

Henryk BAŁUCH¹Maria BAŁUCH²

ODCHYLEKI SZEROKOŚCI W TORACH ZWROTNYCH ROZJAZDÓW KOLEJOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono poszukiwanie optymalnych odchyłek szerokości toru w najważniejszej konstrukcji nawierzchni, tj. rozjazdach. Ze względu na spokojność jazdy i trwałość rozjazdu jedną z najistotniejszych cech są kąty nabiegania kół. Dobierając tolerancje umożliwiające minimalizację kątów nabiegania, zmniejsza się jednak jednocześnie granice wymiarów, które nie wymagają napraw rozjazdów. Przedstawiono wyniki pomiarów oraz obliczeń.

THE GAUGE TOLERANCES IN THE TURNOUTS DEFLECTING TRACKS

Summary. The finding of the optimum gauge tolerances of one of the most important track structure - the turnouts are presented in the paper. From the riding quality and durability point of view one of the most significant features of the turnouts are the wheel impact angles. When we suit the magnitude of the tolerances to get possibly small value of angle, we should remember that decreasing of the angle causes simultaneously decreasing limits of dimensions that does not require the turnouts repair. The results of the measurements and calculations are presented.

1. WSTĘP

W ciągu ostatnich kilkunastu lat stan rozjazdów na sieci kolejowej w Polsce uległ znacznemu pogorszeniu. Powodem tego pogorszenia stała się niewystarczająca liczba wymian rozjazdów, stanowiąca kilkanaście procent rzeczywistych potrzeb. Degradacja rozjazdów, po których odbywa się intensywny ruch pociągów na odgałęzienie, przejawia się w postaci powiększania szerokości toru, wgnieccń podkładek i bocznego zużycia szyn. Jednocześnie, ograniczone zasoby przeznaczone na utrzymanie nawierzchni utrudniają usuwanie pojawiających się

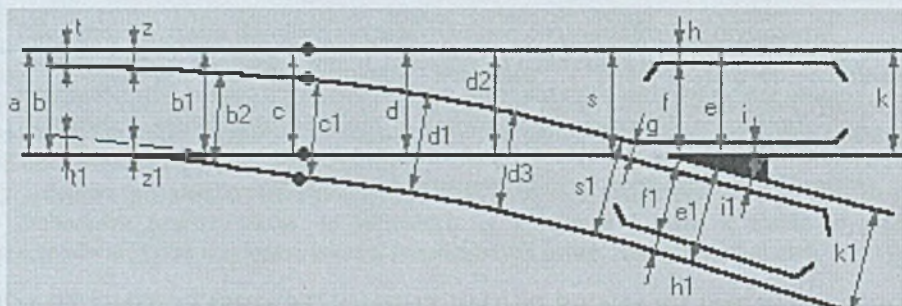
¹ Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

² Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

wad. W tym stanie rzeczy wyłania się konieczność takiego ustalenia odchyłek dopuszczalnych, które z jednej strony nie prowadziłyby do przekroczenia kryterium torowego, tj. granicy, od której rozpoczyna się lawinowe narastanie degradacji, z drugiej zaś dawały odpowiednio szeroki przedział wymiarów nie wymagających zmian.

2. KĄTY NABIEGANIA KÓŁ W TORZE ZWROTNYM ROZJAZDU

W przeciwieństwie do torów zasadniczych, w których stosuje się kinematyczną symulację przejazdu wagonu przez kilka stref rozjazdu [1,2], nie było dotychczas metod optymalnego określania odchyłek w torze zwrotnym, tj. odchyłek odnoszących się do wymiarów c_1 , d_1 , d_2, \dots, d_n . (rys. 1).



Rys. 1. Podstawowe wymiary szerokości torów i żłobków w rozjeździe zwyczajnym
Fig. 1. The basic dimensions of track gauges and gapes in single turnout

