

Modernizacja konstrukcji czołówki elektrycznego zespołu trakcyjnego ED72

Modernization of the head structure of the ED72 electrical train unit

ROBERT FRĄCZEK
MAREK PAŁDYNA
KRZYSZTOF MISZCZAK
WITOLD ORZECHOWSKI
ŁUKASZ KAWAŁEK
DANIEL B. NYCZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.1.12>

ED72 jest elektrycznym zespołem trakcyjnym składającym się z czterech wagonów (dwóch sterowniczych i dwóch silnikowych). Przedstawiono zmodernizowaną konstrukcję czołówki ED72; skupiono się na obliczeniach numerycznych obejmujących statyczne, zderzeniowe i zmęczeniowe obliczenia wytrzymałościowe.

SŁOWA KLUCZOWE: EZT ED72, modernizacja konstrukcji czołówki, wytrzymałościowe obliczenia numeryczne

The ED72 is an electrical train unit consisting of four wagons (two steering and two motor). The paper presents the modernization of the ED72 head structure focusing on numerical calculations including static, crash and fatigue strength calculations.

KEYWORDS: EZT ED72, modernization of the head structure, numerical strength calculations

ED72 jest dalekobieżnym elektrycznym zespołem trakcyjnym (EZT) wyprodukowanym w Państwowej Fabryce Wagonów Pafawag. Jego konstrukcja powstała na bazie pojazdu szynowego EZT EN57 [1, 2].

Skład ED72 obejmuje dwa skrajne wagony rozrządowe/sterownicze (oznaczenie fabryczne – 5Bs; oznaczenie



Rys. 1. EZT ED72-006 w ZNTK Mińsk Mazowiecki

* Mgr inż. Robert Frączek (r.frączek@zntkmm.pl), mgr inż. Marek Pałdyna (m.paldyna@zntkmm.pl) – ZNTK Mińsk Mazowiecki S.A.; mgr inż. Krzysztof Miszczak (kmiszczak@cad.desart.com.pl), mgr inż. Witold Orzechowski (worzechowski@cad.desart.com.pl), mgr inż. Łukasz Kawałek (lkawalek@cad.desart.com.pl), dr inż. Daniel B. Nycz (dnychcz@cad.desart.com.pl) – DES ART Sp. z o.o.

PKP – ra i rb) oraz dwa środkowe wagony silnikowe (oznaczenie fabryczne – 6Bs; oznaczenie PKP – sa i sb) [1, 2].

Długość całkowita jednostki wynosi 86,84 m przy masie całkowitej 182 tony. Maksymalna prędkość jednostki to 110 km/h. Całkowita liczba miejsc – 800, w tym 235/232 siedzących [1, 2].

Celem pracy była modernizacja konstrukcji czołówki zespołu trakcyjnego ED72 z uwzględnieniem wymagań w zakresie wytrzymałości statycznej, zderzeniowej oraz zmęczeniowej. Założeniem było wykonanie konstrukcji czołówki z profili oraz blach ze stali S355 (o gęstości $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, module Younga $E = 210 \text{ GPa}$, współczynnik Poissona $\nu = 0,3$, granicy plastyczności $Re = 355 \text{ MPa}$ oraz granicy wytrzymałości $Rm = 520 \text{ MPa}$).

Prace konstrukcyjne przeprowadzono w oprogramowaniu SolidWorks 2014. Do obliczeń numerycznych wykorzystano środowiska Altair HyperWorks 2017 i FATEVAS.

