

NOWEJ GENERACJI ELEMENTY POŁĄCZEŃ NOŚNYCH GÓRNEJ SIECI TRAKCYJNEJ¹

Paweł Kwaśniewski

dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. 12 617 26 53, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: kwas@agh.edu.pl

Tadeusz Knych

prof. dr hab. inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: tknych@agh.edu.pl

Grzegorz Kiesiewicz

dr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: gk@agh.edu.pl

Andrzej Mamala

dr hab. inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: amamala@agh.edu.pl

Wojciech Ścieżor

mgr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: wsciezor@agh.edu.pl

Michał Jabłoński

dr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: jablonsk@agh.edu.pl

Artur Kawecki

dr hab. inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: artur.kawecki@agh.edu.pl

Radosław Kowal

mgr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: radoslawkowal@interia.pl

Paweł Gaś

mgr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Wydział Metali Nieżelaznych, tel. 12 617 26 53, e-mail: pawelgas@gmail.com

Adolf Bogacki

inż., MABO, ul. Spółdzielców 8a, 72-006 Mierzyn k. Szczecina, tel. 91 487 92 92, e-mail: bogacki@mabo.pl

Ryszard Greguła

mgr inż., MABO, ul. Spółdzielców 8a, 72-006 Mierzyn k. Szczecina, tel. 91 487 92 92, e-mail: gregula@mabo.pl

Leszek Błędowski

inż., MABO, ul. Spółdzielców 8a, 72-006 Mierzyn k. Szczecina, tel. 91 487 92 92, e-mail: bledowski@mabo.pl

Artur Rojek

dr inż., Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, tel. 48 22 610 08 68, e-mail: ARojek@ikolej.pl

Wiesław Majewski

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, tel. 48 22 610 08 68, e-mail: WMajewski@ikolej.pl

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Kwaśniewski P. 8%, Knych T. 8%, Kiesiewicz G. 8%, Mamala A. 8%, Ścieżor W. 7%, Jabłoński M. 7%, Kawecki A. 7%, Kowal R. 7%, Gaś P. 7%, Bogacki A. 7%, Greguła R. 7%, Błędowski L. 7%, Rojek A. 6%, Majewski W. 6%

Streszczenie. *Aktualnie stosowane w Polsce elementy połączeń nośnych sieci trakcyjnej wykonywane są standardowo ze stali S235JR o niskiej odporności korozyjnej oraz wysokiej masie właściwej. Ich konstrukcja jest przestarzała, montaż skomplikowany, a użytkowanie powoduje szereg problemów eksploatacyjnych. W związku z tym, iż w nowych typach sieci trakcyjnych coraz częściej stosowane są nowo opracowane konstrukcje wsporcze, nowoczesne przewody jezdne czy wysokoprzewodzący osprzęt, powstała koncepcja zaprojektowania i wytworzenia nowoczesnego systemu elementów połączeń nośnych, który będzie bezawaryjnie współpracował zarówno z nowymi, jak i aktualnie użytkowymi elementami sieci trakcyjnej. W ramach artykułu przedstawiono wyniki badań numerycznych tj. rozkładu wyężenia i współczynnika bezpieczeństwa nowej konstrukcji w warunkach obciążeń eksploatacyjnych oraz wyniki badań na rzeczywistym modelu zaprojektowanej konstrukcji. Przeprowadzone badania wykazały, że nowego typu elementy posiadają bezpieczny poziom naprężeń i wysoki współczynnik bezpieczeństwa pod wpływem obciążeń wynikających z rzeczywistych warunków pracy tego typu elementów w sieciach trakcyjnych.*

Słowa kluczowe: *kolejowa górna sieć trakcyjna, elementy połączeń nośnych, podwieszenia*

1. Wprowadzenie

Odpowiednio zaprojektowana i wykonana sieć trakcyjna gwarantuje wysokie cechy eksploatacyjne, co przekłada się bezpośrednio na szybkość i bezpieczeństwo transportu szynowego towarów i ludzi. Aktualnie w Polsce pociągi pasażerskie poruszają się z maksymalną prędkością sięgającą 160 km/h. Jednym z powodów ograniczenia maksymalnej prędkości pociągów jest zła infrastruktura kolejowa. Z drugiej strony coraz częściej dochodzi do awarii w sieciach trakcyjnych, których to efektami mogą być utrudnienia w transporcie, opóźnienia ruchu pociągów, a także niezwykle niebezpieczne wypadki i katastrofy zagrażające zarówno zdrowiu, jak i życiu pasażerów.

Kolejową górną sieć trakcyjną można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- konstrukcje wsporcze,
- liny nośne, przewody jezdne oraz osprzęt,
- elementy połączeń nośnych.

Bezpieczeństwo, szybkość oraz bezawaryjność transportu kolejowego mogą być zagwarantowane, gdy wszystkie komponenty składowe nowoczesnego systemu górnej i dolnej sieci trakcyjnej posiadają cechy dedykowane do danego systemu. W ciągu kilku ostatnich lat opracowane i wdrożone zostały dwa nowoczesne typy kolejowej górnej sieci trakcyjnej o symbolach YC120-2CS150 oraz YC150-2CS150, umożliwiające bezawaryjne poruszanie się taboru kolejowego z prędkością do 200 km/h [1,2].

