ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 47 Nr kol. 1586

Henryk BAŁUCH[1]

METODA OKREŚLANIA KOSZTÓW EKSPLOATACJI DRÓG KOLEJOWYCH

Streszczenie. Teoretyczne założenia metody służącej do określania kosztów drogi kolejowej są oparte na obliczeniach trwałości głównych części składowych nawierzchni, tj. szyn i podkładów w różnych warunkach istniejących na liniach kolejowych. Jako najważniejsze cechy toru kolejowego wzięto pod uwagę typ szyn (UIC60, S49), konstrukcję nawierzchni (tor bezstykowy lub klasyczny) i rodzaj podkładów (betonowe, drewniane). Jako podstawowe czynniki wpływające na procesy degradacji przyjęto prędkość pociągów, naciski osi, natężenie przewozów, stan toru, liczbę pociągów towarowych i promień łuku. Znając trwałość nawierzchni można obliczyć koszty wymian ciągłych i utrzymania bieżącego.

THE METHOD USED TO DETERMINE THE PERMANENT WAY COSTS

Summary. The theoretical assumptions of the method used to determine the permanent way costs are based on the calculations of durability the main track components i.e. rails and sleepers under different conditions on railway lines. As the most important attributes of the permanent way were taken into account: type of rail (UIC60, S49), construction of the track (long welded rail, joint track) and type of sleeper (concrete, wooden). As the basic factors determining the degradation processes were permitted: speed of train, axle load, tonnage, state of track, number of goods trains and radius of curvature. Knowing the durability of permanent way it is possible to determine the costs of the track renewal and spot maintenance.

1. WPROWADZENIE

W obecnych warunkach eksploatacji kolei oszacowanie kosztów infrastruktury wzbudza duże zainteresowanie, głównie z dwóch powodów:

- niezbędnych nakładów na jej wymianę i modernizację, które powinny znaleźć swe odzwierciedlenie w dotacjach państwa,
- potrzeb na bieżące utrzymanie, które powinny stanowić jeden z podstawowych składników opłat za dostęp do infrastruktury.

Sposoby określania tych kosztów na kolejach europejskich są bardzo zróżnicowane, a w ich uzewnętrznianiu jest niemało czynników pozatechnicznych. O zróżnicowaniu tym może świadczyć przewidywany jednostkowy koszt tras pociągów Eurostar w Wielkiej Brytanii, 10-ciokrotnie większy niż we Francji [10]. Występuje też wiele założeń upraszczających i tak np. na kolejach niemieckich nacisk osi jest uwzględniany tylko wówczas, gdy przekracza 225 kN, co skutkuje dopłatą 0,64 euro za każdy kilometr jazdy pociągu towarowego.

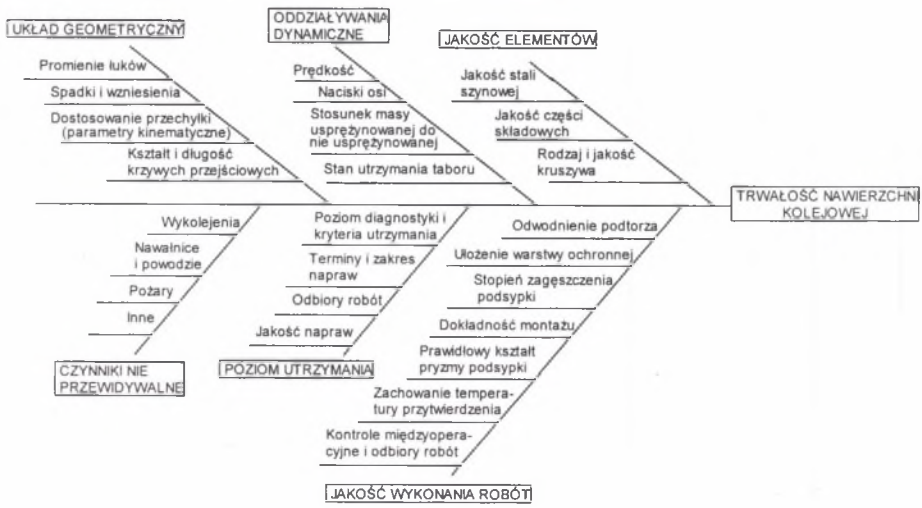
[1] Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa; hebaluch@wp.pl

Zdaniem autora podstawą określania kosztów dróg kolejowych powinno być ich naturalne zużycie, zależne od warunków eksploatacyjnych na określonej linii kolejowej. Metoda ta byłaby najbardziej obiektywna i stanowiłaby, razem z innymi kosztami, nie tylko właściwą podstawę ustalania opłat za udostępnianie linii kolejowych, lecz również określania wysokości dotacji państwa.

