

Henryk Bałuch¹

RANKINGOWA KWALIFIKACJA TORÓW DO PROFILOWANIA SZYN

Streszczenie

Szlifowanie szyn staje się szczególnie ważne w procesie utrzymania nawierzchni kolejowej. Wykonywane w odpowiednim czasie ma zalety techniczne, ekonomiczne i ekologiczne. Kwalifikacja toru do szlifowania wymaga odpowiedniej metody. Procedura kwalifikacji ma dwa stadia. Artykuł przedstawia nową metodę tej kwalifikacji opartą na kryteriach liczbowych. Częścią artykułu są również propozycje terminologiczne.

Słowa kluczowe: utrzymanie nawierzchni, profilowanie szyn, terminologia

1. Wstęp

W tytule artykułu znalazło się nowe określenie *profilowanie szyn*. Wprowadzanie nowych pojęć technicznych wymaga dużo rozważań. Pojęcia te bowiem powinny nie tylko oddawać w pełni sens opisywanej rzeczy, lecz również być zgodne z normami ustalonymi przez językoznawców. W terminologii nawierzchniowej nowe jest również określenie *rankingowa kwalifikacja*. Artykuł zawiera uzasadnienie obu pojęć i – w odniesieniu do drugiego – przedstawia algorytm oraz przykład tej kwalifikacji.

2. Uzasadnienie nowych pojęć

Wzorem troski o poprawność terminologii w kolejnictwie był wybitny uczony, prof. Aleksander Wasiutyński, który w drugim wydaniu swojej książki [6] zawarł następujący fragment:

¹ prof. dr hab. inż., Instytut Kolejnictwa

„Słownictwo techniczne wydania pierwszego, którego wiele terminów od owego czasu weszło w życie, pozostawiłem na ogół bez zmiany. Niektóre terminy zastąpiłem odpowiedniejszymi, mając możliwość korzystać niejednokrotnie z opinii komisji językowej ministerium kolei i jej członka, znakomitego językoznawcy prof. A .A. Kryńskiego.”

Do niedawna w słownictwie dróg kolejowych posługiwano się jednym określeniem *szlifowanie szyn*, rozumiejąc pod nim kształtowanie powierzchni ich główek za pomocą obróbki skrawaniem. Rozwijające się inne metody obróbki powierzchni tocznej szyn skrawaniem, tj. struganie i frezowanie, doprowadziły do wprowadzenia uogólniającego wyrazu *reprofilacja*, któremu odpowiada czasownik *reprofilowanie*. Tę uogólniającą zaletę osłabia jednak znaczenie wszystkich czasowników z przedrostkiem *re*, oznaczającym powrót *do czegoś*, tj. w konkretnym przypadku do profilu poprzedniego, co w zasadzie nigdy nie występuje. W każdym bowiem przypadku obróbki szyn skrawaniem ulega zmianie jej przekrój, przy czym – nierzadko – jest również celowo zmieniany górny zarys tego przekroju, czyli profil poprzeczny główek szyn.

Rozstrzygnięcie tego dylematu nie jest łatwe. Za pozostawieniem wyrazu *szlifowanie* (z wyjaśnieniem, że rozumie się pod nim również wszystkie pozostałe metody obróbki skrawaniem) przemawia tradycja, uniwersalność tej technologii, polegająca na tym, że stosuje się ją nie tylko w torach, lecz również w rozjazdach oraz najczęstsze używanie tego pojęcia (*rail grinding*) w najnowszej literaturze anglojęzycznej, np. [5]. Pod wyrazem *grinding* ujmowane są również wszystkie technologie w opracowaniu [3]. Zaletą jest również to, że wyraz *szlifowanie* nie zawiera wykazanej nieścisłości w słowie *reprofilacja*.

