

Tadeusz Knych, Paweł Kwaśniewski, Grzegorz Kiesiewicz, Andrzej Nowak, Wojciech Ścieżor, Radosław Kowal, Szymon Kordaszewski, Krystian Franczak, Adolf Bogacki, Ryszard Greguła, Leszek Błędowski, Krzysztof Dondziak, Artur Rojek, Wiesław Majewski

Koncepcja i badania nad bezciężarowym urządzeniem naprężającym trakcji kolejowej

W artykule zaproponowano koncepcję zastąpienia klasycznych grawitacyjnych urządzeń naprężających sieć trakcyjną nowoczesnymi, kompaktowymi urządzeniami bezciężarowymi. Przedstawiono ewolucję sprężynowych urządzeń naprężających do zastosowania w sieciach trakcji kolejowej oraz metodologię i wyniki badań niezbędnych do opracowania działającego prototypu. W toku przedstawionych badań skonstruowano i wdrożono prototyp bezciężarowego urządzenia naprężającego sieć trakcyjną. Zbudowane urządzenie pozwala na regulowanie siły naciągu sieci w zakresie do 30 kN oraz na kompensację jej wydłużenia w zakresie powyżej 800 mm.

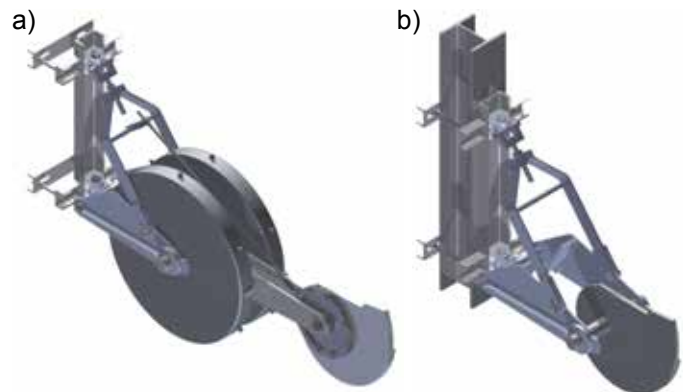
Słowa kluczowe: urządzenie naprężające, sieć trakcyjna, kolej, TUN.

Analiza stanu zagadnienia

Urządzenia naprężające stanowią niezbędną część infrastruktury kolejowej. Ich działanie polega na kompensowaniu zmian długości przewodów trakcyjnych, powodowanych czynnikami środowiskowymi, materiałowymi, reologicznymi i eksploatacyjnymi, oraz zapewnieniu właściwej siły ich naciągu [4, 8].

Największy wpływ na zmiany długości przewodów trakcyjnych mają wahania temperatury potęgowane przez występujące w pierwszym okresie pracy przewodu niesprężyste wydłużenia materiału będące efektem pełzania, czego wynikiem jest powiększanie ich długości. Typowe (tradycyjne, grawitacyjne) urządzenia naprężające działają na zasadzie generowania siły poprzez grawitacyjne oddziaływanie ciężaru umieszczonego na pręcie, który poprzez układ krążków (stałego i ruchomego), liny naprężającej lub łańcucha oraz elementów mocujących linę nośną i przewody jezdne napręża sieć trakcyjną. Urządzenie naprężające typu grawitacyjnego wysoce obciąża konstrukcje wsporcze ze względu na konieczność zastosowania dużych ciężarów w postaci krążków żeliwnych lub betonowych.

W odpowiedzi na zapotrzebowanie rynkowe, na całym świecie prowadzone są prace mające na celu opracowanie nowego rozwiązania mającego zastąpić tradycyjne ciężarowe urządzenia naprężające. Znanymi jest kilka rozwiązań bezciężarowych urządzeń naprężających opartych na różnej zasadzie działania, między innymi na zastosowaniu sprężyn śrubowych i spiralnych, a także siłowników gazowych [3, 9, 2, 1, 10, 12]. Jednym z naj-



Rys. 2. Zaprojektowane urządzenie naprężające: a) z krzywką na ramieniu wysięgowym b) uproszczenie do symulacji MES

piej rokujących rozwiązań są bezciężarowe sprężynowe urządzenia naprężające.