Statyczne obliczenia wytrzymałościowe

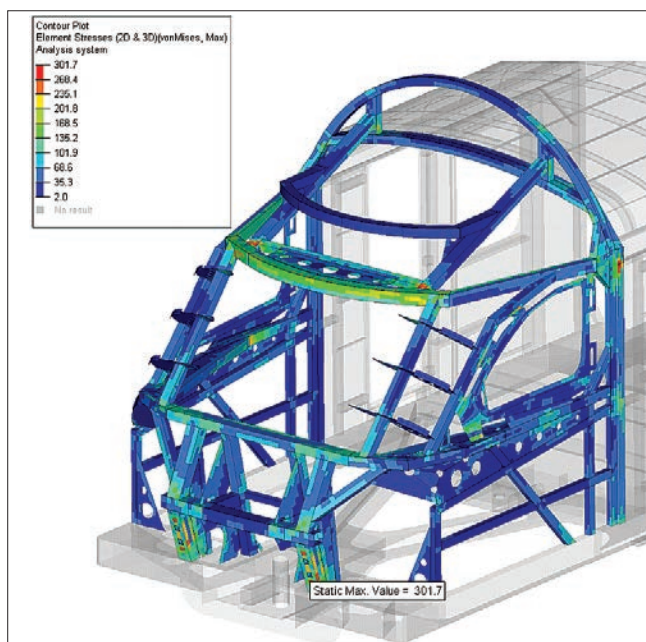
Statyczne obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono na podstawie normy PN-EN 12663-1:2010 [3]. W normie [3] pojazdy szynowe są klasyfikowane w trzech grupach podzielonych na kategorie według wymagań konstrukcyjnych wobec pudeł pojazdów. EZT ED72 należy do kategorii P-II. W przypadku tej kategorii pojazdu wymagane są statyczne obliczenia wytrzymałościowe, obejmujące [3]:

- obciążenia statyczne wzdłużne działające na pudło,
- obciążenia statyczne pionowe działające na pudło,
- superpozycję obciążeń statycznych wzdłużnych i pionowych,
- przypadki obciążenia próbnego dla mocowań wyposażenia.

Na rys. 2 przedstawiono mapę naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera–Misesa–Hencky'ego, odpowiadającą wartościom maksymalnym ze wszystkich rozpatrywanych statycznych przypadków obliczeniowych (funkcja envelope).

Według normy [3], jeżeli projekt jest weryfikowany wyłącznie na podstawie obliczeń, wartość współczynnika bezpieczeństwa dla umownej i wyraźnej granicy plastyczności należy przyjąć na poziomie 1,15. Dla stali S355 wartość naprężeń dopuszczalnych wynosi 309 MPa.

Największa uzyskana wartość naprężeń zredukowanych – 301,7 MPa (rys. 2) – odpowiada przypadkowi obciążenia siłą ściskającą 400 kN, działającą na belkę zderzakową 150 mm powyżej płaszczyzny podłogi. Wartość ta stanowi 97,6% naprężeń dopuszczalnych.



Rys. 2. Mapa naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera–Misesa–Hencky’ego, odpowiadająca wartościom maksymalnym ze wszystkich rozpatrywanych statycznych przypadków obliczeniowych; w MPa

Zderzeniowe obliczenia wytrzymałościowe

Zderzeniowe obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono na podstawie normy PN-EN 15227:2008 [4]. Norma precyzuje wymagania i środki dotyczące bezpieczeństwa biernego w celu ochrony pojazdów szynowych przed zderzeniami oraz określa właściwości spełniające te wymagania.

W normie [4] pojazdy szynowe są klasyfikowane w czterech kategoriach. EZT ED72 należy do kategorii C-I. W przypadku tej kategorii pojazdu wymagane są trzy scenariusze zderzenia [4]:

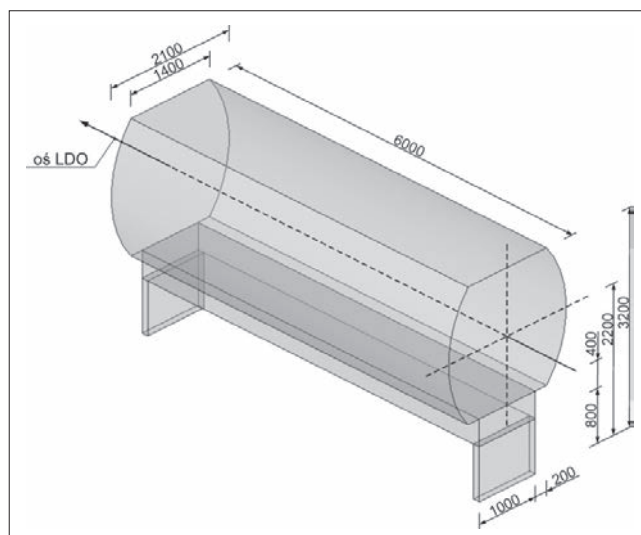
- zderzenie z identycznym stojącym pojazdem – prędkość zderzenia 36 km/h,
- zderzenie ze sztywną przeszkodą o masie 80 ton posiadającą zderzaki – prędkość zderzenia 36 km/h,
- zderzenie z dużą odkształcalną przeszkodą (*large deformable obstacle*, LDO) o masie 15 ton.

Do oceny konstrukcji czoła zastosowano kryteria podane w normie [4], a zwłaszcza nieprzekroczenie przez elementy struktury czoła oraz pulpitu motorniczego przestrzeni wokół siedzenia motorniczego (przeźreni bezpieczeństwa).

W niniejszej pracy skupiono się na przypadku zderzenia z dużą odkształcalną przeszkodą, LDO, ze względu na największy wpływ tego scenariusza na konstrukcję czołówki.

Geometrię dużej przeszkody deformowalnej przedstawiono na rys. 3. LDO musi mieć masę 15 ton i środek ciężkości 1750 mm powyżej poziomu szyn [4]. Powinno także mieć jednorodną gęstość i sztywność w kierunku osiowym oraz sztywność w kierunku zderzenia dopasowaną do sztywności określonej przez normę (czerwona krzywa na rys. 4) [4].

Dopasowanie do charakterystyki normowej należy uzyskać podczas testu uderzenia w przeszkodę LDO sztywną kulą o średnicy 3 m, masie 50 ton i prędkości początkowej 30 m/s [4]. Im bardziej uzyskana charakterystyka jest zbliżona do charakterystyki normowej, tym lepszych wyników można się spodziewać z wykorzystaniem przeszkody w symulacjach numerycznych, dlatego krzywa normowa jest charakterystyką minimalną [4, 6].

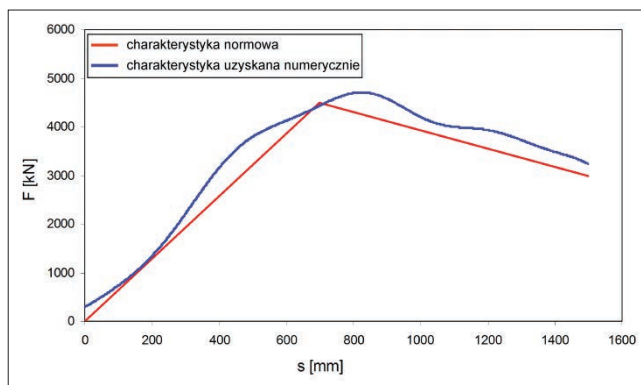


Rys. 3. Geometria dużej przeszkody deformowalnej, LDO [4]

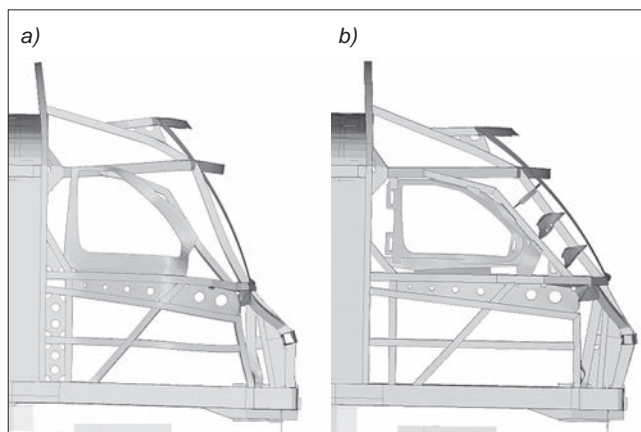
Na rys. 4 przedstawiono porównanie sztywności uzyskanej dla modelu numerycznego LDO z charakterystyką normową.

