

Tadeusz Knych, Paweł Kwaśniewski, Grzegorz Kiesiewicz, Andrzej Mamala, Wojciech Ścieżor, Michał Jabłoński, Radosław Kowal, Paweł Gaś, Adolf Bogacki, Ryszard Greguła, Leszek Błędowski, Artur Rojek, Wiesław Majewski

System nowej generacji elementów połączeń nośnych kolejowej górnej sieci trakcyjnej

Wartykule zaprezentowano system podwieszania sieci trakcyjnej nowej generacji. Dla zaprojektowanego rozwiązania przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych rozkładu naprężeń, a także współczynnika bezpieczeństwa w warunkach statycznych obciążeń eksploatacyjnych. Przeprowadzone badania potwierdziły, że opracowane elementy są bezpieczne z punktu widzenia nośności konstrukcji w warunkach obciążeń eksploatacyjnych.

Efektywność transportu szynowego bazuje na elementach konstrukcyjnych, których niezawodność wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo i sprawność całego systemu kolejowego. Jak już wspomniano w artykule [7], jedyną grupą elementów górnej sieci trakcyjnej – niemodernizowaną od lat i sprawiającą trudności eksploatacyjne – są elementy połączeń nośnych, tj. konstrukcje do podwieszania sieci do konstrukcji wsporczych, urządzenia naprężające oraz elementy mocowań odłączników, które wykonywane są aktualnie na bazie wycofanych już norm branżowych [1–4].

Wobec powyższego konsorcjum naukowo-przemysłowe – w składzie: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Firma Mabo ze Szczecina przy współpracy Instytutu Kolejnictwa z Warszawy i przy uwzględnieniu opinii i sugestii przedstawicieli PKP Polskie Linie Kolejowe SA – podjęło się opracowania nowego typu elementów połączeń nośnych do kolejowej sieci trakcyjnej, które w swojej uniwersalności mogłyby być stosowane do budowy nowych, jak i modernizacji aktualnie stoso-

wanych, traktów kolejowych. Prace te zostały dofinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w formule projektu Innotech II [6]. Prace projektowe nowego systemu rozpoczęto od badań metodą elementów skończonych, która umożliwiła uzyskiwanie przybliżonych wyników obliczeń do rzeczywistego zachowania się konstruowanych elementów w stosunkowo krótkim czasie bez potrzeby budowy materialnych modeli badawczych. Analiza uzyskanych wyników rozkładu naprężeń i odkształceń pozwoliła na opracowanie pierwszych modelowych prototypów, ich optymalizację, a następnie budowę rzeczywistych modeli badawczych w skali 1:1. Prace projektowe skoncentrowane zostały na poszukiwaniu nowego typu profili utrzymujących sieć trakcyjną nad torem, jak również konstrukcji elementów uchwytów, mocowań i osprzętu towarzyszącego. Na wstępie założono, że materiałami stosowanymi do wytwarzania nowego typu elementów połączeń nośnych będą

Tab. 1. Własności materiałów przyjęte do analiz i wytwarzania elementów konstrukcyjnych nowego systemu połączeń nośnych

