

## OPINIA O ROZPRAWIE DOKTORSKIEJ

mgr inż. Sylwestra Dariusza Żaka

Sterowanie stanem naprężeń własnych w szynach kolejowych poprzez modyfikację kalibrowania walców i rolek prostujących prostownic

Rozprawa sytuuje się w Dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w skład której jest zaliczana Inżynieria materiałowa

### **1. Podstawa prawna**

Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej Prof. dr hab. inż. Marii Sozańskiej.

Pismo z dnia 19 grudnia 2019 r.

### **2. Strona formalna rozprawy**

Przedstawiona mi do recenzji praca liczy 163 strony tekstu podzielonego na dziesięć rozdziałów. W rozdziałach tych zamieszczono 94 rysunki oraz 50 tablic. Do pracy dołączono indeks literatury zawierający 82<sup>1</sup> pozycje oraz dwa streszczenia w języku polskim i angielskim.

1. *W tym osiem pozycji będących autorstwa bądź współautorstwa Doktoranta, co świadczy o konsekwentnym zainteresowaniu i jego dorobku naukowym w zakresie przedmiotowej problematyki*

### *3. Tematyka, zakres i cel rozprawy*

Zgodnie z klasycznym układem treści pierwsza część rozprawy (Rozd.1.) została poświęcona sformułowaniu celu i zakresu pracy, omówieniu wiedzy w zakresie stanu naprężeń własnych w szynach kolejowych (Rozd.2.) oraz wpływu tego stanu na własności eksploatacyjne szyn (Rozd.3). Kolejne (Rozd.4 i 5) poświęcił Doktorant na analizę metod stosowanych w pomiarach naprężeń w szynach, aby następnie (Rozd.6) przejść do omówienia wpływu technologii walcowania, chłodzenia i prostowania szyn na stan naprężeń własnych w ich przekroju poprzecznym.

Doktorant – w oparciu o obszerne (obejmujące 78 pozycji bibliograficznych<sup>2</sup>) studia literatury przedmiotu omówił istotę problemu oraz wskazał obszary, w których w jego opinii nasza wiedza w tym zakresie powinna zostać uzupełniona. Wystawia to dobre świadectwo Doktorantowi, który rozumie, iż bez dogłębnej znajomości aktualnego stanu wiedzy trudno podejmować własny trud poznawczy.

Jakkolwiek bowiem, idea szyny w postaci kolein na antycznych drogach pojawiła się już w epoce miedzi ponad 4000 lat temu, to jednak jej współczesna forma rozwinęła się dopiero wraz z początkiem rewolucji przemysłowej w Wielkiej Brytanii, a w szczególności wynalazku parowozu (G. Stephenson 1814-1825).

Dziś, po prawie dwustu latach obserwuje się swoisty renesans kolei, co wiąże się z tzw. kongestią systemów transportu opartego o ruch samochodowy i lotniczy, a także tak obecnie istotnymi kwestiami ochrony klimatu. Oczekuje się, że wynikające stąd trudności zostaną przezwyciężone w oparciu o koleje dużych prędkości. Według klasyfikacji International Union of Railways (UIC) jest to kolej osiągająca prędkości handlowe powyżej 250 km/h..

W ślad za tym, zarówno w Polsce jak i krajach Unii Europejskiej przewiduje się w najbliższych latach przeznaczenie na ten cel bardzo poważnych środków inwestycyjnych<sup>3</sup>. Znaczący wzrost prędkości i dynamiczny charakter obciążeń przyłożonych do główki szyny sprawia, iż produkowane obecnie szyny kolejowe muszą spełniać szereg bardzo rygorystycznych warunków tak w zakresie parametrów mechanicznych - w tym odporności na kruche pękanie oraz wytrzymałości zmęczeniowej.

