

PERSPEKTYWY ZMNIEJSZENIA WAD POWIERZCHNIOWYCH SZYN

Henryk Bałuch¹

1. WSTĘP

Szyny stanowią najdroższy składnik dróg kolejowych. Są też tym elementem, którego zawodność wywiera bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego i zakłócenia eksploatacyjne. Bezpośredni związek z bezpieczeństwem mają nie tylko pęknięcia i złamania szyn, lecz również wybożenia torów, w których szyny odgrywają rolę zasadniczą.

W ostatnich latach wykonano wiele badań ukierunkowanych na zwiększenie trwałości i niezawodności szyn. Duże znaczenie miały zwłaszcza badania wykonane w ramach projektu INNOTRACK [11]. Liczne badania wykonano też w USA [4] i w Rosji [9]. Znaczący postęp nastąpił również w technologii łączenia szyn, czego dowodem są m.in. nowoczesne zgrzewarki [7]. Bardzo obiecująco zapowiadają się wyniki badań nad szynami, które staną się odporne na uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe [15].

Wśród wad i uszkodzeń szyn bardzo duże znaczenie mają uszkodzenia powierzchniowe, zwłaszcza zaś uszkodzenia kontaktowo zmęczeniowe. Duże nakłady pociąga też za sobą profilowanie szyn². Ocena perspektyw zmniejszenia tych wad łączy się z pewnymi działaniami praktycznymi, w tym również ze spawalnictwem.

2. WADY KONTAKTOWO-ZMĘCZENIOWE SZYN NA LINIACH PKP PLK S.A.

Od kilkunastu lat wady na powierzchni tocznej szyn wymagają coraz większych nakładów na ich usuwanie. Coraz więcej doświadczeń wykazuje też, że zasadniczym powodem takich wad jak rysy i miejscowe zagłębienia z pęknięciami na powierzchni są nowoczesne pojazdy szynowe, zwłaszcza zaś lokomotywy o dużej mocy oraz zawieszenie wagonów o większej sztywności. Sztywne zawieszenie pojazdów silnikowych powoduje ponad dwukrotnie większą degradację nawierzchni w porównaniu z zawieszeniem elastycznym [13]. Znaczący udział w powstawaniu wad powierzchniowych ma też technologia spawania i tak wg danych holenderskich 10 ÷ 13 % tych wad powstaje wskutek odkształceń plastycznych w spoinach (rys. 1).

Ze statystyk wynika, że najczęstszą wadą kontaktowo-zmęczeniową powodującą najwięcej złamań i pęknięć szyn w Polsce jest wada squat mająca numer 227, którą w języku polskim należałoby nazywać - od jej charakterystycznych kształtów - wadą podkowiastą. Stanowi ona trzecią pozycję wśród wszystkich wad powodujących pęknięcia szyn. Pęknięcia te powstają wskutek długotrwałej kumulacji odkształceń plastycznych w wierzchniej warstwie główki szyny. Rozwijają się one początkowo pod małym kątem, a po osiągnięciu głębokości 3÷5 mm, propagują w głąb szyny [16,17].

Odnotowuje się zastanawiająco mało pęknięć szyn oznaczonych numerem 2223, tj. pochodzących od rys (*head check*). Nie można tu wykluczyć pomyłek w klasyfikowaniu przy-

¹ Prof. dr hab. inż., Instytut Kolejnictwa

² Pod pojęciem profilowania należy rozumieć wszystkie technologie usuwania cienkiej warstwy materiału z powierzchni główek szyn, tj. szlifowanie, struganie, frezowanie i inne możliwe kombinacje, w wyniku których szyny uzyskują zakładany kształt.

czyn pęknięć szyn, szczególnie, gdy na tym samym odcinku nakładają się na siebie dwie wady (rys. 2).