Zachowanie wyrazu *szlifowanie*, napotka jednak z pewnością na sprzeciw zwolenników pozostałych technologii obróbki szyn skrawaniem, którzy mogą podać przykłady stosowania w języku angielskim wyrażeń *grinding* (szlifowanie), *milling* (frezowanie), *planing* (struganie). Warto zauważyć, że te wyrazy znajdują się m.in. w normie [4] dotyczącej odbiorów robót wykonywanych tymi technologiami. W normie tej spotyka się również wyrazy takie, jak *re-profiling zone* (strefa obrabiana) lub *reprofiling site* (strona obrabiana)². Dość charakterystyczne jest jednak, że pod profilem poprzecznym szyn odbiegającym

2 Terminy angielskie przytoczone w pisowni oryginalnej, tj. raz z myślnikiem, drugi raz bez niego.

od zarysu nominalnego nie użyto w tej normie terminu z przedrostkiem *re* tylko napisano *profile below the reference rail* (profil poniżej szyny wzorcowej).

W przedstawionych okolicznościach należy rozważyć wprowadzenie pewnego ogólnego określenia, które byłoby pozbawione wspomnianych wad. Prostem i polskim wyrażeniem byłoby *skrawanie szyn w torze* – jest ono jednak zbyt obszerne, ponieważ do skrawania zalicza się też przecinanie, wiercenie i ścinanie, a więc również inne czynności wykonywane na szynach (np. ścinanie spływów).

Ogólnym i poprawnym określeniem, oddającym ściśle skutek wykonywanego szlifowania, frezowania i strugania jest natomiast *profilowanie główek szyn w torze*, które w skrócie można sprowadzić do *profilowania szyn*, a więc do podobnych określeń jak prostowanie, wyginanie, napawanie, nasuwanie szyn itp. Umieszczenie tego określenia w robotach torowych nie stwarza obaw o pomylenie go z profilowaniem, rozumianym jako nadawanie kształtu szynom w procesie ich walcowania³.

Profilowanie szyn należy do robót, od których zależy trwałość nawierzchni, komfort jazdy, a w pewnych przypadkach również bezpieczeństwo eksploatacji drogi kolejowej. Roboty te są jednak dość kosztowne, co sprawia nierzadko, że wstępnie zakwalifikowane do profilowania odcinki torów trzeba z konieczności dostosować do dysponowanych zasobów. Temu celowi ma służyć kwalifikacja rankingowa⁴ ustawiająca w kolejności odcinki torów zakwalifikowane wstępnie.

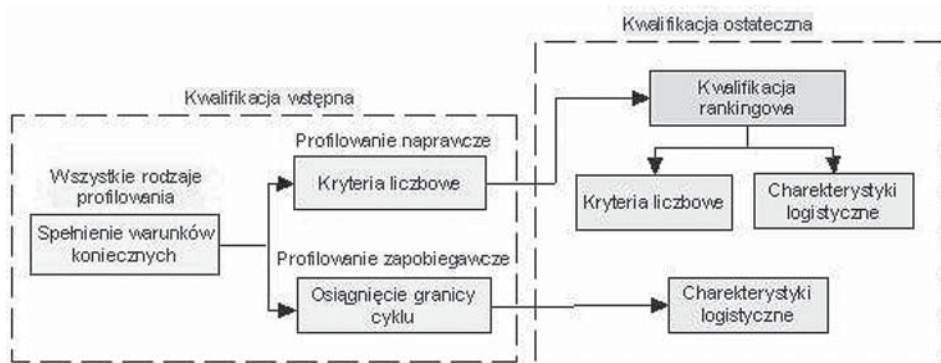
Określenia te zostaną zaproponowane w opracowywanym projekcie nowych wytycznych z przekonaniem, że po pewnym czasie staną się powszechnie używane.

3. Ogólne zasady proponowanej kwalifikacji

Kwalifikacja szyn do profilowania obejmuje dwa etapy, tj. kwalifikację wstępną wykonywaną w zakładach linii kolejowych oraz kwalifikację ostateczną (rankingową) należącą do kompetencji Biura Dróg Kolejowych w Zarządzie PKP PLK S.A. (rys. 1).