Pierwsze obliczenia numeryczne zderzenia zmodernizowanego EZT ED72 z przeszkodą LDO wykazały konieczność wprowadzenia dodatkowych wzmocnień konstrukcji czołówki ze względu na jej dużą deformację (rys. 5a), powodującą w głównej mierze przekroczenie przestrzeni bezpiecznej wokół motorniczego.

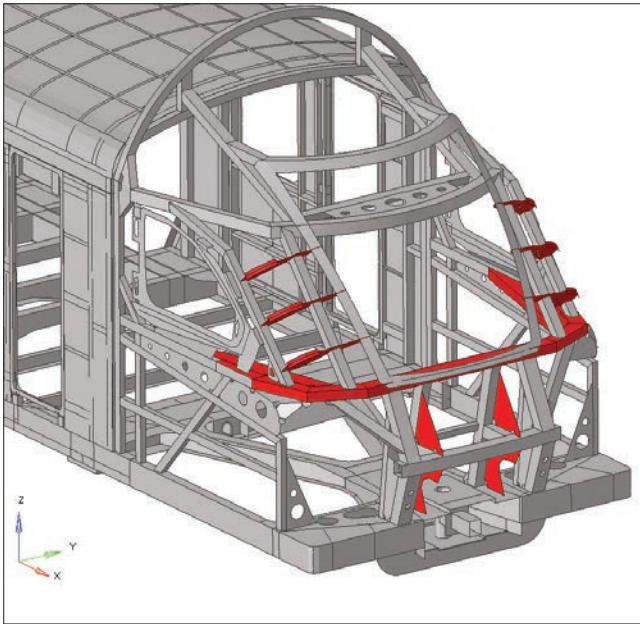
Zmiany wprowadzone w konstrukcji czołówki (rys. 6) pozwoliły na znaczne zmniejszenie tej deformacji (rys. 5b).



Rys. 4. Dopasowanie sztywności modelu przeszkody LDO do sztywności normowej [4]



Rys. 5. Końcowa deformacja zmodernizowanej konstrukcji czołówki EZT ED72 podczas zderzenia z przeszkodą LDO: a) przed wzmocnieniem konstrukcji, b) po wzmocnieniu konstrukcji

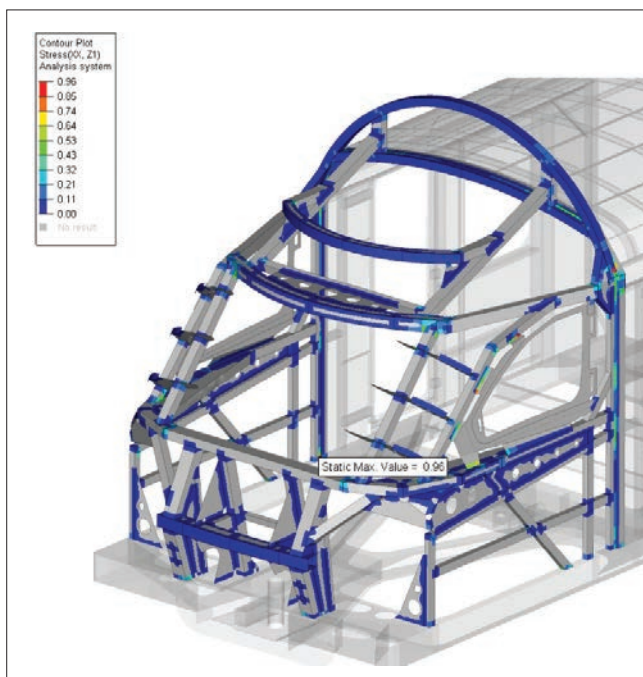


Rys. 6. Główne obszary zmian w konstrukcji czołówki EZT ED72, niezbędnych do spełnienia wymagań scenariusza zderzenia z przeszkodą LDO

