

Maria BAŁUCH

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Warszawa

ODCHYLEKI W ROZJAZDACH W PŁASZCZYŹNIE PIONOWEJ

Streszczenie. Referat przedstawia pomiary przeprowadzone na różnych rozjazdach w celu określenia ich odchyłek w płaszczyźnie pionowej. Celem tych badań było przeprowadzenie eksperymentalnych studiów nad określeniem odchyłek dopuszczalnych nierówności pionowych, wchrowatości i różnic wysokości toków szynowych. Przedstawiono przykłady pomierzonych rozjazdów oraz propozycje nowych geometrycznych odchyłek dopuszczalnych.

DEVIATIONS OF TURNOUTS IN VERTICAL PLANE

Summary. This paper describes the measurements conducted on several turnouts to study their vertical deviations. The purpose of this research is to conduct experimental studies on developing permissible deviation in longitudinal profiles, twist and level crossing. The results of the measurements are presented together with proposals of new geometrical tolerances.

1. Wstęp

Stopień degradacji rozjazdów w Polsce jest duży. Wynika to z dwóch przyczyn – ogólnego zaniedbania utrzymania i napraw infrastruktury oraz z naturalnego szybszego narastania odkształceń rozjazdów w porównaniu z odkształceniami torów. Utrzymanie torów i rozjazdów na jednakowym poziomie wymaga wielokrotnie większych nakładów na utrzymanie rozjazdów niż utrzymanie porównywalnej długości torów. I tak np. według [2] średni koszt utrzymania jednego rozjazdu jest równy kosztom utrzymania 330 m toru, a utrzymanie rozjazdów pochłania 25% wszystkich nakładów przeznaczonych na utrzymanie i wymianę całej infrastruktury.

Odkształcenia rozjazdów występują najczęściej w płaszczyźnie pionowej. Deformacje poziome w rozjeździe starannie zmontowanym i ułożonym są rzadsze. Mimo to większość badań nad odchyłkami rozjazdów dotyczy płaszczyzny poziomej. Dobór odchyłek dopuszczalnych jest zadaniem niełatwym i stanowi zawsze problem nie tylko techniczny. Starając się o wprowadzenie granicznych wymiarów zapewniających spokojność jazdy nie można bowiem pominąć zagadnień technologicznych, a pośrednio również ekonomicznych.

2. Odchyłki dopuszczalne nierówności pionowych

Z dostępnych informacji wynika, że na wielu kolejach nie rozróżnia się norm utrzymania torów i rozjazdów w płaszczyźnie pionowej. I tak np. w instrukcji kolei rosyjskich [1] zapisano, że normy budowy i utrzymania rozjazdów są takie same jak na przylegających odcinkach torów. Wpływ na takie ujednoczenie odchyłek, mimo różnic w konstrukcji normalnej nawierzchni i rozjazdów, wywiera niewątpliwie brak łatwych w zastosowaniu i dokładnych metod pomiaru nierówności pionowych w rozjazdach. Zastosowanie pojazdów pomiarowych i skala ich wykresów nie ułatwia powiązań uzyskiwanych wychyleń z konkretnymi przekrojami rozjazdów, niwelacja zaś jest techniką wymagającą zbyt wiele czasu w porównaniu z czasem, jaki można poświęcić na badania techniczne rozjazdów. Stan ten powinien ulegać poprawie w miarę zwiększania liczby eksploatowanych toromierzy elektronicznych, zarówno wózkowych jak i ręcznych, wyposażonych w odpowiednie przystawki do pomiaru kształtu toków szynowych.

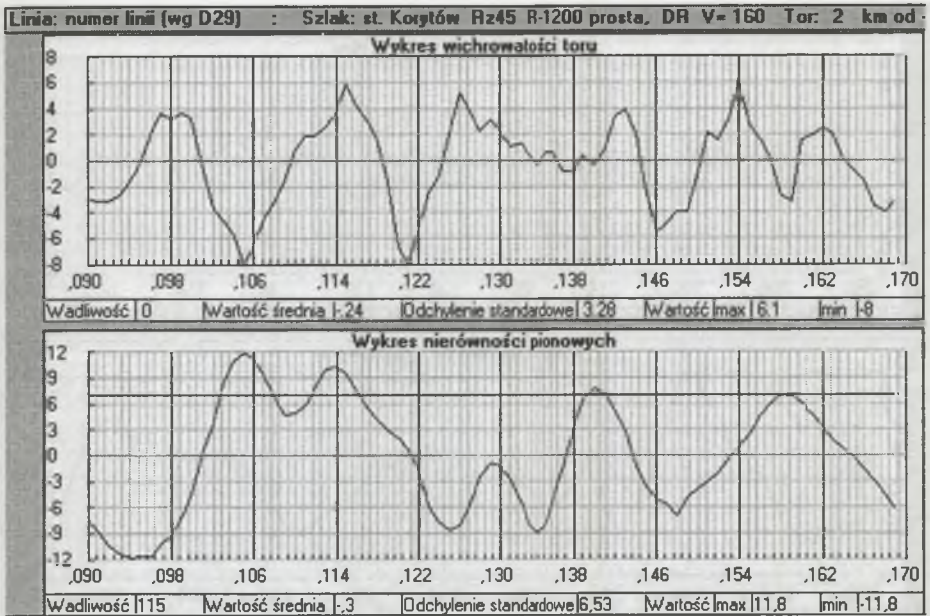
W tych okolicznościach można wprowadzić jedynie zalecenia sprawdzania nierówności pionowych w rozjazdach, ograniczonych do tych przypadków, w których są one mierzone toromierzami elektronicznymi.