W celu skrócenia wywodów, jako główny składnik kosztów dróg kolejowych przyjęto, zgodnie z rzeczywistością, koszty wymian i utrzymania nawierzchni kolejowej, traktując koszty innych części drogi (podtorza, obiektów inżynieryjnych, itp.) jako proporcjonalne do wydatków na nawierzchnię.

2. ZAŁOŻENIA METODY

Niezbędnym warunkiem określenia kosztów eksploatacji nawierzchni w całym cyklu jej życia (*LCC - Life Cycle Costs)*, jest określenie trwałości tej konstrukcji w konkretnych warunkach eksploatacyjnych, jakie istnieją na określonej linii kolejowej. Liczba cech mających wpływ na tę trwałość jest bardzo duża. Ważniejsze spośród nich przedstawiono w postaci diagramu ryby (diagramu Ishikawy) na rysunku 1.



Rys. 1. Czynniki wpływające na trwałość nawierzchni kolejowej
Fig. 1. Factors influenced on the permanent way durability

Uwzględnienie tak dużej liczby czynników w obliczeniach trwałości, przy obecnym stanie wiedzy, nie jest jeszcze możliwe. Nie należałoby jednak tego przesądzać na przyszłość, ponieważ duże możliwości poszukiwań wpływu różnych warunków na zmiany zachodzące w drogach kolejowych powstaną wówczas, gdy kolej będzie eksploatować hurtownie danych i zastosuje techniki *data mining*[2]. Opierają się one w znacznej mierze na sztucznej inteligencji. W miarę rozwoju tych technik łatwiejsze stanie się poszukiwanie związków przyczynowo-

[2] Odpowiednikiem tego określenia w języku polskim jest *drążenie danych* lub *dogłębne poszukiwanie danych*, polegające na badaniu zbiorów jednorodnych danych w celu ujawnienia zachodzących między nimi związków [8].

skutkowych między warunkami utrzymania nawierzchni i jej trwałością. Do tego czasu konieczna jest daleko idąca agregacja tych warunków i ich ograniczenie jedynie do cech liczbowych.

Założeniem wyjściowym proponowanej metody jest przyjęcie 11 klas konstrukcji nawierzchni różniących się typem szyn, rodzajem toru (klasyczny, bezstykowy) i rodzajem podkładów z przyporządkowanymi tym klasom pięcioma nominalnymi wielkościami eksploatacyjnymi, przy których powinno się osiągnąć trwałość nominalną T_n.

Wielkościami tymi na analizowanym odcinku linii są:

- prędkość pociągów V [km/h],
- maksymalny nacisk osi P [kN],
- stosunek liczby pociągów towarowych do wszystkich pociągów,
- jakość elementów nawierzchni, jakość jej budowy i utrzymania, które to cechy charakteryzuje łącznie syntetyczny wskaźnik stanu toru J [mm],
- promień łuku R [m].

Wielkości wprowadzane i wynikowe są przedstawione na rysunku 2.

3. WPŁYW PRZYJĘTYCH WIELKOŚCI NA ZMIANĘ TRWAŁOŚCI NOMINALNEJ

3.1. Wpływ prędkości pociągów

Istotnym zagadnieniem przy analizowaniu wpływu prędkości pociągów na trwałość nawierzchni jest nie tylko wybór modelu, lecz również reprezentatywnej grupy pociągów na liniach, na których jest ona zróżnicowana, a zatem na przeważającej długości sieci kolejowej w Polsce. Wybór taki – podobnie jak w przypadku pozostałych wielkości – będzie wyborem arbitralnym. W metodzie obliczeń trwałości rzeczywistej, zwanej tu wartością skorygowaną, trzeba więc będzie przyjąć taki model, który zminimalizuje niekorzystny wpływ tej arbitralności. Biorąc pod uwagę wspomniany rozrzut prędkości przyjęto więc do obliczeń trwałości skorygowanej średnią wartość prędkości V_r dziesiątego górnego kwantyla najszybszych pociągów

$$V_r = \frac{\sum_{i=1}^{k} V_{maxi}}{k_{10}} \tag{1}$$

gdzie k_{10} - liczba pociągów stanowiących górny kwantyl.

Wpływ prędkości pociągów na nadwyżki dynamiczne i zachowanie się nawierzchni był przedmiotem licznych opracowań, kończących się z reguły dość różnymi wynikami, co można tłumaczyć koniecznością wprowadzania dużych uproszczeń w tworzeniu modeli opisujących zjawiska współdziałania pojazdu szynowego z drogą kolejową, głównie zaś pomijaniem istotnych cech pojazdów oraz szczegółów konstrukcyjnych drogi kolejowej.