*2. Warto w tym miejscu zauważyć także, iż 35 % cytowanych prac zostało opublikowanych w ostatnim piętnastoleciu, co jednoznacznie świadczy o aktualności i wadze podjętej w rozprawie problematyki.*

*3. Przykładem mogą tu być Niemcy planujące wydanie w następnych 10 latach kwoty 86 mld €, z czego gross na wymianę trakcji.*

Istotnym jest tu zwłaszcza wartość wskaźnika prędkości rozwoju pęknięcia zmęczeniowego. Wiąże się to ściśle z koniecznością zrównoważenia w torach bezстыkowych sił termicznych i oporu podłużnego toru. Rosnące wymagania co do jakości szyn dotyczą także zawężenia przedziałów tolerancji wymiaru i kształtu przekroju oraz odchyłek prostości pasma.

W ślad za tym obserwuje się na przestrzeni ostatnich lat znaczący postęp tak w zakresie doboru materiału szyn jak i technologii walcowania. Warto jedna zauważyć, iż relatywnie szybkiemu postępowi w technologii produkcji szyn nie towarzyszyła wszakże dotąd dostateczna troska o rozwój operacji wykańczania wyrobów, które to operacje decydują dziś w zasadniczym stopniu o jakości finalnego produktu. Dotyczy to zwłaszcza operacji prostowania po wyjściu szyny z chłodni

Uwarunkowania te pozwalają uznać dokonany przez Doktoranta wybór tematyki badań za ze wszech miar słuszny i celowy, zarówno ze względów czysto poznawczych jak i aplikacyjnych.

Tezę swej pracy sformułował Doktorant stwierdzając, iż *„możliwe jest uzyskanie niższego poziomu naprężeń własnych w stopce szyn kolejowych w stosunku do obecnie wymaganych normatywnie wartości poprzez zastosowanie nowego, unikatowego kalibrowania wykrojów walców i rolek prostownic oraz związane z tym zmiany parametrów technologicznych procesów walcowania i prostowania”*.

Dla jej udowodnienia mgr inż. Sylwester D. Żak opracował innowacyjny sposób kalibrowania walców<sup>4</sup> i rolek prostownic zapewniających zmniejszenie tych naprężeń do wartości 145 MPa. Jest to wartość znacząco niższa od wymagań normy EN13674-1 dopuszczającej wartość naprężeń do poziomu 250 MPa.

Przedstawiona w pierwszej części rozprawy analiza i wynikające z niej wnioski stały się podstawą do podsumowania (Rozd.7) i ostatecznie do sformułowania celów i tezy pracy oraz dróg prowadzących do jej udowodnienia .

Drugą – zasadniczą - część swej rozprawy (Rozd.8, 9 i 10) Doktorant poświęcił na omówienie badań własnych poświęconych rozwiązaniu przedmiotowych problemów technologicznych. Przedmiotem analizy były szyny kolejowe typu 60E1 o długości 120 m z gatunku R260<sup>5</sup>.

4. Dotyczy to wykroju nr 10 w klatce wykańczającej D2, nr 9 w klatce przed-gotowej D1 i nr 8 w klatce pośredniej Z2.

5. Jest to szyna o profilu Vignolesa i masie 60 kg/m, stosowana standardowo przy budowie torowisk bezстыkowych.

Uzyskane wyniki zostały opracowane, a ich podsumowanie i wnioski stały się treścią rozdziału 10.

#### **4. Ocena merytoryczna**

Jest oczywistym, iż spełnienie wysokich wymagań jakościowych odnoszących się do współcześnie wytwarzanych szyn kolejowych wymaga w równym stopniu właściwego doboru gatunku stali i jej obróbki cieplnej jak i parametrów procesów walcowania, chłodzenia, a wreszcie i prostowania. W swej rozprawie Doktorant podjął analizę trzech ostatnich z w/w procesów.

Jest to podejście w pełni słuszne, szkoda wszakże, iż Doktorant analizując uzyskane wyniki symulacji komputerowych i badań eksperymentalnych nie rozwinął w szerszym stopniu problemu ich wzajemnego sprzężenia.