Wyniki tych pomiarów nie poddają się jednak łatwo interpretacji, ponieważ – w odróżnieniu od torów – uzyskiwane na nich odchylenia standardowe, a zatem miary dobrze charakteryzujące nierówności, są z reguły bardzo duże. Jako przykład można tu przytoczyć pomiary rozjazdów UIC 60-1200-1:18,5 na CMK, w których odchylenia standardowe nierówności pionowych wahały się od 5 do 6,5 mm (rys. 1 ÷ 3). Taka wartość odchylenia standardowych w torach oznaczałaby ich bardzo zły stan, na rozjazdach natomiast są to przypadki częste.

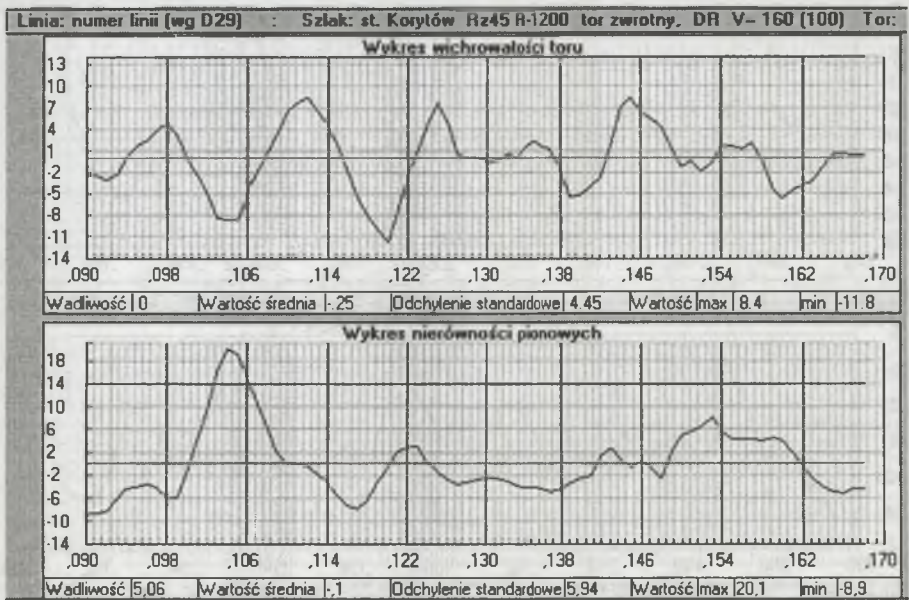
W zobrazowaniu stanu rozjazdów w płaszczyźnie pionowej występuje więcej osobliwości. Często spotykaną cechą wykresów ilustrujących nierówności pionowe na rozjazdach są garby w pobliżu ostrza iglic. Można je zauważyć również w tych przypadkach, w których występują – rzadko spotykane – mniejsze wartości odchylenia standardowych (rys.4).

Spostrzeżenia te nasuwają wątpliwość, którą trzeba będzie poddać sprawdzeniu, a mianowicie – w jakim stopniu na te charakterystyczne cechy obrazowania stanu rozjazdu wpływa sama technika pomiaru.

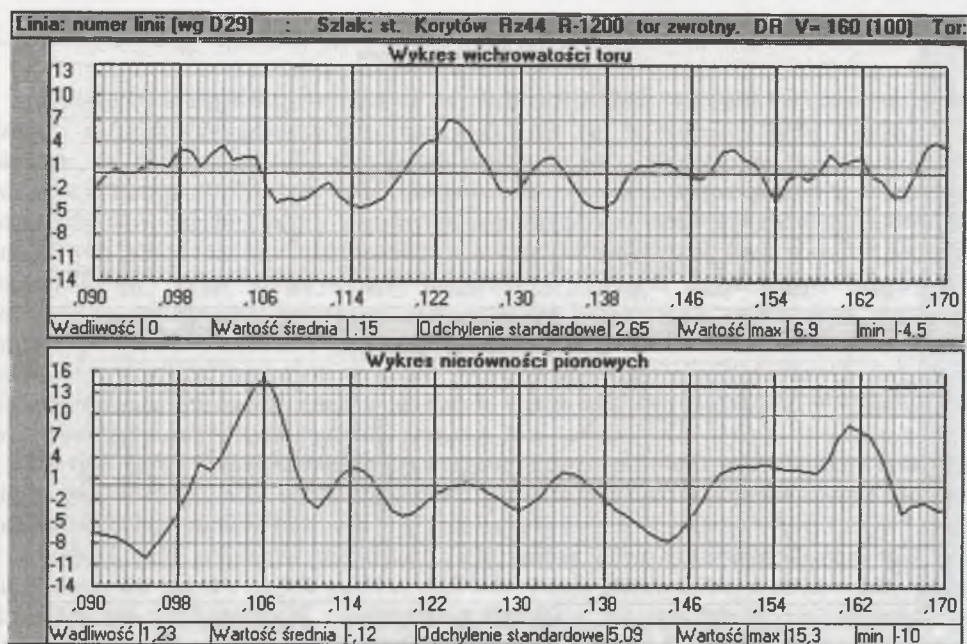
Z obserwacji wynika też dość zróżnicowany stan torów zasadniczych i zwrotnych tych samych rozjazdów. Przykładem może tu być rozjazd o promieniu $R = 300$ m eksploatowany przy prędkości 100 km/h, w którym nierówności toru zwrotnego charakteryzuje odchylenie standardowe 8,55 mm (rys.5), toru zaś zasadniczego – 3,13 mm (rys. 6).



