

The logo for MSC Software, featuring two overlapping curved lines, one blue and one green, forming a stylized 'X' shape.

MSC SOFTWARE

SIMULATING REALITY

A 3D topographic map of Poland, showing the country's outline and internal terrain features in shades of green and brown, positioned on the left side of the CD.

SPOTKANIE

UŻYTKOWNIKÓW

Kraków 2005

Konferencja użytkowników MSC.Software, Kraków 2005

P. Cieśla, A. Dacko, J. Nowak

Badanie energochłonności zniszczenia elementów strukturalnych

J. Cieślik, W. Bochniak

Integracja środowisk MSC.Nastran - MATLAB w zastosowaniu do analizy przepływu energii drganiowej

Dacko, J. Frączek, J. Żebrowski

Symulacja dynamiki struktury szybowca w trakcie lądowania przy użyciu MSC.Nastran

G. Doskowski

Projektowanie w oparciu o MES w zagadnieniach nieliniowych - elastomery

J. Frączek

Modelowanie układów mechanicznych metodą układów wieloczłonowych w środowisku MSC.Adams 2005

J. Frączek, M. Surowiec

Zastosowanie metody układów wieloczłonowych w analizie biomechanicznej na przykładzie stawu barkowego

T. Gwizdoń, A. Sładkowski, T. Wojdyła, A. Zębala

Modelowanie ruchu lokomotywy EU07 po rozjeździe zwyczajnym

J. Kaczkowski

O pewnych praktycznych zastosowaniach MSC.Nastran

G. Kokot, A. John

Projektowanie i analizy wytrzymałościowe obiektów przemysłowych z wykorzystaniem nowoczesnych systemów obliczeń inżynierskich MSC.Software

T. Kowalski

Analizy MES w pracach działu konstrukcyjnego WSK-"PZL-RZESZÓW"

J. Małachowski

Przykłady analiz numerycznych przeprowadzonych w środowisku MSC.Patran – LS_DYNA

K. Mazurek

Zastosowanie MSC.Dytran do symulacji komputerowej obciążenia dynamicznego siłownika oraz weryfikacja badań symulacyjnych w warunkach laboratoryjnych.

K. Mianowski, E. Wojtyra

Model symulacyjny robota z zastosowaniem pakietów ADAMS i MATLAB

M. Rozbicki

Analiza numeryczna nowatorskiej konstrukcji barki rzecznej i jej weryfikacja pomiarowa

Sładkowski

Model testowy dla badań poślizgu kół przy ich toczeniu i przesunięciu

J. Szóstka

Diagnostyka konstrukcji kompozytowej w analizach numerycznych MES z wykorzystaniem Sieci Neuronowych na przykładzie śmigłowca IS-2

J. Zachwieja

Analiza numeryczna dynamiki wirnika poziomego podpartego anizotropowo

Aleksander ŚLADKOWSKI, Politechnika Śląska, Katedra Transportu Szynowego
Tomasz WOJDYŁA, Politechnika Śląska, Katedra Transportu Szynowego
Tadeusz GWIZDOŃ, Politechnika Śląska, absolwent Katedry Transportu Szynowego
Adrian ZĘBALA, Politechnika Śląska, absolwent Katedry Transportu Szynowego

MODELOWANIE RUCHU LOKOMOTYWY EU07 PO ROZJEŹDZIE ZWYCZAJNYM

1. Wstęp

Obserwowany obecnie wzrost prędkości nowoczesnych pociągów pasażerskich i zwiększenie obciążenia na oś pociągów towarowych wymagają prowadzenia wnikliwych badań dynamicznego oddziaływania pojazdów szynowych z torem nie tylko w celu zwiększenia bezpieczeństwa i komfortu podróżowania, ale także trwałości elementów układów jezdnich pojazdów szynowych, wytrzymałości szyn jak również ograniczenia hałasu.

Wykorzystanie współczesnych metod modelowania matematycznego i symulacji komputerowej pracy maszyn i urządzeń daje możliwość analizy wielu wariantów konstrukcji i wyboru na tej podstawie najlepszego rozwiązania.

Analizy dynamiczne wykorzystuje się w celu symulacji rzeczywistego świata - poznania zachowania się produktu już we wczesnej fazie projektowania. Prowadzi to do optymalizacji produktu, lepszego poznania jego charakterystyk, uniknięcia budowy wielu kosztownych prototypów a tym samym obniżenia kosztów produkcji oraz skrócenia okresu wprowadzenia produktu na rynek. Badaniom takim poddane są nie tylko prototypy i konstrukcje nowych modeli pojazdów szynowych, ale także te obecnie wykorzystywane w celu wyeliminowania ich wad i poprawy własności dynamicznych.

Badaniem zjawisk dynamicznych występujących podczas ruchu pojazdów szynowych z wykorzystaniem metod symulacji komputerowych zajmowało się wielu naukowców w tym także z Polski.. Przykładem może być tutaj praca [2], w której przedstawiono sposób tworzenia modelu dynamicznego pojazdu szynowego. W artykule [3] omówiono przebieg badań prowadzonych metodami symulacji komputerowej i doświadczalnie. W publikacji [4] zaprezentowano konstrukcję modelu matematycznego lokomotywy B₀-B₀-B₀ podczas ruchu na torze prostym, w celu obliczenia jej możliwości biegowych, w szczególności stabilności ruchu.

Programy komputerowe umożliwiają projektowanie i modyfikowanie konstrukcji pojazdów szynowych z uwzględnieniem wielu parametrów, dzięki którym możemy uzyskać optymalne własności dynamiczne pojazdu. Stanowią ułatwienie pracy konstruktorów oraz skracają czas niezbędny dla opracowania jednego modelu pojazdu.

