

Numeryczna symulacja nabiegania wagonów z wykorzystaniem programów MES

Artykuł dotyczy analizy numerycznej nabiegania wagonów z wykorzystaniem programów opartych na metodzie elementów skończonych. Celem jest przedstawienie obecnych możliwości zastosowania programów MES do analizy numerycznej nabiegania wagonów. Na przykładzie zderzaka ze sprężyną pierścieniową typu Ringfeder, zademonstrowano możliwości budowy matematycznego modelu zderzaka w metodzie elementów skończonych. Przyjmując prosty model obliczeniowy wagonu przeprowadzono symulację nabiegania, wymieniono parametry i wielkości wyznaczone w trakcie obliczeń MES i zademonstrowano uzyskane wyniki.

1. Wstęp

Przed dopuszczeniem do eksploatacji prototypu wagonu towarowego należy wykonać próby nabiegania wg raportu ERRI B12/RP17 [2] dla określenia jego wytrzymałości. W trakcie tej próby rejestracji podlegają przebiegi w funkcji czasu takich wartości jak siła w zderzakach, prędkość wagonu, przyspieszenia, naprężenia w konstrukcji wagonu. Na podstawie wartości naprężeń formułowany jest warunek dopuszczenia wagonu do eksploatacji. Jeśli wagon nie spełnia kryterium wytrzymałości wymaga to wprowadzenia zmian konstrukcyjnych prowadzących do pomyślnego uzyskania wyników prób. Stąd bardzo istotne jest obliczeniowe sprawdzenie wytrzymałości konstrukcji wagonu dla próby nabiegania na etapie projektowania. Dotychczasowe próby obliczeniowej analizy tego zjawiska koncentrowały się głównie na modelowaniu procesu nabiegania wagonów w oparciu o równania ruchu [1] sprowadzając masę wagonu do jednego punktu masowego. Przy takim podejściu rozwiązania problemu nie można wiernie odwzorować konstrukcji wagonu. Stąd wyniki tych obliczeń ograniczały się do uzyskania przebiegu sil w zderzakach, prędkości wagonu i jego przyspieszeń, nie otrzymując odpowiedzi co do wartości naprężeń w konstrukcji. Były również próby zastosowania metody elementów skończonych do analizy dynamicznej pojazdów szynowych [3], jednak ze względu na ograniczenia sprzętowe nie uzyskano wówczas satysfakcjonujących wyników. Dalszy rozwój komputeryzacji i programów MES w ciągu ostatnich lat umożliwia obecnie powszechne rozwiązywanie coraz bardziej skomplikowanych zagadnień numerycznych z dziedziny techniki, które jeszcze dziesięć lat temu można było wykonać tylko w nielicznych dobrze rozwiniętych ośrodkach na świecie. Celem pracy jest przedstawienie obecnych możliwości zastosowania programów opartych na metodzie elementów skończonych do analizy numerycznej nabiegania wagonów.

2. Wprowadzenie i przykład modelu obliczeniowego

Rozwiązanie zagadnienia dotyczącego dynamicznego ruchu konstrukcji o n stopniach swobody sprowadza się do całkowania w czasie układu równań typu:

$$M\ddot{q} + C\dot{q} + Kq = F$$

gdzie:

M , C , K – odpowiednio macierze mas, tłumienia i sztywności,

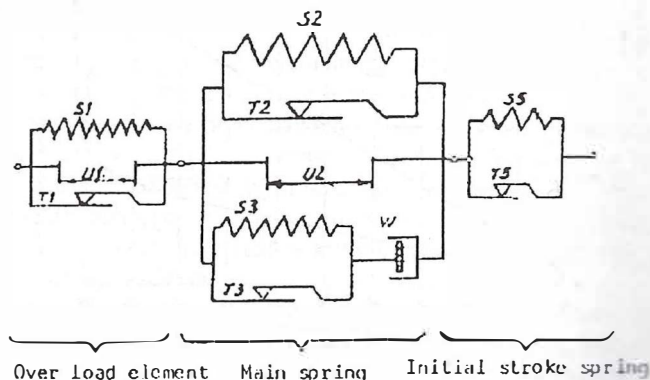
q , \dot{q} , \ddot{q} , F – macierze kolumnowe przemieszczenia, prędkości, przyspieszenia i sił.