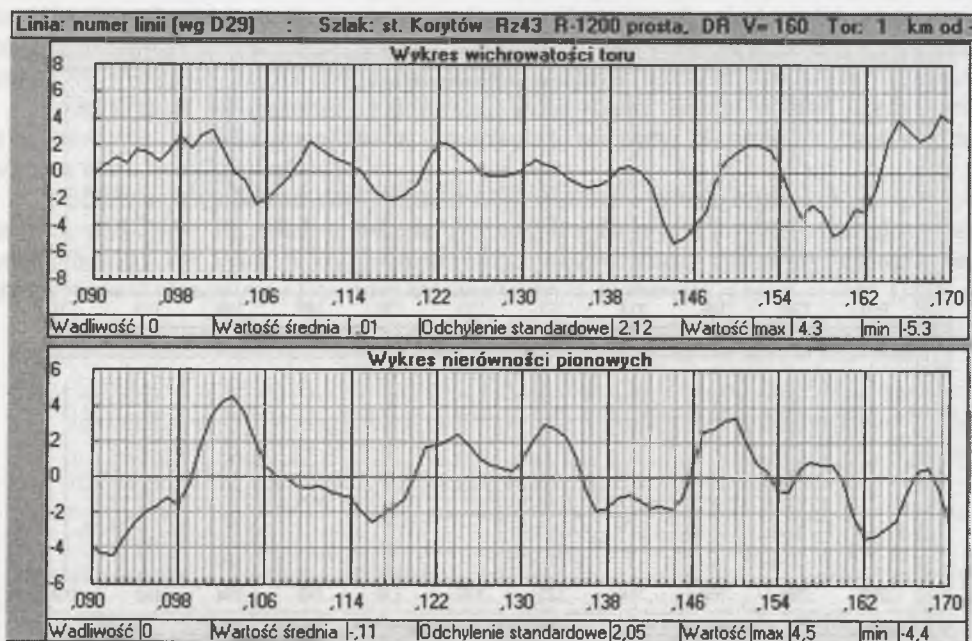
Rys.1. Wykres wichrowalności i nierówności pionowych toru zasadniczego w rozjeździe nr 45 na stacji K; styk przedglicowy każdego rozjazdu jest umiejscowiony na odciętej 0,100
 Fig.1. Diagram of twist and vertical profile of the straight track in turnout No. 45 at station K; beginning of every turnout is located at point 0,100



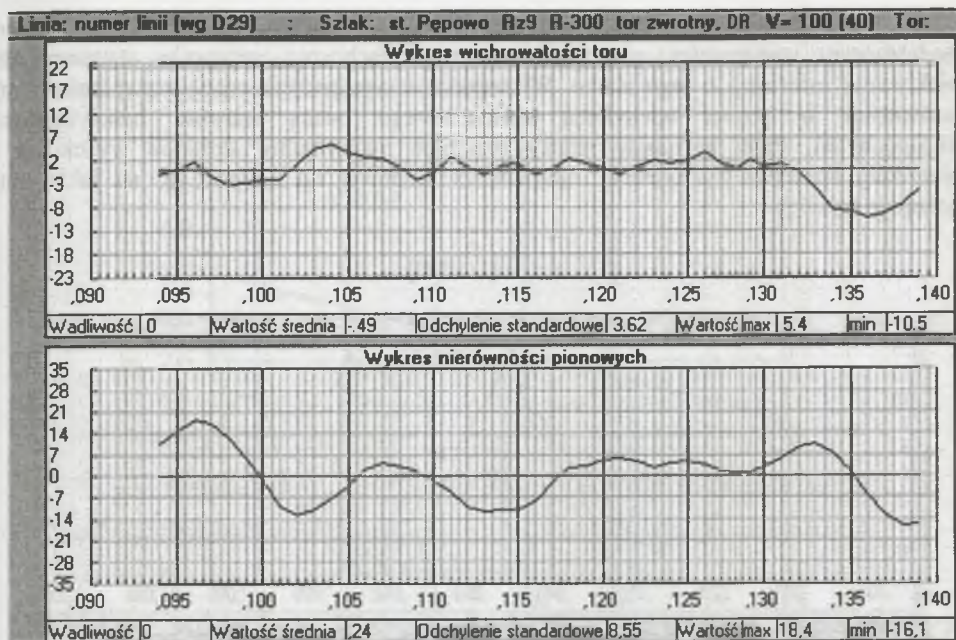
Rys.2. Wykres wichrowalności i nierówności pionowych toru zwrotnego w rozjeździe nr 45 na stacji K
 Fig. 2. Diagram of twist and vertical profile of the diverging track in turnout No. 45 at station K