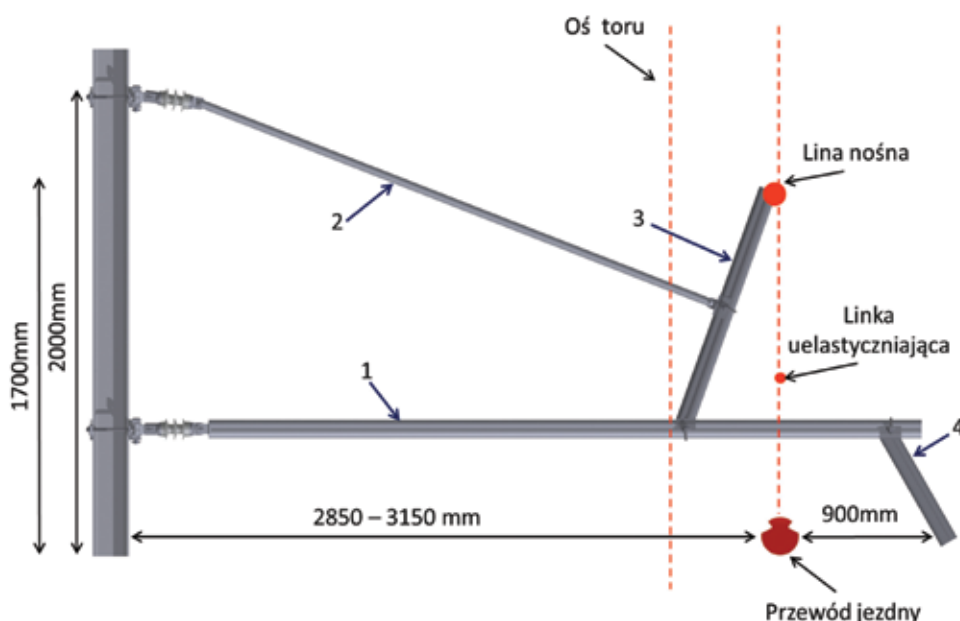
	Stop aluminium EN AW 6082	Stal nierdzewna 1.4301
Granica plastyczności [MPa]	310	190
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	340	500–700
Moduł Younga [GPa]	70	200
Gęstość [g/dm ³]	2,7	7,9
Współczynnik Poissona [-]	0,33	0,3–0,31

Źródło: oprac. własne.

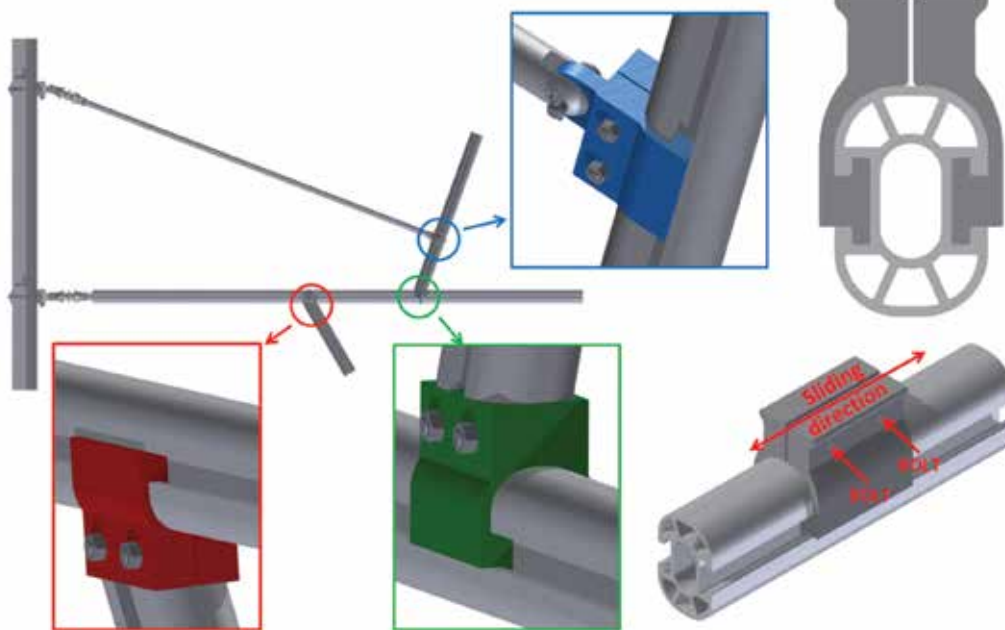
stopy aluminium o wysokiej odporności korozyjnej i wysokich własnościach mechanicznych jak również stal nierdzewna (wykluczono stosowanie stali czarnej).