Rys. 1. Zagłębienie na spoinie termitowej 2 mm i jego skutek w postaci wychłapków (fot. ze zbiorów IK)



Rys. 2. Faliste zużycie szyn w połączeniu z rysami (fot. G. Szeptycki)

Do trudno klasyfikowanych wad należą pojawiające się ostatnio odszczepienia materiału na główkach szyn o dość regularnych kształtach i długościach $50 \div 80$ mm (rys. 3). Obserwując powierzchnię toczną na odcinkach przyległych do tych odszczepień, można dostrzec w takich samych odległościach, jaśniejsze zabarwienia powierzchni tocznej, co może sugerować, że powodem uszkodzeń są poziomo przebiegające pęknięcia, rozwijające się w warstwie martenzytu. Charakterystyczną cechą tych wad jest ich długość, dochodząca nawet do 2 m (rys. 4). Wady te, ze względu na ich głębokość i rozległość są wadami nienaprawialnymi.

Oprócz wad kontaktowo zmęczeniowych, opisanych już szczegółowo w licznych pracach np. [1] i w monografii [2], częstym przypadkiem na wielu liniach w kolejowych w Polsce, zwłaszcza o przewadze ruchu towarowego, są wybuxowania na powierzchni szyn, które w

wyjątkowych wypadkach dochodzą nawet do głębokości 18 mm (rys. 5). Przykłady innych wad i ich skutków można znaleźć w referacie [3].



Rys. 3. Odszczepienia głębokości $4 \div 5$ mm (fot. J. Dyszy)



Rys. 4. Rozciągłość odszczepień na długości 1,88 m (fot. J. Dyszy)

3. MOŻLIWOŚCI ZMNIEJSZENIA WAD POWIERZCHNIOWYCH SZYN

Istnieją trzy kierunki działań zmierzających do zmniejszenia, a w dalszej perspektywie nawet do prawie całkowitego wyeliminowania wad stanowiących obecnie duży problem dla wielu kolei. Są to:

1. Zmiany konstrukcyjno-eksploatacyjne.
2. Wprowadzenie nowych stali szynowych.
3. Znaczne zwiększenie zakresu profilowania szyn.
4. Doskonalenie technologii spawalnictwa szyn.



Rys. 5. Wybuksowanie szyny o głębokości 18 mm i długości 370 mm
(fot. D. Sikorski)

3.1. Zmiany konstrukcyjno-eksploatacyjne

Według badań prowadzonych w projekcie Innotrack (*Innovative Track Systems*) realizowanym w latach 2006-2008³ i koordynowanym przez Europejski Związek Kolejnictwa (UIC)⁴ [11] uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe szyn można zmniejszyć poprzez:

- 1) zmniejszenie sztywności pierwszego stopnia zawieszenia wózków pojazdów szynowych,
- 2) zwiększenie niedomiaru przechyłki w łukach,
- 3) zmniejszenie masy pojazdów,
- 4) odpowiednie zarządzanie smarowaniem szyn i kół,
- 5) łączne rozpatrywanie i dobieranie profili szyn i kół.

Dwa spośród wymienionych warunków wymagają krótkiego wyjaśnienia. Zwiększenie niedoboru przechyłki oznacza przeniesienie większego nacisku kół na tok zewnętrzny. Poślizgi przeniosą się wówczas na koła, na których wystąpi mniejsze tarcie, czyli na koła toczące się po toku wewnętrznym. Jednocześnie większy nacisk na tok zewnętrzny będzie powodował szybsze ścieranie warstwy stali, w której mogłyby się rozwijać rysy.

Podobne znaczenie ma zarządzanie smarowaniem – chodzi tu o zapewnienie takiego smarowania, przy którym nie dojdzie do powstania wad kontaktowo-zmęczeniowych. Dążenie do minimalizacji zużycia bocznego szyn może doprowadzić, wskutek powolnego ścierania stali, do pojawienia się rys i shellingów. Smarowanie szyn wykonanych ze stali twardej, przy dużych naciskach osi, prowadzi do szybszego rozwoju uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych.