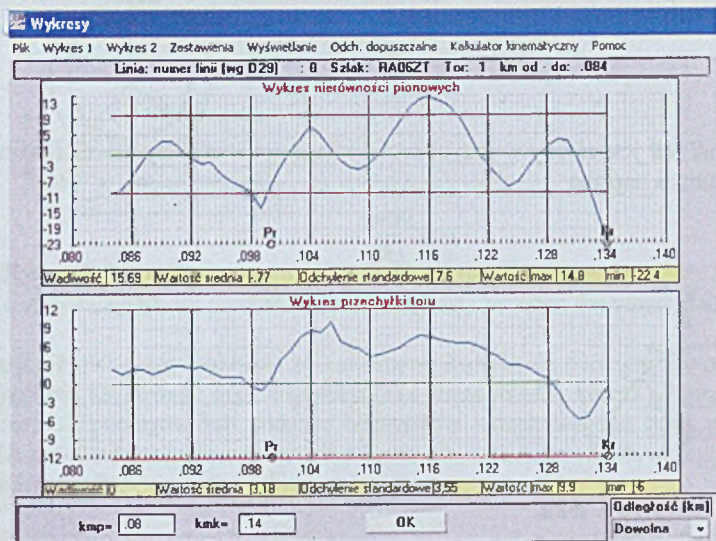
Wieloletnie obserwacje i pomiary dowodzą, że wykonane w porę wyrównanie i podbicie rozjazdu może w dużym stopniu usunąć odkształcenia toków szynowych w płaszczyźnie pionowej, tj. w zakresie nierówności pionowych, różnic wysokości toków szynowych (przechyłki) i wchrowatości. W przeciętnie utrzymanych rozjazdach odkształcenia pionowe, tego rzędu jak pokazane na rysunku 2, dają się łatwo usunąć w procesie podbijania podrozjazdnic.

Znacznie trudniejsze natomiast jest usunięcie skutków degradacji szyn wywołanych miejscowym nadmiernym oddziaływaniem pojazdów szynowych. Jedynie szlifowanie szyn może zapobiec rozwojowi wad kontaktowo- zmęczeniaowych, w przypadku gdy zabieg ten wykona się w początkowej fazie ich rozwoju. Nie ma natomiast zmechanizowanych i odpowiednio wydajnych metod usuwania takich wad, jak nierównomiernie zużycie boczne szyn w torze zwrotnym, zmiany szerokości i zniekształcenia krzywizny (rys. 3).

W tym więc przypadku dużego znaczenia nabiera rozpoznanie pierwszej, tzn. symptomatycznej fazy szybkiego rozwoju degradacji, w której pojawiają się już jej źródła, zanim jeszcze dojdzie do fazy drugiej, czyli fazy ostrej, charakteryzującej się wystąpieniem wad trudnych do usunięcia.

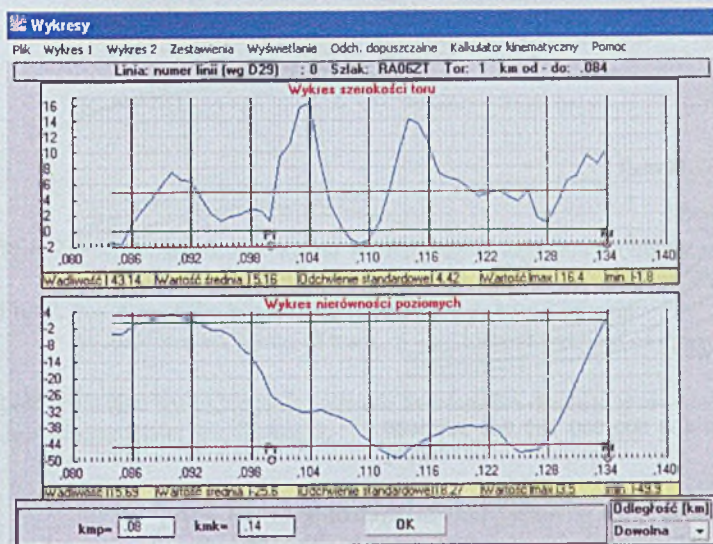
Rozwój miejscowego bocznego zużycia szyn i innych ich uszkodzeń może być wywołany kilkoma przyczynami. Do najważniejszych - pomijając wady materiałowe - należą gwałtowne zmiany sztywności podłoża, krótkie nierówności na powierzchni toczonej (np. wadliwie wykonane spoiny) oraz zwiększone kąty nabiegania kół. W przeciwieństwie do dwóch pierwszych, łatwiej zauważalnych w postaci wytrysków błotnych czy zagłębień toków szynowych, oszacowanie zwiększonych kątów nabiegania jest trudniejsze, trzeba więc w tym przypadku oceniać

je na podstawie wyników pomiarów tych wielkości, od których one bezpośrednio zależą, tj. na podstawie krzywizny toru zwrotnego i jego szerokości.



