

Aleksander Stądkowski, Jakub Młyńczak

# Charakterystyka metod pomiaru sił nastawczych w napędach zwrotnicowych

**Napędy elektryczne przenoszą moment obrotowy na suwak nastawczy poprzez regulowane sprzęgła [1, 2]. Wielkość siły nastawczej zależy więc bezpośrednio od rodzaju użytego silnika i od regulacji sprzęgła. W przypadku przekroczenia przez opory przestawiania rozjazdu wartości siły nastawczej powinien nastąpić poślizg na sprzęgle. Lecz wyregulowanie sprzęgła na niedopuszczalną wartość siły nastawczej może mieć wpływ na bezpieczeństwo pasażerów oraz stan napędu zwrotnicowego. W przypadku dwóch najczęściej używanych w Polsce typów napędów zwrotnicowych skutki przeregulowania sprzęgła mogą być różne, nie mniej w obu przypadkach szkodliwe.**

W napędzie zwrotnicowym JEA29, gdy siła nastawcza jest za duża, to napęd zwrotnicowy – w przypadku wystąpienia przeszkody między iglicą a opornicą – przemieszcza się względem osi silnika. Kierunek przemieszczenia napędu zależy od kierunku ruchu suwaka nastawczego, tj. przy:

- wciąganiu suwaka – napęd przemieszcza się ku górze,
- wypychaniu suwaka – napęd przesuwa się ku dołowi.

Przemieszczenie to powoduje zmianę długości prętów kontrolnych napędu, a co za tym idzie uzyskanie kontroli położenia napędu, mimo niedolegania iglicy.

W napędzie typu EEA-4 przeregulowanie sprzęgła niesie za sobą inne zagrożenie. Prawidłowy proces przestawiania układu napęd–rozjazd polega na tym, że po skasowaniu luzów silnik – już podczas rozruchu – wykonuje pracę przestawiania rozjazdu. W tym czasie szybko narastają prędkości kolejnych mas wirujących. Po zakończeniu przestawiania, mimo wyłączenia zasilania silnika, wirujące masy – dzięki swojej bezwładności – są jeszcze w ruchu. Ruch ten jest wytłumiony poprzez niewielki poślizg sprzęgła przeciążeniowego. Jeżeli sprzęgło jest nieprawidłowo wyregulowane (zwłaszcza gdy jest nastawione na większą od dopuszczalnej siły nastawczą), to wytłumienie bezwładności wirujących mas poprzez poślizg na sprzęgle przeciążeniowym nie nastąpi. Przypadek ten może spowodować, że w napędzie powstanie zjawisko rewersu, polegające na tym, że przekładnia wymusza pewien obrót silnika w przeciwną stronę. Konsekwencją tego jest zmiana położenia zestyków w urządzeniu sterująco-kontrolnym. Zmiana ta może zaistnieć natychmiast po procesie przestawiania rozjazdu lub podczas przejazdu taboru. Druga sytuacja ma o wiele większe znaczenie, ponieważ zmiany te – zachodząc podczas przejazdu taboru – uzewnętrzniają się zazwyczaj wystąpieniem zjawiska pozornego rozprucia rozjazdu. W napędzie EEA-4 może ponadto zachodzić zjawisko niezakleszczenia się rolek w hamulcu zaporowym, a co za tym idzie niezapewnienia odpowiedniej siły trzymania napędu. Zjawisko takie może być niebezpieczne, po-

nieważ może doprowadzić do samoczynnego przestawienia rozjazdu pod przejeżdżającym taborom na skutek dynamicznego oddziaływania rozjazdu na napęd zwrotnicowy.

## Metoda dotychczas stosowana

Aktualnie na PKP stosuje się do pomiaru sił nastawczych metodę opartą o trzpień pomiarowy umieszczany na połączeniu suwak nastawczy – pręt nastawczy [5]. Trzpień pomiarowy jest wykonany w kilku wariantach jako:

- układ mechaniczny z odczytem danych na czujniku zegarowym mierzącym przemieszczenie części trzpienia pod wpływem przyłożonej siły (przyrząd EZK),
- układ z wbudowanymi tensometrami z odczytem dokonywanym na elektronicznym wyświetlaczu (przyrząd  $\mu$ MOZ-a, MMS-1).

Pomiary trzpieniami obarczone są wieloma błędami systematycznymi.

Wszystkie przyrządy trzpieniowe oparte są o konstrukcje przedstawioną na fotografii 1.



Fot. 1. Przyrząd trzpieniowy EZK

Sposób umieszczania przyrządów trzpieniowych w układzie napęd–rozjazd przedstawiono na fotografii 2. Ze względu na swoją konstrukcję trzpień pomiarowy powinien być umieszczony precyzyjnie w połączeniu suwaka nastawczego z prętem nastawczym, tak aby siły przyłożone zostały na specjalnych garbach widocznych na fotografii 1. Jest to trudne do osiągnięcia ze względu na to, że w Polsce istnieje wiele kształtów prętów nastawczych i suwaków nastawczych. Wymagane w tym przypadku jest stworzenie wielu rozwiązań przyrządów trzpieniowych, co jest kosztowne.

Pomiar jednym rodzajem trzpienia w wielu rozwiązaniach połączeń suwaka nastawczego z prętem nastawczym obarczony jest sporym błędem, wynikającym z tego, iż siła nie jest przyłożona w wymaganych punktach pomiarowych.

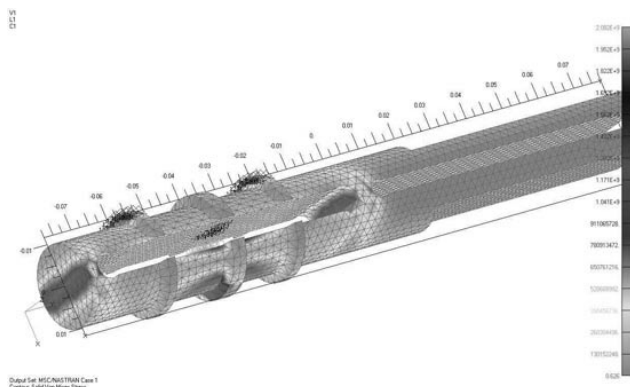
Kolejnym błędem pomiarowym jest to, że w układzie napęd zwrotnicowy–rozjazd występują siły wstępne, nie rejestrowalne przez mało dokładne przyrządy trzpieniowe (fot. 1, 2a). W przyrządach trzpieniowych elektronicznych można siłę wstępną wykryć, nie mniej trzeba ją poprawnie zinterpretować.



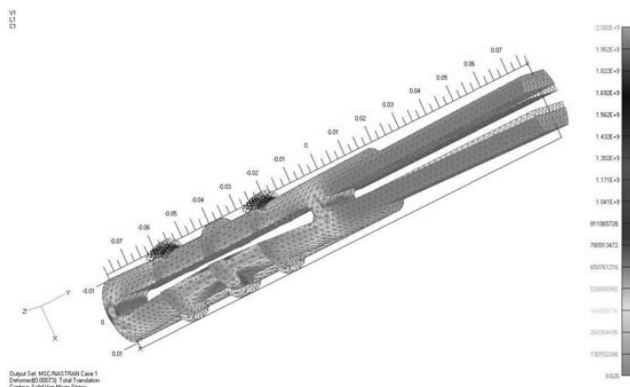
Fot. 2. Trzpieniowa metoda pomiaru sił nastawczych  
a) pomiar trzpieniem EZK, b) pomiar trzpieniem  $\mu$ MOZ-a, c) widok całego układu pomiarowego

Dla przyrządu typu EZK przeprowadzono analizę wytrzymałościową za pomocą metody elementów skończonych (MES). Do analiz wykorzystano program MSC. Visual NASTRAN for Windows.

Model ten (rys. 1 i 2) składał się z 29 961 węzłów i 15 852 elementów. Średnia wielkość elementu to sześciąt o boku ok. 2 mm. W wyniku analizy otrzymano niepokojące wyniki, świadczące o tym, że w przypadku obciążenia trzpienia siłą 10 kN (1000 kG) pojawiają się bardzo duże naprężenia, określone przy pomocy kryterium Von Misesa (rys. 1). W pokazywanych miej-



Rys. 1. Mapa naprężeń trzpienia pomiarowego EZK wykonana w programie MSC/NASTRAN



Rys. 2. Mapa naprężeń wraz z maksymalnym przemieszczeniem elementów trzpienia pomiarowego EZK wykonana w programie MSC/NASTRAN

scach sięgają one wartości 1500 MPa, do prawie 2000 MPa. W najbliższym czasie zostanie przeprowadzona analiza odkształceń plastycznych dla tego trzpienia. Górna granica obciążalności tego trzpienia została określona na 10 kN, a wykorzystywany jest on również do pomiaru sił trzymania napędu zwrotnicowego, kiedy siły te sięgają 15 kN i więcej. Tak więc wielce prawdopodobne jest, że duży procent używanych trzpieni posiada odkształcenia plastyczne.

Na rysunku 2 przedstawiono całkowite przemieszczenie elementów trzpienia EZK. Można zaobserwować, iż trzpień znacznie się odkształca podczas pomiaru i przy pewnym przekroczeniu jego deklarowanej nośności nie dość że trwale odkształca się, może również nie zmierzyć całkowitej wartości siły. Na podstawie tej analizy można zauważyć iż trzpień pomiarowe pracują w bardzo niekorzystnych warunkach, są podatne na odkształcenia plastyczne, poza tym wymagają precyzyjnego umieszczenia w układzie pomiarowym.

Równie ważnym parametrem jest czas wykonania pomiaru. Przy użyciu dotychczas stosowanych metod trzpieniowych czas pomiaru wynosił 10–15 min. Przy uwzględnieniu, że pomiarów tych należy dokonywać średnio co 2 miesiące [3,4], proces ten jest bardzo czasochłonny. Przykładowo na terenie byłej katowickiej dyrekcji infrastruktury jest ok. 6000 napędów zwrotnicowych, co daje  $6 \cdot 10 \cdot 6000 = 360\,000$  min na dokonanie pomiarów (ok. 750 dni roboczych!).

Przedstawione aspekty wymusiły potrzebę stworzenia nowej metody pomiaru sił nastawczych. Metoda ta musi być niewrażli-

wa na błędy systematyczne, które występują przy obecnie stosowanych metodach pomiaru.

## Koncepcja nowej metody i nowego przyrządu pomiarowego

Aby wyeliminować większość błędów, jakimi są obciążone metody trzpieniowe, opracowano koncepcję nowej metody pomiarowej i nowego przyrządu pomiarowego. Koncepcja polega na tym, iż pomiaru siły nastawczej dokonuje się przyrządem (fot. 3a), któ-

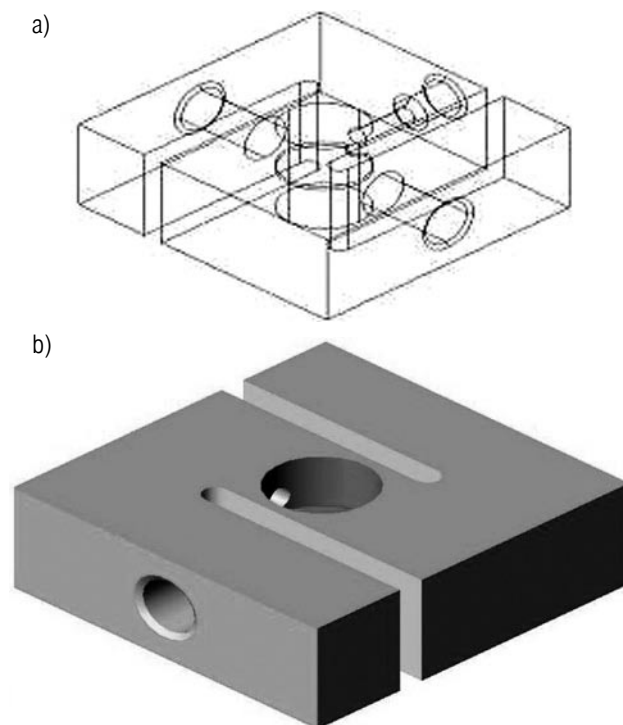


Fot. 3. Pomiar sił nastawczych przyrządem MS450  
a) pomiar przyrządem MS450; b) głowica pomiarowa MS450 podczas pracy

rego głowicę pomiarową umieszcza się pomiędzy iglicą a opornicą rozjazdu na wysokości zamknięcia nastawczego (fot. 3b). W celu rozwoju metody i podniesienia jej wiarygodności również zostały przeprowadzone analizy z wykorzystaniem MES przy pomocy programu MSC/NASTRAN. Uzyskane wyniki analiz pozwoliły na optymalizację parametrów głowicy pomiarowej oraz pozwoliły na określenie wartości błędów pomiarowych wynikających ze złego ustawienia przyrządu.

Na rysunku 3 przedstawiono model 3D głowicy pomiarowej wykonany w programie AutoCAD.

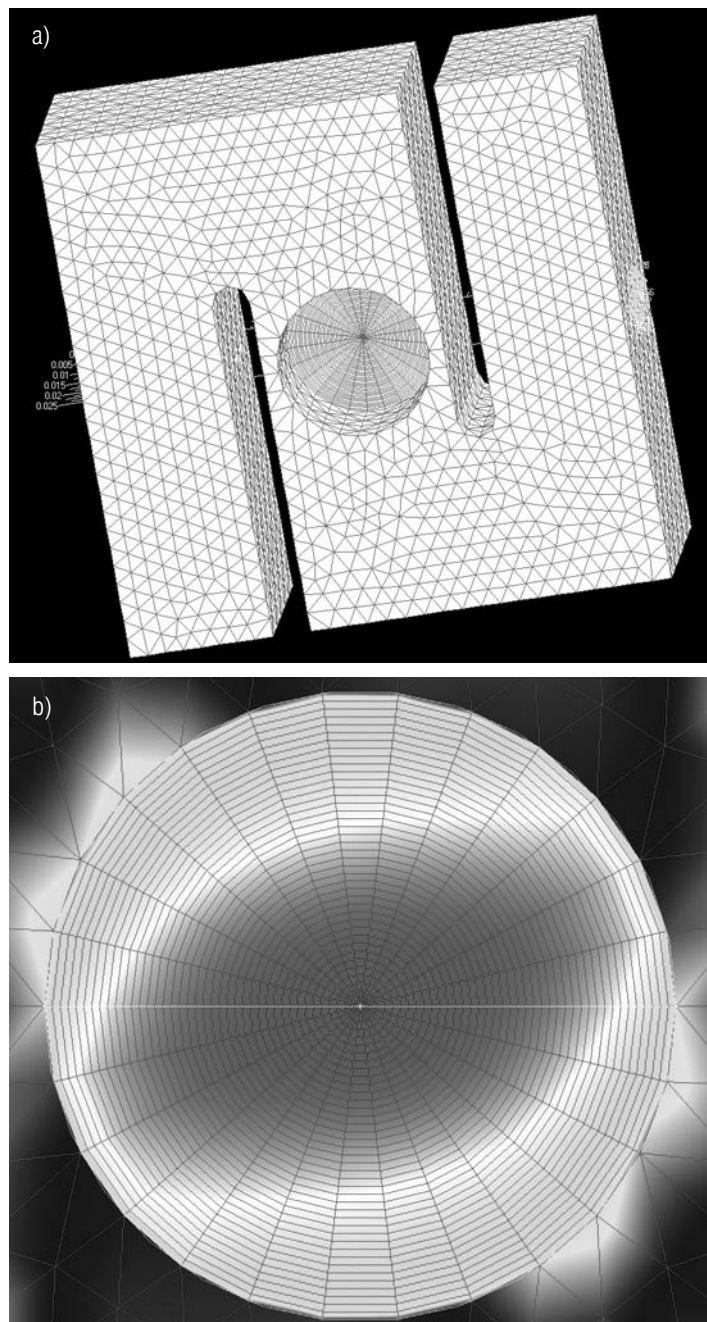
Obliczenia deformacji głowicy pomiarowej podczas obciążenia siłami nastawczymi wykonano przy pomocy programu MSC/



Rys. 6. Model 3D głowicy pomiarowej wykonany w programie AutoCAD

/NASTRAN. Przy eksperymentalnych badaniach tensometry były przyklejane w środkowej części głowicy pomiarowej, wykonanej w formie tarczy o porównywalnie małej grubości. Dla elementu tego zachodziła potrzeba oceny poziomu deformacji i naprężeń. W tym celu przeprowadzono generację siatki oddzielnie dla centralnego elementu (drobniejsza siatka) i reszty głowicy pomiarowej. Siatki te wygenerowane były w taki sposób aby istniała możliwość ich połączenia we wspólnych węzłach. Na rysunku 4a przedstawiono wygenerowaną siatkę. Otrzymany model przestrzenny miał 10 745 węzłów i 26 050 elementów.

Dla rozpatrywanego modelu zadane były warunki brzegowe w postaci zamocowania w strefie jednego z gwintów (na rys. 4a pokazany z prawej strony głowicy pomiarowej). Z przeciwnej strony zadawane było obciążenie oddzielnymi siłami węzłowymi, których suma równa była sile nastawczej. W wyniku badań wyznaczono, że centralny element głowicy pomiarowej jest obciążony najbardziej, przy czym wartość naprężeń w tym elemencie w dużym stopniu zależy od jego grubości. Z uwzględnieniem niedopuszczalności plastycznych naprężeń dobrana była optymalna grubość tarczy. Na rysunku 4b pokazano rozkład ekwiwalentnych deformacji w elemencie pomiarowym.



Rys. 7. Mapa odkształceń wykonana w programie MSC/NASTRAN: a) wygenerowana siatka elementów skończonych; b) ekwiwalentne deformacje w elemencie pomiarowym

Jak widać (rys. 4b) największe deformacje tego elementu występują pod kątem ok.  $10^\circ$  w stosunku do osi X. To oznacza że przy przyklejaniu tensometrów trzeba precyzyjnie znaleźć ten kąt i zamocować tensometr w odpowiednim kierunku. Takie podejście może być wykorzystane dla indywidualnej produkcji przyrządu z uwzględnieniem obowiązkowego testowania każdego przyrządu. Przy masowej produkcji tego przyrządu pomiarowego taki sposób przyklejania tensometrów jest poważną wadą.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję nowego przyrządu do pomiaru sił nastawczych w rozjazdach kolejowych. W dalszym ciągu przeprowadzanych badań, po dokonaniu optymalizacji kształtu głowicy pomiarowej i określeniu wpływu złego ustawienia głowicy podczas pomiarów na wyniki, powstanie ostateczny kształt głowicy pomiarowej i przyrządu. Przedstawiono również mankamenty stosowania przyrządów trzpieniowych, wykorzystywanych dotychczas do pomiaru sił nastawczych. Brak analiz z wykorzystaniem MES tychże przyrządów jest poważnym błędem konstrukcyjnym. Dopracowanie nowego przyrządu pomiarowego pozwoli na przeprowadzenie weryfikacji jego dokładności oraz na dopracowanie szczegółów metody pomiarowej. Dalszym etapem będzie walidacja metody pomiarowej i przyrządu.



## Literatura

- [1] Kalicińska K., Olendrzyński W., Zajączkowski A.: *Elektryczne urządzenia zabezpieczania ruchu kolejowego*. Urządzenia stacyjne. WKiŁ, Warszawa, 1982.
- [2] Bajon W., Osiński Z., Szafrański W.: *Elektryczne napędy zwrotnicowe*. WKiŁ, Warszawa 1979.
- [3] *Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym*. Centrum Naukowo Techniczne Kolejnictwa, 1998.
- [4] *E 24 Instrukcja utrzymania urządzeń sterowania ruchem kolejowym na działce*. Warszawa: Biuletyn PKP, 1996.
- [5] Młyńczak J.: *Badania eksperymentalne i teoretyczne rozjazdów szynowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, zeszyt 48.

## Autorzy

prof. dr hab Aleksander Śladowski  
 Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Transportu  
 Szynowego, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice  
 e-mail: [sladk@polsl.katowice.pl](mailto:sladk@polsl.katowice.pl)

mgr inż. Jakub Młyńczak  
 Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Transportu  
 Szynowego, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice,  
 tel./fax: (32) 603 43 65, e-mail: [imly@polsl.katowice.pl](mailto:imly@polsl.katowice.pl)