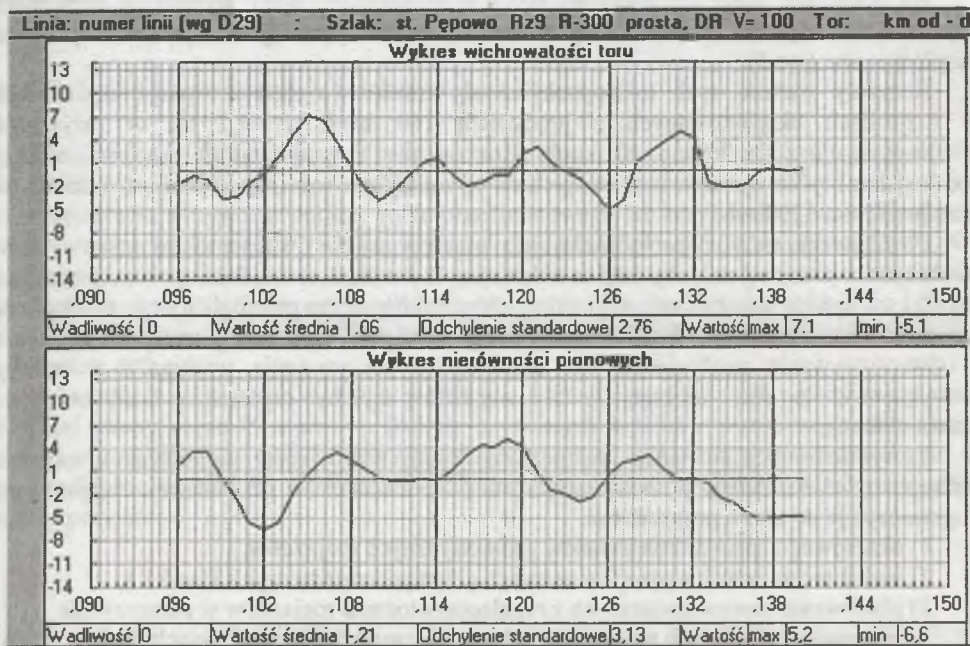
Rys.3. Wykres wichrowatości i nierówności pionowych toru zrotnego w rozjeździe nr 44 na stacji K
 Fig.3. Diagram of twist and vertical profile of the diverging track in turnout No. 44 at station K



Rys.4. Małe odchylenie nierówności pionowych w rozjeździe nr 43 na stacji K
 Fig.4. Small vertical deviations of the turnout No. 43 at station K



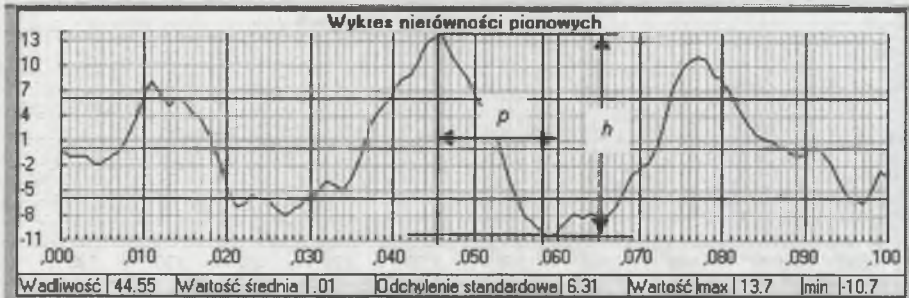
Rys.5. Wichrowatość i nierówności pionowe na torze zrotnym rozjazdu nr 9 na stacji P
 Fig.5. Twist and longitudinal profile of the diverging track in turnout No. 9 at station P



Rys.6. Wichrowatość i nierówności pionowe na torze zasadniczym rozjazdu nr 9 na stacji P
 Fig.6. Diagram of twist and vertical profile of the straight track in turnout No. 9 at station P

Z przedstawionych okoliczności wynika, że posługiwanie się odchyleniem standardowym nierówności pionowych w rozjazdach nie zapewnia wystarczająco obiektywnej informacji o jego stanie. W związku z tym podjęto próbę zastąpienia miary nierówności w postaci odchylenia standardowego oceną wartości maksymalnych mikropochyleń. Przez tę nazwę należy rozumieć maksymalny stosunek wysokości h najbardziej stromeego wychylenia nierówności pionowej do długości p , na jakiej ono występuje (rys.7.).

$$i = \frac{h}{p} [1/1000]$$



Rys.7. Zasada określania mikropochyleń
Fig.7. Calculation principle of the macro-inclinations

Na podstawie oceny tak zdefiniowanych mikropochyleń w 27 wybranych rozjazdach uzyskano dość wyraźną zależność między nimi a prędkością pociągów, z jaką te rozjazdy są eksploatowane (rys.8).

Rozrzuty wartości tych mikropochyleń są stosunkowo duże i wahają się od 1‰ w rozjazdach eksploatowanych z prędkością 160 km/h do 4,7 ‰ w rozjazdach przejeżdżanych z prędkością 40 km/h. Rozrzut nie dotyczy jednak wartości między prędkościami tylko wyników odniesionych do tej samej prędkości, np. wahań od 1 do 3,8 ‰ przy prędkości 120 km/h.

Posługiwanie się mikropochyleniami jako miarą oceny nierówności toków szynowych w płaszczyźnie pionowej miałoby istotną zaletę, jest to bowiem cecha dobrze charakteryzująca największe krótkie odkształcenia szyn od strefy w pobliżu styku przedglicowego do strefy za krzyżownicą rozjazdu. Wadą tego sposobu, przy obecnej technice pomiaru i odwzorowywania nierówności, jest konieczność odczytywania wymiarów h oraz p z wykresów, co przy większej liczbie rozjazdów byłoby czynnością dość uciążliwą i pracochłonną.