Aby możliwe było wprowadzenie powyższych typów sieci do eksploatacji konieczne było opracowanie i wdrożenie do produkcji nowych elementów składowych, tj. nowoczesnych przewodów jezdnych z miedzi srebrowej o istotnie wyższej odporności na ścieranie i odporności cieplnej w stosunku do stosowa-

nych przewodów z miedzi CuETP, a także nowoczesnego wysokoprzewodzącego i wysokowytrzymałego osprzętu ze stopu CuNi2Si [3]. Ponadto w ostatnich latach opracowano i wdrożono do produkcji nowego typu lekkie konstrukcje wsporcze (słupy i bramki) o wysokim współczynniku bezpieczeństwa ze strefą kontrolowanego zniszczenia dedykowane do systemu nowych typów sieci [3].

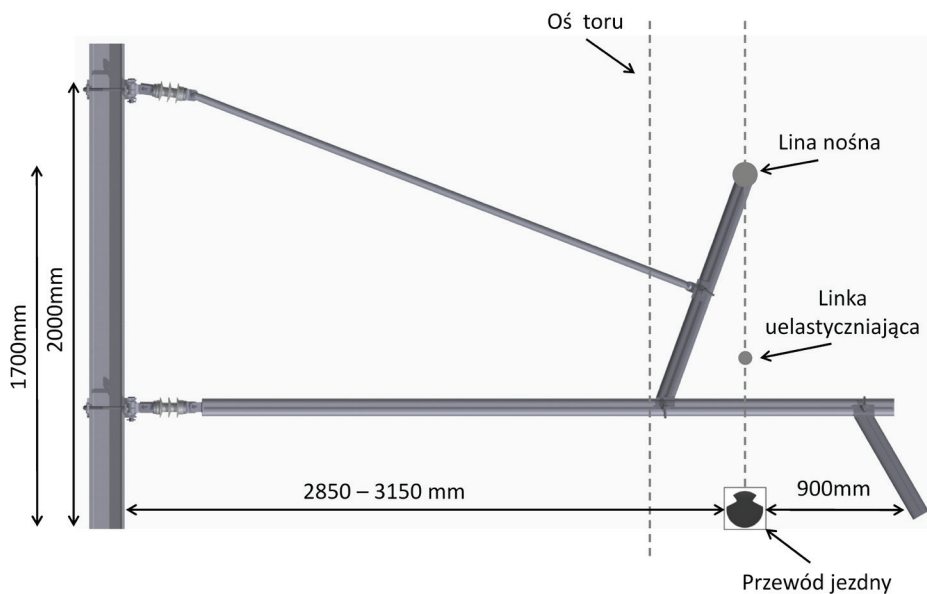
Niniejszy artykuł dotyczy kolejnej z wymienionych grup, a mianowicie elementów połączeń nośnych w służących do podwieszania przewodów jezdnych, lin nośnych i osprzętu do konstrukcji wsporczej. Jest to ostatnia grupa, która jak dotychczas nie została objęta pracami badawczymi zmierzającymi do jej gruntownej modernizacji. Prace te wydają się niezbędne, ze względu na fakt, iż są one łącznikiem pomiędzy konstrukcjami wsporczymi a linią nośną i przewodem jezdny, przez co pełnią niezwykle odpowiedzialną rolę w sieci trakcyjnej.

Aktualnie w Polsce elementy te produkowane są z prostych kształtowników (rur, kątowników, ceowników) wykonywanych ze stali konstrukcyjnej S235JR. Stal ta charakteryzuje się bardzo niską odpornością na korozję, a jedynym zabezpieczeniem antykorozyjnym omawianych elementów jest warstwa cynkowa nanoszona w sposób ogniowy. W związku z faktem, iż proces cynkowania prowadzony bywa często w sposób niedbały, pierwsze ogniska korozji na tego typu elementach mogą być zauważone już po okresie jednego roku od montażu. Kolejnym problemem jest wysoka masa całego systemu, która to staje się powodem wielu komplikacji podczas montażu i eksploatacji. Dodatkowo szereg zaniedbań w zakładach produkcyjnych przekłada się na powstawanie wielu wad geometrycznych jak i technologicznych. Istnieje wielu producentów zagranicznych, którzy produkują różnego typu elementy połączeń nośnych sieci trakcyjnych z różnych materiałów i w różnych technologiach. Materiałami głównie wykorzystywanymi przez producentów europejskich są: stal konstrukcyjna, stopy aluminium oraz materiały kompozytowe. Elementy te dedykowane są głównie do sieci trakcyjnych zasilanych w systemie prądu przemiennego, który to system obowiązuje w większości krajów europejskich. Z tego względu elementy te posiadające własności użytkowe nie optymalne z punktu widzenia sieci zasilanych prądem 3 kV DC, co w konsekwencji przysparza szeregu problemów eksploatacyjnych. Kompendium wiedzy rozwiązań europejskich różnych elementów po podwieszaniu sieci trakcyjnej można znaleźć w publikacji [6].