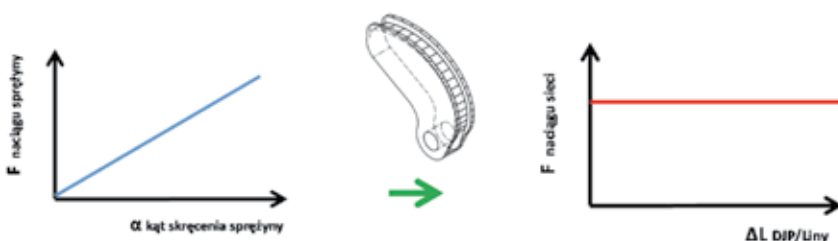
Zasadniczą różnicą w stosunku do urządzeń starszej generacji jest zastosowanie, w miejsce ciężaru grawitacyjnego, wysoko wydajnego mechanizmu sprężynowego wyposażonego w krzywkę [11, 7]. Mechanizm sprężynowy jest znacznie lżejszy od dotychczas stosowanych, ponadto pozwala na zastosowanie lżejszych słupów kotwowych, jest także tańszy w produkcji.

W wyniku prowadzonych badań ustalono, iż najbardziej wydajną i najprostszą w produkcji będzie konstrukcja oparta na sprężynach taśmowych spiralnych. Sprężyny tego typu dają najlepszy stosunek masy do możliwości kumulowania energii, ponadto są niezwykle trwałe.

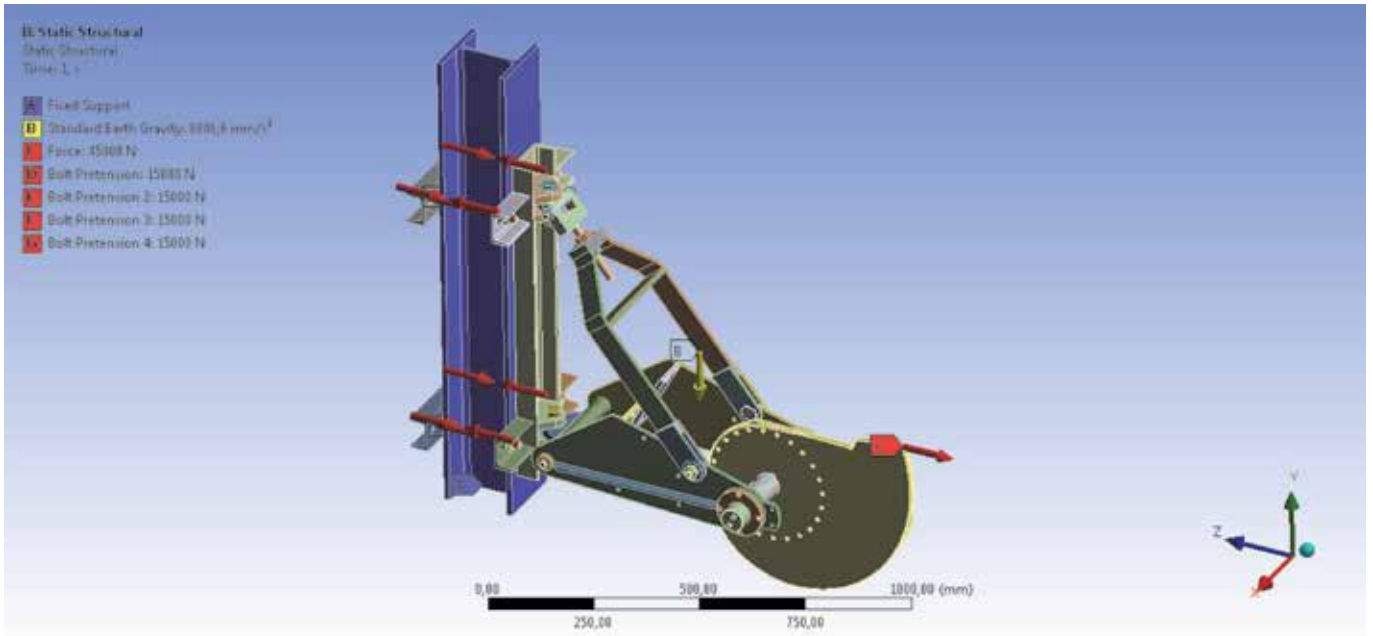
Koncepcja budowy bezciężarowego urządzenia naprężającego

Główna zasada działania sprężynowego urządzenia naprężającego polega na zamianie momentu obrotowego wału urządzenia, generowanego przez układ sprężyn na siłę oddziałującą na sieć trakcyjną. Zmiana przebiegu charakterystyki siły (momentu) generowanej przez sprężynę na wale w czasie jego obrotu odbywa się za pomocą specjalnie dobranej krzywki, w taki sposób by uzyskać stałą siłę w funkcji zmiany długości kompensowanej liny. Idee działania urządzenia naprężającego ilustruje rys. 1.

