

Tomasz ZYGMUNT  
Ryszard MOLENDĄ

## ZACHOWANIE SIĘ OBRABIANYCH CIEPLNIE SZYN PRODUKCJI HUTY KRÓLEWSKIEJ SP. Z O.O. W WARUNKACH SILNYCH OBCIĄŻEŃ

**Streszczenie.** W Hucie Królewskiej Sp. z o.o. opracowano nową metodę zanurzeniowego umacniania cieplnego główki profili szynowych. Istotą nowej metody umacniania cieplnego jest sterowanie postępowaniem przemiany perlitycznej poprzez cykliczne, kontrolowane zanurzenie główki umacnianego profilu w wodnym roztworze mieszanin polimerowych i wynurzenie, które powoduje uzyskanie w warstwie jezdnej główki mikrostruktury perlitu o twardości 350 – 400 [HB]. Przedstawione zostały również wyniki pomiarów eksploatacyjnych szyn obrobionych cieplnie zabudowanych w torowisku PKP.

## THE BEHAVIOUR OF THE HEAT-TREATED RAILS MANUFACTURED AT KRÓLEWSKA STEELWORKS LTD. IN HEAVY LOADS CONDITIONS

**Summary.** A new method of head hardening of rail profiles was developed at Królewska steelworks Ltd. The essence of the method consists in controlling of pearlite reaction progress by cyclic submerging of head in water solution of polymer substances followed by air cooling which results in development of ultra fine pearlite microstructure giving the hardness of the running surface in the range of 350 – 400 HB. In the paper the results of wear measurements of rails built-up in PKP track were also demonstrated.

### 1. WSTĘP

Stosowanie szyn naturalnie chłodzonych w warunkach dużych obciążeń eksploatacyjnych, które m.in. można zauważyć na lukach, naraża koleje na straty wynikające z konieczności częstej wymiany odcinków szyn. Praktyki stosowane przez koleje w różnych krajach pokazują, że na szczególnie obciążonych odcinkach celowe jest stosowanie szyn charakteryzujących się zwiększoną twardością warstwy jezdnej. Coraz częściej kolej będzie zamawiała szyny, które charakteryzują się podwyższonymi własnościami eksploatacyjnymi. Ważnym zagadnieniem jest, aby producenci szyn kolejowych spełniali oczekiwania towarzystw kolejowych tak, aby dostarczone wyroby mogły charakteryzować się podwyższoną trwałością. W pracy została omówiona metoda umacniania cieplnego główki szyn z wykorzystaniem ciepła walcowania opracowana w Hucie Królewskiej Sp. z o.o.

## 2. NOWA METODA UMACNIANIA CIEPLNEGO GŁÓWKI PROFILI SZYNOWYCH

Na skalę przemysłową umacnianie cieplne główki profili szynowych ze stali perlitycznych węglowo-manganowych (zawierających do 0,2 % Cr) z zastosowaniem ciepła walcowania realizowane jest obecnie za pomocą dwu podstawowych metod:

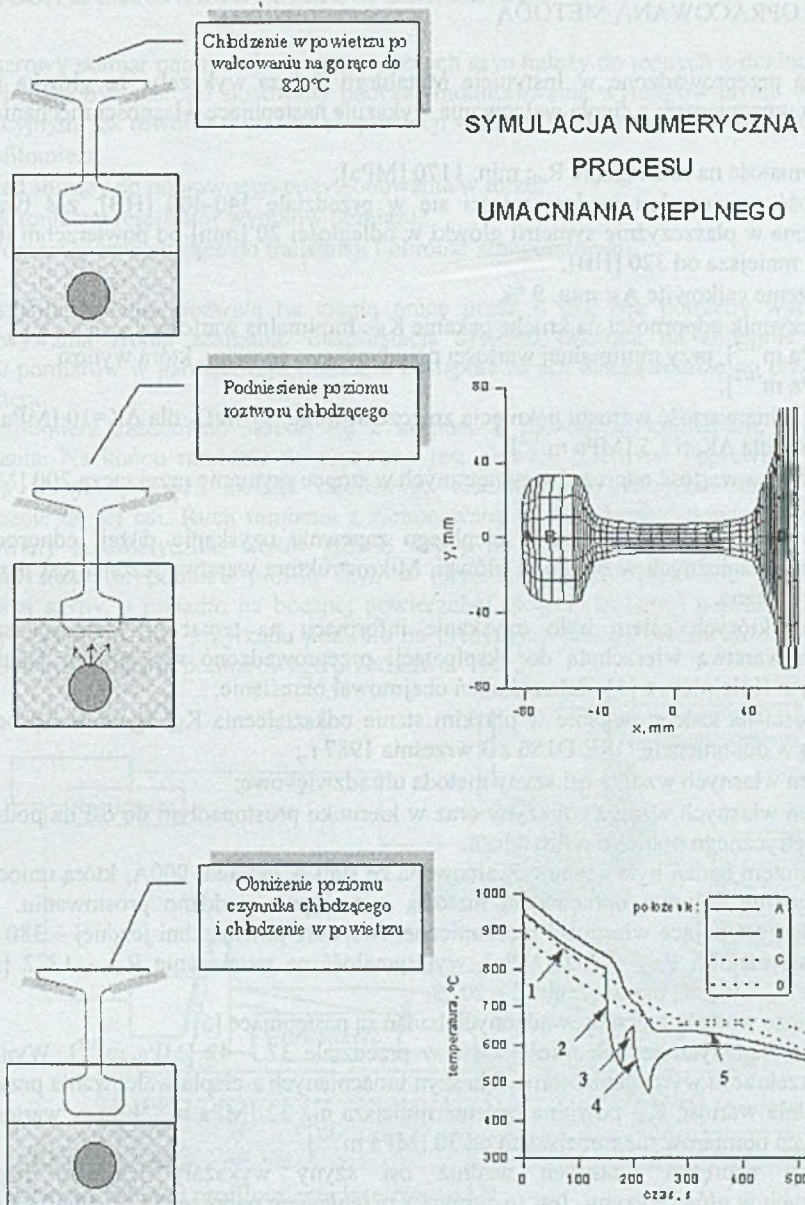
- a) poprzez natrysk wodny lub mgły wodno-powietrznej
- b) poprzez zanurzanie w wodnym roztworze mieszanin polimerów.

Niektóre firmy stosują również metodę umacniania cieplnego główki profili szynowych wytwarzanych ze stali niskostopowych z wykorzystaniem przyspieszonego chłodzenia za pomocą sprężonego powietrza.

Analiza obu podstawowych metod oraz warunków techniczno-technologicznych, które należy spełnić do ich przemysłowego wdrożenia pokazała, że w Hucie Królewskiej Sp. z o.o. możliwe było zastosowanie metody zanurzeniowej. Oryginalna metoda zanurzeniowa została opracowana i wdrożona do przemysłowego zastosowania przez firmę Voest-Alpine. Ograniczenia tej metody skłoniły do podjęcia prac, które w efekcie doprowadziły do opracowania własnej metody, różniącej się istotnie od metody austriackiej.

Proces umacniania cieplnego profili szynowych przy zastosowaniu nowej metody podzielony jest na kilka etapów, w trakcie których poziom roztworu chłodzącego jest podnoszony lub opuszczany w sposób powodujący cykliczne zanurzanie i wynurzenie główki umacnianego profilu (rys.1). Dobierając odpowiednio czasy zanurzenia i wynurzenia, można uniknąć silnego przechłodzenia warstwy jezdnej do temperatury, w której w strukturze stali tworzy się jedynie bainit. W opracowanej metodzie w warstwie jezdnej powstaje mikrostruktura drobnego perlitu.

Uzyskanie zakładanego efektu końcowego procesu umacniania cieplnego główki szyny wymaga bardzo precyzyjnego sterowania zmianami poziomu roztworu chłodzącego w specjalnie skonstruowanym zbiorniku. Zarówno wprowadzanie, jak i odprowadzanie roztworu chłodzącego w omawianej metodzie realizowane jest za pomocą zespołu dysz, których funkcjonowanie sterowane jest elektronicznie. Proces umacniania cieplnego rozpoczyna się w momencie, gdy temperatura główki profilu osiągnie wartość 820 [°C], natomiast zaprogramowany cykl zmian poziomu roztworu realizowany jest automatycznie za pomocą elektronicznego systemu sterującego. System ten powoduje włączenie pomp wprowadzających roztwór do zbiornika i ich działanie przez czas, którego wartość ustalana jest w zależności od wymaganej twardości powierzchni jezdnej, która ma być uzyskana w wyniku umacniania cieplnego. Po zakończeniu etapu przyspieszonego chłodzenia załączone zostają pompy odprowadzające roztwór ze zbiornika i następuje okres chłodzenia główki w spokojnym powietrzu. Liczba cykli zanurzenie-wynurzenie została określona tak, aby uzyskać strukturę drobnego perlitu, a tym samym wysoką twardość w całej objętości główki umacnianych profili.