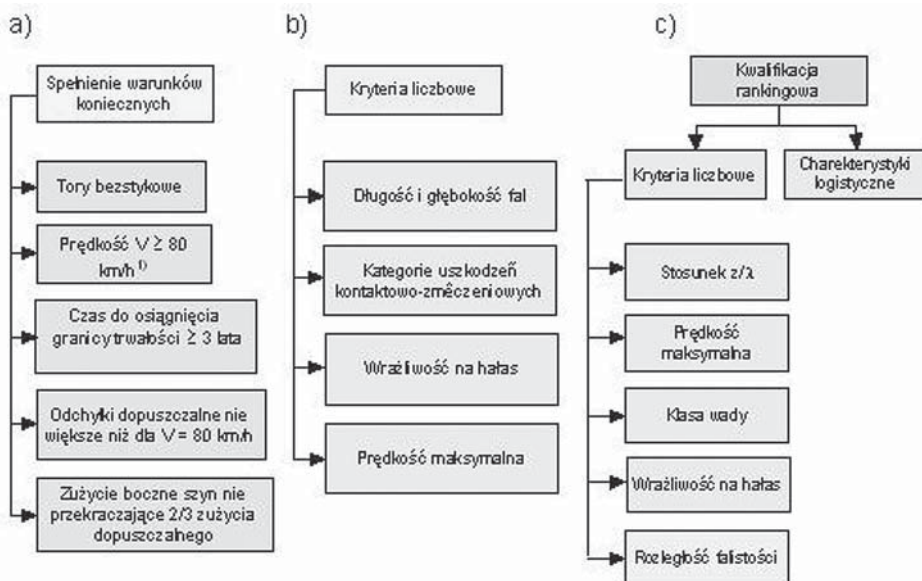
³ Specjaliści, z którymi konsultowano termin *profilowanie* uznali, iż jest to określenie trafne.

⁴ Ang. *rank*: ustawiać, szeregować.



Rys. 1. Ogólny schemat kwalifikacji torów do profilowania szyn

Kwalifikację wstępną warto rozpoczynać od sprawdzenia warunków koniecznych (rys. 2a), jakie powinny cechować tor, który następnie zostanie poddany pomiarom i dokładniejszym obserwacjom. Warunki konieczne muszą być spełnione przy wszystkich rodzajach profilowania, tj. przy profilowaniu początkowym, zapobiegawczym i naprawczym⁵.



Rys.2. Rozwinięcia bloków przedstawionych na rysunku 1

⁵ Rozróżnianie w dotychczasowym podziale profilowania naprawczego i regeneracyjnego jest nieostre i dlatego został on zaniechany, trudno bowiem uznać, że granicą jest grubość usuwanej warstwy stali 0,9 mm, która wobec dużego zróżnicowania technologii obróbki i prędkości roboczej maszyn przestała być wystarczającym wyróżnikiem. Również w wytycznych [3] są wymienione tylko trzy rodzaje profilowania.

Wstępna kwalifikacja do profilowania początkowego kończy się na sprawdzeniu warunków koniecznych (rys. 2a), kwalifikacja zaś ostateczna przy tym rodzaju profilowania uwzględnia jedynie niesformalizowane charakterystyki logistyczne, ma więc charakter heurystyczny. W istocie rzeczy kwalifikację torów do profilowania początkowego można by nawet całkowicie pominąć, gdyby zostało ono uznane jako nieodłączna część procesu technologicznego wymian lub budowy nawierzchni kolejowej.

Podstawą dalszej części kwalifikacji wstępnej toru do profilowania zapobiegawczego jest osiągnięcie granicy cyklu. Ustalanie cykli jest przedmiotem artykułu [2]. Wszystkie liczbowe kryteria, które bierze się pod uwagę w drugiej części kwalifikacji wstępnej toru do profilowania naprawczego przedstawia rysunek 2b.

Kwalifikacja ostateczna toru do profilowania zapobiegawczego opiera się na charakterystykach logistycznych, natomiast przy profilowaniu naprawczym, oprócz tych charakterystyk, uwzględnia się również kryteria wyrażone w postaci liczbowej, przedstawione na rysunku 2c.