Wprowadzenie na sieć kolejową w Polsce lokomotyw o dużej mocy może jeszcze bardziej przyspieszyć narastanie wad powierzchniowych, obserwowanych już na wielu odcinkach linii kolejowych.

³ W projekcie tym wzięło udział 38 organizacji z 15 krajów. Opracowano 141 raportów, z których 15 miało charakter zaleceń praktycznych. Badania były współfinansowane przez UE - przy kosztach całkowitych 15,6 mln Euro, 10 mln Euro pokryła UE.

3.2. Wprowadzenie nowych gatunków stali szynowych

Rozwój w budowie nawierzchni kolejowej, zwłaszcza na liniach przeznaczonych do dużych prędkości pociągów będzie polegał na wykorzystaniu, w coraz większym stopniu, osiągnięć inżynierii materiałowej. W odniesieniu do szyn poszukiwania będą zmierzać do wyprodukowania ich ze stali, w których nie będą się rozwijać uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe, szczególnie zaś rysy.

Duże nadzieje wiąże się z szynami wykonanymi ze stali bainitycznej, w których w ogóle nie wystąpiły uszkodzenia zmęczeniowe w przeciwieństwie do innych gatunków stali [10]. Zalety stali bainitycznej są omawiane również w pracy [5]. Autorzy tej pracy, związani z jedną z dużych wytwórni szyn, podają wiele informacji o wielokrotnym wzroście odporności szyn wykonanych z gatunków stali twardej na uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe i rozwój zużycia falistego. Można spotkać jednak opinie, że samo zwiększanie twardości stali szynowej nie jest środkiem zmniejszającym występowanie uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych. Przeczą temu jednak wyniki badań prowadzonych w ciągu 5 lat na poligonie FAST w Pueblo [8], gdzie po całkowitym obciążeniu 560 Tg, zarówno w szynach szlifowanych, jak i nie szlifowanych nie stwierdzono pęknięć zmęczeniowych. Szyny te były jednak wykonane ze stali o wysokiej jakości.

We wspomnianym już projekcie Innotrack dużo uwagi poświęcono również stalom szynowym. Wykorzystano przy tym wyniki obserwacji około 200 odcinków doświadczalnych pod kątem zużycia szyn i wad kontaktowo-zmęczeniowych. Obserwacje te, prowadzone na niespotykaną dotychczas skalę, wykazały, że w łukach o promieniach do 700 m głównym problemem jest boczne zużycie szyn, natomiast przy większych promieniach - do 5000 m – problemem tym są rysy (*head check*).

Biorąc pod uwagę oba zjawiska zalecono, aby przy natężeniu przewozów ponad 20 Tg/rok, w łukach o promieniach mniejszych niż 5000 m stosować szyny obrobione cieplnie o strukturze perlitycznej. Przy natężeniu do 10 Tg/rok zalecenie to odnosi się do łuków o promieniach mniejszych niż 1000 m, a przy natężeniu 10 ÷ 20 Tg/rok – do łuków o promieniach 1000 ÷ 2000 m [6].

Gatunek stali szynowej ma znaczący wpływ na częstość pęknięcia szyn i tak np. pęknięcia szyn wykonanych ze stali węglowo-manganowej (C: 0,60 ÷ 0,82, Mn: 0,64 ÷ 1,25) o twardości 260 ÷ 300 HB, wytrzymałości na rozciąganie 880 MPa i wydłużeniu 10 % są trzykrotnie częstsze niż w stali poddanej obróbce cieplnej gatunku R350HT (twardość 350 ÷ 390 HB, wytrzymałość na rozciąganie 1175 MPa, wydłużenie 9 %). Po przeniesieniu obciążenia ok. 100 Tg głębokość wad w szynach w porównywanych gatunkach stali wynosi odpowiednio 1,3 i 0,4 mm [12].

Interesujące są próby nakładania w toku produkcji na główki szyn materiałów o dużej odporności na uszkodzenia. W technologii Corus nakłada się warstwę grubości 1 ÷ 4 mm, w technologii zaś Duroc wytwarza się warstwę zbliżoną swymi właściwościami do materiałów ceramicznych⁵.