Rys.1. Schemat ideowy metody umacniania cieplnego profili szynowych w Hucie Królewskiej Sp. z o.o. wraz z symulacją numeryczną procesu umacniania (1, 3, 5 – wolne chłodzenie w powietrzu; 2, 4 – przyspieszone chłodzenie w wodnym roztworze mieszanin polimerów)

Fig.1. Schematic diagram of a new rail profiles head hardening method developed at Huta Królewska Sp. Z o.o. including the numerical simulation of the hardening process (1, 3, 5 – slow cooling in still air; 2, 4 – accelerated cooling by immersion in the aqueous solution of polymers substances)

### 3. WŁASNOŚCI MECHANICZNE GŁÓWKI PROFILI SZYNOWYCH UMACNIANYCH NOWO OPRACOWANĄ METODĄ

Badania przeprowadzone w Instytucie Metalurgii Żelaza wykazały, że główka profili szynowych umacnianych z ciepła walcowania wykazuje następujące własności mechaniczne:

- Wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$ : min. 1170 [MPa].
- Twardość powierzchni jezdnej mieści się w przedziale 340-400 [HB], zaś twardość zmierzona w płaszczyźnie symetrii główki w odległości 20 [mm] od powierzchni jezdnej jest nie mniejsza od 320 [HB].
- Wydłużenie całkowite  $A_5$ : min. 9 %.
- Współczynnik odporności na kruche pękanie  $K_{IC}$ : minimalna wartość 29 [MPa m<sup>-1/2</sup>], przy minimalnej wartości pojedynczego pomiaru, która wynosi 26 [MPa m<sup>-1/2</sup>].
- Maksymalna wartość wzrostu pęknięcia zmęczeniowego: 17 m/G<sub>c</sub> dla  $\Delta K=10$  [MPa m<sup>-1/2</sup>] i 55 m/G<sub>c</sub> dla  $\Delta K=13,5$  [MPa m<sup>-1/2</sup>].
- Maksymalna wartość naprężeń wewnętrznych w stopce szyny nie przekracza 200 [MPa].

Opracowana metoda umacniania cieplnego zapewnia uzyskanie dużej jednorodności własności mechanicznych w objętości główki. Mikrostruktura warstwy jezdnej jest przy tym w pełni perlityczna.

Badania, których celem było uzyskanie informacji na temat przydatności szyn z utwardzoną warstwą wierzchnią do eksploatacji przeprowadzono w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa [5]. Zakres badań obejmował określenie:

- odporności na kruche pękanie w płaskim stanie odkształcenia  $K_{IC}$  zgodnie z procedurą opisaną w dokumencie ORE D156 z 3 września 1987 r.;
- naprężeń własnych wzdłuż osi szyny metodą ultradźwiękową;
- naprężeń własnych wzdłuż osi szyny oraz w kierunku prostopadłym do osi na podstawie tensometrycznego pomiaru odkształceń.

Przedmiotem badań była szyna odwalcowana ze stali w gatunku 900A, którą umocniono cieplnie zgodnie z nowo opracowaną metodą, a następnie poddano prostowaniu. Szyna wykazywała następujące własności mechaniczne: twardość powierzchni jezdnej – 380 [HB], granica plastyczności  $R_{0,2}$  – 832 [MPa], wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  – 1272 [MPa], wydłużenie  $A_5$  – 9,6 %, przewężenie  $Z$  – 20 %.