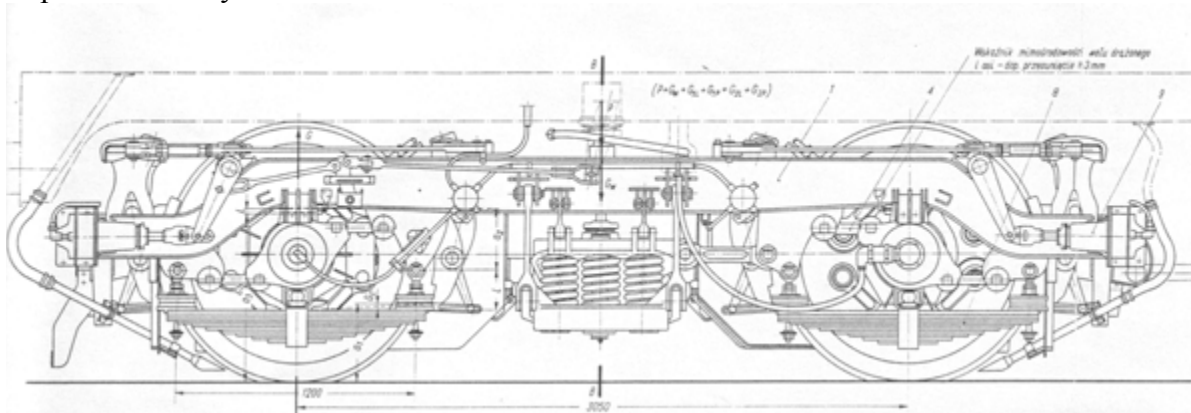
Celem Przeprowadzonych badań było określenie reakcji dynamicznych występujących przy współpracy zestawów kołowych lokomotywy z torem w czasie przejazdu po rozjeździe zwyczajnym.

Do badań przyjęto lokomotywę EU07, ponieważ stanowi ona oraz jej pochodne: EP08, EP07, ET41 podstawową i najliczniejszą rodzinę pojazdów trakcyjnych dla obsługi pociągów pasażerskich i towarowych w Polsce. Są one jednymi z najlepszych lokomotyw PKP.

Badania zostały przeprowadzone za pomocą programu komputerowego MSC.ADAMS/Rail, który pozwala na stworzenie tzw. wirtualnych prototypów, umożliwiając szybką analizę układów mechanicznych aż do uzyskania optymalnego rozwiązania.

2. Budowa lokomotywy EU07

Podwozie lokomotywy składa się z dwóch dwuosiowych wózków połączonych sprzęgiem międzywózkowym. Każdy zestaw kołowy lokomotywy jest napędzany indywidualnie od elektrycznego silnika trakcyjnego przez przekładnię zębatą, wał drażony i dwa sprzęgła przegubowo-ciężłowe (tzw. napęd typu Alsthom).[1] Wózek lokomotywy EU07 pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Wózek lokomotywy

Lokomotywa EU07 ma dwa stopnie usprężynowania, które oddzielając od siebie trzy zespoły mas zmniejszają ich wzajemne dynamiczne oddziaływania.

Masą nieusprężynowaną jest tutaj zestaw kołowy wraz z maźnicami i resorami, lecz bez wału drażonego. Wał drażony spoczywa w łożyskach umieszczonych w kadłubie silnika, a więc należy do masy usprężynowanej.

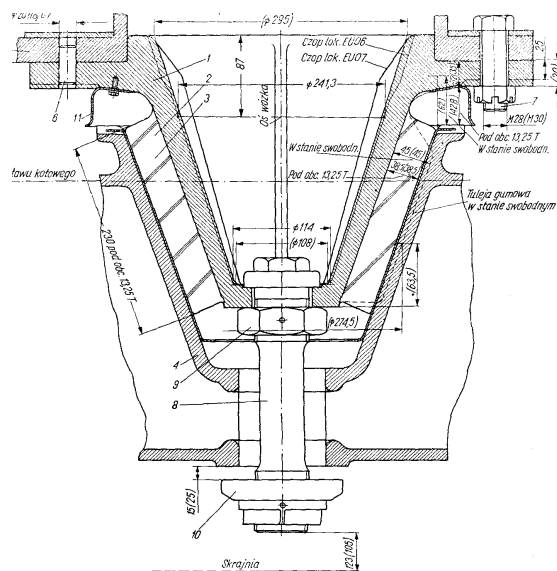
Pierwszy stopień usprężynowania oddziela zestaw kołowy masy wózka i składa się z dwóch resorów oraz dwóch par poduszek gumowych, które pracują szeregowo z resorami. Drugi stopień usprężynowania oddziela pudło lokomotywy od jej wózków i można w nim wyróżnić dwie grupy elementów sprężystych. Pierwsza grupa oddziela belkę bujawkową od ostoi wózka, druga - pudło od belki bujawkowej. [1]

Pudło lokomotywy spoczywa na dwóch wózkach, opierając się w każdym z nich w trzech punktach, leżących w tej samej poprzecznej płaszczyźnie przechodzącej przez środek wózka. Punktami tymi są: czop skrzytu oraz dwie sprężyste podpory boczne. Pudło nie opiera się bezpośrednio na ostoi wózka, lecz na belce bujawkowej zawieszony wahadłowo względem ostoi. Na rysunku 2 pokazano konstrukcję czopa skrzytu. [1]