Najnowsze doniesienia dotyczą stali Dobain która ma być odporna na uszkodzenia i znacząco zmniejszyć koszty utrzymania nawierzchni. Używa się przy tym nazwy *pierwsze bezutrzymanio*we szyny na świecie [15]. Eksperymenty na specjalnym stanowisku badawczym wykazały, że w całym cyklu eksploatacji szyn, wykonanych z tej stali zajdzie potrzeba ich dwukrotnego profilowania, podczas gdy szyny walcowane ze stali R260 muszą być profilowane ponad 10 razy.

⁵ Projekt INRA-STAR w 5. Programie Ramowym UE.

3.3. Zwiększenie zakresu profilowania szyn

Na kolejach europejskich nie ma jeszcze jednolitej strategii profilowania szyn [14]. W Niemczech stosuje się pociąg pomiarowy, który przy prędkości 100 km/h określa głębokość rys dzięki technice defektoskopowej połączonej z prądami wirowymi. Od roku 2008 na najbardziej obciążonych liniach, obejmujących ponad 40 % sieci, wprowadzono profilowanie zapobiegawcze w łukach o promieniach 500 ÷ 5000 m. Ścina się przy tym warstwę materiału o grubości 0,5 mm. Częstotliwość profilowania wynosi od 0,5 do 2 lat i zależy od obciążenia. Szynom nadaje się profil 60E2, przy pochyleniu poprzecznym 1 : 40.

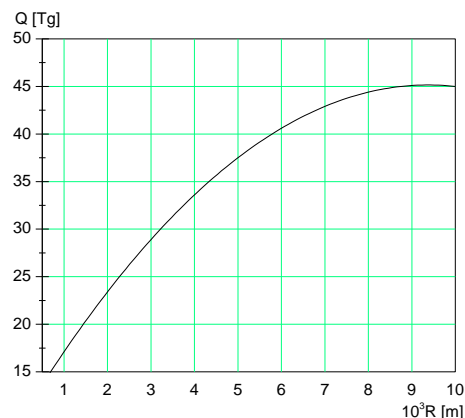
We Francji do roku 2008 stosowano tylko profilowanie korekcyjne. Od tego czasu rozpoczęto profilowanie cykliczne, traktując profilowanie korekcyjne jako wyjątkowe. Profilowanie cykliczne rozpoczęły również od roku 2008 koleje holenderskie. Pierwsze profilowanie jest tam wykonywane w ciągu 6 tygodni od ułożenia szyn, wyjątkowo zaś nie później niż 3 miesiące. Grubość ścinanej warstwy wynosi przy tym nie mniej niż 0,5 mm. Częstotliwość profilowania wynosi 15 Tg w łukach o promieniach do 3000 m, 30 Tg od 3000 m do 9000 m i 45 Tg przy promieniach większych niż 9000 m.

W Anglii profilowanie szyn odbywa się przy użyciu maszyn, które za jednym przejściem, w ciągu jednej nocnej zmiany profilują 32 km toru w łukach lub 96 km toru na prostej. W pierwszej kolejności roboty te wykonuje się w łukach o promieniach do 2500 m i w rozjazdach.

Na tle scharakteryzowanego stanu można oszacować potrzeby profilowania szyn w Polsce. Uwzględniając dyskretne dane kolei holenderskich i niemieckich, dotyczące częstotliwości profilowania Q zależnie od promienia łuku R opracowano wzór

$$Q = 7,5R - 0,4R^2 + 10, \quad (1)$$

którego postać przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Długość cyklu profilowania Q w funkcji promienia łuku (opracowanie własne)