Zasadnicze wnioski z przeprowadzonych badań są następujące [5]:

Wartość  $K_{IC}$  badanych próbek mieściła się w przedziale 37 – 42 [MPa m<sup>-1/2</sup>]. Wynik ten znacznie przekracza wymagania norm. Dla szyn umacnianych z ciepła walcowania przyjmuje się, że średnia wartość  $K_{IC}$  powinna być nie mniejsza niż 32 [MPa m<sup>-1/2</sup>], przy wartościach pojedynczych pomiarów nie mniejszych od 30 [MPa m<sup>-1/2</sup>].

Pomiary naprężeń własnych wzdłuż osi szyny wykazały istnienie naprężeń rozciągających w główce szyny. Jest to zgodne z przebiegiem naprężeń w szynach naturalnie chłodzonych przed eksploatacją. Wyznaczone wartości naprężeń w stopce szyny osiągały mniejsze wartości niż w przypadku szyn naturalnie chłodzonych, w których występują naprężenia rozciągające.

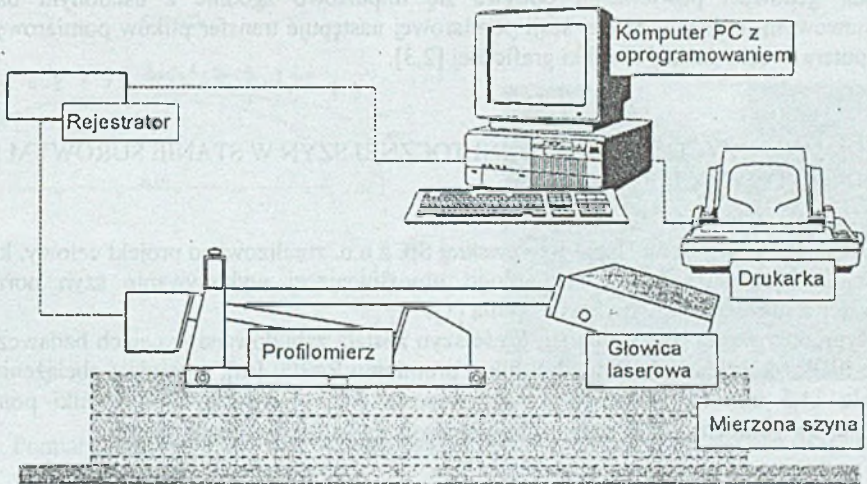
#### 4. METODA LASEROWEGO POMIARU GEOMETRII

Laserowy pomiar parametrów geometrycznych szyn należy do jednych z dokładniejszych metod i może być szeroko stosowany podczas monitorowania wymiarów profili w procesie produkcyjnym, jak również w trakcie eksploatacji w torze. W skład zestawu wchodzi:

- profilomierz,
- układ służący do poprawnego pozycjonowania w torze,
- elektroniczny rejestrator wyników pomiaru,
- oprogramowanie służące do transmisji i obróbki komputerowej.

Zasilanie systemu pozwala na ciągłą pracę przez 8 [h], bez potrzeby wymiany lub doładowywania źródła zasilania. Eksploatacja systemu pozwala na zbieranie wyników szeregu pomiarów w pamięci rejestratora, a następnie na ich dalszą analizę po przesłaniu do komputera.

Profilomierz zasadniczo składa się z korpusu z ruchomym ramieniem, oraz układu sterowania. Na końcu ramienia zamocowana jest głowica laserowa. Poprawnie ustawiona głowica wysyła promień światła laserowego przechodzący przez oś obrotu ramienia-prostopadłe do tej osi. Ruch ramienia z zamocowaną na jego końcu głowicą laserową jest realizowany automatycznie wokół główki szyny po uruchomieniu cyklu pomiarowego. Przyrząd służy do pomiaru profilu szyn w torze. Urządzenie bazowane jest względem mierzonej szyny, a ponadto na bocznej powierzchni główki, 14 [mm] poniżej powierzchni tocznej. Takie ułożenie przyrządu pozwala na precyzyjny pomiar profilu zabudowanego w torze. Schemat systemu pomiarowego przedstawia rys. 2:

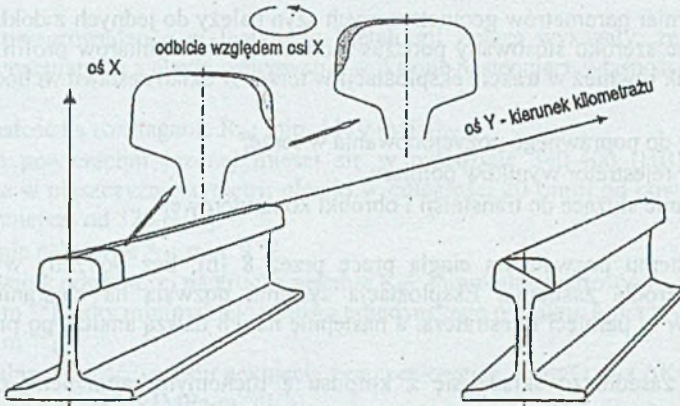


Rys.2. Schemat systemu profilomierza laserowego [2]

Fig.2. Schematic depiction of the laser measurement system [2]

W celu zapewnienia maksymalnej dokładności pomiaru powierzchni przyjęto okres podstawowy pomiaru 1 [ms]. Jest to odstęp czasu pomiędzy odczytami wskazań głowicy pomiarowej. W trakcie trwania sesji pomiarowej powierzchnia główki jest mierzona dwukrotnie, a wyniki są uśredniane. Pomiar w danym punkcie stanowi średnią z dwóch przejazdów głowicy laserowej.

Rejestrator przyrządu pozwala na gromadzenie wyników pomiarów z uwzględnieniem położenia w odniesieniu do kilometrażu toru, co przedstawia rys. 3:



Rys. 3. Schemat zasady pomiaru profilu szyny w torze [2]

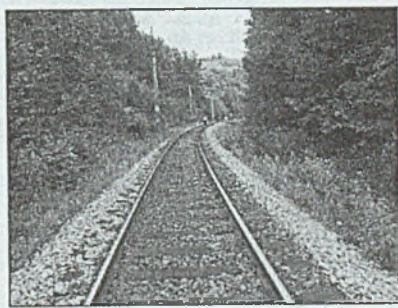
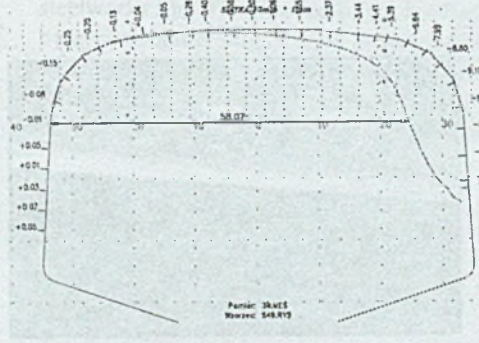
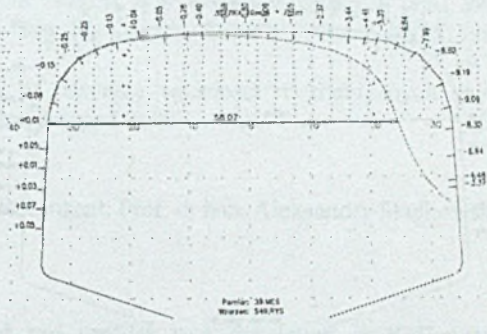
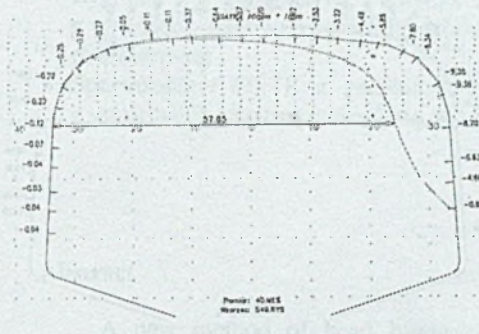
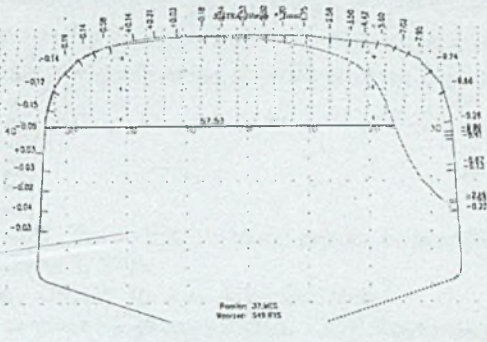
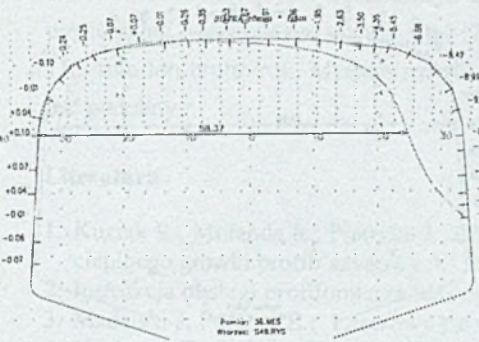
Fig. 3. Principle of measurement rail profile in track

