znaczenie za lat kilkadziesiąt.

## Literatura

1. Ackoff R.L.: *Decyzje optymalne w badaniach stosowanych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1966.
2. Bałuch H.: *Zagrożenia w nawierzchni kolejowej*, Instytut Kolejnictwa, Warszawa, 2017.
3. Bałuch H., Bałuch M.: *Kształtowanie niezawodności nawierzchni w toku modernizacji linii kolejowych*, Problemy Kolejnictwa, zeszyt 162, 2014.
4. Garlikowska M., Gondek P.: *Rodzaje ryzyka w inwestycjach infrastruktury kolejowej*, XI Konferencja, INFRASZYN 2018, Zakopane 18–20 kwietnia 2018.
5. Gasparski W.: *Projektownictwo*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1988.
6. *Railway specific environmental performance indicators*, UIC leaflet 330, 2009.
7. Spółka CPK zarejestrowana, Raport Kolejowy, 2018, nr 6.
8. Szelaż A.: *Energetyczne aspekty modernizacji taboru i zwiększania prędkości ruchu pociągów pasażerskich*, Technika Transportu Szynowego, 2009, nr 11.