Przeprowadzone rozważania teoretyczne procesu prostowania oparte zostały o wykorzystanie Metody Elementów Skończonych z zastosowaniem komercyjnego pakietu oprogramowania komputerowego FORGE NxT 2.1.

Mgr inż. Sylwester D. Żak posłużył się tu konwencjonalnym sprężysto – plastycznym, modelem materiału pasma oraz sztywnym modelem dla układu konstrukcji prostownicy i narzędzi biorących udział w procesie tj. rolek

Reologiczny model materiału szyny w postaci krzywej płynięcia metalu w warunkach odkształcenia na zimno został opracowany przez Doktoranta na podstawie badań plastometrycznych na symulatorze Gleeble 3800.

W pracy nie wyjaśniono jednak jaki charakter umocnienia materiału – izotropowy czy też kinematyczny - został ostatecznie przyjęty, ani też nie przedstawiono uzyskanej na tej drodze kształtu krzywej.

Wyrażając się z uznaniem o zakresie przeprowadzonej analizy problemu trudno wszakże nie zwrócić uwagi na pewne uchybienia poczynione w fazie budowy przyjętego w analizie MES modelu układu prostownica - pasmo. W istocie bowiem proces prostowania polega na przeginaniu pasma w kolejnych trójkach rolek zachowując przy tym pamięć wywołanych tym naprężeń. Trzeba też zwrócić uwagę, iż ograniczona sztywność konstrukcji prostownicy przy jednocześnie zmiennym punkcie przyłożenia sił nacisku na powierzchni kontaktu rolki - pasmo jest przyczyną przestrzennej zmiany położenia osi rolek pod obciążeniem w czasie, prostowania przy czym dodatkowo płaszczyzna obrotu rolek ulega skoszeniu.

Taki charakter odkształceń konstrukcji prostownicy wywiera istotny wpływ na przebieg procesu prostowania co powinno być uwzględnione w kolejnych etapach badań mgr inż. Sylwestra D. Żaka.

W pracy nie podano też bliższych informacji dotyczących zakładanej krzywizny pasma na wejściu do prostownicy, ani też atrybutów poszczególnych obiektów modelu.

Brak jest tu bowiem tak istotnych dla oceny wiarygodności uzyskanych wyników danych dotyczących przestrzennego kształtu elementów skończonych, zdefiniowania typu kontaktu na powierzchni materiału i rolek czy wreszcie modelu tarcia. Definiowanie kontaktów pomiędzy stykającymi się powierzchniami elementów jest bardzo istotnym zagadnieniem ze względu na dokładność obliczeń, tak iż w przypadku błędnej definicji par istnieje tu prawdopodobieństwo fiaska analizy.

Pewne zastrzeżenia budzi też brak opisu etapów remeshingu sieci MES oraz sposób prezentacji wyników symulacji procesu walcowania dotyczących wypełnienia wykroju walców.(Rys.8.36 - 8.38).

Wysoko oceniam natomiast fakt podjęcia przez Doktoranta serii eksperymentów prowadzonych bezpośrednio na obiektach rzeczywistych Walcowni Dużej Huty ArcelorMittal Poland S.A w Dąbrowie Górniczej.

Jest bowiem sprawą bezsporną, że badania eksperymentalne prowadzone „in situ” w warunkach przemysłowych dostarczają – w zakresie możliwej do uzyskania dokładności - najbardziej wiarygodnych informacji i w ostatecznym stopniu weryfikują wyniki rozważań teoretycznych.

Pewien niedosyt związany jest natomiast z bardzo skromnym potraktowaniem w rozprawie perspektyw dalszych badań. Wierzę, że towarzysząca obronie pracy dyskusja naukowa będzie tu dla Doktoranta impulsem do śmielszych zamierzeń w tym zakresie.