Rys. 2. Wyniki pomiaru nierówności odwzorowane w systemie SOHRON

Fig. 2. Measurement results of irregularities presented by SOHRON DSS



Rys. 3. Wyniki pomiaru szerokości toru zwrotnego i nierówności poziomych na rozjeździe pokazanym na rysunku 2

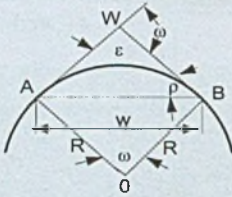
Fig. 3. Measurement results of gauges and horizontal irregularities in deflecting track of turnouts presented on Fig. 2

W przypadku gdy pojazd szynowy porusza się z odpowiednią prędkością po idealnym łuku mającym promień R i obrzeża kół obu zestawów wózka stykają się z tokiem zewnętrznym w punktach AB , kąt nabiegania ρ można wyznaczyć na podstawie rysunku 4, z którego wynika

$$\rho = \frac{\omega}{2} \quad (1)$$

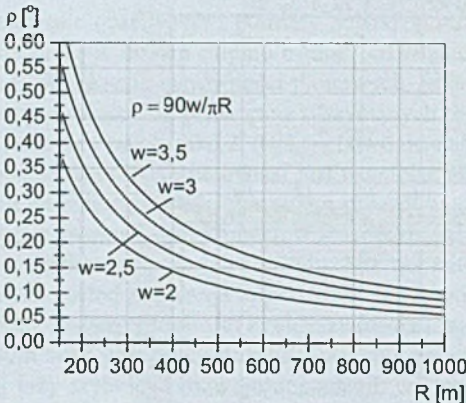
Zakładając, że łuk AB jest równy w przybliżeniu odległości w między zewnętrznymi śladami obrzeży kół, można napisać

$$\rho = \frac{90w}{\pi R} \quad (2)$$



Rys. 4. Kąt nabiegania w łuku
Fig. 4. Wheel attack angle in curve

Wartości kąta ρ w funkcji R oraz w przedstawia rysunek 5. Przy najmniejszej wartości promienia łuku w torze zwrotnym, tj. 190 m, oraz odległości między śladami kół w wózku wagonu $w = 2,5$ m, kąt ρ jest równy $0,3771^\circ$ ($22'37,7''$).

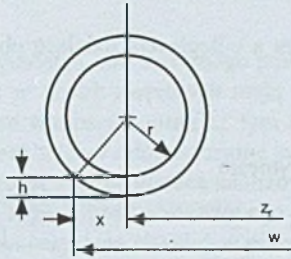


Rys. 5. Kąty nabiegania w łukach przy różnych długościach w [m]
Fig. 5. Wheel attack angle in curve for various length w [m]

Odległość w między zewnętrznymi śladami obrzeży kół (ich rzutem poziomym) można wyznaczyć na podstawie rysunku 6.

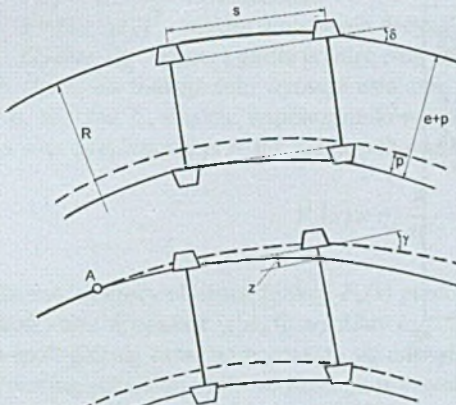
Przy rozstawie osi z , oraz głębokości punktu styku obrzeży z główką szyn h otrzymuje się

$$w = z_r + 2\sqrt{2rh + h^2} \tag{3}$$



Rys. 6. Schemat do wyznaczania odległości między śladami obrzeży kół
 Fig. 6. Diagram for calculation of the distance between the wheel flange traces

Prędkość, przy której obrzeża obu zestawów stykają się z tokiem zewnętrznym, zależy od cech pojazdu szynowego oraz współczynnika tarcia między kołem a szyną. Przy mniejszych prędkościach pociągów lub podczas hamowania wózek wagonu bądź pojazd ostojnicowy zajmuje położenie pokazane na rysunku 7, tzn. obrzeże zestawu pierwszego styka się z tokiem zewnętrznym, drugiego zaś z tokiem wewnętrznym.