Cykl pomiarowy rozpoczyna się, gdy głowica jest ustawiona pionowo nad główką szyny. Następnie głowica przechyla się w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara do pozycji katowej  $+ \alpha$ , wraca do pozycji  $- \alpha$ , aby zatrzymać się w położeniu początkowym  $0^{\circ}$ . Pełny kąt przejazdu głowicy względem główki szyny może wynosić od  $43,2^{\circ}$  do  $216^{\circ}$ . Pomiar geometrii powierzchni odbywa się impulsowo zgodnie z ustalonym okresem podstawowym. Po zakończonej sesji pomiarowej następuje transfer plików pomiarowych do komputera w celu dalszej obróbki graficznej [2,3].

## 5. POMIAR ZUŻYCIA POWIERZCHNI TOCZNEJ SZYN W STANIE SUROWYM I OBROBIONYM CIEPLNIE

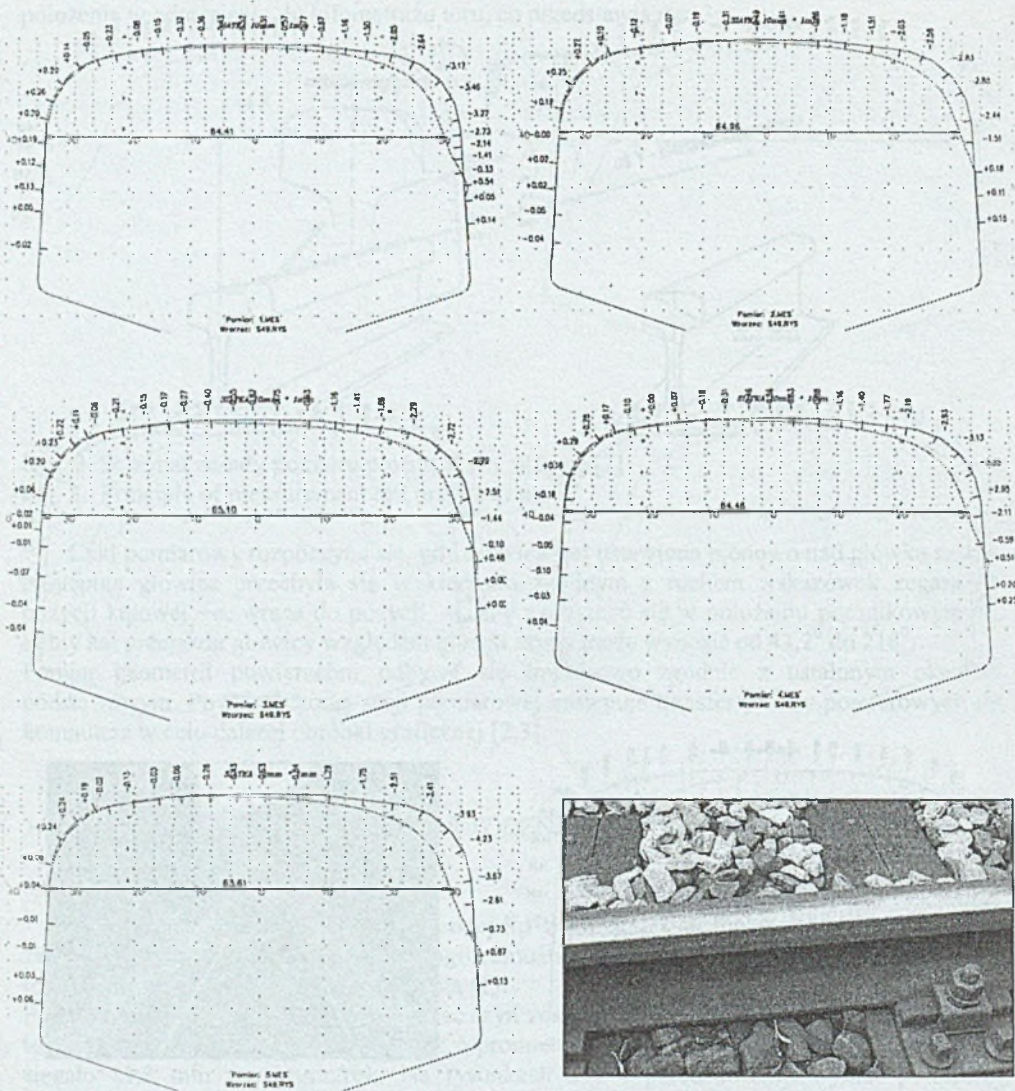
W latach 1998-2001 w Hucie Królewskiej Sp. z o.o. zrealizowano projekt celowy, którego zadaniem było opracowanie technologii umożliwiającej wykonywanie szyn normalnotorowych z obrobioną warstwą wierzchnią [1].