Koncepcja nowego typu elementów połączeń nośnych sieci trakcyjnej

W ramach prac zaprojektowano i analizowano szereg koncepcji różnego typu systemów, które mogłyby spełnić założone kryterium nośności w ujęciu mechanicznym, wynikające z parametrów pracy takiego układu w rzeczywistych warunkach obciążeń statycznych i dynamicznych. Podstawowym kryterium przyjętym na początku prac była niezawodność i bezawaryjność nowego systemu, jego wysoka



Rys. 1. Schemat nowej generacji podwieszania sieci trakcyjnej do konstrukcji wsporczych



Rys. 2. Konceptcja łączenia profili nowego systemu generacji podwieszenia sieci trakcyjnej

odporność korozyjna, jak również szybkość i prostota montażu przy użyciu jednego klucza. Efektem tych prac było opracowanie nowej koncepcji podwieszania górnej sieci trakcyjnej, której schemat przedstawiono na rys. 1. Nowa koncepcja bazuje na aluminiowym głównym profilu nośnym (1), do którego mocowany jest ukośnik (3), natomiast do ukośnika w połowie jego długości mocowany jest odciąg (2). (1) i (2) mocowane są do konstrukcji wsporczej przez zestaw izolatorów i uchwytów. Do profilu głównego (1) mocowany jest wysięg pomocniczy (4) do ramion odciągowych. Konstrukcje (1–4) mocowane są między sobą za pomocą specjalnych ślizgowych uchwytów, które – po włożeniu w prowadnice umiejscowione po obu stronach profilu, wypozycjonowaniu – są następnie skręcane, zaciskając się i unieruchamiając całą konstrukcję. Ideę systemu łączenia



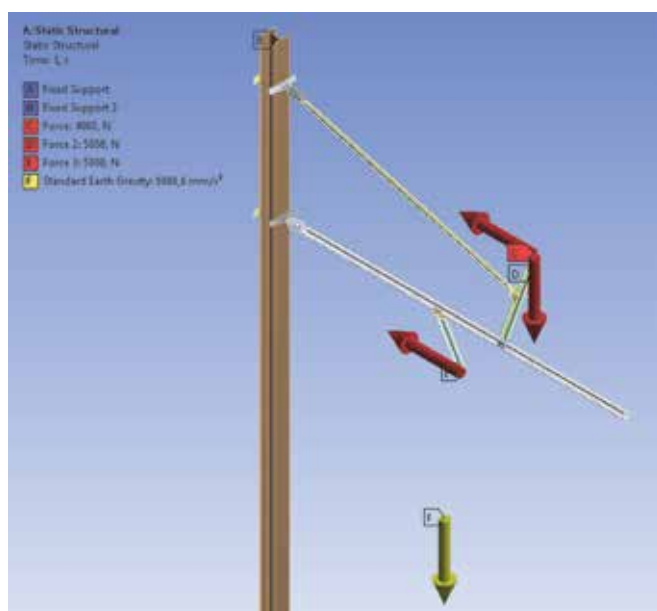
Rys. 3. Geometria profilu nośnego do nowego systemu elementów połączeń nośnych

profilu przedstawiono na rys. 2. Jednym z ważniejszych problemów do rozwiązania było opracowanie optymalnego – z punktu widzenia nośności, sztyw-

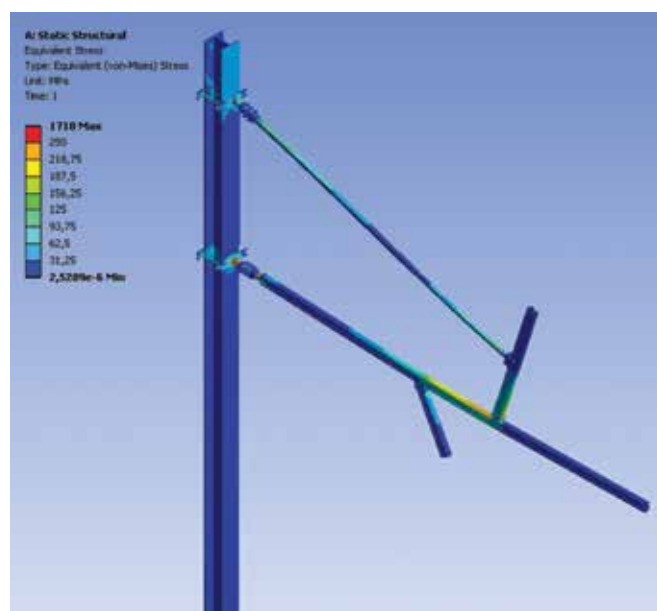
ności i względów ekonomicznych – profilu głównego. W tym celu opracowano i przebadano numerycznie ok. 30 różnych kształtów nowego profilu, co pozwoliło na uzyskanie końcowej optymalnej jego geometrii, przedstawionej na rys. 3.