3. Model lokomotywy EU07

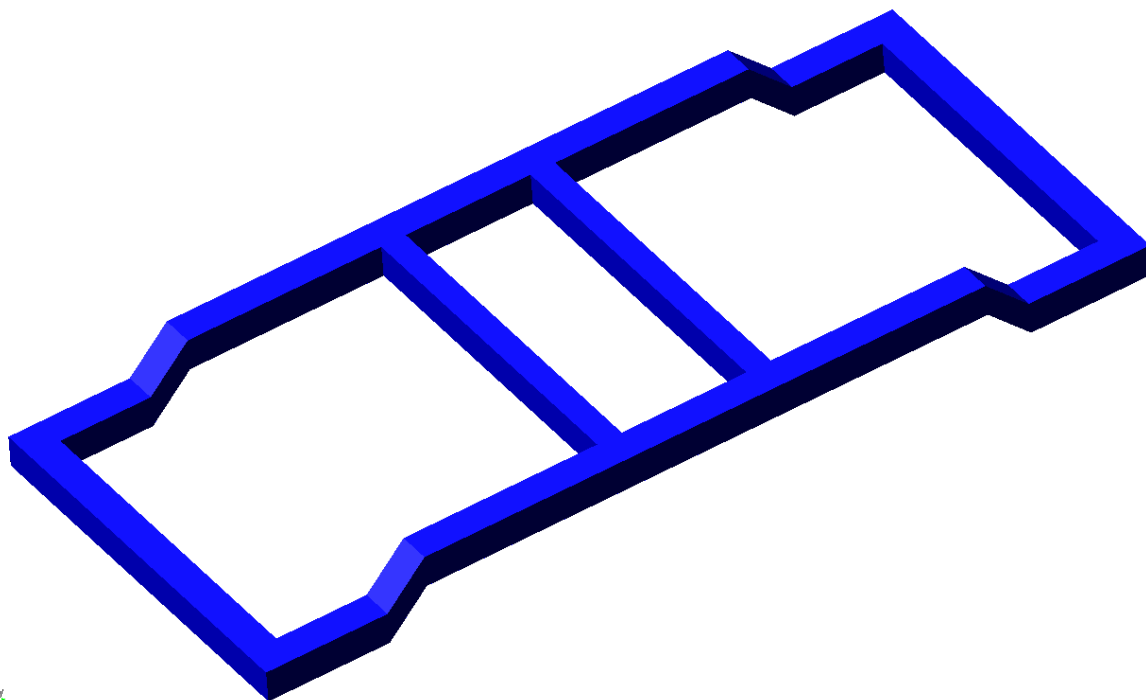
Ostoją wózka stworzona została z 32 charakterystycznych punktów konstrukcyjnych połączonych płaszczyznami tak, aby zachowany został główny szkielet konstrukcji oraz rzeczywiste wymiary ostoi. Rama wózka zbudowana została z dwóch podłużnic zakończonych czołownicami oraz wzmocniona na środku dwoma poprzecznkami. Zamodelowaną ostoję przedstawia rysunek 3.

Każdy wózek lokomotywy posiada dwa zestawy kołowe. W lokomotywie EU07 zastosowane zostały prowadniki dwucięgnowe mające nazwę prowadników Alsthoma. Węzeł prowadzenia tworzą dwa przeciwległe poziome ciężna (górne i dolne), z których każde łączy kadłub łożyska ze wspornikami belki ostojnicy ramy wózka. Prowadniki Alsthoma stworzone zostały w postaci prętów zakończonych z obu stron tulejami metalowo gumowymi łączącymi prowadnik z jednej strony z ramą wózka z drugiej z maźnicą.



Rys. 2 Czop skreću

1-czop skreću, 2-tuleja gumowa, 3-błacha oddzielająca, 4-belka bujakowa, 5-ostoja pudła, 6 - kolek, 7 - śruba, 8 - sworzeń gwintowany, 9 - górna nakrętka, 20 - dolna nakrętka, 11 – osłona



Rys. 3. Rama wózka stworzona w programie MSC. ADAMS/Rail

Założone sztywności to:

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi z} = 100000 \text{ [Nm/rad]}$$

$$C_{\varphi y} = 15000 \text{ [Nm/rad]}$$

$$C_x = C_z = 100 \text{ [kNm]}$$

$$C_y = 50 \text{ [kNm]}$$

Prowadniki Alsthoma zostały pokazane na rysunku 4.



Rys. 4. Maźnica wraz z prowadnikami Alsthoma

Zespół napędowy omawianej lokomotyw EU07 został pominięty. Moment napędowy został przyłożony bezpośrednio na osie zestawów kołowych.

Zamodelowana lokomotywa EU07 posiada dwa stopnie usprężynowania.

Pierwszy stopień usprężynowania lokomotywy składa się z dwóch resorów oraz dwóch par poduszek gumowych pracujących szeregowo z resorami. W zamodelowanym przeze mnie układzie resor piórowy zastąpiony został przez stalowe ramię połączone sworzniem metalowym z maźnicą, na którym opierają się dwie sprężyny o sztywności resoru piórowego i dwóch poduszek gumowych jak wynika to ze poniższego wzoru (1) :

$$k_{z1} = \frac{\frac{k_2}{2} \cdot k_1}{\frac{k_2}{2} + k_1} \quad (1)$$

gdzie:

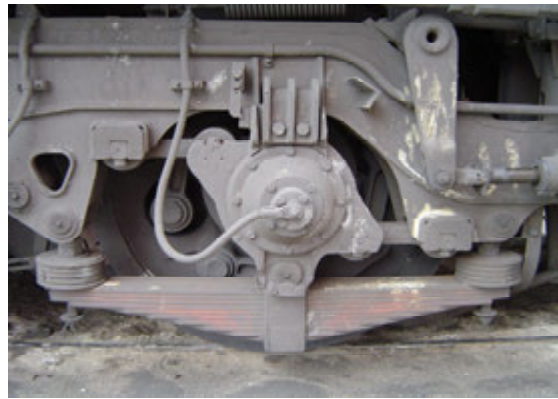
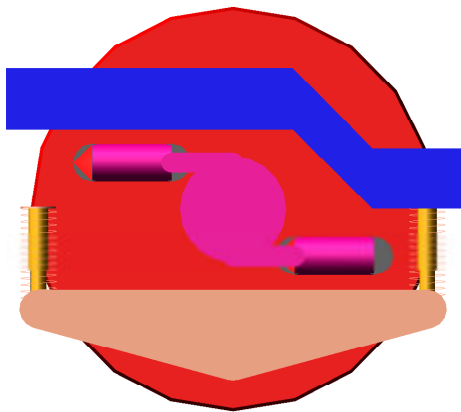
k_{z1} – sztywność zastępcza pierwszego stopnia usprężynowania