Do rozwiązania układu równań niezbędne są dwa warunki początkowe: q i \dot{q} powinny być znane w momencie rozpoczęcia analizy. Rozwiązaniem układu równań są przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia w funkcji czasu, które są podstawą do wyznaczenia pozostałych poszukiwanych wielkości.

W obecnie użytkowanych programach MES możliwe jest tworzenie zróżnicowanych modeli obliczeniowych, poprzez łączenie różnych procedur, typów elementów lub materiałów. W bibliotece elementów oprócz tradycyjnych elementów skończonych, umożliwiających analizę wytrzymałościową, znajdują się elementy umożliwiające modelowanie zagadnień dynamicznych. Do podstawowych elementów umożliwiających budowę obliczeniowych modeli dynamicznych należą:

- elementy sprężyny,
- elementy tłumików,
- elementy cierne,
- elementy kontaktowe.

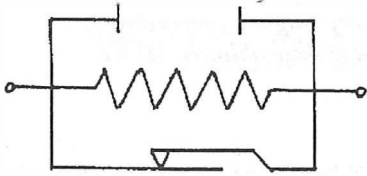
Korzystając z tych elementów można zbudować modele zderzaków (rys. 1).



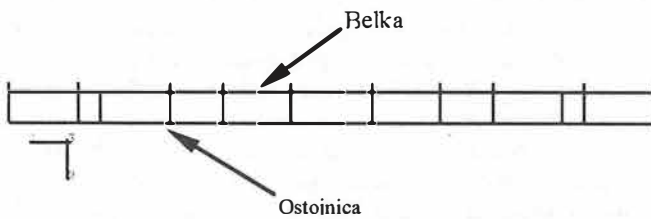
Rys. 1. Ogólny model mechaniczny zderzaka [3]

Dla uproszczenia modelu obliczeniowego, symulację nabiegania dwóch wagonów przeprowadzono dla prostej konstrukcji wagonu platformy. Konstrukcję ostoi wagonu sprowadzono do modelu ramowego, uwzględniając istnienie płaszczyzny symetrii wagonu i zastępując ostojnice, poprzecznice, belki skrętowe i grzbietowe elementami belkowymi (rys. 3). Wózki wagonu potraktowano jako ciała sztywne zastępując je w modelu punktem materialnym (bryła sztywna). Przyjęto, że wagony wyposażone są w zderzaki kategorii A ze sprężyną pierścieniową typu Ringfeder. Konstrukcja tego zderzaka charakteryzuje się

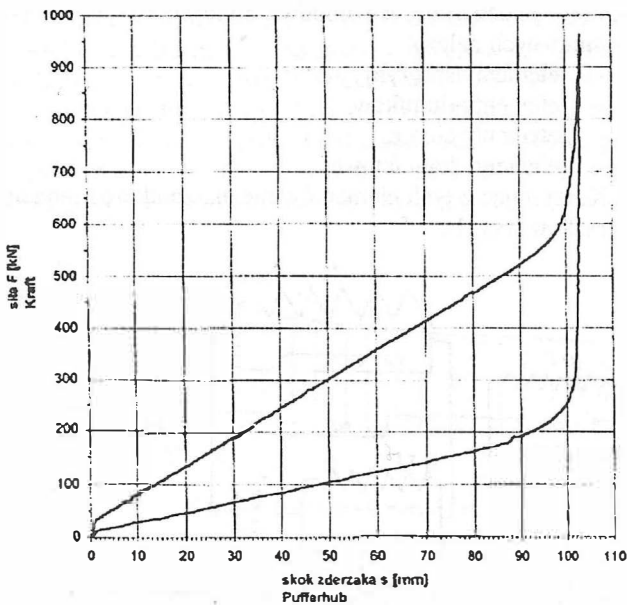
tym, że po wyczerpaniu jego skoku (105mm) siła przenoszona jest przez korpus zderzaka. Charakterystykę statyczną zderzaka pokazano na rysunku 4. Prosty model obliczeniowy tego zderzaka składający się z nieliniowego elementu sprężystego, tłumika tarcia oraz ogranicznika skoku zderzaka (element kontaktowy) przedstawiono na rysunku 2. Za pomocą tego modelu uzyskano wymienioną charakterystykę zderzaka dobierając odpowiednią sztywność elementu sprężystego oraz współczynnik tarcia elementu ciernego.