Z wymienionych powodów zastosowanie oceny nierówności pionowych z użyciem mikropochyleń należałoby potraktować jedynie jako zalecenie, a nie warunek obligatoryjny i ograniczyć je do trzech przypadków:

- 1) okresowego sprawdzania układów geometrycznych rozjazdów,
- 2) badań technicznych rozjazdów w torach głównych zasadniczych klas 0 i 1,
- 3) planowania napraw związanych z regulacją położenia rozjazdów w płaszczyźnie pionowej znajdujących się w torach głównych zasadniczych i głównych dodatkowych.

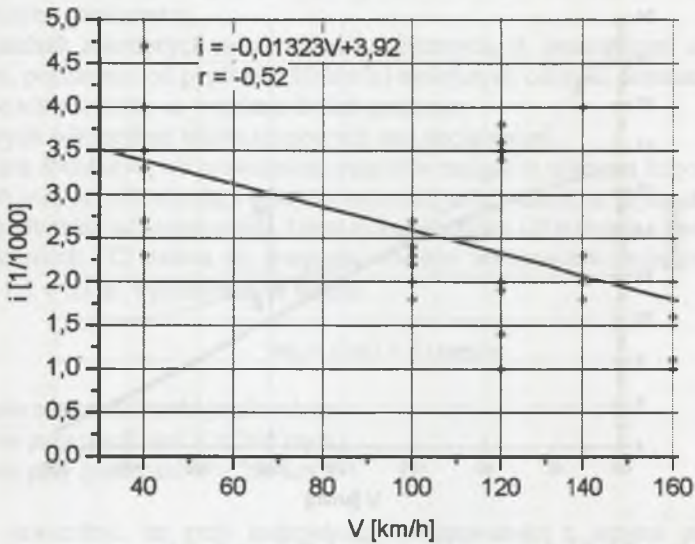
Wartościami mikropochyleń wskazującymi na celowość regulacji położenia toków szynowych powinny być przy prędkościach:

$$V < 100 \text{ km/h: } i = 4 [1/1000]$$

$$100 \leq V < 140 \text{ km/h: } i = 3 [1/1000]$$

$$V \geq 140 \text{ km/h: } i = 2 \text{ [1/1000]}$$

Obecne niedogodności związane z oceną nierówności pionowych można by zmniejszyć rozszerzając oprogramowanie systemu SOHRON.



Rys.8. Wartości mikropochyleń nierówności pionowych rozjazdów eksploatowanych z różnymi prędkościami maksymalnymi

Fig.8. Micro-inclination values at turnouts operated with various speed of trans

3. Odchyłki dopuszczalne wchrowatości toru

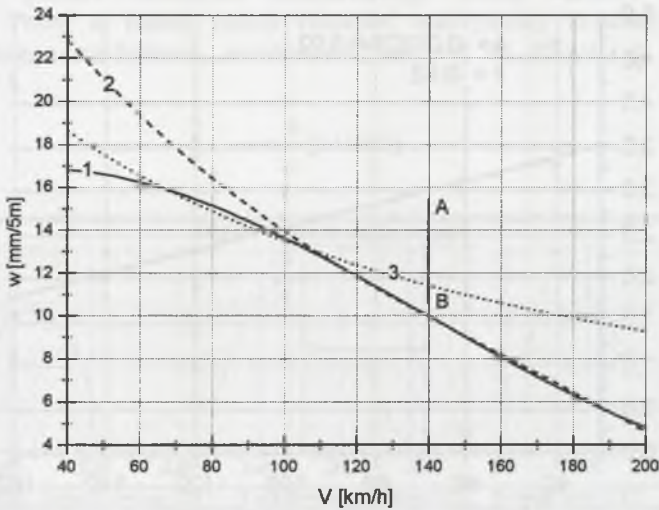
Analizując wchrowatość pomierzonych rozjazdów można wyciągnąć wniosek podobny do wniosku wyłaniającego się z analizy nierówności pionowych, tj., że wartości maksymalne są umiejscowione często w pobliżu styku przedglicowego lub krzyżownicy. Nie stwierdzono żadnej zależności między wchrowatością przedstawioną na wykresach SOHRONA a prędkością, przy jakiej te rozjazdy są eksploatowane. Maksymalną wartość wchrowatości w przedziale $6 + 12 \text{ mm/5m}$ można więc spotkać zarówno w rozjazdach o promieniu 1200 m eksploatowanych z prędkością 160 km/h (por. rys. 1 i 2), jak i o promieniu 190 m z prędkością 40 km/h.

Ustalając dopuszczalną odchyłkę wchrowatości torów w rozjazdach należy uwzględnić z jednej strony częstość napraw w świetle uzyskanych wyników pomiarów, z drugiej zaś obecne sprawdzone już w wieloletniej praktyce eksploatacyjnej odchyłki wchrowatości w torach. Wychodząc z tych założeń jako projektowane odchyłki wchrowatości w rozjazdach należy przyjąć:

$V \leq 40 \text{ km/h:}$	$w = 17 \text{ mm/5m}$
$40 < V \leq 60 \text{ km/h:}$	$w = 16 \text{ mm/5m}$
$60 < V \leq 80 \text{ km/h:}$	$w = 15 \text{ mm/5m}$
$80 < V \leq 100 \text{ km/h:}$	$w = 14 \text{ mm/5m}$
$100 < V \leq 120 \text{ km/h:}$	$w = 12 \text{ mm/5m}$
$120 < V \leq 140 \text{ km/h:}$	$w = 10 \text{ mm/5m}$
$140 < V \leq 160 \text{ km/h:}$	$w = 8 \text{ mm/5m}$

$$V > 160 \text{ km/h: } w = 5 \text{ mm/5m}$$

Proponowane dopuszczalne odchyłki wichrowatości w rozjazdach przedstawia krzywa 1 na tle krzywej 2 ilustrującej odchyłki dopuszczalne w torach (rys. 9).