k_1 – sztywność poduszki gumowej

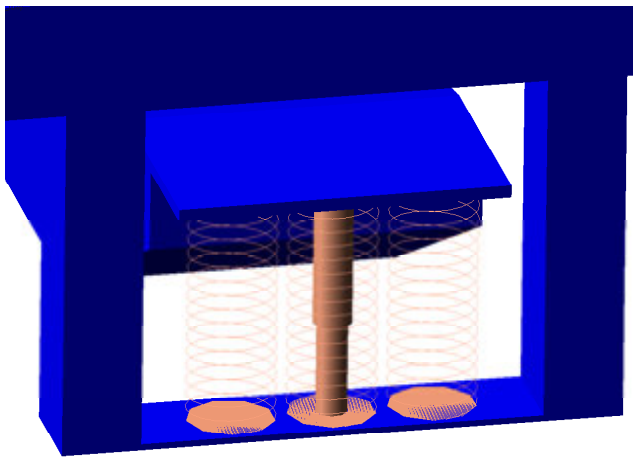
k_2 – sztywność resoru

Tłumienie drgań występujące w poduszkach gumowych oraz elementy odzwierciedlające tarcie między piórami resorów zastąpione zostały tłumikami ciernymi umieszczonymi po jednym w każdej sprężynie śrubowej. Pierwszy stopień usprężynowania pokazany jest na rysunku 5 wraz z widokiem rzeczywistym.

Drugi stopień usprężynowania składa się z dwóch grup elementów sprężystych oddzielających od siebie trzy zespoły mas. Pierwsza grupa elementów oddzielająca wózek od belki bujawkowej składa z dwóch par wieszaków pionowych oraz połączonych z nimi ramion poziomych w kształcie litery „Y” podtrzymujących kołyskę. Układ ten w związku ze swoją skomplikowaną budową oraz błędami mogącymi powstać przez jego niedokładne odzwierciedlenia został uproszczony i zastąpiony sztywną ramą w kształcie litery „U” przymocowaną na sztywno do ramy wózka. W ramie tej osadzonych jest sześć sprężyn śrubowych po trzy z każdej strony. Tłumik umieszczony został w środkowej sprężynie belki bujawkowej. Układ ten przedstawia rysunek 6 wraz z układem rzeczywistym.



Rys. 5. Usprężynowanie pierwszego stopnia



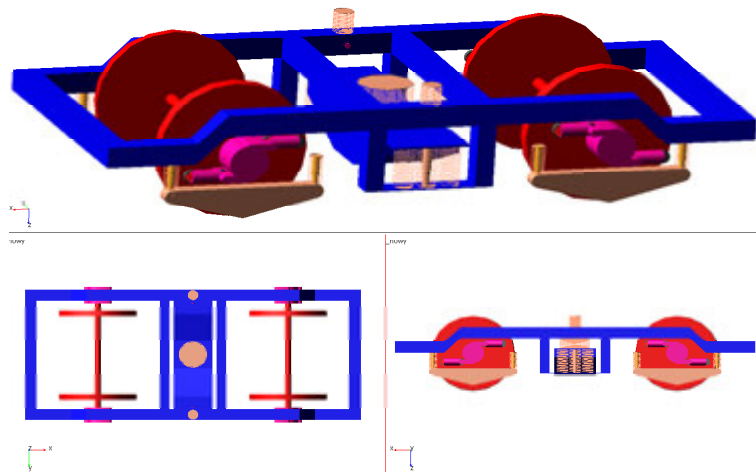
Rys. 6. Widok uproszczonego połączenia ramy wózka z belką bujakową wraz z widokiem rzeczywistym

Belka bujakowa opiera się na sprężynach śrubowych osadzonych w kołysce. Na belce bujakowej zamocowana jest sprężyna śrubowa stanowiąca wraz z dwoma sprężynami osadzonymi na ramie wózka drugą grupę elementów sprężystych oddzielających belkę bujakową od pudła lokomotywy. Sprężyny osadzone na ramie wózka spełniają zadanie podpór bocznych pudła lokomotywy natomiast trzecia sprężyna osadzona centralnie na belce bujakowej zastępuje gumowy czop skrętu.

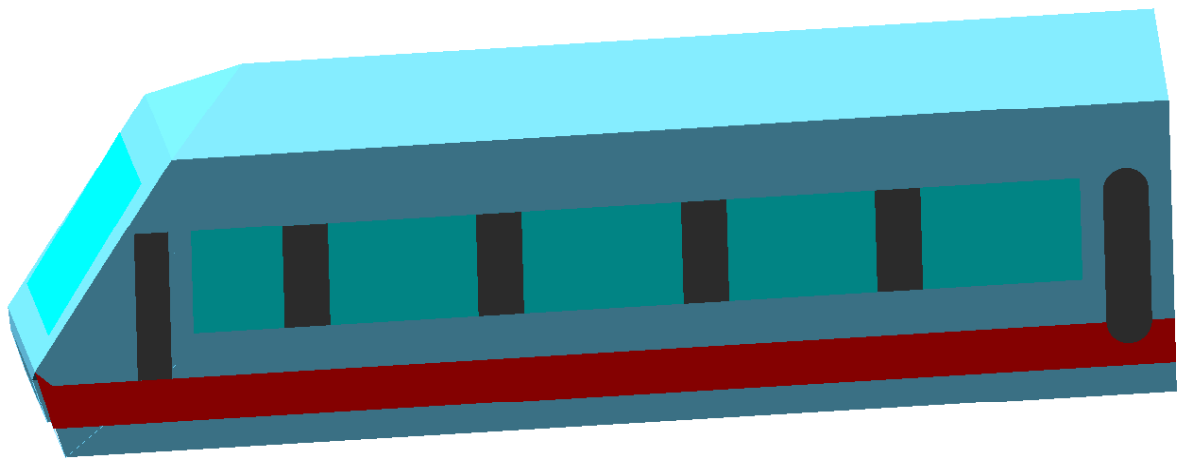
Zamodelowany wózek lokomotywy EU07 pokazany jest na rysunku 7.