Wyniki analiz MES

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych rozkładu naprężeń oraz współczynnika bezpieczeństwa nowego systemu podwieszeń w symulowanych warunkach obciążeń eksploatacyjnych. Zaprezentowane wyniki dotyczą optymalnych opracowanych geometrii. Ze względu na ograniczoną objętość artykułu nie zamieszczono tu obszernej analizy modeli wstępnych. Wyniki analiz pozwoliły na opracowanie końcowej geometrii nowego systemu, która została wytworzona



Rys. 4. Obciążenie układu podwieszeń sieci trakcyjnej wg Dokumentu Normatywnego PKP PLK SA nr 01-1/ET-2008 – schemat nr 1 [5]



Rys. 5. Rozkład naprężeń w nowym typu konstrukcji systemu podwieszeń sieci trakcyjnej

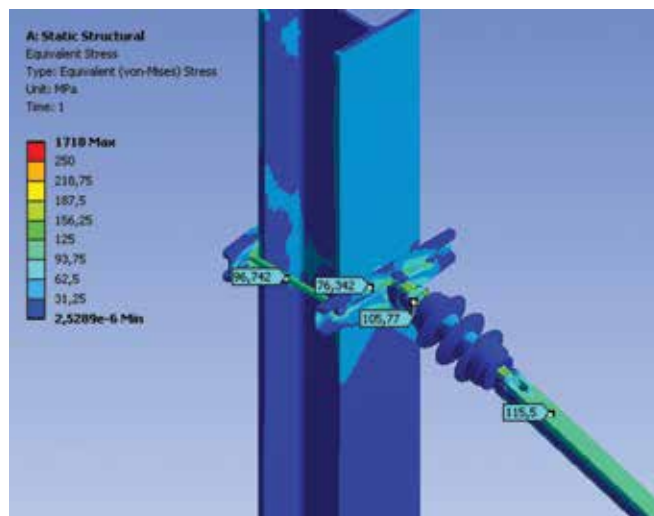
do badań rzeczywistych w warunkach obciążenia statycznego w warunkach laboratoryjnych. Zbudowanym modelom 3D przypisywano własności materiałowe oraz zadawano warunki kontaktowe układów połączeń, jak również utwierdzenia i warunki obciążenia zgodne z Dokumentem Normatywnym PKP PLK SA nr 01-1/ET-2008 [5]. Tak uzyskane modele podzielono na elementy skończone poprzez nałożenie siatki. Po gruntownej analizie badań materiałowych wytypowano dwa główne materiały na elementy konstrukcyjne nowego systemu, których własności przedstawiono w tabeli 1. Uchwyty mocowań do słupa oraz odciąg wykonywane będą ze stali nierdzewnej 1.4301, natomiast pozostałe elementy z wysokowytrzymałego stopu aluminium w gat. EN-AW 6082. Na rys. 4 przedstawiono parametry brzegowe przyjęte do obliczeń.

Na rys. 5 przedstawiono wyniki badań rozkładu naprężeń w analizowanym systemie w widoku ogólnym, natomiast na rys. 6 i 7 przedstawiono zbliżenia na miejsca o najwyższym wyężeniu. Z obliczeń wynika, że w analizowanym systemie obciążonym siłami eksploatacyjnymi występuje intensywność naprężeń na poziomie max. do 235 MPa. Najwyższy poziom naprężeń lokalizuje się w obszarach łączenia ukośnika z profilem głównym, gdzie występują najwyższe momenty zginające. Pozostałe obszary wyężone są na poziomie 50–100 MPa (śruby i obszary uchwytów do konstrukcji wsporczych, końce odciagu oraz miejsca mocowania wysięgu pomocniczego do ramion odciągowych). W pozostałych obszarach występują naprężenia na poziomie 10–50 MPa.