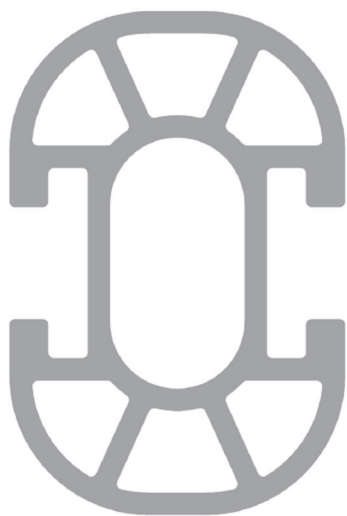
W związku ze wspomnianymi problemami i zagrożeniami, zaprojektowane zostały nowego typu elementy połączeń nośnych o zespole wysokich własności eksploatacyjnych dedykowanych do nowych typów sieci trakcyjnych, jak również, jako zamiennik aktualnych rozwiązań dedykowanych do systemu zasilania 3 kV DC. Na zaprojektowanych elementach przeprowadzono symulacje MES rozkładu naprężeń w oraz poddano je badaniom laboratoryjnym na rzeczywistym modelu podwieszenia sieci trakcyjnych.

2. Koncepcja nowego typu elementów połączeń nośnych sieci trakcyjnej

Koncepcja nowego systemu elementów połączeń nośnych bazuje na specjalnie zaprojektowanym profilu z wysokowytrzymałego stopu aluminium EN-AW 6082, z którego wykonane są elementy: 1 – profil nośny, 3 – ukośnik, 4 – wysięg pomocniczy. Element 2 – odciąg, jest natomiast profilem teleskopowym wykonanym ze stali nierdzewnej w gatunku 1.4301. Schemat montażu poszczególnych elementów między sobą został ukazany na rys. 1. Na rys. 2 przedstawiono geometrię profilu nośnego o specjalnie dobranej geometrii z punktu widzenia sztywności i masy.

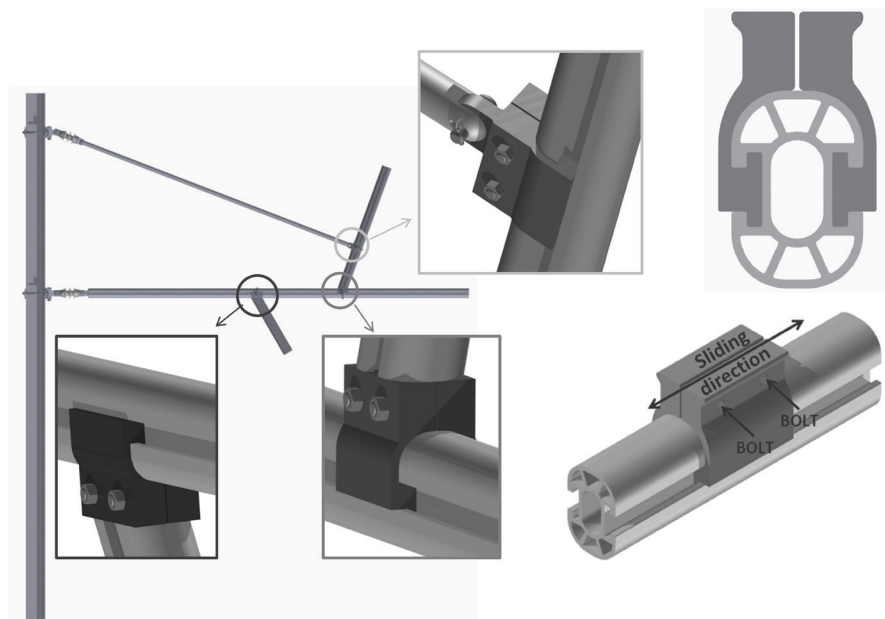


Rys. 1. Schemat nowej generacji podwieszenia sieci trakcyjnej do konstrukcji wsporczych



Rys. 2. Kształt profilu ze stopu aluminium ENAW 6082 stosowanego na profil nośny, ukośnik, wysięg pomocniczy

W celu ułatwienia montażu oraz regulacji, konstrukcje (1-4) mocowane są między sobą za pomocą specjalnych ślizgowych uchwytów, które po włożeniu w prowadnice umiejscowione po obu stronach profilu, po wypozycjonowaniu są następnie skręcane zaciskając się i unieruchamiając całą konstrukcję. Idee systemu łączenia profili przedstawiono na rys. 3.