Rys. 7. Położenie wózka wagonu w łuku przy mniejszych prędkościach pociągów:
 a – równomierne poszerzenie toru, b – dodatkowy gradient szerokości

Fig. 7. Position of the bogie in curve with lower speed of train:
 a – uniform widening of track, b – additional gradient of gauge

W położeniu tym kąt nabiegania wzrasta do wartości δ zależnej również od poszerzenia p , liczonego od szerokości nominalnej e_n

$$\delta = \rho + \arctg \left(\frac{e_n + p - t}{w} \right) \tag{4}$$

gdzie t – odległość między obrzeżami kół zestawu.

Dalsze zwiększenie kąta nabiegania przy tym samym promieniu łuku wystąpi w przypadku przyrostu szerokości toru, równego z na długości w

$$\gamma = \delta + \arctg\left(\frac{z}{w}\right) \quad (5)$$

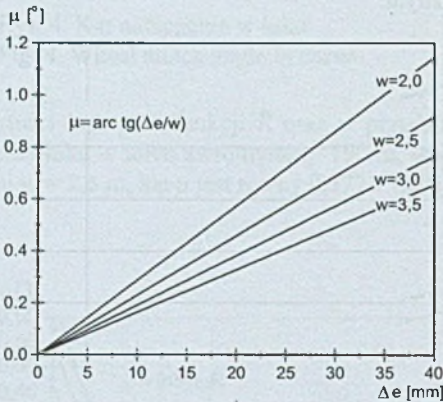
Maksymalna różnica między zwiększoną szerokością toru a odległością dzielącą obrzeża zestawu wynosi

$$\Delta e = e_n + p + z - t.$$

Maksymalny kąt nabiegania ze względu na różnicę Δe wyniesie

$$\mu = \arctg\left(\frac{\Delta e}{w}\right) \quad (6)$$

Wartości kątów μ w funkcji Δe i w przedstawia rysunek 8, z którego wynika, że przy $\Delta e = 20$ mm i $w = 2,5$ m kąt μ osiągnie $0,46^\circ$, a zatem taką samą wartość jak kąt ρ przy najmniejszym promieniu łuku stosowanym na liniach normalnotorowych. Gradient szerokości toru, równy 2 mm, utrzymujący się na długości $w = 2,5$ m, tj. różnica 5 mm, oznacza możliwość wystąpienia kąta nabiegania $\mu = 0,11^\circ$, co jest równoważne, jak wynika to z rysunku 5, kątowi nabiegania w łuku o promieniu ok. 650 m (przy styku obu zestawów z tokiem zewnętrznym).



Rys. 8. Kąty nabiegania w funkcji luzów między kołem i szyną

Fig. 8. Wheel attack angle as a function of gaps between wheel and rail

3. WYBÓR ZMIENNYCH DECYZYJNYCH I PRZYJĘTA METODA OPTYMALIZACJI

Jako zmienną decyzyjną charakteryzującą oddziaływania w torze zwrotnym rozjazdu przyjęto wielkość proporcjonalną do dyssypacji energii kinetycznych przy nabieganiu koła na szynę, obliczaną ze wzoru

$$W_e = V_z^2 \operatorname{tg}^2 \delta. \quad (7)$$

Można przyjąć, że zmienna ta jest również podstawową wielkością, od której zależy zużycie boczne szyn. Nakłady na utrzymanie rozjazdu przy porównywalnych konstrukcjach i warunkach eksploatacyjnych zależą od pola tolerancji wymiarów

$$k_c = c_{\max} - c_{\min}$$

$$k_d = d_{\max} - d_{\min}$$

Degradacja toru zwrotnego powoduje z reguły zwiększanie wymiarów c_l i d_l . Duże znaczenie w torach zwrotnych mają więc zwłaszcza górne odchyłki szerokości. Im większe są bowiem wartości k_c oraz k_d , tym rzadsze mogą być naprawy związane ze zmianą szerokości toru oraz większe dopuszczalne zużycie boczne szyn³. Kolejnymi zmiennymi decyzyjnymi są więc górne i dolne granice analizowanych zbiorów odchyłek dopuszczalnych.