Zgodnie z przedstawioną ideą zaprojektowano prototypowe urządzenie naprężające z krzywką umieszczoną na ramieniu wysięgowym, z pośrednim przeniesieniem napędu (patrz rys. 2a). Rozwiązanie takie zapewnia łatwość montażu i obsługi serwisowej urządzenia, ponadto wpływa korzystnie na tłumienie drgań całej konstrukcji. Zaprojektowany model prototypu urządzenia poddano badaniom numerycznym, mającym sprawdzić jego zgodność z obowiązującymi normami dotyczącymi



Rys. 1. Idea działania sprężynowego urządzenia naprężającego



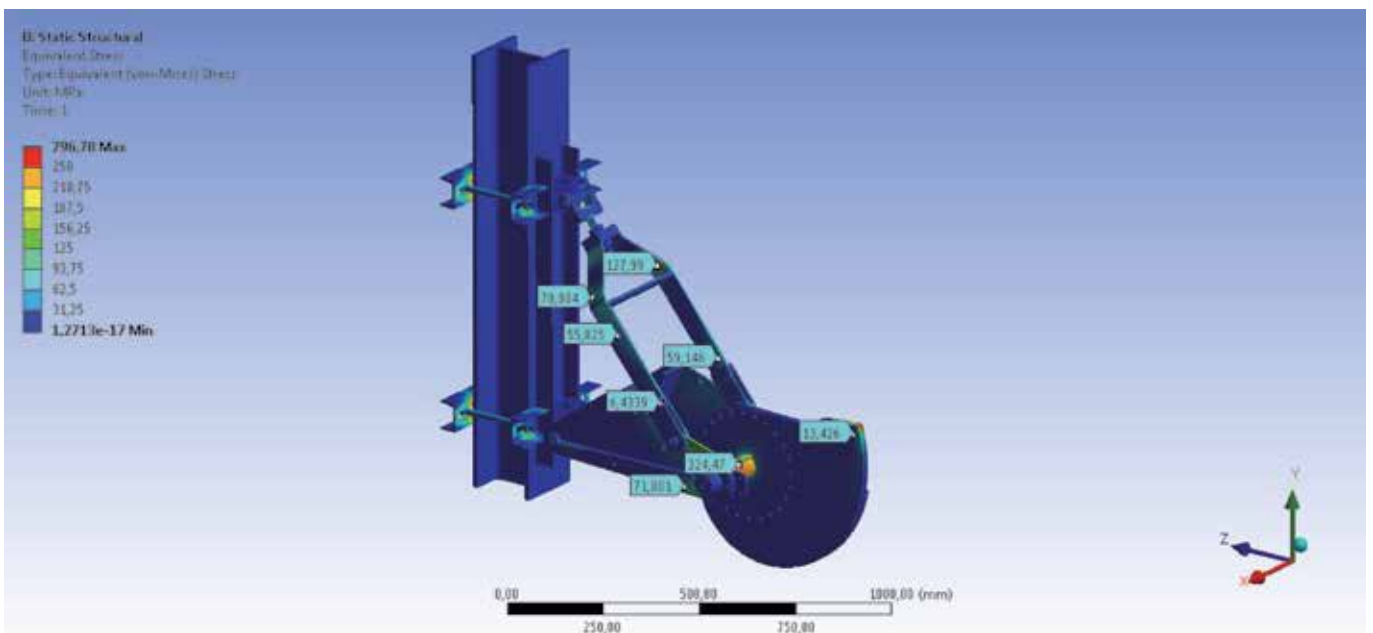
Rys. 3. Przyjęty w badaniach MES schemat obciążenia

osprzętu dla trakcji kolejowej [8]. Ze względu na złożoność konstrukcji oraz cel badań, jakim było sprawdzenie poprawności konstrukcji mocującej, zastosowano uproszczenie modelu zgodnie z rysunkiem 2b.