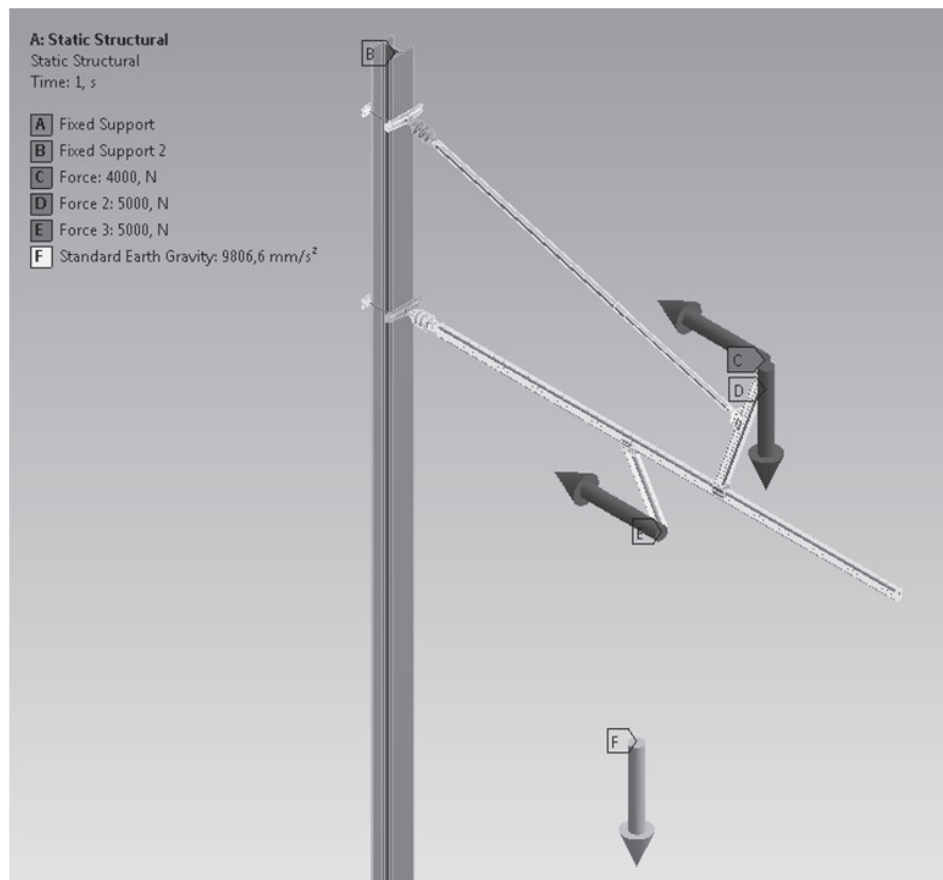
Rys. 3. Koncepcja łączenia profili nowego systemu generacji podwieszenia sieci trakcyjnej

3. Wyniki analiz MES

Pierwszym etapem procedury badawczej oraz doboru geometrii wszystkich elementów było przeprowadzenie obliczeń numerycznych rozkładu naprężeń nowego systemu podwieszeń w symulowanych warunkach obciążeń eksploatacyjnych. Zbudowanym modelom 3D przypisano własności materiałowe oraz zadano warunki kontaktowe układów połączeń jak również utwierdzenia i warunki obciążenia zgodne z Dokumentem Normatywnym PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. nr 01-1/ET-2008 [5]. Tak uzyskane modele podzielono na elementy skończone poprzez nałożenie siatki. Po szerokiej analizie badań materiałowych wytypowano dwa główne materiały na elementy konstrukcyjne nowego systemu, których własności przedstawiono w tab. 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.

Tabela 1. Właściwości materiałów przyjęte do analiz i wytwarzania elementów konstrukcyjnych nowego systemu połączeń nośnych

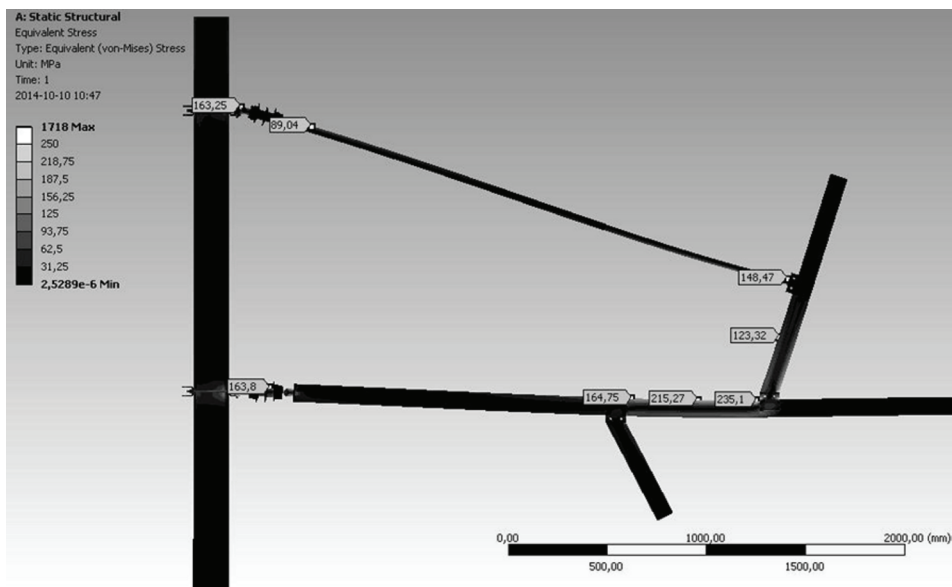
	Stop aluminium EN-AW 6082	Stal nierdzewna 1.4301
Granica plastyczności [MPa]	310	190
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	340	500-700
Moduł Younga [GPa]	70	200
Gęstość [g/dm ³]	2,7	7,9
Współczynnik Poissona [-]	0,33	0,3-0,31