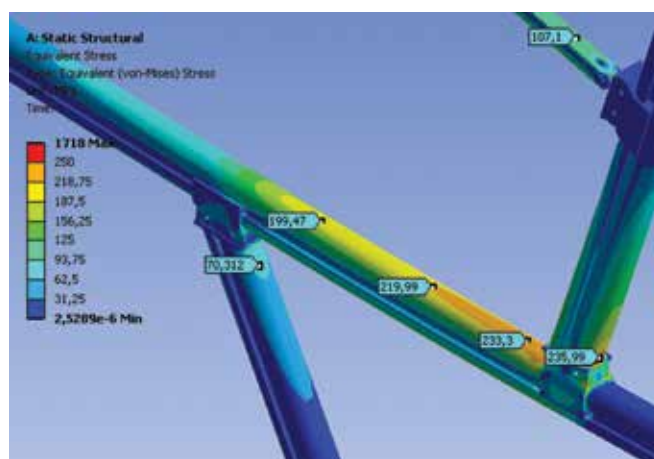
Na rys. 8–10 przedstawiono rozkład współczynnika bezpieczeństwa nowej konstrukcji, rozumianego jako stosunek naprężenia panującego w danym węźle pod określonym obciążeniem, odniesionego do wartości naprężenia uplastyczniającego materiału, z którego wykonano dany element. Z obliczeń wynika, że wszystkie elementy posiadają wysoki współczynnik bezpieczeństwa na poziomie min. 1,3, przy uwzględnieniu, że obciążenia założone do obliczeń uwzględniają już stosowane w kolejnictwie współczynniki bezpieczeństwa. Na rys. 11 przedstawiono wyniki przemieszczenia pionowego w dół analizowanego systemu. Maksymalne ugięcie pionowe konstrukcji w skrajnym położeniu profilu głównego wynosiło 89 mm (analogiczne ugięcie dla konstrukcji dotychczas stosowanej wynosiło 180 mm). Przeprowadzone badania wykazały, że występujące w konstrukcji nowego systemu naprężenia są na bezpiecznym poziomie (znacznie poniżej min., wynoszącej 1,3, granicy plastyczności zastosowanych materiałów konstrukcyjnych) i nie zagrażają bezpieczeństwu funkcjonowania opracowanych elementów. Również poziom ugięcia sprężystego nowej konstrukcji pozwoli na wzrost parametrów eksploatacyjnych sieci trakcyjnej z nowymi elementami. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że opracowane konstrukcje cechować się będą wysoką sztywnością i wytrzymałością mechaniczną, dedykowaną do stosowanego w Polsce systemu zasilania 3 kV napięcia stałego.

Podsumowanie

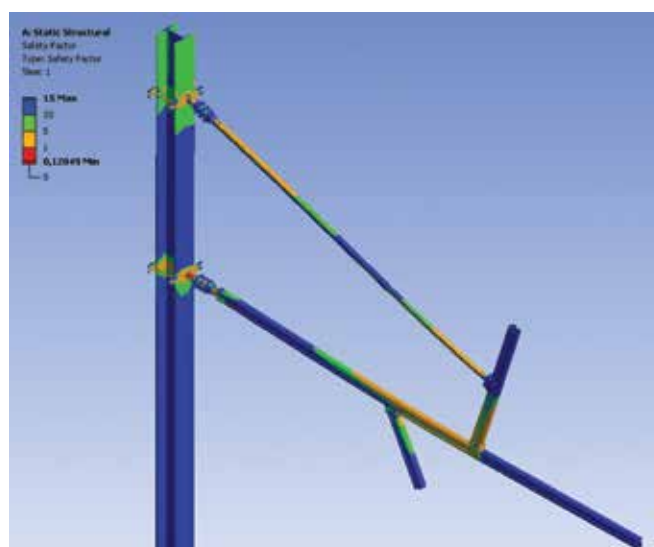
Przeprowadzone badania obliczeń numerycznych rozkładu wyężień, współczynnika bezpieczeństwa oraz ugięcia sprężystego nowego systemu podwieszeń wykazały, że opracowane elementy są bezpieczne z punktu widzenia nośności konstrukcji w warunkach obciążeń eksploatacyjnych. Uzyskane wyniki dały podstawę do wykonania rzeczywistych modeli w skali 1:1 do badań nowego systemu w warunkach obciążeń statycznych