4. Algorytm kwalifikacji rankingowej

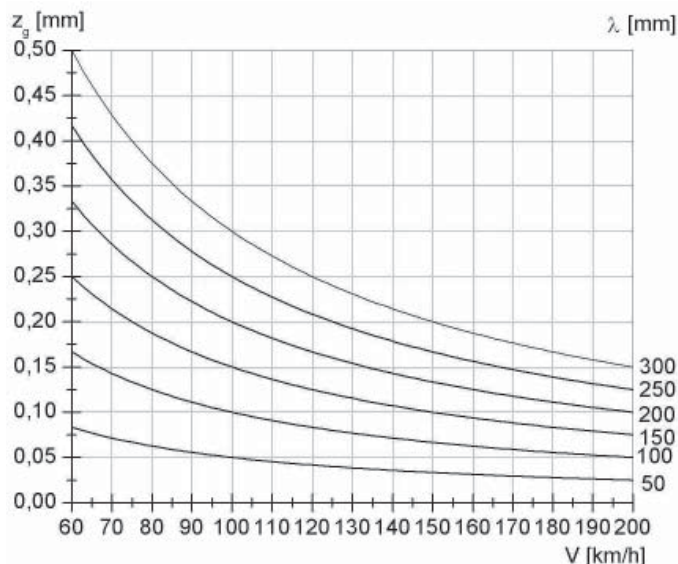
Podstawą kwalifikacji rankingowej, tj. kwalifikacji ostatecznej, jest przede wszystkim kwalifikacja wstępna, w której bierze się pod uwagę wielkość zużycia falistego, uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe, zużycie szyn, stopień wykorzystania trwałości nawierzchni, stan toru, wrażliwość na hałas oraz prędkość maksymalną. Nie są to wszystkie czynniki, które mają wpływ na potrzebę profilowania. I tak np. nie ma tu oceny zjawisk współpracy koła z szyną, a więc cechy, której pomiar w warunkach diagnostycznych jest trudny⁶.

W kwalifikacji rankingowej wykonywanej na szczeblu Biura Dróg Kolejowych PKP PLK S.A. są uwzględnione – oprócz wyników obliczeń wykonanych w kwalifikacji wstępnej – również inne cechy niemierzalne lub nie skwantyfikowane, nazwane ogólnie charakterystykami logistycznymi, jak np. znaczenie określonej linii kolejowej, zamierzenia jej modernizacji, rodzaj i wykorzystanie maszyn, miejsca ich stacjonowania itp. Matematyczny opis tych i innych jeszcze, nie wymienionych charakterystyk logistycznych, byłby opisem subiektywnym. Współczynniki preferencji, stanowiące podstawę kwalifikacji rankingowej,

⁶ Na kolejach amerykańskich wprowadza się już automatyczny pomiar kontaktu koła z szyną za pomocą wagonów-laboratoriów [7].

powinny więc z konieczności uwzględniać tylko cechy najważniejsze i dające się wyrazić liczbowo.

Rozmiar zużycia falistego szyn wyraża się głębokością fal lub odchyleniem standardowym głębokości, przy czym odnosi się ją zwykle do dwóch zakresów długości, tzn. do fal krótkich ($30 \div 100$ mm) i długich ($100 \div 300$ mm)⁷. Taka przedziałowa ocena rozmiaru falistości, polegająca w istocie na rozmytym traktowaniu długości fal, wynika z trudności określenia wymiarów dominujących. W obu zakresach na tym samym odcinku toru można bowiem spotkać różne długości fal. Trudność polegająca na wyznaczeniu dominującej długości fali nie powinna jednak powodować ich pomijania przy określaniu granicznych wartości zużycia. Przykłady interpretacji tych długości, zależne od techniki pomiaru, są przedstawione w monografii [1]. Można więc przyjąć, że graniczna głębokość fali z_g [mm] na określonym odcinku toru jest związana z ich długością nie tylko w postaci zaliczania do jednego z przedziałów.



Rys. 3. Graniczne głębokości fal w funkcji prędkości

Odejście od przedziałowego określania granicznej głębokości fal tj. uwzględnienie ich dominującej długości λ [mm] umożliwia wzór empiryczny oparty na założeniu [1], że graniczna wartość falistego zużycia powinna być wprost proporcjonalna do długości fali i odwrotnie proporcjonalna do maksymalnej prędkości pociągów V [km/h].