Rys. 2. Obliczeniowy model zderzaka typu Ringfeder uwzględniony w obliczeniach



Rys. 3. Obliczeniowy model ostoi nabieganego wagonu z uwzględnieniem płaszczyzny symetrii



Rys. 4. Charakterystyka statyczna zderzaka typu Ringfeder

3. Wyniki przykładowej symulacji nabiegania wagonów

W przykładowej symulacji nabiegania wagonów przyjęto masę obydwu wagonów równą 80 t. Początkowa prędkość wagonu nabiegającego wynosi 10km/h. Obliczenia wykonano z automatycznie dobieranym przez program krokiem czasowym. Po zakończeniu obliczeń można, oprócz takich standardowych wielkości jak:

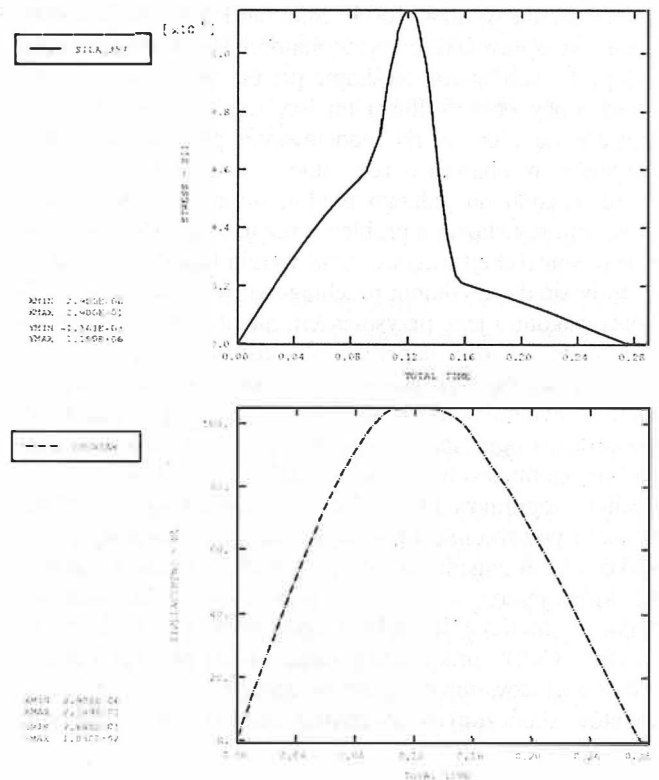
- siły w zderzakach,
- odkształcenia amortyzatora,
- przyspieszenia i odkształcenia konstrukcji wagonów,

przedstawić w postaci wykresów również takie wielkości jak:

- energię elementów i zespołów modelu,
- prędkości wagonów,
- charakterystykę zderzaka,
- siły w elementach konstrukcji wagonu,
- naprężenia w konstrukcji.