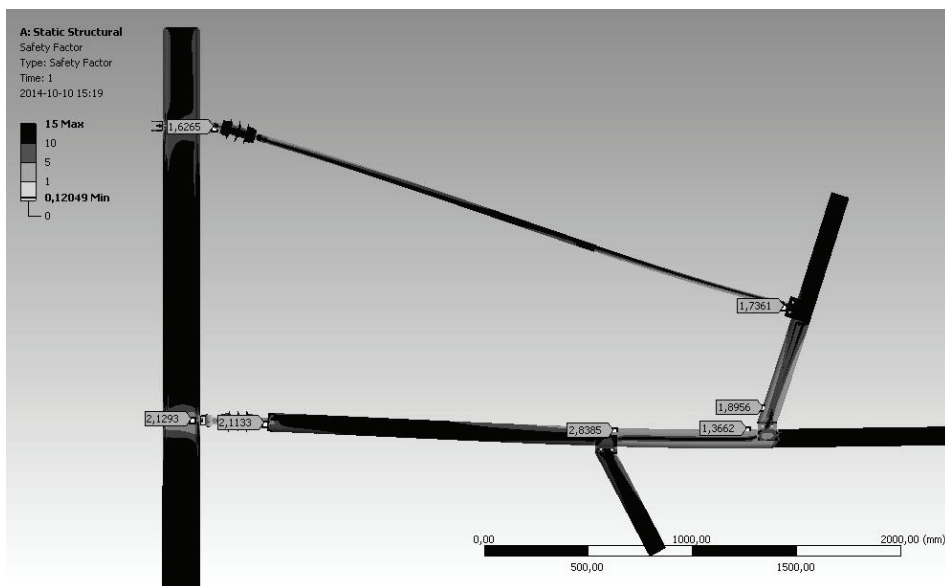
Rys. 4. Obciążenie układu podwieszeń sieci trakcyjnej wg Dokumentu Normatywnego PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. nr 01-1/ET-2008

Na rys. 5 przedstawiono wyniki badań rozkładu naprężeń w analizowanym systemie w widoku ogólnym. Z obliczeń wynika, że w analizowanym systemie obciążonym siłami eksploatacyjnymi występuje intensywność naprężenia 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 wyteżone są na poziomie 50-100 MPa (śruby i obszary uchwytów

do konstrukcji wsporczych, końce odciągu oraz miejsca mocowania wysięgu pomocniczego do ramion odciągowych). W pozostałych obszarach występują naprężenia na poziomie 10-50 MPa.



Rys. 5. Rozkład naprężeń w nowego typu konstrukcji systemu podwiesznień sieci trakcyjnej



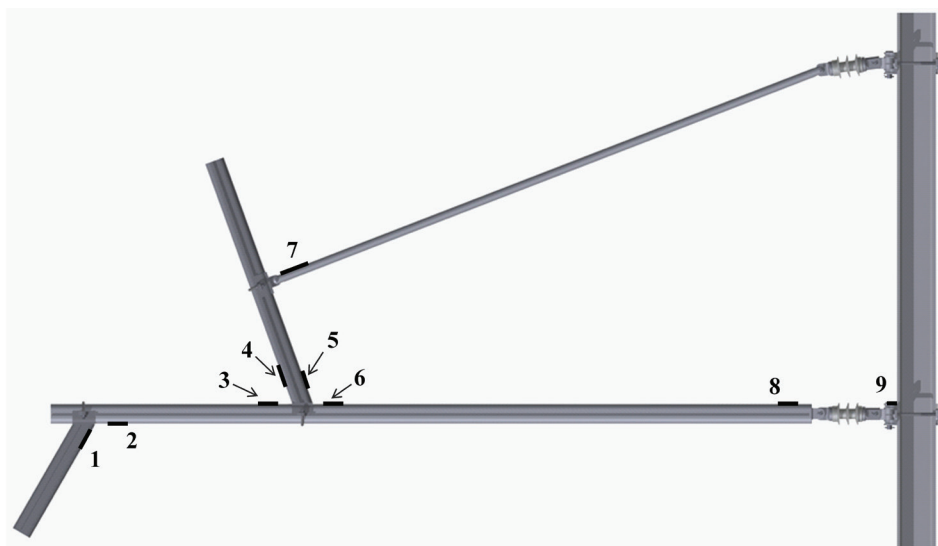
Rys. 6. Rozkład współczynnika bezpieczeństwa dla nowego typu systemu podwiesznień – widok ogólny

Na rys. 6 przedstawiono rozkład współczynnika bezpieczeństwa nowej konstrukcji rozumianego jako stosunek naprężenia panującego w danym węzle pod