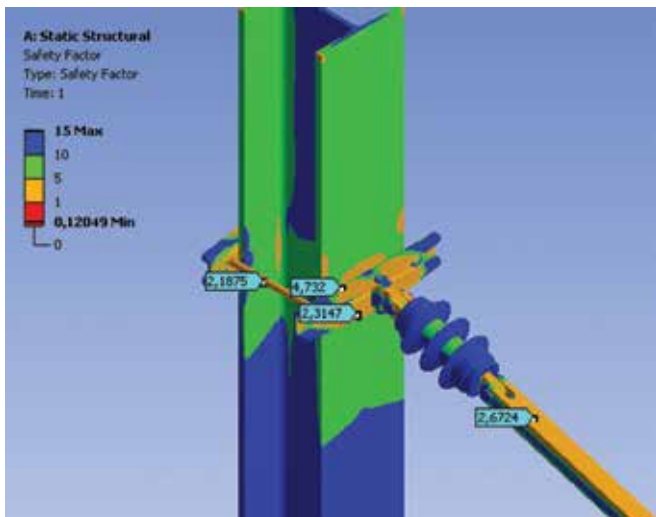
Rys. 6. Rozkład naprężeń w zbliżeniu na elementy nowego systemu w miejscu łączenia ukośnika, odciagu i wysięgnika ramion odciągowych



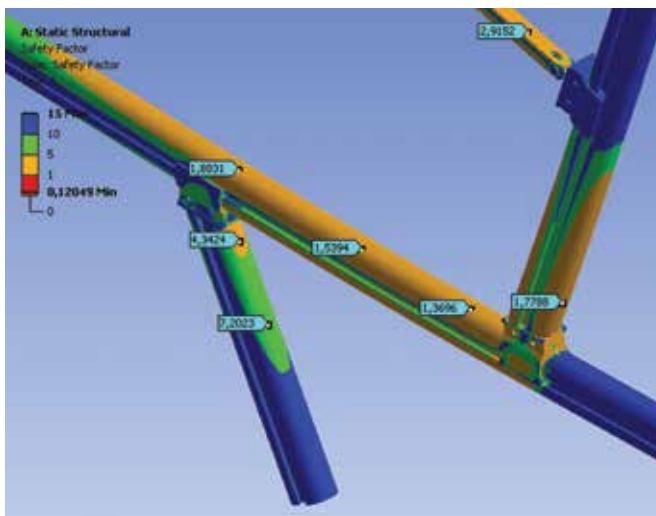
Rys. 7. Rozkład naprężeń w zbliżeniu na elementy nowego systemu w miejscu łączenia systemu z konstrukcją wsporczą



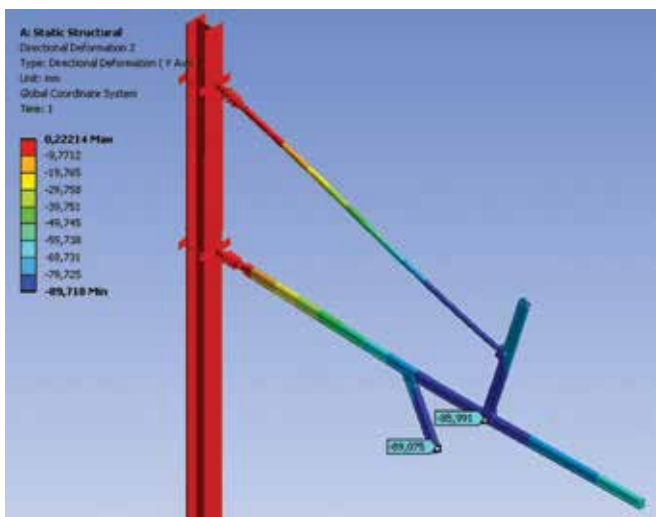
Rys. 8. Rozkład współczynnika bezpieczeństwa dla nowego typu systemu podwieszeń – widok ogólny