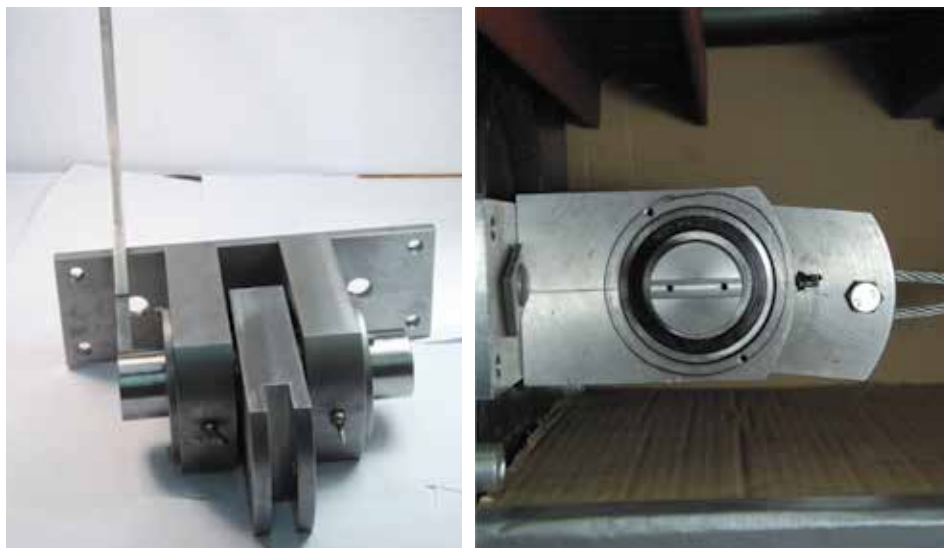
Zastosowane uproszczenie konstrukcji do badań nie wpływa znacząco na wynik symulacji. Ze względu na wymagania normatywne, dotyczące wytrzymałości mocowania urządzenia naprężającego, do konstrukcji nośnej zastosowano schemat obciążenia widoczny na rys. 3.

Dla zbadania wytrzymałości połączeń uchwytów przyjęto wymaganą (zgodnie z normą) siłę ciągnącą konstrukcję na poziomie 4.5 kN, nie uwzględniając jej oddziaływania na sprężynowy układ napędowy urządzenia. W wyniku symulacji otrzymano rozkład pól naprężeń w obrębie konstrukcji urządzenia poddanego obciążeniu (patrz rys. 4).

W oparciu o przeprowadzone badania numeryczne stwierdzono, iż najwyższe naprężenia dla badanej konstrukcji występują na wale, na który siła przenoszona jest bezpośrednio z krzywki. Obserwowane przemieszczenia dla badanej konstrukcji, we wszystkich kierunkach mają znacznie poniżej 10 mm. Uwzględniając materiał z jakiego przewidziano wykonanie wału tj. stal w gat. H40 o podwyższonych własnościach wytrzymałościowych ($R_{0,2} = 780$ MPa), współczynnik bezpieczeństwa w tym obszarze konstrukcji jest stosunkowo wysoki i znacznie przekracza 2 (patrz rys. 4). W pozostałych niewrażliwych obszarach konstrukcji występują znacznie niższe naprężenia. Umożliwia to zastosowanie materiałów o niższych własnościach mechanicznych, przy zachowaniu współczynnika bezpieczeństwa na poziomie powyżej 1,5, co jest wartością więcej niż wystarczającą. Natomiast zastosowanie tańszego materiału jest uzasadnione ze względów ekonomicznych.



Rys. 4. Rozkład pól naprężeń przy zadanym układzie obciążenia



Rys. 5. Zestaw do badania węzłów łożyskowych pod obciążeniem

Badania doboru elementów do nowego typu urządzeń naprężających

Wstępne analizy i symulacje, uszczegółowienie koncepcji i zaprojektowanie prototypów urządzenia naprężającego pozwoliły na przystąpienie do badań nad doбором optymalnych elementów składowych urządzenia. Zawarte w ramach artykułu badania oraz analizy przedstawione zostały na przykładzie urządzenia naprężającego o nominalnej sile naciągu 10 kN i wydłużeniu liniowym elementów przewodzących do 800 mm.