O zróżnicowaniu tych wyników mogą świadczyć współczynniki dynamiczne v, które w przybliżeniu można przyjąć jako wielkość mającą bezpośredni wpływ na degradację drogi kolejowej, przedstawione na rysunku 3. Krzywa 1 opisuje funkcję opracowaną przez Šachunjanca, krzywa 2 przez Eisenmanna, a krzywa 3 przez Schramma [12]. Według krzywej 2 i 3 przyrost prędkości z 60 do 120 km/h zwiększa oddziaływania od 1 lub 1,30 do ok. 1,4, podczas gdy wg krzywej 1 od 1,44 do 1,81. Linie wykreślone kropkami na tym

rysunku, równoległe do osi odciętych, przedstawiają współczynniki prędkości uwzględnione w klasyfikacji linii kolejowych zalecanej przez UIC [5,6].

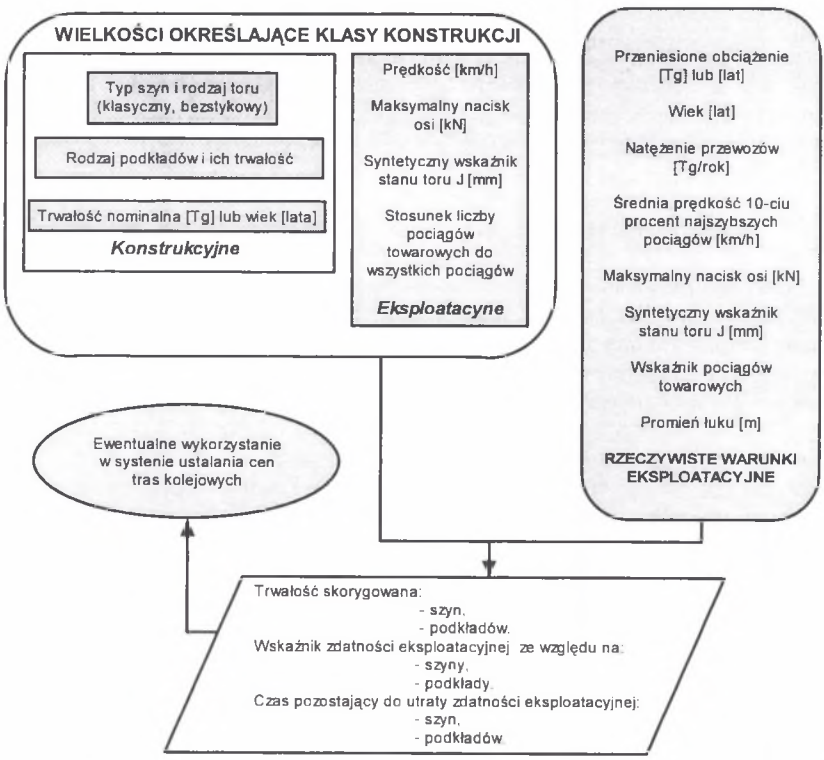
Krzywa 4 opisuje funkcję zalecaną przez specjalistów kanadyjskich mającą w oryginale postać [9]

$$v = 1 + \frac{V_m}{A} + \frac{V_m^2}{B} \tag{2}$$

gdzie: V_m – prędkość [mph],

A i B – wartości stałe równe odpowiednio 600 i 6000.

Uwzględniając, że 1 mila równa jest 1,609 km, otrzymuje się wzór odpowiadający tej krzywej podany na rysunku 3.



Rys. 2. Wielkości wprowadzane i wynikowe w przyjętym systemie oceny stanu konstrukcji nawierzchni

Fig. 2. Input and output values in the estimation of the track structure

O wpływie cech pojazdu szynowego oraz konstrukcji i stanu nawierzchni na wielkość oddziaływań dynamicznych świadczą wyniki badań naprężeń w szynach typu UIC 60 wywoływanych przejazdem dwusystemowej lokomotywy EU-43, przeprowadzone na dobrze utrzymanym odcinku toru linii CMK [4]. Największa wartość tych naprężeń wynosiła 50 MPa, a wahania między prędkością 5 i 200 km/h nie przekroczyły 12 MPa i były mniejsze niż różnice uzyskane na lewej (tj. zewnętrznej) i prawej górnej krawędzi stopki.