Na podstawie tego wzoru można wyznaczać cykl profilowania zapobiegawczego dla każdego łuku oddzielnie lub też, posługując się tym wzorem lub rysunkiem, oszacować roczne potrzeby profilowania l_r dla pewnego obszaru sieci o długości L_c i średnim natężeniu przewozów q_s . Do tego celu służy wzór

$$l_r = \frac{L_c \cdot q_s}{Q} \quad (2)$$

Do oszacowania rocznych potrzeb cyklicznego szlifowania szyn w Polsce przyjęto, że powinno ono być wykonywane na liniach o łącznej długości $L_c = 9000$ km, na których średnie natężenie przewozów wynosi $q_s = 5,6$ Tg (dane orientacyjne). Przy założeniu cyklicznego profilowania w odstępach obciążenia $Q = 35$ Tg, podstawiając te wartości do wzoru (2) otrzymuje się

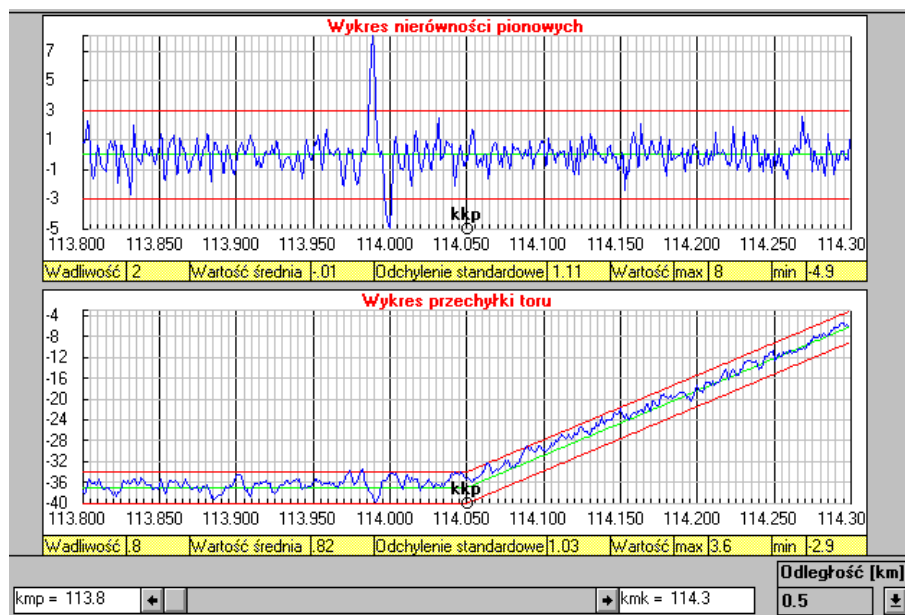
$$L_c = \frac{9000 \cdot 5,6}{35} = 1440 \text{ km}$$

Do czasu całkowitego przejścia na profilowanie cykliczne, na wielu odcinkach linii trzeba będzie wykonać profilowanie korekcyjne. Jego skuteczność odbiega niejednokrotnie od oczekiwań. Nie są usuwane głębiej penetrujące rysy, które pozornie zanikają wskutek zapełnienia pyłem a po kilku dniach ujawniają się. Nie daje się usunąć głębszych wad niż 2 mm.

Z tych więc powodów profilowanie cykliczne powinno być podstawowym profilowaniem w strategii utrzymania nawierzchni na PKP.

3.4. Doskonalenie technologii spawalnictwa szyn

Błędy wymiarowe w procesie łączenia szyn, np. niedokładne obróbki spoin, uwidaczniają się w pomiarach w postaci krótkich nierówności toru (rys. 7). Bez trudu obserwuje się również ich skutki wynikające z dodatkowych oddziaływań dynamicznych (rys. 8).