Po wyprodukowaniu partii próbnej, część szyn została zabudowana w celach badawczych w torze PKP. Miejscem zabudowy był łuk o promieniu  $R=300$  [m], natomiast obciążenie trasy sięgało 11,3 mln ton brutto/rok. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wyniki pomiarów parametrów geometrycznych szyn zabudowanych do badań eksploatacyjnych:



Rys.4. Pomiary zużycia szyny bez obróbki cieplnej po 6 - miesięcznym okresie eksploatacji (P45 3B 106) [4]

Fig.4. Wear measurements of rail without heat treatment after 6- months' period of exploitation (P45 3B 106) [4]



Rys.5. Pomiary zużycia szyny obrobionej cieplnie po 6-miesięcznym okresie eksploatacji (OP S64 F 106) [4]

Fig.5. Wear measurements of rail with heat treatment after 6- months' period of exploitation (OP S64 F 106) [4]

W wyniku przeprowadzenia analizy stopnia zużycia szyn S49 można stwierdzić, że szyny z obrobioną warstwą wierzchnią wykazują mniejsze zużycie na powierzchni bocznej głowy niż szyny w stanie surowym, które zostały zabudowane w tym samym toku.

Kryteria oceny przydatności eksploatacyjnej szyn dopuszczają dla tej klasy torów zużycie boczne dochodzące do około 12 [mm] i kąt nachylenia powierzchni bocznej główki szyny



$\alpha = 65^{\circ}$ . Średnie zużycie boczne szyn obrobionych cieplnie sięga 3 [mm], kąt nachylenia powierzchni bocznej szyn wynosi  $69 - 70^{\circ}$ , przy rzeczywistym obciążeniu trasy sięgającym 11,3 mln ton brutto/rok. Mechanizm zużycia szyn w stanie surowym i obrobionym cieplnie jest podobny.

### Literatura

1. Kuziak R., Molenda R., Pietryka J., Zygmunt T., Potwora A.: „Nowa metoda umacniania cieplnego głowki profili szynowych”. Hutnik, Nr 2, 2003r.
2. Instrukcja obsługi profilomierza laserowego – GRAW Sp. z o.o. Gliwice 1998r.
3. Madejski J, Ptaszny E.: Laserowy pomiar parametrów geometrii szyn, XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Huty Katowice, Rogoźnik 2-3 październik 2003r.
4. Zygmunt T., Molenda R.: Analiza stopnia zużycia szyn normalnotorowych typu S49 z obrobioną warstwą wierzchnią produkcji Huty Królewskiej Sp. z o.o., lipiec 2002r. (nie publikowane)
5. Sprawozdanie CNTK z zadania 8571/26 pt. Badania własności mechanicznych szyn z utwardzoną warstwą wierzchnią, Warszawa, listopad 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. Aleksander Sładkowski

### Abstract

A new method of head hardening of rail profiles was developed at Królewska steelworks Ltd. The essence of the method consists in controlling of pearlite reaction progress by cyclic submerging of head in water solution of polymer substances followed by air cooling which results in development of ultra fine pearlite microstructure giving the hardness of the running surface in the range of 350 – 400 HB. In the paper the results of wear measurements of rails built-up in PKP track were also demonstrated.