Pudło lokomotywy zostało stworzone przez modyfikację dostępnego w programie ADAMS/Rail pudła z jedną kabiną maszynisty. Zachowane zostały wymiary takie jak: wysokość pudła, szerokość, długość oraz jego masa. Pudło lokomotywy przedstawia rys. 8.

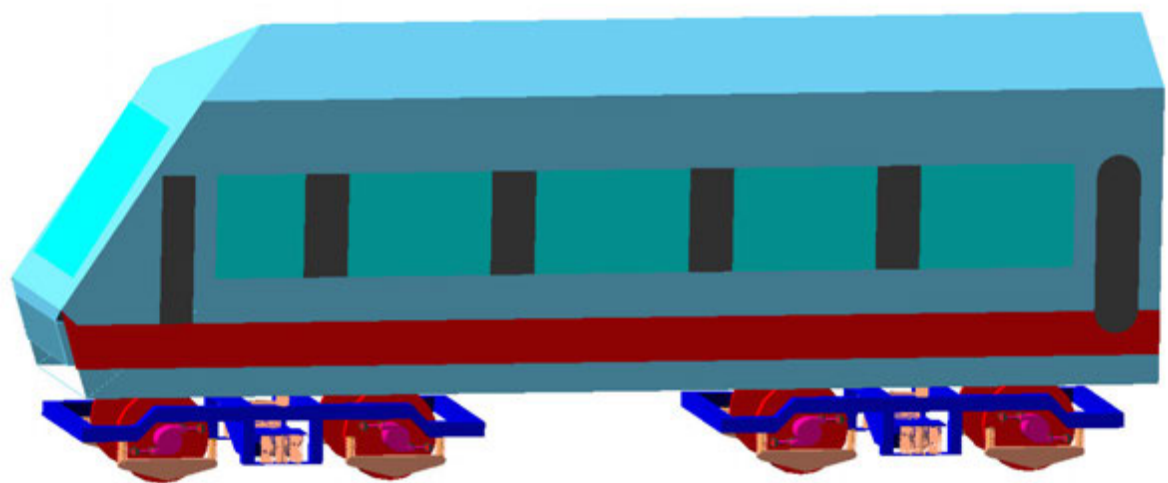
Gotowy model lokomotywy obrazuje rysunek 9.



Rys. 7. Model wózka lokomotywy EU07



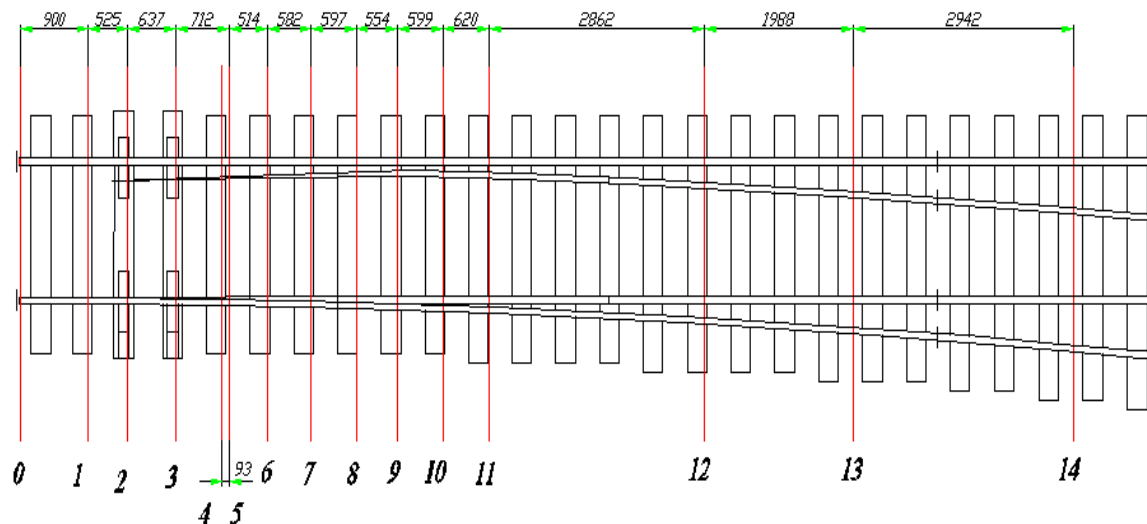
Rys. 8. Pudło lokomotywy EU07



Rys. 9. Model lokomotywy EU07

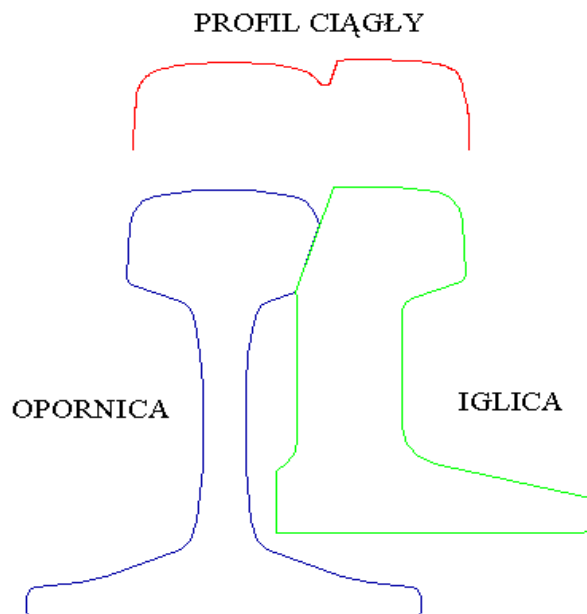
4. Model rozjazdu zwyczajnego

W celu określenia parametrów geometrycznych rozjazdu zwyczajnego przeprowadzono badania na obiekcie rzeczywistym przy użyciu profilomierza elektronicznego X-Y firmy GRAW. Badaniom poddano rozjazd zwyczajny Rz UIC 60 – 190 – 1:9 ss. Przyjęty rozkład punktów pomiarowych dla zwrotnicy rozjazdu przedstawiono na rys.10.