Rys.9. Dopuszczalne odchyłki wichrowatości w rozjazdach (propozycja)

Fig.9. Track twist limit in turnouts (proposition)

Krzywe te, wyrażające wichrowatość w mm/5m, są opisane wielomianami stopnia trzeciego, tj.:

- w rozjazdach

$$w_r = 2,741 \cdot 10^{-6} V^3 + 1,14 \cdot 10^{-3} V^2 - 0,227V + 15,91$$

- w torach

$$w_t = 2,336 \cdot 10^{-6} V^3 + 1,14 \cdot 10^{-3} V^2 - 0,227V + 32,09$$

Krzywa 3 przedstawia dopuszczalną wichrowatość w torze stosowaną niegdyś na kolejach niemieckich. Zależność tę, opracowaną w czasach, gdy maksymalna prędkość wynosiła 140 km/h, wyrażoną w promilach opisuje wzór:

$$w = \frac{1}{1,7V + 200}$$

Wyrażając wichrowatość w mm/5m otrzymuje się:

$$w = \frac{5000}{1,7V + 200}$$

Dopuszczalna wichrowatość w rozjazdach położonych w torach głównych zasadniczych, a zatem mierzonych drewną EM 120, powinna być taka sama jak w torze danej klasy. Takie jednakowe traktowanie dopuszczalnej wichrowatości mierzonej w warunkach dynamicznych wynika z trudności napotykaną dość często przy dokładnym umiejscowieniu rozjazdów na wykresie drewny pomiarowej.

W rozjazdach mierzonych w warunkach statycznych, tj. toromierzami elektronicznymi lub ręcznymi, począwszy od prędkości 80 km/h i mniejszych odchyłki dopuszczalne powinny być mniejsze niż w torach, co wynika z dwóch przyczyn:

- 1) dodatkowych odkształceń toków szynowych pod obciążeniem,
- 2) występującą dodatkową wichrowatością wagonów mających odwrotną krzywiznę profilu kół przy przechodzeniu z iglicy na opornicę oraz z dzioba na szynę skrzydłową i odwrotnie. Strzałka odwrotna rzędu 3 mm na bazie wózka 1,8 m stwarza pochylenie 1,7 ‰.

W standardach TCI zaleca się graniczne wartości wichrowatości mierzonej na bazie o długości $l = 1,3 \div 20$ m wyznaczane ze wzoru:

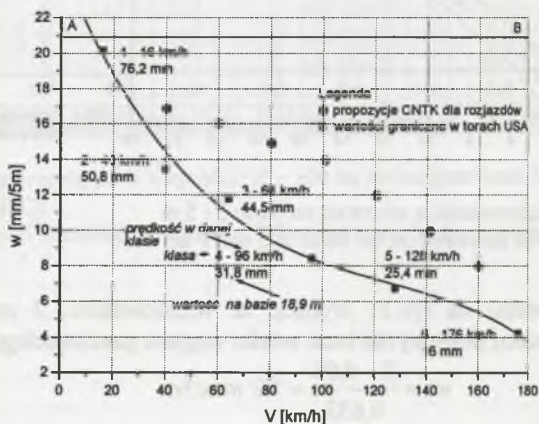
$$wg = (20/l + 3) \text{ mm/m}$$

z ograniczeniem wartości maksymalnych do:

- 7 mm/m przy prędkości $V \leq 200$ km/h,
- 5 mm/m przy prędkości $V > 200$ km/h.

Należy stwierdzić, że przy koincydencji wichrowatości z innymi nierównościami, zwłaszcza poziomymi, przy tak określonych wartościach dopuszczalnych dla taboru o dużej sztywności skrętnej w płaszczyźnie poprzecznej (wagony kryte, cysterny, wagony do przewozu cementu luzem) margines bezpieczeństwa jest niewielki.

Wzór zalecany w standardach TCI był znany już w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku i publikowany m.in. w artykule [3]. O kontrastach między tym wzorem a stosowaną praktyką określania granicznych wymiarów wichrowatości toru może świadczyć zawarta w tym samym artykule tablica odchyłek dopuszczalnych stosowanych na kolejach USA. Na podstawie tejże tablicy został opracowany rys.10, na którym są podane graniczne wymiary wichrowatości obliczanej w USA na bazie 18,9 m dla każdej z sześciu klas toru różniących się prędkością maksymalną.



Rys.10. Porównanie granicznych wymiarów wichrowatości

Fig.10. Comparison of twist limit

Na podstawie tych wartości zostały wyznaczone wymiary graniczne przy bazie 5 m, uzyskane poprzez zastosowanie mnożnika $5/18,9 = 0,265$. Wyniki przedstawiają czarne kwadraciki, a aproksymujący je wielomian ma postać:

$$w_5 = -6,584 \cdot 10^{-6} V + 2,46 \cdot 10^{-3} V^2 - 0,346V + 24,76,$$

przy współczynniku korelacji 0,989.