W pracy [1] podano wzór, w którym jeden z członów określa wpływ prędkości na częstość podbijania torów. Jest to jedna z najczęstszych robót torowych, którą można uznać jako dość reprezentatywną dla intensywności degradacji drogi kolejowej. Wzór ten ma postać

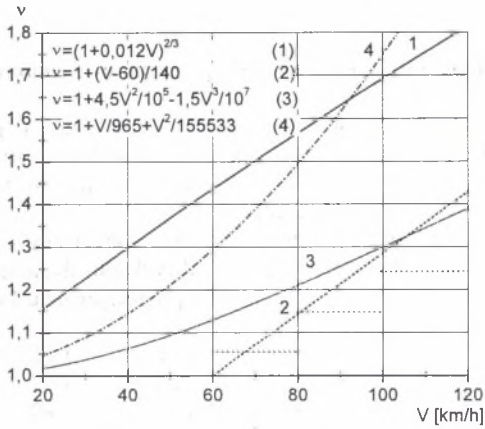
$$\alpha = \left(\frac{V_{śr}}{55}\right)^{0.5} \tag{3}$$

W przedziale 40 ÷ 120 km/h można ją w przybliżeniu aproksymować prostą o nachyleniu

$$\frac{1{,}44 - 0{,}83}{120 - 40} = 0{,}0076$$

Bardzo zbliżone nachylenię równe 0,007 mają na rysunku 3 wykresy 1 i 2. Podobieństwo to uzasadnia przyjęcie do dalszych obliczeń współczynnika v wyrażonego wzorem:

$$\nu = (1 + 0{,}012V)^{2/3} \tag{4}$$



Rys. 3. Wpływ prędkości pociągów na degradację nawierzchni
Fig. 3. Train speed influence on the track structure degradation

3.2. Wpływ nacisków osi

Wpływ nacisku osi na intensywność degradacji dróg kolejowych był przedmiotem licznych badań. Prace prowadzone przez Šachunjanca wykazały, że reprezentatywne wyniki można w tym zakresie uzyskać jedynie drogą eksperymentów i obserwacji eksploatacyjnych [14].

Badania eksperymentalne prowadzone przez Komitet ORE D161 doprowadziły do ustalenia wzoru empirycznego na nadwyżki dynamiczne dP, mającego postać [13]

$$dP = 12 + 0{,}06P + 0{,}5(V - 50)\cdot(S - 0{,}5) \quad \text{[kN]} \tag{5}$$

gdzie: S - odchylenie standardowe nierówności pionowych [mm].

Badania te wykazały, że wzrost nacisku o 12% zwiększa nadwyżki dynamiczne jedynie o 6%. Ten niewielki wzrost nadwyżek dynamicznych tłumaczy się tym, że zwiększenie masy nieusprężynowanej pojazdu szynowego (tj. masy wywierającej największy wpływ na oddziaływania dynamiczne) jest proporcjonalnie znacznie mniejsze niż wzrost ładowności wagonów towarowych.

W obliczeniach degradacji dróg kolejowych w ujęciu całej sieci, w których z konieczności trzeba pominąć wiele czynników szczegółowych, odnoszonych do konkretnego odcinka toru, jak np. współczynniki zalecane przez UIC [13], uzasadnione jest stosowanie prostszych zależności, nie pozbawionych jednak podbudowy fizykalnej. Można więc wyjść przy tym z założenia, że o częstości i zakresie niezbędnych robót decydują naprężenia wywierane przez podkłady na podsypkę, które są proporcjonalne do nacisku osi [2].

Warto dodać, że również w pracy [11] przyjęto, iż nakłady na utrzymanie nawierzchni są proporcjonalne do nacisków szyn na podkłady. Analogiczne wnioski wypływają z rozważań specjalistów kanadyjskich, którzy nakłady na utrzymanie nawierzchni przy nacisku 200 kN przyjmują umownie jako 100 i stwierdzają, że przy nacisku 150 kN wynoszą one 75 [9].

Biorąc pod uwagę scharakteryzowane zależności przyjęto do dalszych rozważań współczynnik wpływu nacisków osi η równy

$$\eta = 0{,}005P_{sr} \tag{6}$$

3.3. Wpływ jakości elementów, jakości robót i poziomu utrzymania

Cechy wymienione w podtytule dają się sprowadzić w przybliżeniu do jednej wielkości geometrycznej, jaką jest syntetyczny wskaźnik stanu toru J. Dobierając funkcję wyrażającą wpływ geometrycznego stanu nawierzchni na jej trwałość, wzięto pod uwagę wyniki badań przedstawione w pracach [3,7].