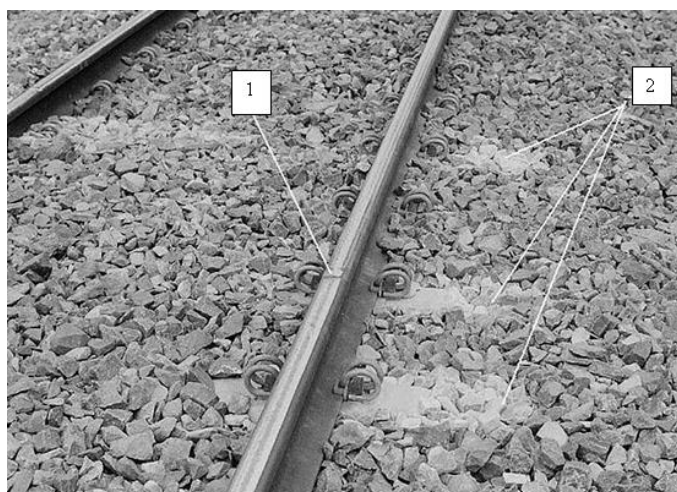


Rys. 7. Duży impuls na wykresie nierówności pionowych w miejscu wadliwego połączenia szyn

W odróżnieniu od niedokładnej obróbki spoin, którą można często stosunkowo łatwo poprawić, nie ma możliwości usunięcia wady polegającej na niedokładnym ustawieniu szyn względem siebie w sensie kątowym. Wada taka uwidacznia się w postaci przesunięć wąskich pasm współpracy koła z szyną (rys. 9). Przesunięcie pasma współpracy o l_p przy promieniu zaokrąglenia główki R jest równoznaczne z obniżeniem koła o wartość z równą (rys. 10)

$$z = \frac{l_p^2}{2R} \quad (3)$$

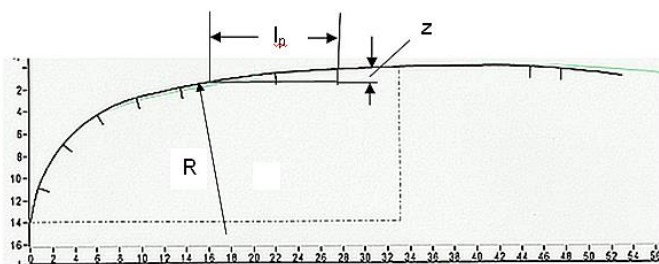
Przy przesunięciu o 25 mm i promieniu główki szyny 300 mm obniżenie wynosi 1,0 mm. Zmiana wysokości następuje na długości ok. 0,1 m. W konkretnym przypadku występuje dodatkowe obniżenie w strefie zgrzeiny o 2 mm.



Rys. 8. Niewłaściwa obróbka spoiny (1) i jej skutek w postaci wytrysków widocznych na powierzchni podkładów (2) (fot. H. Bałuch)



Rys. 9. Niedokładne ustawienie szyny do zgrzewania; widoczne przesunięcia pasm współpracy; nierówność pionowa 2 mm (fot. M. Bałuch)



Rys. 10. Schemat przesunięcia pasm współpracy koła z szyną

4. PODSUMOWANIE

Postęp techniczny w produkcji szyn, zwiększanie zakresu ich profilowania i doskonalenie technologii spawalnictwa będą wpływać na zmniejszanie uszkodzeń szyn, zwłaszcza zaś uszkodzeń kontaktowo zmęczeniowych. Będzie to jednak proces, którego korzystne skutki, w skali całej sieci, dadzą się wyraźnie zauważyć dopiero po wielu latach. Zależać to będzie od wprowadzenia nowej strategii profilowania szyn i znaczącego zwiększenia ich wymian, na tych odcinkach linii, na których stopień degradacji jest tak duży, że nie daje żadnych możliwości ich naprawy.

Stosunkowo łatwiej jest wyeliminować spotykane jeszcze błędy w łączeniu szyn. Ten cel można bowiem osiągnąć głównie poprzez doskonalenie umiejętności zawodowych. Od umiejętności i doświadczenia praktycznego zależy również w znacznym stopniu trafność oceny, kiedy szyna z widocznym uszkodzeniem, powinna być wyjęta z toru. W tym zakresie dużą rolę powinny odegrać odpowiednio przygotowane szkolenia.