Recenzowana rozprawa mimo pewnej, wynikającej z zastosowania zbyt małej skali prezentacji wyników rozkładu wielkości fizycznych uzyskanych Metodą Elementów Skończonych (Rys.8.35 – 8.38) wyróżnia się starannością edytorską i poprawną polszczyzną. Z drobnych błędów – prawie nie do uniknięcia w tak obszernej pracy - pozwolę sobie wymienić następujące:

Str. 53, - Rys 6.3 został zamieszczony także na str. 54 i dopiero tam znalazł się jego podpis. Taki błąd został też popełniony w stosunku do Rys. 8.17 i 8.35.

Str. 96, - Tabl.8.8 jest w istocie Tabl. 8.6. To przesunięcie wymaga też zmiany numeru kolejnych tablic w rozdziale 8.

Str.128 - Pewne zastrzeżenia budzi sposób opisu wyników symulacji procesu walcowania na Rys.8.35. Poprawnie, w miejsce „odkształcenia”, „prędkości odkształcenia” i „naprężenia” powinno się użyć terminów : „intensywność odkształcenia”, „intensywność prędkości odkształcenia” oraz „naprężenie średnie”.

Powyższe uwagi, acz krytyczne nie mogą wszakże wpłynąć na ogólnie bardzo pozytywny obraz pracy i uznanie dla przedstawionych w niej dokonań.

Decyduje o tym podjęcie trudnego i pracochłonnego - tak przez swą złożoność jak i wielorakie uwarunkowania, – a przy tym istotnego z punktu widzenia Inżynierii Materiałowej i Przeróbki plastycznej problemu stanu naprężeń własnych w szynach kolejowych.

Rozprawa w istotny sposób wzbogaca naszą wiedzę, a także - co równie istotne -może być podstawą dla dalszych prac tak teoretycznych jak i eksperymentalnych.

Wreszcie - co bardzo istotne - pozostaje ona w bliskim związku z rzeczywistymi problemami występującymi w przemyśle hutniczym i jako taka może służyć do ich efektywnego rozwiązywania..

Przyczyni się to w istotnym stopniu do poprawy efektów i konkurencyjności pracujących w Polsce walcowni szyn.

## **5. Ocena końcowa**

Podsumowując stwierdzam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Sylwestra D. Żaka p.t. " Sterowanie stanem naprężeń własnych w szynach kolejowych poprzez modyfikację kalibrowania walców i rolek prostujących prostownic” stanowi istotne osiągnięcie naukowe jej Autora.

Podjęte w rozprawie problemy zostały rozwiązane przy użyciu poprawnie wybranych i odpowiadających bieżącemu stanowi wiedzy metod i narzędzi badawczych.

Rozprawa przedstawia sobą spójną i logiczną całość, a uzyskane wyniki zostały przedstawione w klarowny i jednoznaczny sposób.

Potwierdzają one słuszność tezy postawionej przez Doktoranta na początku pracy.

Mgr inż. Sylwester D. Żak zrealizował też założony przez siebie cel pracy opracowując nowy sposób kalibrowania walców i rolek prostujących prostownic, co zapewnia zmniejszenie naprężeń własnych w środku stopki szyny do maksymalnej wartości 145 MPa.

Stwierdzam zatem, iż w mojej opinii rozprawa mgr inż. Sylwestra D. Żaka sytuująca się w dziedzinie nauk inżynieryjno technicznych i dyscyplinie Inżynieria Materiałowa spełnia wymagania formalne określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 z późn. zmianami) w brzmieniu po wejściu w życie ustawy z dnia 23.06.2016 roku o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z dnia 23.08.2016 r., poz. 1311) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2016 r. poz. 1852), obowiązujące od dnia 01.10.2016 roku.

Upoważnia mnie to do postawienia wniosku o dopuszczenie rozprawy autorstwa mgr inż. Sylwestra D. Żaka p.t.: " Sterowanie stanem naprężeń własnych w szynach kolejowych poprzez modyfikację kalibrowania walców i rolek prostujących prostownic" do publicznej obrony przed komisją Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej