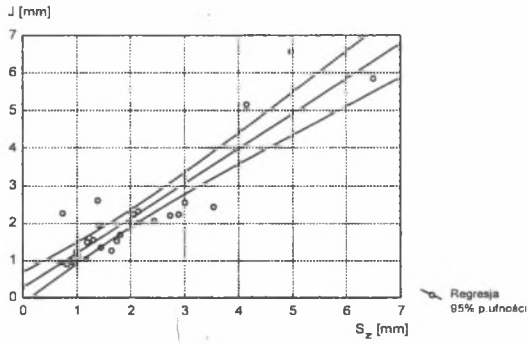
Badania [7] dotyczyły m.in. zależności między stanem toru wyrażonym odchyleniem standardowym nierówności pionowych S_z i nadwyżkami dynamicznymi. W przedziale prędkości 70 – 110 km/h zależność ta była wprost proporcjonalna. Przy prędkości 100 km/h nadwyżki dynamiczne wynosiły:

przy $S_z < 1$ mm	1,22
przy $S_z = 1 \div 2$ mm	1,25
przy $S_z > 2$ mm	1,40

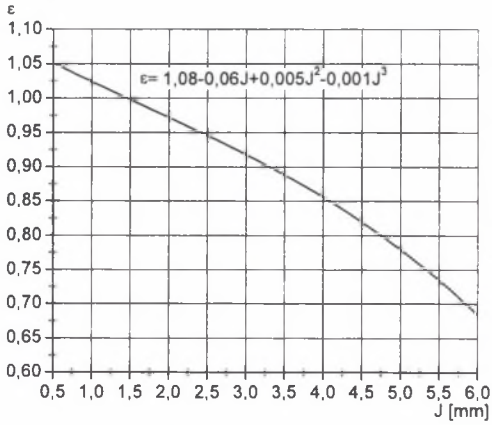
Badania przeprowadzone w kraju, obejmujące 30 odcinków linii kolejowych o różnym stanie utrzymania, wykazały, że między wskaźnikiem syntetycznym J i odchyleniem standardowym nierówności pionowych S_z istnieje duża zależność, charakteryzująca się współczynnikiem korelacji $r = 0{,}90$ [3]. Zależność tę przedstawioną na rysunku 4 opisuje równanie regresji

$$J = 0{,}93S_z + 0{,}27 \tag{7}$$

Nachylenie krzywej na rysunku 5, przedstawiającej zależność współczynnika ε charakteryzującego wpływ jakości na degradację, dobrano przyjmując, w jej górnej części, różnicę między punktami $J = 1{,}5$ mm (jako reprezentanta przedziału $S_z = 1 \div 2$ mm) i $J = 3{,}5$ mm (jako reprezentanta przedziału $S_z > 2$ mm), proporcjonalną do stosunku 1,25/1,40 = 0,89. Warunek ten jest spełniony, ponieważ przy $J = 1{,}5$ mm $\varepsilon \approx 1$, a przy $J = 3{,}5$ mm $\varepsilon \approx 0{,}89$.



Rys. 4. Korelacja między wskaźnikiem syntetycznym J i odchyleniem standardowym nierówności toru S_z
Fig. 4. Correlation function between synthetic index J and standard deviation of vertical irregularities



Rys. 5. Wpływ jakości elementów nawierzchni i jakości jej utrzymania na degradację
Fig. 5. Influence of the quality of track elements and of maintenance on degradation processes

Przy wartościach $J > 3{,}5$ mm, tj. przy gorszym i złym stanie toru, wartości ε maleją szybciej niż w górnej części. W przypadku bardzo złego stanu toru, tj. przy $J = 6$ mm, rzeczywista trwałość nawierzchni wg przedstawionej zależności byłaby o ponad 30% mniejsza od trwałości nominalnej.

3.4. Wpływ pociągów towarowych

Wieloletnie doświadczenia wskazują, że przy jednakowym obciążeniu linii kolejowych ruchem pasażerskim i towarowym przebieg degradacji nawierzchni w tym drugim przypadku jest szybszy. Wynika to z większych nacisków osi, gorszego usprężynowania wózków, większego zanieczyszczenia podsypki itp. Z tego powodu uwzględnienie stosunku liczby pociągów towarowych do wszystkich pociągów jest miernikiem, który powinno się uwzględniać przy korygowaniu trwałości nominalnej.

Współczynnik ten jest kompromisem między łatwością jego wyznaczania a stopniem odwzorowania cech, które powinien reprezentować.

Współczynnik pociągów towarowych określa wzór

$$\rho = 1{,}05 - 0{,}17\frac{r_t}{r_c}, \tag{8}$$

gdzie: r_t – liczba pociągów towarowych,
r_c – liczba wszystkich pociągów.

Z zależności tej wynika, że współczynnik pociągów towarowych jest równy 1 przy $r_t/r_c = 0{,}3$ i 0,88, gdy wszystkie pociągi są pociągami towarowymi.