Do rozwiązania postawionego zagadnienia zastosowano numeryczną metodę optymalizacji, (wykorzystaną również w pracy [5]), którą można przedstawić w ogólnej postaci

$$F_o(x) \rightarrow \min, x \in R^N, \quad (8)$$

przy

$$F_j(x) \leq 1, j = 1, \dots, M \quad (9)$$

oraz

$$G_d \leq x_i \leq G_g, i = 1, \dots, N, \quad (10)$$

gdzie:

F_o - funkcja celu (funkcja kryterium),

$F_j, j = 1, \dots, M$ - ograniczenia,

$x = [x_1, \dots, x_N]^T$ - wektor zmiennych decyzyjnych,

G_d oraz G_g - dolna i górna granica i -tej zmiennej decyzyjnej.

Tak określona funkcja celu wymaga ustalenia wartości referencyjnych zmiennych decyzyjnych, tj. W_r oraz k_r , a także współczynników wag dla tych zmiennych η_w i η_k . Funkcję celu można więc przedstawić przy tak przyjętych wielkościach w postaci

$$F_o(x) = \eta_w \frac{W}{W_r} + \eta_k \frac{k_r}{k} \rightarrow \min \quad (11)$$

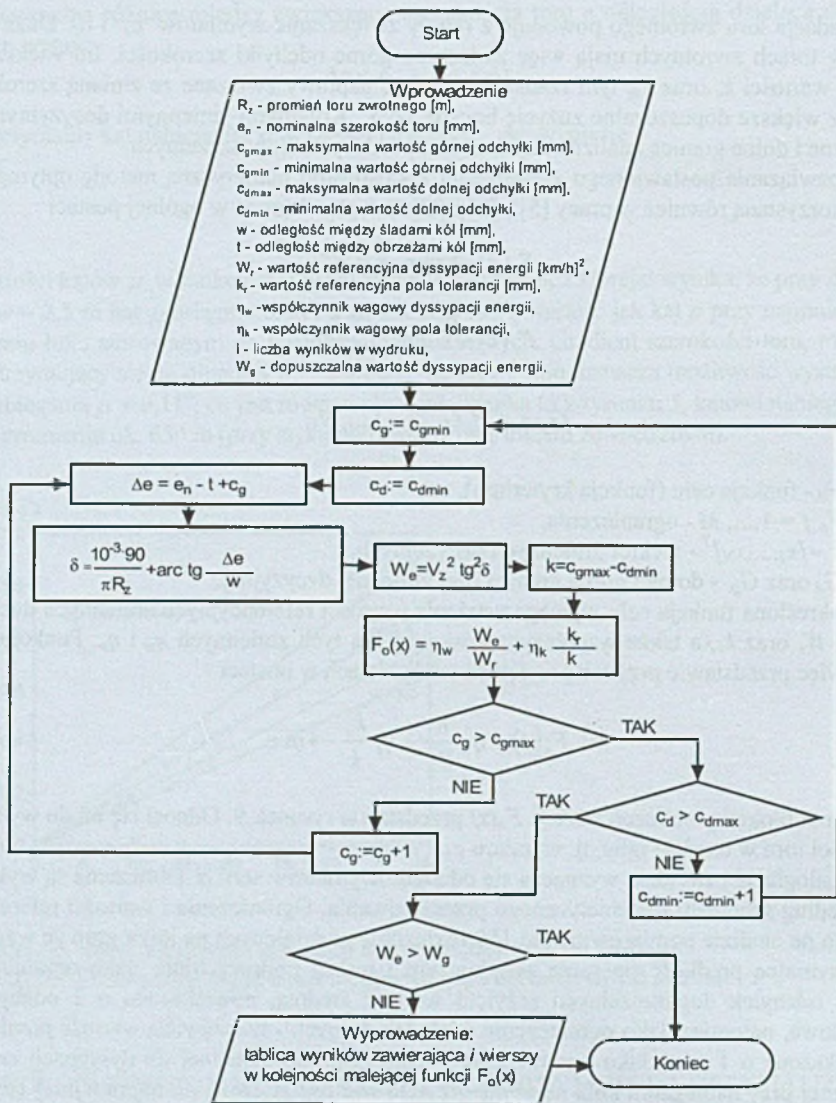
Schemat blokowy obliczeń funkcji $F_o(x)$ przedstawia rysunek 9. Odnosi się on do wymiaru szerokości toru w osadzie iglic, tj. wymiaru c_l .