⁷ Norma [4] wyróżnia jeszcze fale bardzo krótkie $10 \div 30$ mm.

Wzór ten ma postać:

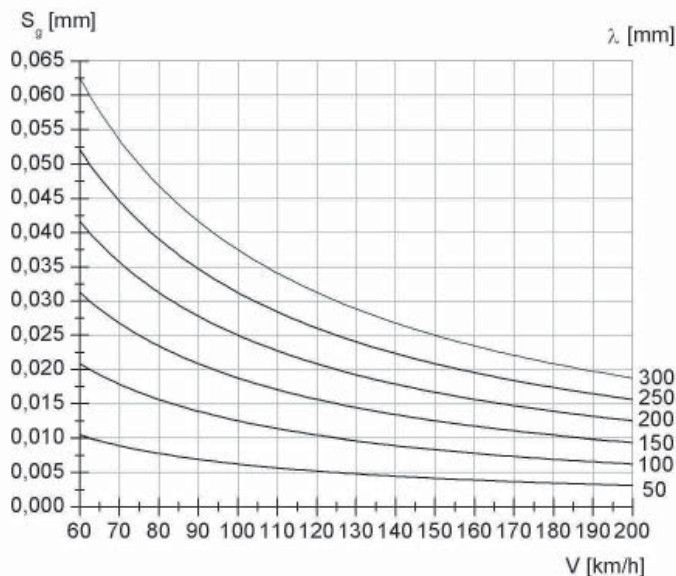
$$z_g \approx \frac{0,1\lambda}{V} \quad (1)$$

Z rysunku 3 przedstawiającego zależność (1) wynika, że przy prędkościach mniejszych niż 100 km/h graniczne głębokości fal dość szybko rosną.

W pewnych przypadkach pełniejszy obraz falistego zużycia szyn uzyskuje się posługując się odchyleniem standardowym głębokości fal⁸. Na podstawie licznych pomiarów na sieci kolejowej w Polsce i w Metrze Warszawskim stwierdzono, że w najczęściej spotykanym przedziale długości fal 30 ÷ 100 mm stosunek odchylenia standardowego do głębokości fali jest równy w przybliżeniu, jak 1:8, nie jest tu więc zachowana znana reguła *3sigm*. Spostrzeżenia te pozwalają przyjąć wzór określający graniczną wartość odchylenia standardowego:

$$S_g = \frac{10^{-2} \cdot 1,25\lambda}{V} \quad (2)$$

którego ilustracją jest rysunek 4.



Rys. 4. Graniczne wartości odchylenia standardowego głębokości fal

⁸ Jest to zwłaszcza konieczne w przypadku, gdy w raportach z pomiarów pewnymi przyrządami podaje się średnią długość fali, którą przytacza norma [4]. Wielkość ta ma małą wartość informacyjną.

Warto dodać, że graniczne wartości zużycia falistego szyn w tokach wewnętrznych łuków o promieniach mniejszych niż 600 m zwiększa się [1]. Według wskazówek [3] graniczna głębokość fal w tokach wewnętrznych łuków wynosi $0,1 \div 0,3$ mm. Zwiększenie to nie ma jednak wpływu na ranking kwalifikacji. Graniczne wartości z_g oraz S_g koryguje się uwzględniając wrażliwość terenu otaczającego odcinek jednostkowy na hałas i drgania. Współczynnik γ określający tę cechę wynosi przy:

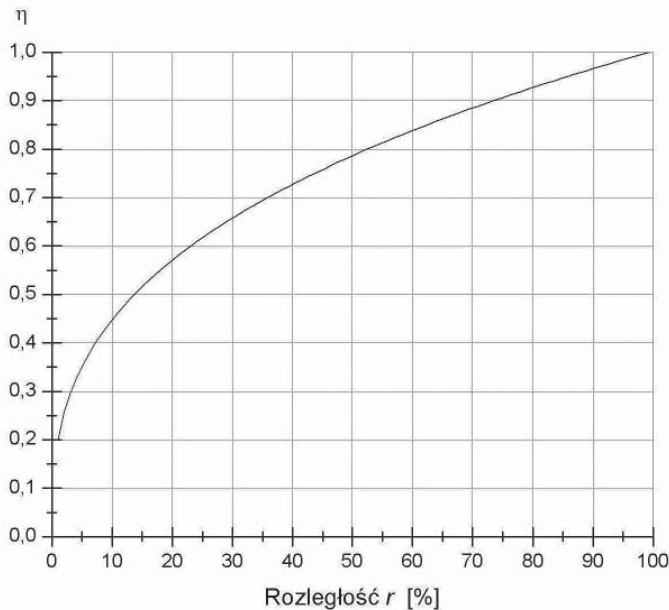
- małej wrażliwości 1,00,
- przeciętnej wrażliwości 1,10,
- dużej wrażliwości 1,20.

Wartością referencyjną, tj. stanowiącą podstawę porównań pomierzonych głębokości i długości fal jest stosunek $\frac{z}{\lambda}$ odpowiadający maksymalnej prędkości V .

W preferencji należy również uwzględnić rozległość falistego zużycia na rozpatrywanym odcinku oraz uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe szyn. Rozległość występowania falistego zużycia szyn wyraża się stosunkiem długości, na jakim ono występuje do długości całego odcinka. Współczynnik zmniejszający η określa wzór empiryczny:

$$\eta = \frac{0,2r}{r^{0,65}} \quad (3)$$

Graficzną postać tego współczynnika przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Współczynnik zmniejszający preferencję ze względu na rozległość fal

Jak wynika z rysunku 5, zmniejszenie preferencji nie jest proporcjonalne do długości, na jakiej występuje falistość. Jest to zrozumiałe, ponieważ nawet rozległość rzędu 20 % uzasadnia wstępne zakwalifikowanie odcinka toru do profilowania szyn.

Odzwierciedleniem występowanie wad kontaktowo-zmęczeniowych jest współczynnik k zależny od kategorii wady (tabl. 1). Proponowany podział wad na kategorie przedstawia się następująco:

- 1) brak uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych,
- 2) widoczne rysy (*head check*) na zaokrągleniu główki szyny i powierzchni tocznej o długości nie przekraczającej 10 mm, brak bruzd i wykruszeń, wady powierzchniowe o głębokości do 0,5 mm,
- 3) rysy o długości do 25 mm, wykruszenia na zaokrągleniu główki szyny lub powierzchni tocznej o głębokości nie przekraczającej 1,0 mm,
- 4) rysy o długości ponad 25 mm, wykruszenia na zaokrągleniu główki szyny lub powierzchni tocznej, bądź dłuższe zagłębienia o głębokości do 2,0 mm,
- 5) wykruszenia i zagłębienia na powierzchni tocznej lub na zaokrągleniu główki szyny o głębokości większej niż 2,0 mm,

Tablica 1. Wartości współczynnika kategorii wad

Kategoria wady	Wartość współczynnika k
1	1,0
2	1,6
3	1,9
4	2,2
5	Przeanalizować celowość szlifowania

Łącznie więc współczynnik preferencji w_i na odcinku jednostkowym o numerze i ma postać:

$$w_i = \frac{10V_z\gamma\eta}{\lambda} k \quad (4)$$

Wartość współczynnika preferencji na każdym odcinku jednostkowym będzie wyznaczana automatycznie po wprowadzeniu jego charakterystyk do systemu wspomagania decyzji.

Odcinek linii kolejowej zakwalifikowany wstępnie do profilowania może się składać z n odcinków jednostkowych. Współczynnik prefe-

rencji całego odcinka j składającego się z n odcinków jednostkowych w_i będzie więc obliczany ze wzoru:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n w_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (5)$$

gdzie: l_i – długość odcinka i .

5. Przykład obliczeń

Kwalifikacja dotyczy odcinka toru składającego się z trzech odcinków jednostkowych położonych na linii o maksymalnej prędkości pociągów 140 km/h, mających charakterystykę przedstawioną w tabelicy 2.