Zmęczeniowe obliczenia wytrzymałościowe

Zmęczeniowe obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono na podstawie norm PN-EN 12663-1:2010 [3] i DVS1612:2009 [5]. W obliczeniach według [5] stosunek naprężeń wynikowych do naprężeń dopuszczalnych został określony przez stopień wykorzystania naprężeń dopuszczalnych UF (*utilization factor*). Dla wymaganej liczby cykli $2,0E+06$ i prawdopodobieństwa przetrwania 99,5% współczynnik UF nie powinien przekraczać 1,0. W odniesieniu do materiału rodzimego zastosowano krzywą AB (materiał poddany oddziaływaniu cieplnemu) z diagramu MKJ dla stali S235/S355 [5].

W obliczeniach rozpatrzono kombinację pięciu przypadków, uwzględniających obciążenia od masy pasażerów i obciążenia przyspieszeniami wynikającymi z eksploatacji



Rys. 7. Mapa współczynnika wykorzystania spoin UF

pojazdu [3]. Zmęczeniowe obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono dla materiału rodzimego oraz spoin konstrukcji czołówki.

Na rys. 7 przedstawiono mapę UF dla spoin zmodernizowanej konstrukcji czołówki EZT ED72. Maksymalna wartość UF dla spoin wynosi 0,96. Dla materiału rodzimego uzyskano maksymalną wartość UF = 0,36.

Podsumowanie

- Przedmiotem pracy jest modernizacja konstrukcji czołówki EZT ED72 z uwzględnieniem wymagań w zakresie wytrzymałości statycznej, zderzeniowej i zmęczeniowej.
- Statyczne obliczenia wytrzymałościowe obejmują przypadki ściskania/rozciągania pojazdu, obciążenie pojazdu krytyczną masą pasażerów, podnoszenie pojazdu oraz obciążenia próbne dla mocowań wyposażenia [3].
- Zderzeniowe obliczenia wytrzymałościowe obejmują trzy scenariusze zderzenia [4].
- Zmęczeniowe obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono dla materiału rodzimego oraz spoin konstrukcji czołówki zespołu trakcyjnego ED72 [3, 5].
- Do prac konstrukcyjnych wykorzystano oprogramowanie SolidWorks 2014. Do obliczeń numerycznych zastosowano środowiska Altair HyperWorks 2017 i FATEVAS.
- Zmodernizowana konstrukcja czołówki EZT ED72 spełniła wszystkie wymogi w zakresie wytrzymałości statycznej, zderzeniowej i zmęczeniowej.



Rys. 8. Czołówka EZT ED72 po modernizacji w ZNTK Mińsk Mazowiecki

LITERATURA

1. Terczyński P. „Elektryczne zespoły trakcyjne w Polsce – stan obecny i bliska perspektywa”. *Technika Transportu Szynowego*. 5–6 (2010): s. 13–20.
2. Terczyński P. „Elektryczny zespół trakcyjny serii ED72”. *Świat Kolei*. 8 (2001): s. 37.
3. PN-EN 12663-1:2010. Kolejnictwo – Wymagania konstrukcyjno-wytrzymałościowe dotyczące pudeł kolejowych pojazdów szynowych – Część 1: Lokomotywy i tabor pasażerski (i metoda alternatywna dla wagonów towarowych).
4. PN-EN 15227:2008. Kolejnictwo – Wymagania zderzeniowe dla pudeł pojazdów szynowych.
5. DVS1612:2009. Design and endurance strength assessment of welded joints with steels in rail vehicle construction.
6. Spirk S., Kemka V., Kepka M., Malkovsky Z. „Design of a large deformable obstacle for railway crash simulations according to the applicable standard”. *Applied and Computational Mechanics*. 6 (2012): s. 83–92. ■