Na analogicznej zasadzie wyznacza się odchyłki wymiarów serii d . Obliczenia są wykonywane według schematu systematycznego przeszukiwania. Ograniczenia i wartości referencyjne oparto na analizie pomiarów ponad 150 rozjazdów podzielonych na kilka grup ze względu na maksymalną prędkość po torze zasadniczym i rodzaj podrozjazdnic. Jako ograniczenia górnych odchyłek dopuszczalnych przyjęto wartość średnią, powiększoną o 2 odchylenia standardowe, natomiast jako ograniczenie odchyłek dolnych - rzeczywistą wartość pomiarową zwiększoną o 1 mm. Jako ograniczenie wielkości proporcjonalnej do dyssypacji energii kinetycznej przy nabieganiu koła na szynę przyjęto wartość zbliżoną do najmniejszej uzyskanej w symulacji w danej grupie rozjazdów.

W grupie rozjazdów o promieniu $R = 300$ m, ułożonych w torach o prędkości 120 km/h na podrozjazdnicach drewnianych, uzyskano następujące parametry wymiaru d_l : $\bar{d} = 1438,2$, $S_d = 3,89$, $d_{\min} = 1432$ i $d_{\max} = 1438$ mm. Ograniczeniem górnym jest, wg przyjętej zasady, $d_g = 1438,2 + 2 \cdot 3,89 \approx 1446,0$ mm. Jako wartości referencyjne przyjęto $W_r = 0,1 \text{ km}^2/\text{h}^2$ oraz $k_r = 8$ mm, co odpowiada obecnie obowiązującym odchyłkom -3 i $+5$ mm. Do serii obliczeń

³ W pracy [6] wykazano, że graniczne zużycie szyn w obserwowanych granicach ok. 30 mm nie jest ograniczone utratą nośności nawierzchni ani kątem nachylenia 55° warunkującym bezpieczną jazdę.

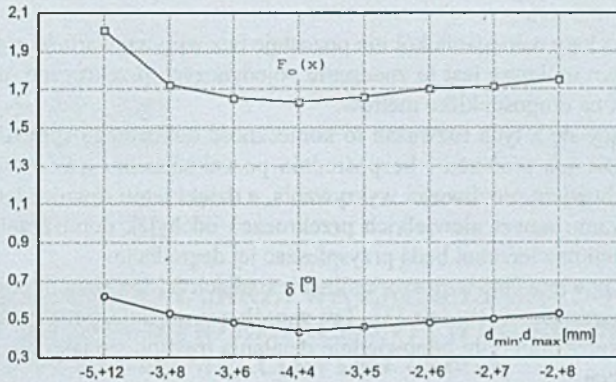
streszczonych w referacie przyjęto $t = 1420$ mm, a więc zestawy ze zużytymi obrzeżami o 5 mm, odległość między śladami obrzeży $w = 2500$ mm i nominalną szerokość toru 1435mm^4 .



Rys. 9. Schemat blokowy optymalizacji odchyłek szerokości w torze zwrotnym rozjazdu
 Fig. 9. Block-diagram for optimisation of gauge tolerances in deflecting track of turnout

Na rysunku 10 przedstawiono obliczone kąty nabicganania oraz wartość funkcji celu przy kilku rozpatrywanych odchyłkach wymiaru d .

⁴ Jest to jedna z kilkunastu przeprowadzonych serii obliczeń.



Rys. 10. Kąty nabiegania oraz funkcja celu odchyłek wymiaru d_l w torze zwrotnym rozjazdu $R = 300$, 1:9

Fig. 10. Wheel attack angle and function of criterion for gauge tolerances in deflecting track of turnout with radius 300 m and frog number 1/9

Minimum funkcji celu przypada na odchyłki ± 4 mm. Z pomiarów wynika, że tak małe odchyłki ujemne spotyka się rzadko. Uwzględniając niewielką wypukłość krzywej charakteryzującej funkcję celu oraz małe różnice między kątami nabiegania, jako odchyłki dopuszczalne dla tej grupy rozjazdów zaproponowano -3 , $+6$ mm, tj. przypadek nieznacznie odbiegający od minimum lokalnego.