3.5. Wpływ łuków

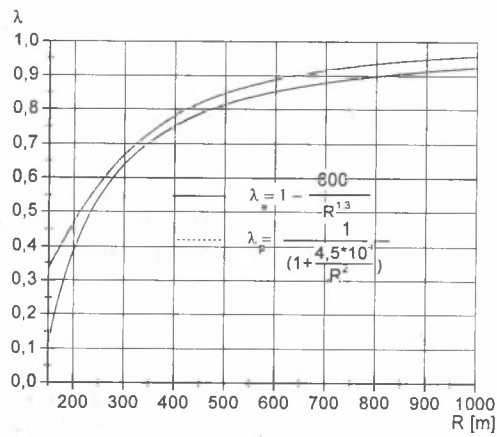
Wzory wyrażające wpływ układu geometrycznego toru na zmniejszenie trwałości szyn i podkładów drewnianych ograniczono jedynie do promieni łuków R. Na podstawie własnych doświadczeń wprowadzono wzór zmniejszający trwałość szyn nie smarowanych

$$\lambda_s = 1 - \frac{600}{R^{1.3}} \tag{9}$$

Do wyrażenia wpływu łuków na zmniejszenie trwałości podkładów drewnianych zastosowano wzór podany w książce [2] i przyjęty przez Komitet ERRI D187

$$\lambda_p = \frac{1}{(1 + \frac{4{,}5 \cdot 10^4}{R^2})} \tag{10}$$

Zależności te przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Wpływ łuków na zmniejszenie trwałości szyn i podkładów drewnianych
Fig. 6. Influence of curves on durability of rails and wooden sleepers

3.6. Trwałość skorygowana

Zdefiniowanie współczynników prędkości v, nacisku η, jakości ε, pociągów towarowych ρ i łuków λ umożliwia obliczenie trwałości skorygowanej określonych klas nawierzchni. Trwałość skorygowaną T_r wyraża wzór

$$T_r = T_n \frac{v_n \eta_n \varepsilon_r \rho_r}{v_r \eta_r \varepsilon_n \rho_n} \tag{11}$$

gdzie indeks n oznacza współczynniki odpowiadające wartościom nominalnym, indeks zaś r – wartościom rzeczywistym; T_n oznacza trwałość nominalną.

W odniesieniu do samych szyn ułożonych w łukach trwałość skorygowana wyraża się wzorem

$$T_{rs} = T_n \left(1 - \frac{600}{R^{1,3}}\right) \frac{v_n \eta_n \varepsilon_r \rho_r}{v_r \eta_r \varepsilon_n \rho_n} \tag{12}$$

w odniesieniu zaś do podkładów drewnianych

$$T_{rp} = T_n \left(1 + \frac{4,5 \cdot 10^4}{R^2}\right) \frac{v_n \eta_n \varepsilon_r \rho_r}{v_r \eta_r \varepsilon_n \rho_n} \tag{13}$$

Znając trwałość skorygowaną analizowanej konstrukcji nawierzchni T_r, przeniesione przez nią obciążenie Q_p oraz istniejące lub oczekiwane natężenie przewozów q, można obliczyć wskaźnik zdatności konstrukcji C i czas t, jaki pozostał do całkowitego wyczerpania się tej zdatności. Do tego celu stosuje się wzory

$$C = 1 - \frac{Q_p}{T_r} \tag{14}$$

$$t = \frac{T_r - Q_p}{q} \tag{15}$$

W przypadku $Q_p > T_r$, tj. przy ujemnej wartości t, należy ją interpretować jako czas, który upłynął od chwili, gdy analizowana konstrukcja utraciła swą zdatność eksploatacyjną.

4. UPROSZCZONY ALGORYTM USTALEŃ CEN ZA UDOSTĘPNIANIE TRAS

4.1. Koszty jednostkowe infrastruktury

Chcąc wykazać istotę proponowanego systemu i utrzymać się w rozsądnej objętości referatu pominięto w tym algorytmie liczne szczegóły, jak np. uzależnienie cen od pory dnia, częstości użytkowania trasy, wykorzystania zdolności przewozowej, stopnia partycypacji państwa w pokrywaniu kosztów kolei itp. Nie wydzielano również kosztów wymian ciągłych nawierzchni (w tym i utylizacji odpadów), które powinny być pokrywane z dotacji.