Rys. 9. Rozkład współczynnika bezpieczeństwa dla nowego typu systemu podwieszni – widok mocowań do słupa



Rys. 10. Rozkład współczynnika bezpieczeństwa dla nowego typu systemu podwieszni – widok mocowań ukośnika z profilem głównym



Rys. 11. Deformacja w kierunku pionowym (oś Y) dla nowego typu systemu podwieszni – widok ogólny

i dynamicznych w testach laboratoryjnych, jak i poligonowych, w sieci trakcyjnej, co umożliwi porównanie uzyskanych wyników doświadczalnych z numerycznymi, a także pozwoli na doświadczalną weryfikację opracowanego systemu. Na tej podstawie opracowana zostanie technologia ich wytwarzania w warunkach Firmy MABO ze Szczecina.

Bibliografia:

1. BN 76/9317-86 Wspornik ramion odciągowych.
2. BN 84/9318-04 Ukośnik rurowy.
3. BN84/9318-05 Odciąg doukośnika rurowego przechylnego.
4. BN 84/9318-07 Końcówka odciążu ukośnika rurowego.
5. Dokument Normatywny PKP PLK SA nr 01-1/ET-2008. Osprzęt sieci trakcyjnej, Warszawa 2008. – let-110.
6. Projekt NCBiR INNOTECH II (Firma MABO) pt. Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji nowej generacji elementów nośnych kolejowych sieci trakcyjnych nr: INNOTECH-K2/IN2/28/182120/NCBR/13.
7. Rojek A., Majewski W., Górna sztywna sieć trakcyjna, „Technika Transportu Szynowego” 2015, nr 1–2.

Prace prowadzono w ramach projektu INNOTECH II nr: INNOTECH-K2/IN2/28/182120/NCBR/13 dzięki dofinansowaniu przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Artykuł został przygotowany na XVI Ogólnopolską Konferencję Naukową Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2014, zorganizowaną przez Politechnikę Krakowską w październiku 2014 r.

SEMTRAK 2014

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Tadeusz Knych**, dr inż. **Paweł Kwaśniewski**, dr inż. **Grzegorz Kiesiewicz**, dr hab. inż. **Andrzej Mamała**, mgr inż. **Wojciech Ścieżor**, dr inż. **Michał Jabłoński**, mgr inż. **Radosław Kowal**, mgr inż. **Paweł Gaś** – AGH Kraków
mgr inż. **Adolf Bogacki**, mgr inż. **Ryszard Greguła**, mgr inż. **Leszek Błędowski** – MABO Mierzyn, Szczecin
mgr inż. **Wiesław Majewski**, dr inż. **Artur Rojek** – Instytut Kolejnictwa, Warszawa

New generation of railway overhead line equipment system

Railway overhead line equipment is being produced in Poland based on the withdrawn industry standards and because of that those elements do not meet requirements of actual technical requirements. Design of currently used constructions is based on hot galvanized, commercially available simple shapes like channel and square sections made from S235JR grade steel. Because of that those elements have typically high mass and limited corrosion resistance. What is more outdated design present difficulties with assembly and daily use. Within this article concept of new generation of overhead line equipment is presented along with numerical (FEM) research results of stress and safety factor obtained with the use of applied operational load scheme. Conducted works showed that newly designed elements have safe level of effective stress and high safety factor – all tested under operational load scheme, existing in 3 kV DC railway systems.