4. WNIOSKI

Przeprowadzone rozważania wskazują, że odchyłki szerokości w torach zwrotnych rozjazdów mogą znacząco wpływać na rozwój ich degradacji. Szybko postępujące zużycie boczne szyn w rozjazdach, na których ograniczono prędkość w torach zwrotnych i w których przy tym ograniczeniu siły poprzeczne są stosunkowo niewielkie, zależy w dużej mierze od kątów nabiegania, te zaś od wymiarów szerokości. Ustawienie wózków wagonów odpowiada w tych warunkach schematowi pokazanemu na rysunku 7, przy którym kąty nabiegania rosną. O zwiększonych oporach ruchu przy takim ustawieniu wózków świadczy często charakterystyczny hałas generowany przy jeździe po torach zwrotnych rozjazdów o promieniach 190 m. Kąty nabiegania przy takim ustawieniu wózków będą tym większe, im większe jest poszerzenie toru i im większe są zużycia obrzeży kół, czyli im mniejszy jest wymiar t . Z tego właśnie powodu szkodliwe są nadmierne poszerzenia torów zwrotnych. Obecnie do rzadkości należą wagony trzyosiowe o dużym rozstawie osi, wymagające niegdyś wprowadzania znacznych poszerzeń toru, które miały chronić szyny przed zmianą pochylenia poprzecznego („rozpychania toru”). Wbrew więc spotykanym jeszcze niekiedy poglądom, że duża szerokość toru zwrotnego zmniejsza degradację nawierzchni, zużycie szyn i uszkodzenia podrozjazdnic drewnianych przy szerokości nadmiernej będą rosły.

Warto nadmienić, że zwiększenie bocznego zużycia szyn po wprowadzeniu ograniczenia prędkości odnotowano również na innych kolejach, np. na jednym z odcinków linii kolejowej w Rosji przyspieszenie niezrównoważone spadło do $-0,61$ m/s², co spowodowało wzrost zużycia do 2 mm na miesiąc, podczas gdy poprzednio wynosiło ono $0,6 \div 1,0$ mm [4]. Obserwa-

cje te doprowadziły do zalecenia, aby przy ruchu pociągów towarowych nie dopuszczać do przyspieszeń mniejszych niż $-0,3 \text{ m/s}^2$.

Z analizy wynika też, że na kąty nabeigania kół nie pozostaje bez wpływu wartość gradientów szerokości toru, przy czym mniejsze jest tu znaczenie pojedynczych przekroczeń, niż takich, które mają ten sam znak na długości kilku metrów.

Ogólny wniosek nasuwający się z tych rozważań to konieczność dokładnego sprawdzania wymiarów rozjazdów w czasie ich montażu i bezpośrednio po zakończeniu robót. Obecna technika pomiarowa stwarza bowiem możliwości wykrywania, a dzięki temu również łatwiejszego zapobiegania powstawaniu nawet niewielkich przekroczeń odchyłek dopuszczalnych, które w późniejszej eksploatacji nawierzchni będą przyspieszać jej degradację.

Sprawdzanie dokładności nawierzchni w poszczególnych stadiach jej budowy odpowiada procesowemu podejściu do zarządzania jakością [3]. Ten sposób zarządzania zakłada, że pożądane wyniki są osiągnięte skuteczniej, gdy odpowiednio działania traktuje się jako elementy dynamicznego łańcucha zdarzeń.

Literatura

1. Bałuch H.: Method of the optimum design of the crossing arrangement. Rail International, 1970, No. 9.
2. Bałuch M.: Kinematics simulation as method of determining deviations of switch blade position in turnouts. Archives of Civil Engineering 1998, No. 3.
3. Byzia T.: Zarządzanie jakością. Informatyka 1998, nr 9.
4. Kosmin A.V.: Ob ustanovlenii vozvyšenija narużnogo relsa. Transportnoe Stroitelstvo 1998, nr 2.
5. Markine V. and oth.: Modelling and optimisation of an embedded rail structure. Rail International 2000, No. 7/8.
6. Metody diagnostyczne zmniejszające koszty utrzymania dróg kolejowych. Projekt badawczy KBN Nr 9T12C 03019 wykonywany pod kier. M. Bałuch, Warszawa 2003.

Abstract

Due to lack of sufficient quantity of track repair and track renewal over last several years deterioration of infrastructure on Polish railway network is relative high. In order to ensure reliability of infrastructure several improvements are necessary. One of them there is increasing durability of turnouts. Durability of deflecting tracks in turnouts depends, between others, on magnitude of gauge tolerances. This paper presents the new method for optimisation of the tolerances. To this end two parameters were taken into consideration – wheel attack angle and difference between maximum and minimum track gauge. The proposed method enable viewing and managing several combination of tolerances. The first step toward correction of gauge tolerances in turnout is collection of a set of measurement that will document the current condition of the turnouts. For the purpose of this paper it is necessary to be able to see how much various real gauge differ from nominal values.