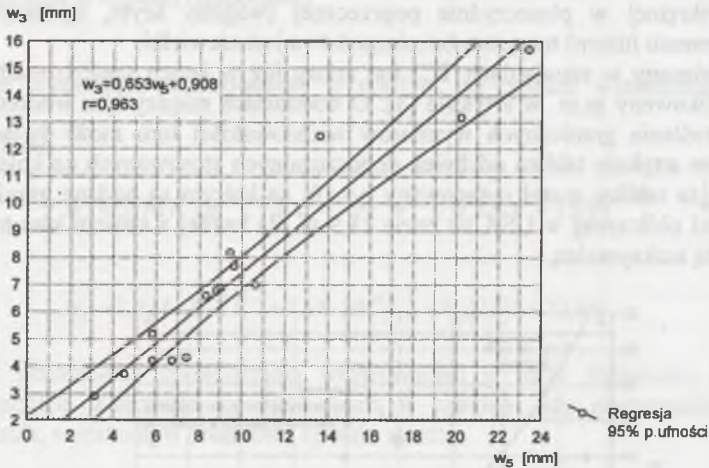
Na tle wartości przyjętych na kolejach USA pokazano propozycje CNTK, które są znacznie łagodniejsze niż graniczne wymiary amerykańskie.

U góry rysunku linią AB oznaczono granicę wichrowatości przy zaleceniu zastosowania dopuszczalnej odchyłki 7 ‰ na bazie 3 m, tj. 21 mm/3m, która przy bazie 5 m wzrosłaby, według tychże zaleceń, do 35 mm w całym rozpatrywanym przedziale prędkości. Różnica zarówno między propozycją CNTK i ostrzejszymi od niej wymiarami na kolejach USA a zaleceniami stosowania wichrowatości 7 ‰ jest więc różną.

Z porównań pomiarów wichrowatości toromierzem elektronicznym zarejestrowanych w systemie SOHRON i odnoszonych do baz 5 m i 3 m wynika, że istnieje między nimi zależność opisana równaniem (rys. 11):

$$w_3 = 0,653w_5 + 0,91,$$

przy współczynniku korelacji 0,96.



Rys.11. Zależność między wichrowatością mierzoną na bazie 3 i 5 m
Fig.11. Relation between twist measured on the basis of 3 and 5 m

Z zależności ilustrowanej na rys.11 wynika, że wichrowatości 3 mm/3m (a więc mierzona na bazie nawet nieco dłuższej niż baza wózka wagonu pasażerskiego) odpowiada:

$$w_5 = \frac{3 - 0,91}{0,653} = 3,2 \text{ mm/5m}$$

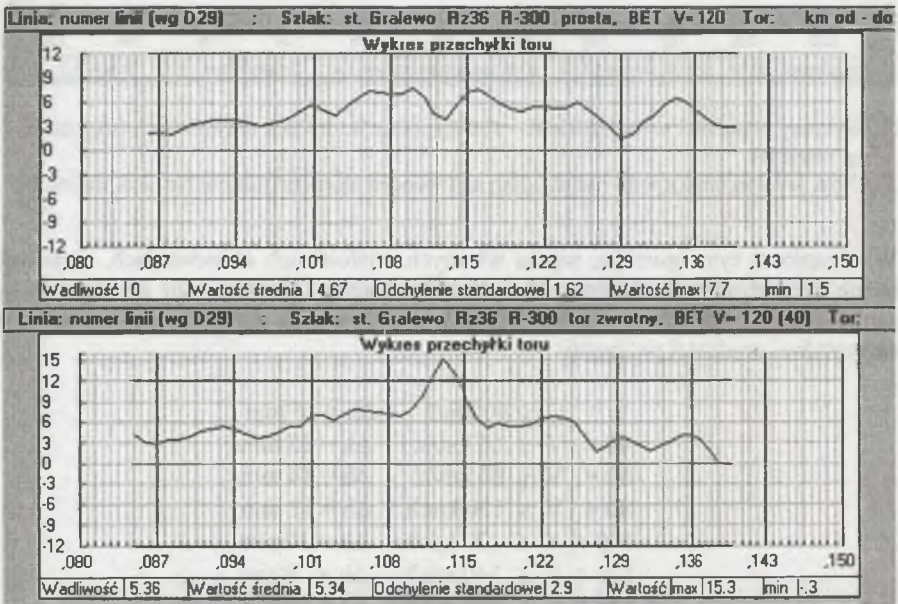
W świetle tych różnic zmniejszenie dopuszczalnych wartości wichrowatości w rozjazdach mierzonych w warunkach statycznych jest całkowicie uzasadnione.

4. Odchyłki dopuszczalne różnic wysokości toków szynowych (przechyłki)

Poważną wadą dotychczasowych odchyłek dopuszczalnych na rozjazdach są zbyt małe tolerancje różnic wysokości toków szynowych (przechyłki). Dotychczasowe odchyłki, tj. ± 5 mm², są masowo przekraczane o kilka mm bez żadnych zauważalnych skutków niekorzystnych. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że przekroczenia występują również w rozjazdach na podrozjazdnicach betonowych. Przykładem może być rozjazd o promieniu 300 m eksploatowany przy prędkości 120 km/h. W torze zasadniczym maksymalna wartość Δh wynosi 7,7 mm, w torze zaś zwrotnym – 15,3 mm (rys. 12).