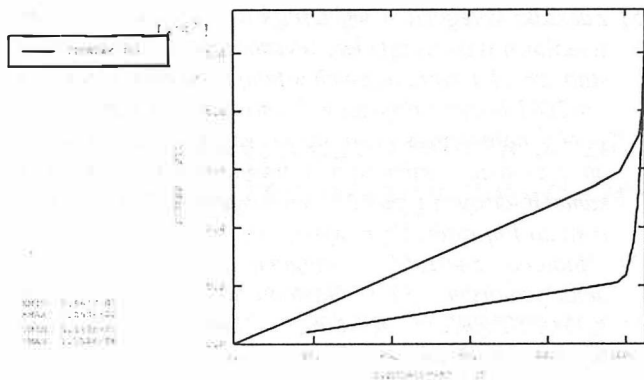
Te dodatkowe wielkości ułatwiają analizę procesu nabiegania wagonów oraz dostarczają informacji o wytrzymałości konstrukcji analizowanego wagonu. Z zamieszczonych na kolejnych rysunkach wykresów wynika, że cały proces uderzenia wagonów trwa niecałe 0.28 sekundy. Znajac wartości sił i odkształcenia zderzaków (rys. 5) z wykorzystaniem programu wyznaczono charakterystykę zderzaka (rys. 6). Z charakterystyki tej wynika, że dla podanych parametrów początkowych nabiegania następuje wybranie skoku zderzaka, przy czym wyznaczona charakterystyka modelu zderzaka zbliżona jest do charakterystyki zderzaka kategorii A ze sprężyną pierścieniową typu Ringfeder (rys. 4).

Na rysunku 7 przedstawiono wykres zmiany prędkości [mm/s] i przyspieszenia [mm/s²] wagonu nabiegającego (wagon1) i nabieganego (wagon2). Dla obydwu wagonów przyjęto w modelu identyczną konstrukcję stąd wykresy prędkości i przyspieszenia tworzą zwierciadlane odbicie.

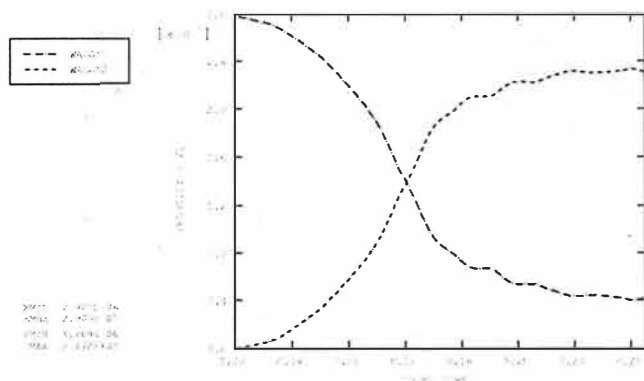


Rys. 5. Siła w zderzaku i odkształcenie amortyzatora w funkcji czasu

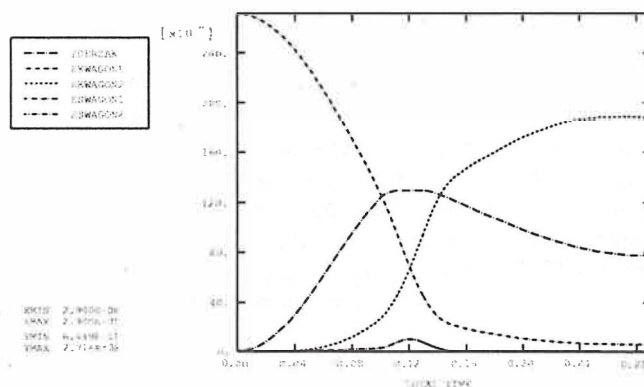
Interesujący jest wykres zmiany energii kinetycznej i sprężystości [mJ] nabiegających wagonów (rys. 8). Widać jak energia kinetyczna nabiegającego wagonu przejmowana jest w trakcie procesu nabiegania przez zderzaki, wagon nabiegany, oraz sprężystość obydwu wagonów. W trakcie nabiegania spełnione jest prawo zachowania energii. W końcowym momencie procesu nabiegania energia kinetyczna wagonu nabiegającego zostaje prawie całkowicie przejęta przez wagon nabiegany i pochłonięta przez zderzaki.