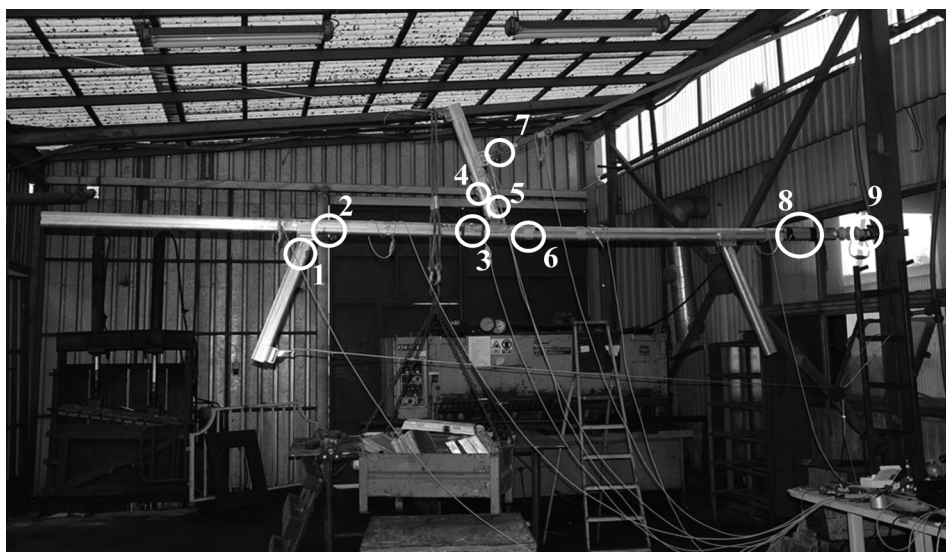
określonym obciążeniem, odniesionego do wartości naprężenia uplastyczniającego materiału, z którego wykonano dany element. Z obliczeń wynika, że wszystkie elementy posiadają wysoki współczynnik bezpieczeństwa na poziomie min. 1,3 przy uwzględnieniu, że obciążenia założone do obliczeń uwzględniają już stosowane w kolejnictwie współczynniki bezpieczeństwa.

4. Wyniki badań tensometrycznego rozkładu naprężeń w nowej konstrukcji

Kolejnym etapem badań nad nowym systemem elementów połączeń nośnych było wytworzenie rzeczywistego modelu badawczego w skali 1:1, a następnie badania jego wytrzymałości metodą tensometryczną. Model został wykonany i zawieszony na konstrukcji wsporczej na terenie firmy MABO. Na wykonanym systemie podwieszeń przygotowano powierzchnie i naklejono tensometry w dziewięciu miejscach wytypowanych na podstawie poprzedniej analizy MES. Układ wyposażono w zestaw tensometrów kompensacyjnych oraz specjalnie przygotowany system pomiaru oraz rejestracji danych. Obszary pomiarów naprężeń zaznaczono na rys. 7, natomiast na rys. 8 przedstawiono rzeczywisty model z zamontowanymi czujnikami tensometrycznymi. W teście badano poziom naprężeń w poszczególnych obszarach systemu nowej generacji elementów połączeń nośnych kolejowej górnej sieci trakcyjnej.

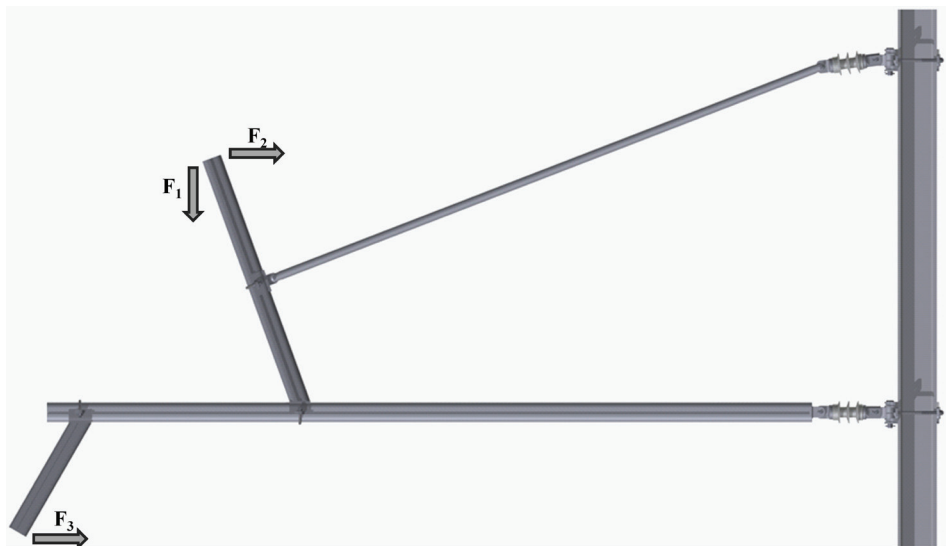


Rys. 7. Schemat nowej generacji podwieszenia sieci trakcyjnej do konstrukcji wsporczych z zaznaczonymi obszarami poddanymi pomiarom naprężeń



Rys. 8. Rzeczywisty model badawczy w skali 1:1, z zaznaczonymi obszarami poddawanymi pomiarom naprężeń

Badania naprężeń przeprowadzono dla kilkunastu różnych schematów obciążeń modelu badawczego. Po szczegółowych konsultacjach ze specjalistami z Instytutu Kolejnictwa wytypowano dwa, które najlepiej odzwierciedlają warunki panujące w sieci trakcyjnej. Schemat obciążenia przedstawiono szczegółowo na rys. 9, a zastosowane obciążenia w teście nr 1 oraz nr 2 przedstawiono w tab. 2.