Tablica 2. Charakterystyka odcinków jednostkowych

Nr odcinka i	Długość odcinka l_i [m]	Głębokość fal z [mm]	Długość fal λ [mm]	Rozległość r [%]	Wrażliwość na hałas γ	Kategoria wad
1	1315	0,08	45	37	mała	3 ($k = 1,9$)
2	692	0,10	60	26	duża	2 ($k = 1,6$)
3	856	0,06	40	50	przeciętna	1 ($k = 1,0$)

Z tabelicy 2 i rysunku 1 wynika, że na wszystkich odcinkach nastąpiło przekroczenie granicznej głębokości fali. Dalsze obliczenia są więc zasadne. Rozpoczyna je wyznaczenie współczynnika η wg wzoru (3):

$$\eta_1 = \frac{0,2 \cdot 37}{37^{0,65}} = 0,71$$

$$\eta_2 = \frac{0,2 \cdot 26}{26^{0,65}} = 0,63$$

$$\eta_3 = \frac{0,2 \cdot 50}{50^{0,65}} = 0,79$$

Współczynniki preferencji na poszczególnych odcinkach jednostkowych, obliczane wg wzoru (4), wynoszą:

$$w_1 = \frac{10 \cdot 140 \cdot 0,08 \cdot 1,00 \cdot 0,71}{45} \cdot 1,9 = 3,36$$

$$w_2 = \frac{10 \cdot 140 \cdot 0,10 \cdot 1,20 \cdot 0,63}{60} \cdot 1,6 = 2,82$$

$$w_3 = \frac{10 \cdot 140 \cdot 0,06 \cdot 1,10 \cdot 0,79}{40} \cdot 1,0 = 1,83$$

Współczynnik preferencji całego odcinka toru, składającego się z trzech odcinków jednostkowych, obliczony wg wzoru (5) wynosi:

$$w_j = \frac{3,36 \cdot 1315 + 2,82 \cdot 692 + 1,83 \cdot 856}{1315 + 692 + 856} = 2,77$$

6. Zakończenie

Wyznaczenie współczynników preferencji na każdym odcinku zakwalifikowanym wstępnie do szlifowania powinno znacznie ułatwić kwalifikację rankingową wykonywaną w Zarządzie PKP PLK S.A. W pewnych przypadkach wspomniane względy logistyczne, mogą wpłynąć na nieco inny ranking odcinków zakwalifikowanych ostatecznie do szlifowania niżby to wynikało jedynie ze wskaźników w_j . W takich przypadkach wybór ten powinien być jednak krótko uzasadniony.

Bibliografia

- [1] Bałuch H., Bałuch M.: *Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru*. Instytut Kolejnictwa, Warszawa, 2010.
- [2] Bałuch M.: *Metoda określania cykli zapobiegawczego profilowania szyn*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym”, Zakopane 2011.
- [3] *Guidelines for management of rail grinding*. Report D4.5.5. Innotrack. Innovative Track System, 2006.

-
- [4] *Railway applications – Track – Acceptance of work – Part 3: Acceptance of rail grinding, milling and planing work in track.* European Standard EN 13231-3, January 2006.
 - [5] Schöch W.: *Recommendations for strategic rail maintenance in Europe: the application of anti-headcheck profiles and cyclic grinding.* Rail Engineering International 2011, No. 1.
 - [6] Wasiutyński A.: *Drogi Żelazne.* Warszawa 1925.
 - [7] *Wheel/rail contact geometry inspection.* Railway Track and Structures 2010, No. 12.

RANKING QUALIFICATION OF TRACK FOR THE RAIL GRINDING

Summary

Rail grinding becomes particularly important in the process of track maintenance. When it is executed in the proper time, it has got some technical, economical and environmental advantages. Qualification of track for grinding requires the proper method. The procedure of qualification has two stages. The paper presents a new method of this qualification, based on numerical criteria. Some terminological proposals have also been given in this paper.

Key words: *track maintenance, rail grinding, terminology*