Rys. 10. Rozkład punktów pomiarowych wzdłuż zwrotnicy

Zmierzone profile zostały zaimportowane do komputera przy pomocy oprogramowania dostarczonego przez producenta profilomierza. Otrzymano profile ciągłe (rys. 11) toru, które zostały następnie zaimportowane w postaci plików tekstowych do programu MSC.ADAMS/Rail.



Rys. 11. Profil ciągły iglicy i opornicy

Ponieważ nie jest możliwe stworzenie modelu rozjazdu jako całości zdecydowano się na stworzenie dwóch rodzajów torów odpowiadających dwóm kierunkom ruchu:

1. na wprost,
2. po torze zwrotnym.

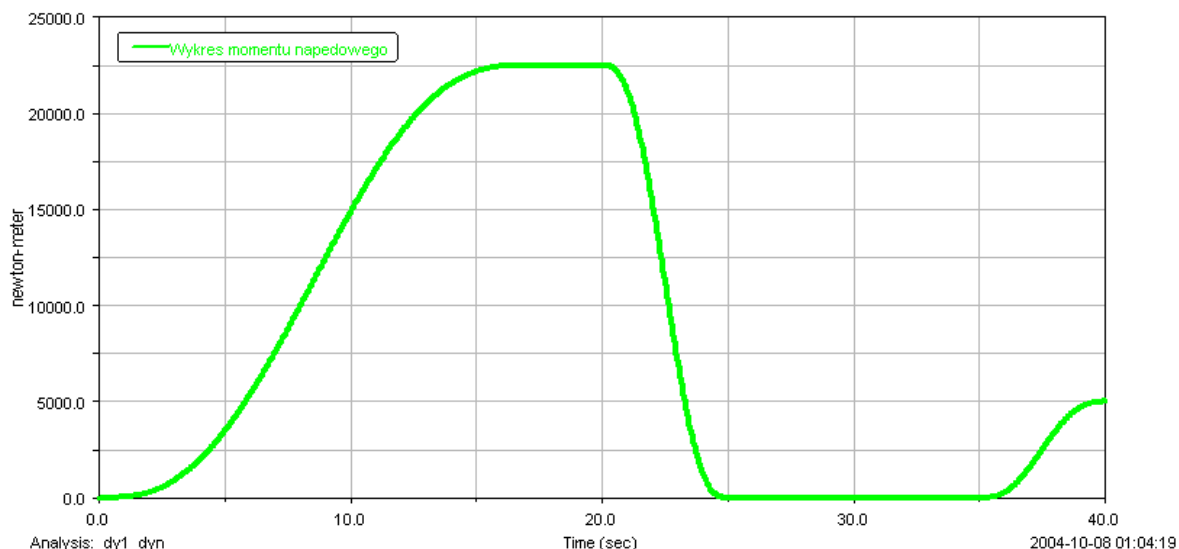
Tor zwrotny stanowi łuk toru o promieniu 190 m (odchodzi na prawo od kierunku na wprost).

5. Badania

Przeprowadzone badania symulacyjne podzielono na dwie części:

1. Badania ruchu lokomotywy po idealnym torze prostym przy założeniu określonego przebiegu czasowego momentu napędowego przyłożonego do zestawów;
2. Badanie dynamiki przejazdu po zwrotnicy rozjazdu zwyczajnego przy założeniu stałej prędkości ruchu.

W pierwszej części badań w celu określenia reakcji dynamicznych występujących przy współpracy zestawów kołowych lokomotywy z torem dla nowych kół i szyn przeprowadzona została analiza dynamiczna na torze prostym o długości 1000 [m]. Czas analizy to 40 sekund, przebieg założonego momentu napędowego przedstawia rysunek 12.



Rys.12. Wykres przebiegu momentu napędowego lokomotywy na torze prostym

Zasadnicze opory trakcji pochodzące od oporu toczenia kół pojazdu po szynach, oporów tarcia w łożyskach osiowych oraz od oporów aerodynamicznych wyznaczone zostały ze wzoru COBiRTK (2):

$$W_p(v) = \left[\left(C_1 + 0,15 \frac{3,6v}{10} \right) m + 15N_0 + C_2 (2,7 + N_w) \left(\frac{3,6v}{10} \right)^2 \right] g \text{ [N]} \quad (2)$$

gdzie:

C_1 – współczynnik zależny od rodzaju łożysk (0,65 dla łożysk tocznych, 0,9 dla łożysk ślizgowych)

N_0 – liczba osi pojazdu

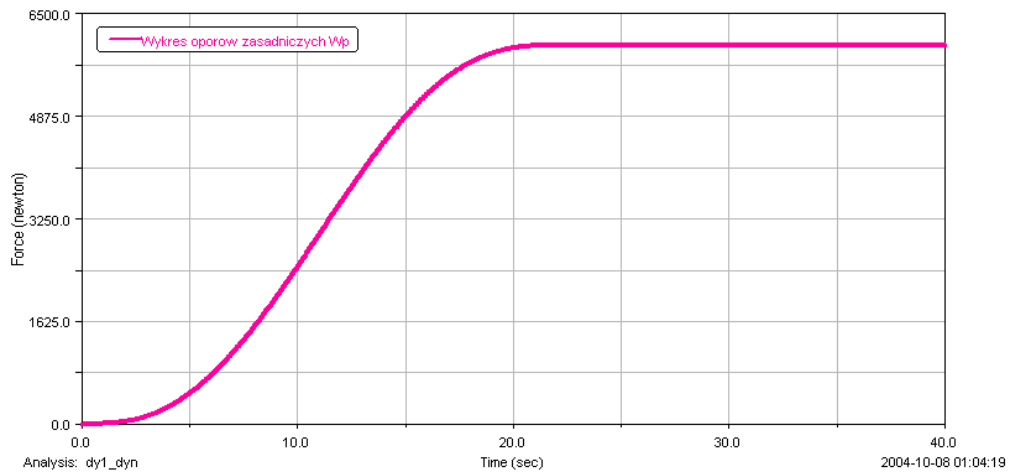
C_2 – współczynnik kształtu czoła (0,8 wagony towarowe, 1 dla wagonów osobowych i elektrycznych zespołów trakcyjnych)

m – masa pojazdu w [Mg]