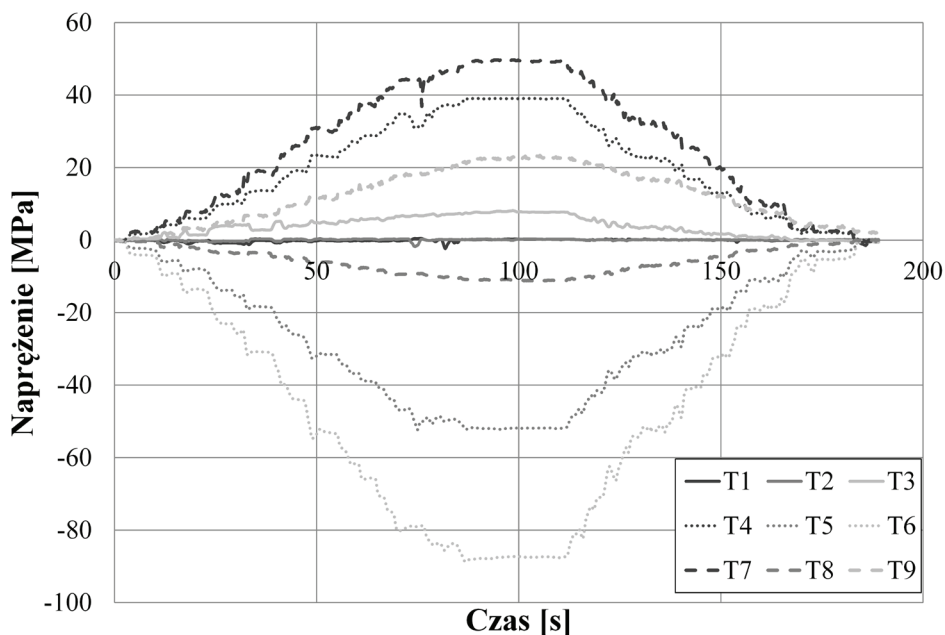
Rys. 9. Schemat obciążenia układu podwieszeń sieci trakcyjnej dla obciążenia

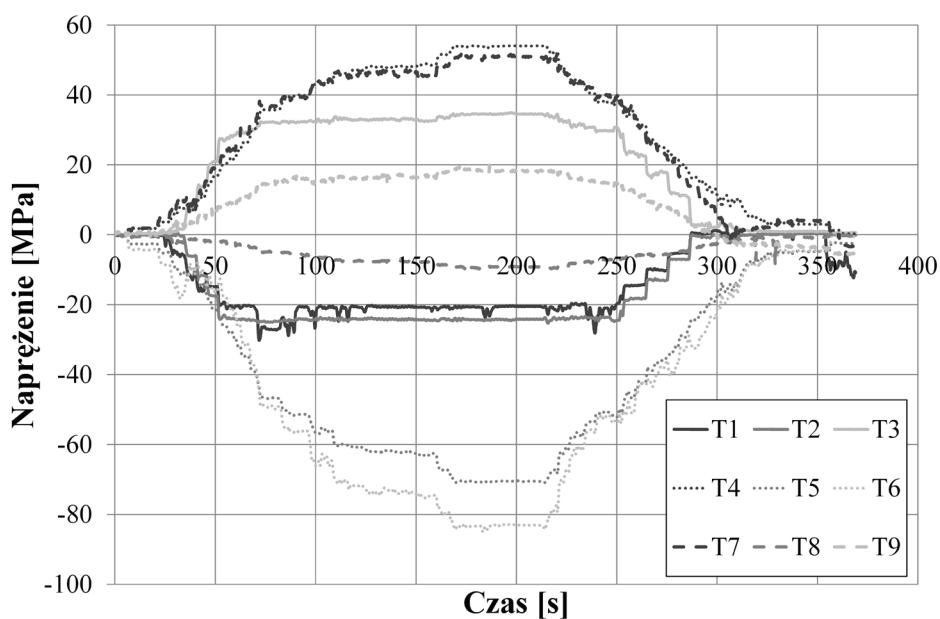
Tabela 2. Konfiguracja obciążeń w kolejnych testach

Nr testu	F_1 [kg]	F_2 [kg]	F_3 [kg]
1.	500	-	-
2.	500	100	100

Rysunki 10 oraz 11 prezentują rozkład naprężeń przy zadanych wcześniej obciążeniach odpowiednio w teście nr 1 oraz 2. Przy schemacie obciążenia nr 1, gdzie zadana została jedynie siła $F_1 = 500$ kg najwyższe naprężenia w badanym układzie zaobserwowano w obszarze kontaktu ukośnika z profilem głównym (punkt T6 - o wartości około 85 MPa, punkt T5 - o wartości około 50 MPa, punkt T4 - o wartości około 40 MPa) oraz w obszarze łączenia odciągu z ukośnikiem (punkt T7 - naprężenia o wartości około 50 MPa).