LITERATURA

- [1] Badscock P.: *Putting the brakes on squat growth*. International Railway Journal, 2008, No. 8
- [2] Bałuch H., Bałuch M.: *Eksploatacyjne metody zwiększania trwałości rozjazdów kolejowych*. CNTK, Warszawa 2009
- [3] Bałuch H.: *Wady na powierzchni szyn – geneza i możliwości ich usuwania techniką spawalniczą*. IV Ogólnopolska Konferencja N.T. Spawalnictwo Dróg Szynowych – Jakość, Niezawodność, Bezpieczeństwo, 12 – 14 maja 2010, Bochnia
- [4] Ekberg A.: *Cutting the life-cycle cost of track*. Railway Gazette International 2010, No. 1
- [5] Girsch G., Frank N.: *Harder rails prove their worth*. International Railway Journal 2008, No. 12
- [6] Girsch G., Jörg A.: *Heat-treated rails – technology and economic benefits*. Rail Technology Review 2012, No. 1
- [7] Lichtberger B.: *Meeting European Standard EN-14587-2: the Plasser & Theuer fully automatic APT 1500R mobile flash-butt welding robot with integrated rail pulling device*. Rail Engineering International Edition 2012, No. 4
- [8] LoPresti J.: *Curve grinding aids performance*. Railway Track and Structures 1999, No. 7
- [9] Markov A.A., Mosyagin V.V., Kuznecova E.A.: *Obnaruzhenye defektov na uchastkah s poverhnostnymi povrezhdeniyami golovki relsov*. Put i Putevoe Khozaystvo 2012, No. 12
- [10] Matoba K.: *Four key technologies can not only help optimize the wheel/rail interface, but save money*. Railway Track and Structures 2000, No. 7
- [11] Platzer M.: *Lessons learned from INNOTRACK*. European Railway Review 2011, No. 2
- [12] Pointner P.: *High strength rail steel – the importance of material properties in contact mechanics problems*. Wear 265, 2008
- [13] Öberg J.: *Track deterioration of ballasted track*. Royal Institute of Technology. Stockholm, 2006
- [14] Schöch W.: *Recommendations for strategic rail maintenance in Europe: the application of anti-headcheck profiles and cyclic grinding*. Rail Engineering International 2011, No.1
- [15] Smith K.: *Developing maintenance-free rails*. International Railway Journal 2012, No. 12
- [16] Steenberger M., Dollevoet R.: *On the mechanism of squat on train rails – Part 1: Origination*. International Journal of Fatigue 47(2013), 361-372
- [17] Steenberger M., Dollevoet R.: *On the mechanism of squat on train rails – Part 2: Growth*. International Journal of Fatigue 47(2013), 373-381

PERSPEKTYWY ZMNIEJSZENIA WAD POWIERZCHNIOWYCH SZYN

Streszczenie. Szyny są tym składnikiem toru, który podlega najintensywniejszemu zużyciu. Uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe szyn (RCA) przedstawiają duży problem dla zarządców infrastruktury. Uszkodzenia te powstają wskutek przekroczenia naprężeń w czasie współdziałania koła z szyną. Rysy i zagłębienia są typowymi oznakami RCA. Wiele przedsięwzięć trzeba podejmować w celu zmniejszenia tych wad. Najważniejszymi działaniami są: wprowadzenie nowych gatunków stali szynowej, zwiększenie zakresu cyklicznego profilowania szyn i doskonalenie jakości ich spawania.

Słowa kluczowe: wady szyn, profilowanie, spawanie

PROSPECTS OF DECREASE OF THE DEFECTS ON THE RAIL SURFACE

Summary. In railway track the rail is the component that is subject to the most intensive wear. Rolling contact fatigue defects on rail surface (RCA) present big problem for railway infrastructure managers. RCA is the results of overstressing of the rail by wheel-rail interactions. Headchecks and squats are a typical sign of RCA. Multiple measures should be taken to reduce of the RCA. Most important operations include: introduction of new sort of steel, increase of range of cyclic grinding and correction of quality of rail welding.

Key words: rail defects, grinding, welding