Ze względu na warunki pracy węzłów łożyskowych w beczieżarowych urządzeniach naprężających tj. duże obciążenia, niewielki zakres ruchów i wymagany długi czas bezawaryjnej i bezobsługowej eksploatacji, konieczne było sprawdzenie ich niezawodności pod względem działania, w warunkach symulujących obciążenia występujące w sieci trakcyjnej. W tym celu opracowano specjalny uchwyt umożliwiający zainstalowanie układów dowolnych łożysk, umożliwiający zbadanie zachowania układów cierno-ślizgowych pod obciążeniem. Jarzma łożysk sprężono z maszyną wytrzymałościową i za pomocą elastycznego cięgna poddano obciążeniu zainstalowane układy łożysk, mierząc jednocześnie zmianę momentu obrotowego koniecznego do poruszenia zestawem łożysk. Na rys. 5 przedstawiono mechanizm układu badawczego do testów łożysk w warunkach obciążeń eksploatacyjnych.



Rys. 6. Układ sprężyn poddany maksymalnemu obciążeniu

Na podstawie wyników badań wytypowano ślizgowe łożyska kompozytowe jako najodpowiedniejsze do budowy beczieżarowego urządzenia naprężającego.

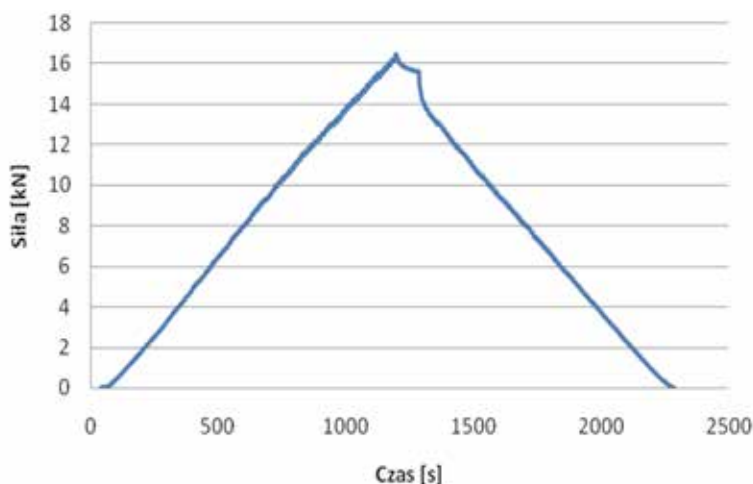
Kolejnym etapem badań nad optymalizacją elementów beczieżarowych urządzeń naprężających dla sieci trakcyjnych było zaprojektowanie i przetestowanie szeregu sprężyn spiralnych o zróżnicowanej geometrii pod kątem ich własności eksploatacyjnych. Celem badań było zoptymalizowanie układu pod względem uzyskiwanych sił oraz wydłużenia. Badania prowadzono na zestawach 2, 4 i 6 sprężynowych w celu doboru odpowiedniej siły niezbędnej do uzyskaniażądanego zakresu sił naciągu. Na rys. 6 przedstawiono sprężynę podczas badań, natomiast na rys. 7 charakterystykę siły w funkcji drogi dla tej sprężyny.

Ostatecznie zoptymalizowany zestaw sprężyn, przy zastosowaniu podwójnego układu i koła o promieniu 190 mm, charakteryzuje się wysokim poziomem sił generowanych na linii tj. powyżej 16 kN, uzyskując przemieszczenie linii na poziomie przekraczającym 800 mm. Ponadto charakterystyka siłowa sprężyn odznacza się wysokim poziomem liniowości w szerokim zakresie pracy, co jest wysoce pożądane z punktu widzenia aplikacyjnego.

Uzyskane wyniki badań wstępnych stanowiły podstawę do zaprojektowania układu mającego generować ustaloną siłę na linii przy jej zmiennym wydłużeniu. W celu uzyskania takiego efektu zaprojektowano krzywkę o ściśle określonej geometrii, pozwalającą uzyskać i utrzymać siłę na stałym i określonym poziomie. Jak już wspomniano do napędu urządzenia wykorzystano układ dwóch zoptymalizowanych sprężyn przedstawiony na rys. 8. Badania miały na celu sprawdzenie prawidłowego działania zaprojektowanego układu, a także wytypowanie najkorzystniejszego ustawienia krzywki względem wału. Należy nadmienić, iż poprawne ustawienie krzywki ma decydujące znaczenie dla otrzymania optymalnej siły generowanej przez urządzenie i jej utrzymania