Wprowadzenie do schematu obciążeń dwóch dodatkowych sił spowodowało pewne zmiany w schemacie naprężeń. Nadal najbardziej obciążonym miejscem pozostało łączenie ukośnika z profilem głównym (punkt T6 - o wartości około 85 MPa, punkt T5 - o wartości około 70 MPa, punkt T4 - o wartości około 50 MPa, punkt T3 - o wartości około 35 MPa) oraz odciągu z ukośnikiem (punkt T7 - naprężenia o wartości około 50 MPa). Wprowadzenie sił $F_2 = 100$ kg oraz $F_3 = 100$ kg powoduje natomiast dodatkowe obciążenie obszaru łączenia profilu głównego z wysięgiem pomocniczym (punkt T1 - o wartości około 20 MPa, punkt T2 - o wartości około 22 MPa).

Rys. 10. Przebieg naprężenia w funkcji czasu dla obciążenia $F_1 = 500$ kg – test nr 1



Rys. 11. Przebieg naprężenia w funkcji czasu dla obciążenia $F_1=500$ kg, $F_2=100$ kg, $F_3=100$ kg – test nr 2

Wyniki przeprowadzonych testów potwierdzają wyniki badań analizy numerycznej, w których obszar łączenia ukośnika z profilem głównym wytypowano jako miejsce o największym wyężeniu.

Dodatkowo przeprowadzono test polegający na pozostawieniu konstrukcji pod obciążeniem według schematu nr 2 na 12 h. Eksperyment ten wykazał, że ugięcie pionowe konstrukcji w skrajnym położeniu profilu głównego nie zmienia się w czasie i wynosi 30 mm. Niski poziom naprężeń w konstrukcji oraz niskie ugięcia sprężystego nowej konstrukcji świadczy o jej wysokiej sztywności i wytrzymałości mechanicznej.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że występujące w konstrukcji nowego systemu naprężenia są na bezpiecznym poziomie i nie zagrażają bezpieczeństwu funkcjonowania opracowanych elementów w sieci trakcyjnej. Przeprowadzone testy na rzeczywistym modelu w skali 1:1 potwierdziły, że wytypowany numerycznie obszar łączenia ukośnika z profilem głównym jest obszarem o największym wyężeniu, przy czym wartości tego naprężenia są na poziomie ok. 90 MPa, czyli znacznie poniżej granicy plastyczności stopu EN-AW 6082 (wyężenie na poziomie 30%). Testy potwierdzają, że opracowane elementy są bezpieczne z punktu widzenia nośności konstrukcji w warunkach obciążeń eksploatacyjnych.

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

Bibliografia

- [1] Auguściuk M., Dziedzic E., Kaniewski M., Kawecki A., Kiesiewicz P., Knych T., Kuca M., Kwaśniewski P., Maciołek T., Majewski W., Mamala A., Mierzejewski L., Rojek A., Woźniak K., Zasadziński K., Nowa generacja wysokoobciążalnych sieci trakcyjnych – YC120-2CS150 i YC150-2CS150. Założenia techniczno-konstrukcyjne. Technika Transportu Szynowego TTS 1-2/2007 s. 56-63.
- [2] Auguściuk M., Dziedzic E., Kaniewski M., Kawecki A., Kiesiewicz P., Knych T., Kuca M., Kwaśniewski P., Maciołek T., Majewski W., Mamala A., Mierzejewski L., Rojek A., Woźniak K., Zasadziński K., Nowa generacja wysokoobciążalnych sieci trakcyjnych – YC120-2CS150 i YC150-2CS150 (5). Badania nowej sieci trakcyjnej. Technika Transportu Szynowego TTS 7-8/2007 s. 50-55.
- [4] Knych T., Mamala A., Kawecki A., Kwaśniewski P., Nowoczesne krajowe rozwiązania materiałowe i konstrukcyjne elementów górnej sieci trakcyjnej. Elektro-Info 11, 2008 (69), s.64-71.
- [3] Knych T., Mamala A., Kawecki A., Kwaśniewski P., Kiesiewicz P., Gimiński J., Koczaj R., Maślanka J., Ruciński M., Czerniak B., Rojek A., Majewski W., Woźniak K., Analiza numeryczna kolejowych konstrukcji wsporczych na bazie profili zamkniętych. Semtrak 2010, s.91-102. ISBN 978-83-86219-51-3.
- [5] Dokument Normatywny PKP PLK S.A. nr 01-1/ET-2008-Osprzęt sieci trakcyjnej, let-110.
- [6] Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Contact lines for electric railways. Munich 2001.