Wynikami uzyskiwanymi ze wzorów podanych w punkcie 3 są m.in. trwałości skorygowane szyn T_{rs} i podkładów T_{rp}. Koszt szyn w określonej klasie konstrukcji i jest znany i wynosi na 1 km toru m_{si}. Koszt podkładów z przytwierdzeniami i podsypką w klasie i wynosi m_{pi}. Tak więc koszt materiałów nawierzchniowych (bez rozjazdów) zużywanych na 1 km toru w ciągu jednego dnia eksploatacji przy natężeniu przewozów q [Tg/rok] wyniesie

$$k_i = \frac{q}{365}\left(\frac{m_{si}}{T_{si}} + \frac{m_{pi}}{T_{pi}}\right) \tag{16}$$

W przypadku gdy czynnikiem limitującym trwałość podkładów okaże się ich wiek p_{gi} [lat], a nie przeniesione obciążenie, koszty k_i wyraża wzór:

$$k_i = \frac{qm_{si}}{365T_{si}} + \frac{m_{pi}}{365p_{gi}} \tag{17}$$

Do kosztów materiałów należy dodać koszt wymian ciągłych, napraw bieżących i konserwacji nawierzchni w cyklu między wymianami. Zakłada się, że na podstawie danych statystycznych zostaną ustalone współczynniki tych kosztów w odniesieniu do kosztu k_i, tj. α_w, α_n i α_k.

Całkowite koszty zużycia infrastruktury powinny objąć ponadto obiekty inżynieryjne i podtorze, urządzenia srk i łączności oraz urządzenia zasilania łącznie z siecią trakcyjną.

Przyjmując podobne założenie o proporcjonalności tych kosztów na linii o określonej klasie, można posłużyć się współczynnikami β_b, β_s i β_z.

Koszt zużycia 1 km tak określonej infrastruktury przypadający na 1 dzień wyraża więc wzór

$$k_{ic} = k_i\left(1 + \sum_w^k \alpha + \sum_b^z \beta\right) \tag{18}$$

W przypadku dużego zróżnicowania kosztów robocizny oraz eksploatacji pozostałych obiektów infrastruktury poza nawierzchnią, na liniach o zbliżonych warunkach konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, koszty te można odnosić na 1 km toru bezpośrednio, rezygnując ze stosowania współczynników proporcjonalności.

4.2. Długość trasy

Udostępnianie konkretnej trasy oznacza również udostępnianie torów stacyjnych do wykonywania niezbędnych prac manewrowych. Prace te będą wykonywane na łącznej długości torów l_m. Tory, na których odbywają się manewry taboru, wymagają z reguły mniejszych nakładów na utrzymanie w porównaniu z torami głównymi. Zmniejszenie to wyraża współczynnik γ.

Pociąg na udostępnianej trasie przejeżdża również po rozjazdach ułożonych w torach głównych zasadniczych. Rozjazd o określonym typie szyn i skosie pod względem kosztów wymian i utrzymania można traktować jako z-krotność długości toru zajmowanego przez ten rozjazd. Przy liczbie rozjazdów e_u danego typu u o długości l_u rzeczywista długość udostępnianego toru głównego l_r wzrośnie więc do długości zastępczej

$$l = l_r + \gamma l_m + (z-1)e_u l_u \tag{19}$$

Koszty zużycia rozjazdów można też uwzględnić odnosząc znane koszty ich zakupu, wymiany i utrzymania w stosunku do znacznie mniejszej trwałości niż wynosi trwałość toru.

4.3. Rozdział kosztów na pociągi pasażerskie i towarowe

Przy natężeniu przewozów q dobowe obciążenie danej trasy q_d wynosi

$$q_d = \frac{q}{365} \tag{20}$$

W przypadku udostępniania trasy dla pociągu towarowego o masie G_t o jej cenie jednostkowej t_{itz} wynikającej tylko z zużycia infrastruktury, będzie decydował stosunek tej masy do obciążenia dobowego. Tak więc

$$t_{itz} = k_{ic} \frac{G_t}{q_d} \tag{21}$$

Rzeczywistą masę pociągu pasażerskiego G_p należy zwiększyć mnożąc ją przez stosunek maksymalnej prędkości tego pociągu V_{max} na określonym odcinku linii do średniej prędkości kursujących na niej pociągów towarowych V_t. Przyjęcie tej zasady uwzględnia niekorzystny wpływ pojazdów szynowych poruszających się z większą prędkością na narastanie odkształceń nawierzchni. Tak więc

$$t_{ipz} = k_{ic} \frac{G_p}{q_d} \frac{V_{\max}}{V_t} \tag{22}$$

Przy opracowywaniu systemu szczegółowego należałoby rozważyć dodatkowe kryteria, które są brane ostatnio pod uwagę na kolejach niemieckich, a mianowicie operowanie nie tylko tradycyjnymi miarami przewozów w postaci tonokm, lecz uwzględnianie również wartości ładunków. Oczywista jest bowiem różnica między przewozem np. tony węgla i tony produktów elektronicznych.

4.4. Koszty inżynierii ruchu

Oprócz kosztów wynikających z degradacji drogi kolejowej i zużycia innych obiektów oraz urządzeń, udostępnianie tras jest, jak wiadomo, obciążone kosztami inżynierii ruchu, tj. prowadzenia całego procesu przewozowego na danej linii, łącznie z kosztami jej ochrony. Koszty te w odniesieniu do 1 km toru oraz jednej doby wynoszą k_{in} i z założenia obciążają równomiernie wszystkie pociągi, których liczba na dobę wynosi n. Na jedną trasę przypada więc

$$t_{in} = \frac{k_{in}}{n} \tag{23}$$

Całkowite jednostkowe podstawowe koszty trasy będą więc wynosiły:
- dla pociągów pasażerskich

$$t_{ip} = k_{ic} \frac{G_p}{q_d} \frac{V_{\max}}{V_t} + \frac{k_{in}}{n} \text{ [zł/km]} \tag{24}$$

- dla pociągów towarowych

$$t_{ii} = k_{ic} \frac{G_i}{q_d} + \frac{k_{in}}{n} \text{ [zł/km]} \tag{25}$$

Przy obliczaniu kosztów całkowitych należy przyjmować oczywiście długość zastępczą trasy l.

5. PODSUMOWANIE

Rzeczywiste koszty utrzymania infrastruktury z uwzględnieniem pełnego cyklu jej życia są najbardziej obiektywną podstawą ustalania cen za udostępnianie tras. Wpływ innych cech linii i prowadzenia ruchu pociągów może być przedmiotem wzajemnych konsultacji. Metoda oceny kosztów utrzymania nawierzchni, zaproponowana w referacie, może stanowić podstawę naliczania kosztów innych składników drogi kolejowej poprzez przyjęcie właściwych współczynników proporcjonalności lub opracowanie na podobnej zasadzie metodyk szczegółowych.

W części dotyczącej obliczeń skorygowanej trwałości nawierzchni autor dysponuje już pełnym oprogramowaniem.

Literatura

1. Andreev G. E., Lapidus T. A., Melkov G V.: Mnogokratnoe ispolzovanie elementov putevoj rešetki. Transport, Moskwa 1989.
2. Bałuch H.: Wspomaganie decyzji w drogach kolejowych. KOW, Warszawa 1994.
3. Bałuch H.: Znaczenie syntetycznego wskaźnika stanu toru. X Konferencja Drogi Kolejowe, Wrocław 2001.
4. Cejmer, J., Grajda A.: Sprawozdanie z badania lokomotywy EU43 na wielkość naprężeń w szynach toru kolejowego. Zakład Dróg Kolejowych CNTK, 2000 (maszynopis, s. 8).
5. Classification of lines for the purpose of track maintenance. UIC Code 714R, 3rd edition 01.01.1989.
6. Factors affecting track maintenance costs and their relative importance. UIC Code 715R. 1.1.1992.
7. Fendrich L.: UIC/ORE experience in measuring and assessing track fatigue as a consequence of increasing axle loads. Pueblo, Colorado 1990.
8. Gamdzyk P.: Odpowiedzi zamiast pytań. Computerworld Raport, czerwiec 2001.
9. Hanks W. G., Roney M. D.: An engineering statistical study of the impact of axle weight on roadway maintenance expense. Second International Heavy Haul Railway Conference. Colorado Springs 1982.
10. Massel A.: O zasadach dostępu do infrastruktury kolejowej. Technika Transportu Szynowego, 2002, nr 3/4.
11. Rabota železnodorožnogo puti pri obraščenii gruzovych poezdov so skorostiami 90-100 km/h. Trudy VNIŽTnr 614, Moskwa, Transport 1979.
12. Schramm G.: Oberbautechnik und Oberbauwirtschaft. Otto Elsner Verlagsgesellschaft Darmstadt, 1960.

13. Shenton M.J.: Track maintenance planning and the estimation of the effect of increased axle load. Workshop on Heavy Axle Load, Colorado 1990.
14. Šachunjanc G.M.: Sravnitelnyj analiz vozdejstvija na put' povyšennych nagruzok ot vosmiosnych i četyreosnych vagonov. Trudy MIIT, Moskwa 1974.

Abstract

Durability of track structure has an essential influence on the costs of permanent way. The speed of trains, axle load, tonnage, state of track, number of goods trains and radius of curvature are the main variables in model developed for the estimation of the durability that can be determined by the equation (11). Presented method enables quantitative estimation of an influence exerted by the costs of permanent way on the train path pricing.