Badania laboratoryjne

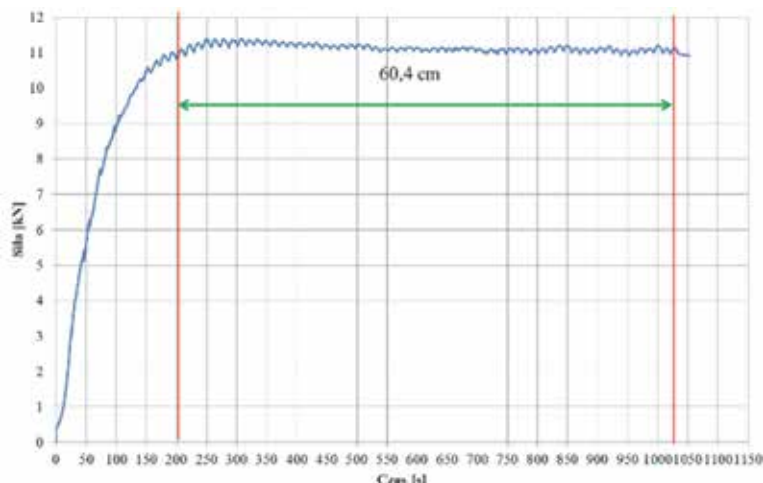
Uzyskane wyniki badań wstępnych stanowiły podstawę do zaprojektowania układu mającego generować ustaloną siłę na linii przy jej zmiennym wydłużeniu. W celu uzyskania takiego efektu zaprojektowano krzywkę o ściśle określonej geometrii, pozwalającą uzyskać i utrzymać siłę na stałym i określonym poziomie. Jak już wspomniano do napędu urządzenia wykorzystano układ dwóch zoptymalizowanych sprężyn przedstawiony na rys. 8. Badania miały na celu sprawdzenie prawidłowego działania zaprojektowanego układu, a także wytypowanie najkorzystniejszego ustawienia krzywki względem wału. Należy nadmienić, iż poprawne ustawienie krzywki ma decydujące znaczenie dla otrzymania optymalnej siły generowanej przez urządzenie i jej utrzymania



Rys. 7. Charakterystyka siłowa badanego układu sprężyn



Rys. 8. Testowany układ



Rys. 9. Zależność siły od czasu podczas badania krzywki (wydłużenie 60,4 cm)

na stałym poziomie podczas dalszych testów jak i eksploatacji urządzenia zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i poligonowych. Wybrane wyniki uzyskane w czasie testów zaprezentowano na rys. 9.

Po zoptymalizowaniu wzajemnego ustawienia elementów urządzenia uzyskano zadowalający wynik w postaci siły utrzymującej się na stałym poziomie ok. 11 kN w zakresie przemieszczenia liny (wydłużenia) do 60,4 cm. Zakres zanotowanego wydłużenia wynikał z wyczerpania możliwości przemieszczania trawersów urządzenia badawczego. Wnioskowano jednak, iż wydłużenie dla najkorzystniejszego położenia krzywki powinno wynosić powyżej 800 mm.

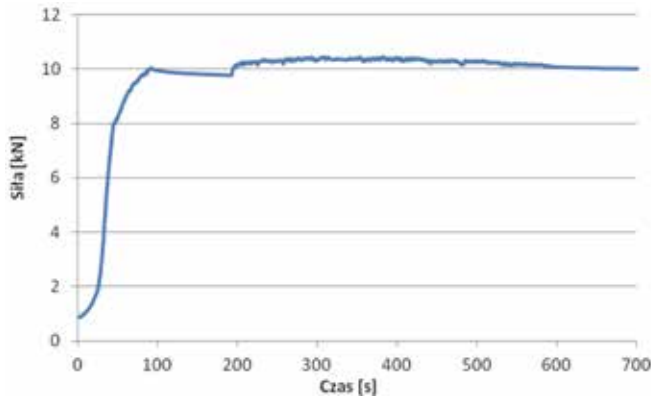
Laboratoryjne badania prototypu

Laboratoryjne badania prototypu [6] przeprowadzono we współpracy z Instytutem Kolejnictwa w Warszawie na terenie tamtejszego laboratorium wyposażonego w testowe przęsło sieci trakcyjnej. Tor pomiarowy wykorzystywany w czasie badań urządzenia prezentuje rys. 10.