Jeszcze większe różnice można spotkać w rozjazdach na podrozjazdnicach drewnianych. I tak w rozjeździe o promieniu 300 m eksploatowanym przy prędkości 120 km/h wartość Δh w środkowej części toru zasadniczego wynosi –6,3 mm, w torze zaś zwrotnym różnie od wartości –3 mm w styku przedgiglicowym do –26 mm w styku za krzyżownicą (rys. 13).

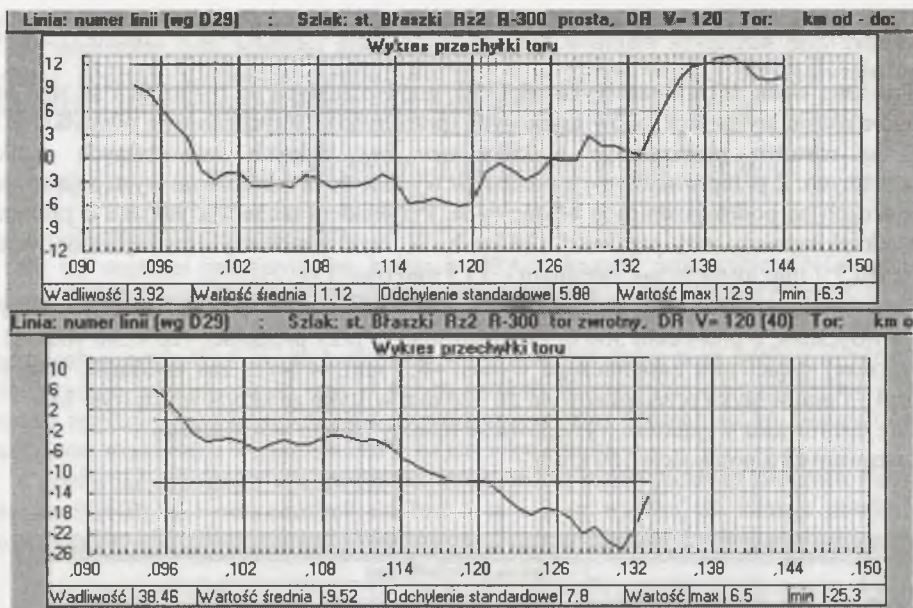
Nie jest również wyjątkiem występowanie różnicy 10 mm w rozjazdach eksploatowanych z prędkością 160 km/h.



Rys.12. Wykresy przechyłki w rozjeździe R – 300 na podrozjazdnicach betonowych (rozjazd nr 36 na stacji G)

Fig.12. Cross level in turnout with radius 300m and concrete sleepers (turnout No. 36 at station G)

² Przy prędkości $V \geq 160$ km/h – +3, -3 mm.



Rys.13. Wykresy przechyłki w rozjeździe R – 300 na podrozjazdnicach drewnianych (rozjazd nr 2 na stacji B)

Fig.13. Cross level in turnout with radius 300m and wooden sleepers (turnout No. 2 at station B)

W związku z tym, opierając się na własnych wieloletnich obserwacjach, wykonanych pomiarach rozjazdów oraz niektórych danych kolei obcych [1], proponuje się wprowadzenie wymiarów granicznych różnic wysokości toków szynowych Δh w rozjazdach, uzależniając je od maksymalnej prędkości pociągów:

$V \leq 40$ km/h:	$\Delta h = 16$ mm
$40 < V \leq 60$ km/h:	$\Delta h = 15$ mm
$60 < V \leq 80$ km/h:	$\Delta h = 14$ mm
$80 < V \leq 100$ km/h:	$\Delta h = 12$ mm
$100 < V \leq 120$ km/h:	$\Delta h = 10$ mm
$120 < V \leq 140$ km/h:	$\Delta h = 8$ mm
$140 < V \leq 160$ km/h:	$\Delta h = 6$ mm
$V > 160$ km/h:	$\Delta h = 4$ mm

Po wprowadzeniu odchyłek projektowanych zakres wymaganych robót związanych z usuwaniem przekroczeń odchyłek dotychczasowych zmaleje o kilkadziesiąt procent. Odchyłki projektowane nie mogą jednak powodować przekroczeń maksymalnej wichrowatości torów w rozjazdach. Konieczność sprawdzania wichrowatości przy projektowanych odchyłkach Δh staje się znacznie ważniejsza niż przy odchyłkach dotychczasowych i tak np. przy teoretycznie możliwym pomiarze w jednym przekroju rozjazdu $\Delta h = 12$ mm i w sąsiednim odległym o 3 m $\Delta h = -12$ mm wichrowatość osiągnęłaby:

$$w = \frac{12 - (-12)}{3} = 8\text{‰},$$

tj. wartość, przy której istnieje już duże prawdopodobieństwo wykolejeń wagonów próżnych o większej wartości skretnej w płaszczyźnie poprzecznej, jak cysterny, wagony kryte lub do przewozu cementu luzem.

Literatura

1. Instrukcja po tekuścemu soderżaniju żeleznodorożnogo puti. Transport, Moskwa 2000
2. Nummelin M.: Modern turnouts for extreme weather condition. Railway Engineering, London 2002
3. Rouse M.R.: Numerical processing of measurement data to meet Federal track standards. Railway Gazette International 1974, No. 9. Streszczenie: Ekspres Informacja Put' i Stroitelstvo Železnych Dorog 1975, nr 6