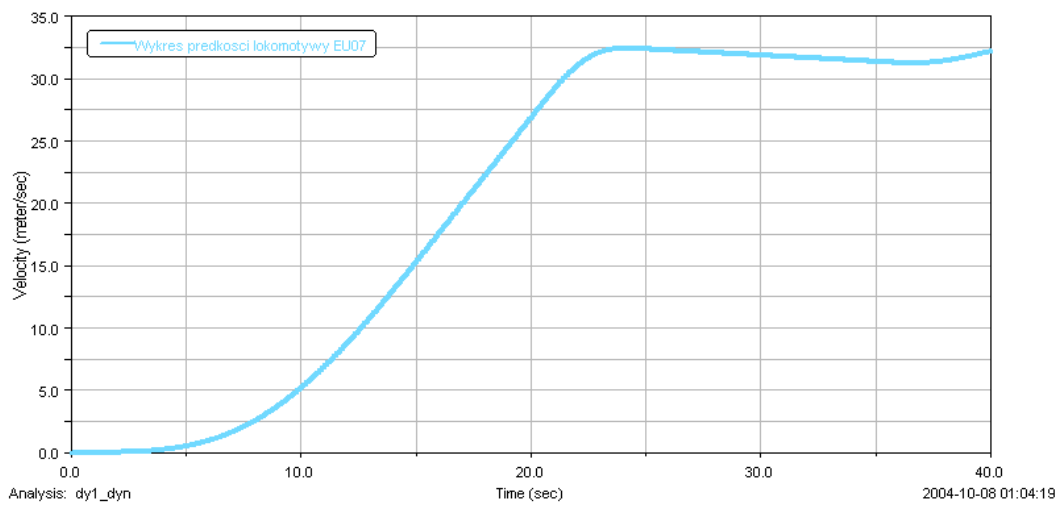
v – prędkość w [m/s]

N_w – liczba wagonów

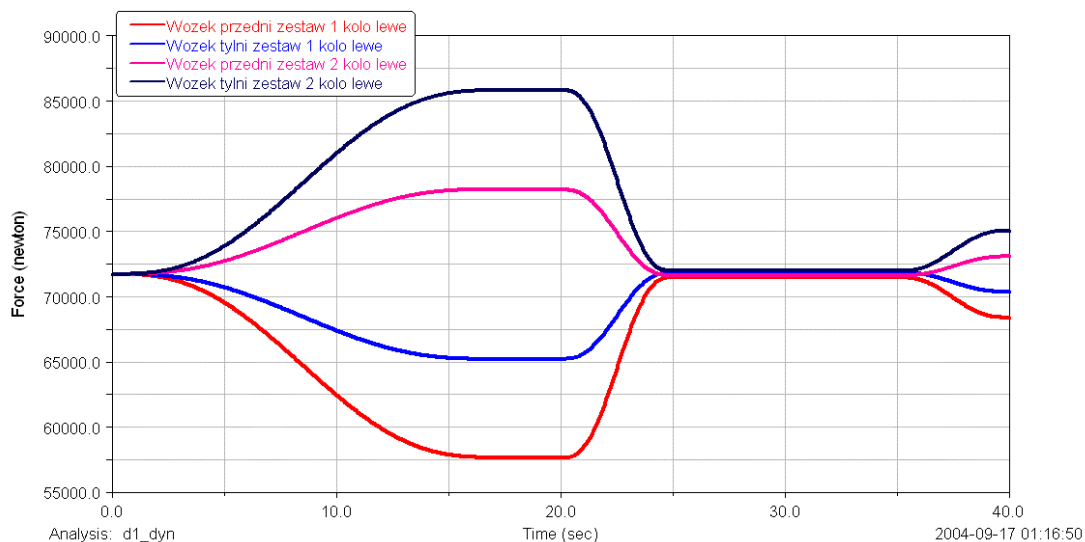
Opory zasadnicze zostały przedstawione na rys. 13. Prędkość uzyskaną przez lokomotywę EU07 obrazuje rys. 14. Na rys. 15 przedstawiono wykres zbiorczy sił pionowych działających na koła lewe.



Rys. 13. Przebieg oporów zasadniczych dla lokomotywy EU07 na torze prostym.



Rys. 14. Wykres prędkości dla lokomotywy EU07 na torze prostym.



Rys. 15. Wykres zbiorczych sił pionowych działających na koła lewe.

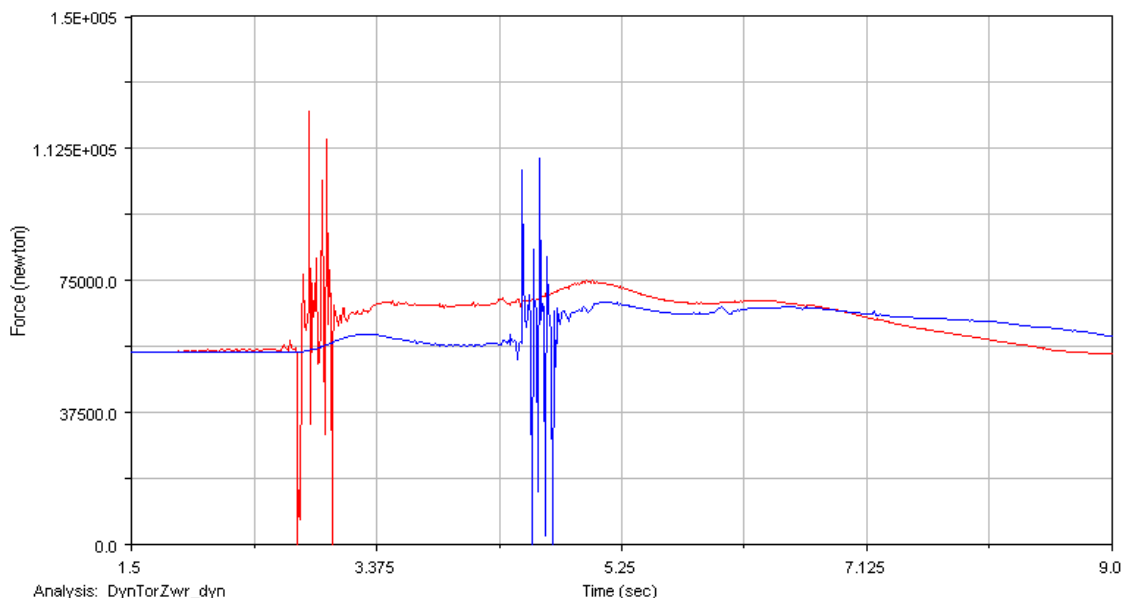
W celu zasymulowania przejazdu lokomotywy przez zwrotnicę rozjazdu zwyczajnego wykonano dwie symulacje opisujące:

1. przejazd po rozjeździe po torze prostym.
2. przejazd po rozjeździe po torze zwrotnym.

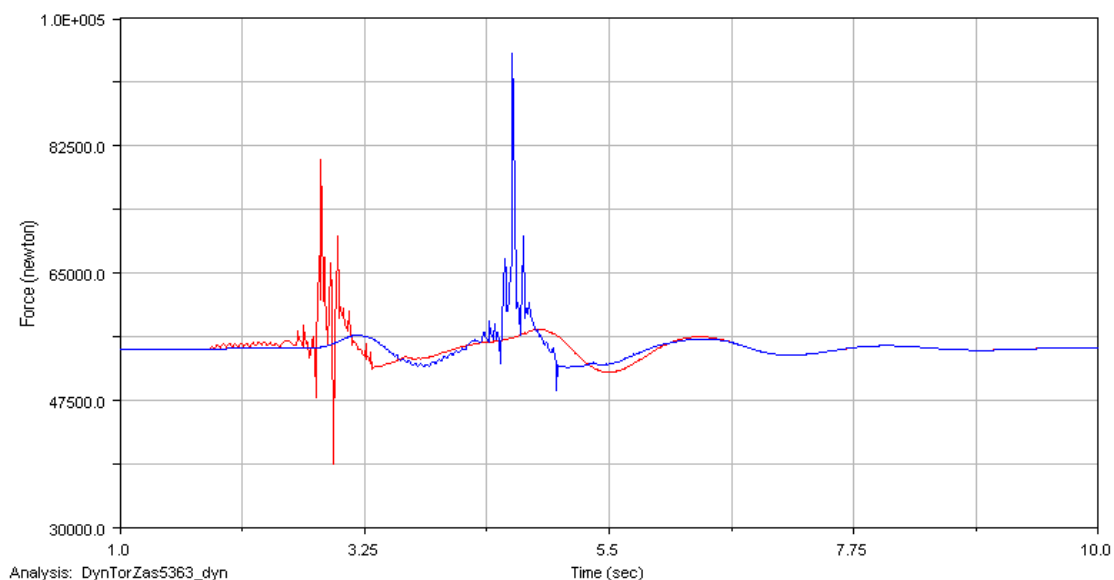
Założono, że lokomotywa porusza się ze stałą prędkością 40 km/h.

Przykładowe otrzymane rezultaty przedstawiono poniżej.

Na rys. 16 przedstawiono przebieg zmian siły pionowej działającej na koło lewe pierwszego i drugiego zestawu w czasie ruchu po torze zwrotnym. Analogiczne wyniki dla kierunku na wprost (w tym przypadku dla kół prawych) przedstawiono na rys. 17.



Rys. 16. Zmiana wielkości sił działających na koło lewe 1 i 2 zestawu w czasie ruchu po torze zwrotnym: — zestaw 1 — zestaw 2



Rys. 17. . Zmiana wielkości sił działających na koło prawe 1 i 2 zestawu w czasie ruchu po torze prostym: — zestaw 1 — zestaw 2

6. Wnioski

W przeprowadzonej analizie dynamicznej uzyskano następujące wyniki sił pionowych działających na zestaw kołowy. Jak widać z wykresu przebieg sił zbliżony jest do przebiegu zadanego momentu napędowego. Zgodnie z przewidywaniami największa siła pionowa wystąpiła na czwartym zestawie kołowym, co jest związane z dociążeniem go przez masę lokomotyw podczas ruchu. Wartość sił pionowych waha się w granicach od 57 do 86 [kN].

Przeprowadzone symulacje przejazdu przez zwrotnicę rozjazdu szynowego pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Największe oddziaływania dynamiczne mają miejsce w momencie wjazdu zestawu kołowego na iglicę zwrotnicy. Na wykresach siły pionowej widoczny jest początkowy spadek jej wartości do zera. Wyzerowanie siły jest związane z utratą przyczepności koła po wjechaniu na iglicę. Najpierw koło traci kontakt z szyną rozjazdu a następnie uderza o nią, co na wykresach uwidacznia nagły skok siły
- Po uderzeniu o iglicę rozjazdu następuje zmniejszenie amplitudy siły pionowej i stabilizacja
- Wartości sił pionowych w torze zwrotnym są większe nawet o 35% w stosunku do toru prostego.

LITERATURA

1. Maciszewski H., Pawlus J., Sumiński S.: Lokomotywy elektryczne serii EU06 i EU07, WKiŁ, Warszawa, 1978.
2. Grajner J.: O systemie MEDYNA X konferencja naukowa „Pojazdy szynowe”, Wrocław, Politechnika Wrocławska, 1994, s.120-126.
3. Chudzikiewicz A., Drożdźiel J.: Ocena drgań wzdłużnych układu lokomotywa EP09 – wagony, Przegląd kolejowy, Nr.7, 1999, s. 13 – 18.
4. Grzesikiewicz W., Osiecki J., Piotrowski J.: Podstawy dynamiki pojazdów szynowych, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1974.