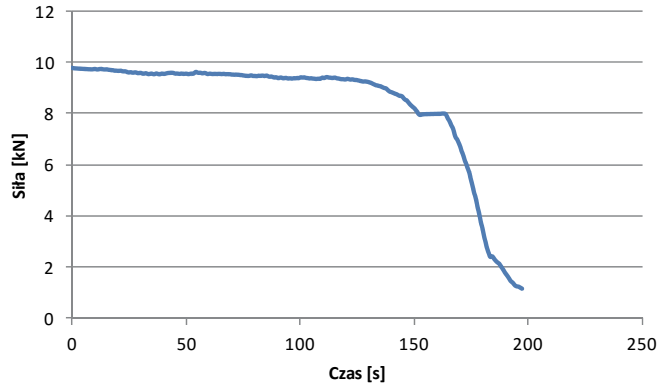
Celem badań było sprawdzenie poprawności działania prototypu, ewentualne korekty ustawiania krzywki względem wału, a także przetestowanie urządzenia w pełnym zakresie jego pracy. W ramach testów prototypu bezciążarowego urządzenia naprężającego przeprowadzono badania charakterystyk siłowych oraz pomiary przemieszczenia liny (wydłużenia). Charakterystyki siło-



Rys. 10. Widok ogólny na stanowisko pomiarowe



Rys. 11. Wykres siły - obciążanie układu



Rys. 12. Wykres siły - odciążanie układu



Rys. 13. Skala do regulacji urządzenia

we zarejestrowane przy zoptymalizowanym ustawieniu urządzenia prezentują rys. 11 i 12.

W toku badań przeprowadzonych na urządzeniu prototypowym zoptymalizowano jego ustawienia, dokonując niezbędnej korekty położenia krzywki, co zakończyło badania przygotowawcze do próby poligonowej. Ponadto otrzymano wiążące wyniki dotyczące notowanych sił na urządzeniu w pełnym zakresie jego użytkowania.



Rys. 14. Test urządzenia naprężającego, widoczny naciąg łańcuchowy i czujnik siły

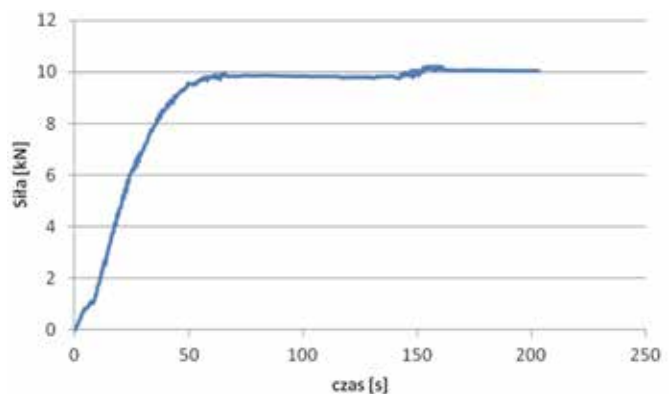
Dzięki temu możliwe było określenie skali umożliwiającej regulację urządzenia w zależności od warunków montażu patrz rys. 13.

Badania poligonowe

Badania poligonowe przeprowadzono na torze doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa mieszczącym się w Żmigrodzie. Jest to specjalistyczny obiekt badawczy wyposażony w 8 kilometrowy tor doświadczalny z pełną infrastrukturą kolejową, dzięki czemu możliwe jest testowanie urządzeń trakcyjnych i nie tylko, w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistych.

Urządzenie naprężające zainstalowano na jednym z torów obiektu w Żmigrodzie w układzie sieci półskompensowanej wykorzystując je do nadania naprężenia pojedynczemu przewodowi jezdnemu. Zaprojektowane parametry siłowe i kompensacyjne urządzenia zostały zoptymalizowane tak by odpowiadać wymaganej sile (10 kN) i wydłużeniu (800 mm) właśnie dla pojedynczego przewodu jezdniego [5]. W ramach montażu urządzenia przeprowadzono dodatkowe badanie rzeczywistej siły, generowanej w przewodzie przez urządzenie. Sposób realizacji pomiaru charakterystyki siłowej ilustruje rys. 14. Natomiast zanotowaną charakterystykę rys. 15.

Testy poligonowe wykazują znaczną stabilność siły naciągu generowanej przez urządzenie beczężarowe w żądanym zakresie sił naciągu trakcji. Dzięki zaprojektowanemu, możliwemu do skompensowania wydłużeniu przewodu, urządzenie spełnia z nadmiarem stawiane mu wymagania. Obecnie urządzenie pozostaje zainstalowane na torze testowym w Żmigrodzie celem długoczasowej oceny jego własności eksploatacyjnych. Na rys. 16 przedstawiono porównanie dwóch typów urządzeń naprężających, na pierwszym planie prototyp nowoczesnego urządzenia beczężarowego.



Rys. 15. Wyniki pomiarów



Rys. 16. Porównanie dwóch typów urządzeń naprężających na pierwszym planie prototyp nowoczesnego urządzenia bezciężarowego

Podsumowanie

Dzięki wnikliwej analizie zagadnienia oraz uzyskanym wynikom badań laboratoryjnych i poligonowych możliwe okazało się skonstruowanie i wdrożenie do produkcji nowoczesnego bezciężarowego urządzenia naprężającego. Główne elementy odpowiedzialne za funkcjonowanie urządzenia to specjalnej geometrii krzywka umieszczona na kompensatorze oraz specjalnie zaprojektowany zestaw sprężyn spiralnych i łączący wszystko wał. Dodatkowo urządzenie posiada system mocowań i regulacji, pozwalający uzyskiwać stabilną siłę na ściśle określonym, żądanym poziomie oraz skalę umożliwiającą regulację urządzenia w zależności od warunków montażu. Jak wynika z przeprowadzonych badań, urządzenie uzyskuje i utrzymuje zaprojektowaną siłę (10 kN) w całym zakresie wymaganego wydłużenia elementów przewodzących (800 mm).

Bibliografia

1. JP2008114850A – Tension balancer for aerial cable.
2. JP2009166583A – Tension balancer of trolley wire.
3. JPS59184033A – Electrical slider support device.
4. Kiessling F., Puschmann R., Schmiieder A., *Contact Lines for Electric Railways*, Publicis Corporate Publishing, Monachium 2001.
5. Koniewski M., Rojek A., Knych T., Mamala A., *Badania nowych sieci trakcyjnych YC120-2CS150 i YC150-CS150*, „Czasopismo Techniczne”, E 1-E2007, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.

6. P.413625 – Urządzenie do kompensacji zmian długości sieci trakcyjnej.
7. PL/EP 2066523 – Urządzenie do kompensacji zmian długości naprężonych kabli z zasadniczo stałym naprężeniem.
8. PN-EN 50119:2009 – Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacyjne – Sieć jezdną górną trakcji elektrycznej.
9. US424833 – Automatic tension device for cable railways.
10. WO2008/037386A1 – Device for Compensating variations in the length of tensioned cables, with substantially constant tension.
11. WO2010/076859A1 – Tension balancer for overhead line and auxiliary equipment for installing tension balancer for overhead line.
12. WO98/21794 – Device for Compensating variations in the length of tensioned cables, with substantially constant traction.

Autorzy:

- prof. dr hab. inż. **Tadeusz Knych** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 dr hab. inż. **Andrzej Mamala** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 dr inż. **Paweł Kwaśniewski** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 dr inż. **Grzegorz Kiesiewicz** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 dr inż. **Andrzej Nowak** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 dr inż. **Wojciech Ścieżor** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 mgr inż. **Radosław Kowal** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 mgr inż. **Szymon Kordaszewski** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 inż. **Krzysztof Franczak** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
 inż. **Adolf Bogacki** – MABO sp. z o.o. z siedzibą Mierzyn-Szczecin
 mgr inż. **Ryszard Greguła** – MABO sp. z o.o. z siedzibą Mierzyn-Szczecin
 mgr inż. **Leszek Błędowski** – MABO sp. z o.o. z siedzibą Mierzyn-Szczecin
 mgr inż. **Krzysztof Dondziak** – MABO sp. z o.o. z siedzibą Mierzyn-Szczecin
 dr inż. **Artur Rojek** – Instytut Kolejnictwa w Warszawie
 mgr inż. **Wiesław Majewski** – Instytut Kolejnictwa w Warszawie

The concept i research of replacing the classical gravitational tensioning devices for railway traction network modern, compact devices with no loads

The article presents the concept of replacing the classical gravitational tensioning devices for railway traction network modern, compact devices with no loads. There was shown evolution of spring tensioning devices for use in railway traction networks and the methodology and results of the researches which are necessary to develop a working prototype. During of this research the prototype of the spring tensioning device rail network was designed and implemented. Built device allows to adjust the tension in the network of up to 30 kN and a compensation of extending the range of above 800 mm.

Key words: tensioning device, railway traction, railway, TUN.