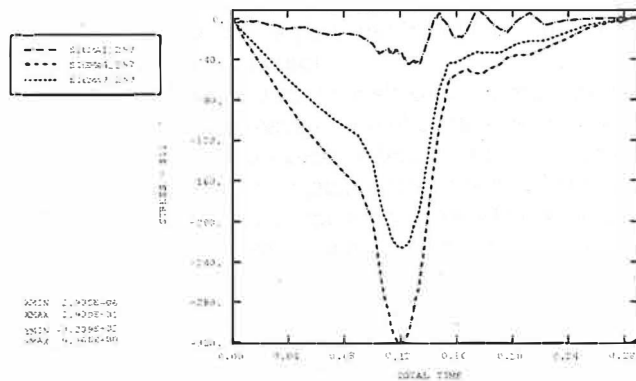
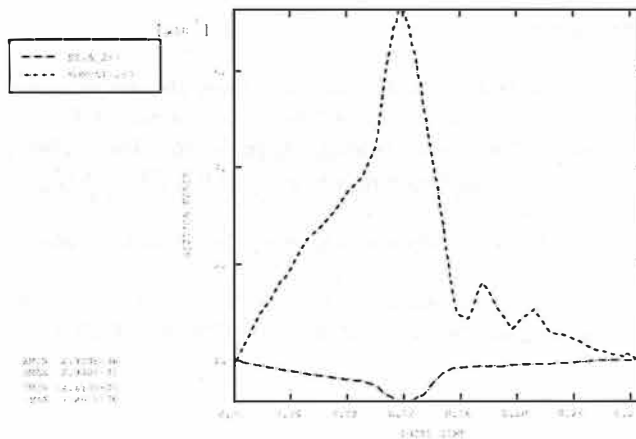
Rys. 6. Charakterystyka zderzaka



Rys. 7. Wykres zmiany prędkości i przyspieszenia nabieganych wagonów



Rys. 8. Wykres zmiany energii kinetycznej i sprężystej nabieganych wagonów



Rys. 9. Zmiana wartości siły normalnej, momentu gnącego oraz naprężeń w wybranym przekroju belki ostoi wagonu nabieganego

Z zamieszczonego wykresu wynika, że energia sprężysta przejmowana przez konstrukcję wagonu jest niewielką częścią sumarycznej energii w procesie nabiegania. Ale to właśnie ta energia mierzona w trakcie nabiegania w postaci naprężeń jest podstawą do oceny wytrzymałości konstrukcji wagonu. Numeryczna symulacja nabiegania wagonów z wykorzystaniem programu MES ma tą zaletę, że pozwala na szczegółowe przeanalizowanie zmiany tej energii w czasie nabiegania w postaci sił wewnętrznych i naprężeń w poszczególnych elementach i punktach konstrukcji wagonu. W opracowaniu ze względu na ograniczenia zdecydowano się na przedstawienie tych wielkości w jednym wybranym punkcie konstrukcji wagonu nabieganego. Na rysunku 9 pokazano wykres zmiany siły normalnej i momentu gnącego w określonym przekroju elementu belkowego ostoi oraz naprężeń w kilku punktach tego przekroju.

4. Uwagi końcowe

W artykule wskazano na możliwości tworzenia w programach MES modeli zderzaków o różnych nawet skomplikowanych charakterystykach za pomocą prostych elementów skończonych dostępnych w bibliotekach programów. Na przykładzie ramowego modelu ostoi wagonu platformy przedstawiono wyniki uzyskane w obliczeniach symulacji nabiegania dwóch wagonów. Dzięki analizie MES uzyskano szereg informacji z procesu nabiegania wagonów, jakich podczas stanowiących prób nabiegania do tej pory nie mierzono. Analiza uzyskanych wyników wskazuje na ich zbieżność z danymi dostępnymi w literaturze, jednakże ich ostateczna weryfikacja powinna być przeprowadzona na stanowisku badawczym. Osobnym problemem do rozwiązania w procesie numerycznej symulacji nabiegania wagonów pozostaje modelowanie ładunków zamieszczonych na wagonach, szczególnie ładunków masowych.

Literatura

- [1] Bajkowski J., Grzesikiewicz W., *Komputerowe modelowanie eksploatacyjnych zderzeń wagonów*. XII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe '96”, tom 1, 1996.
- [2] *Program badań wagonów towarowych...*, ERRI B 12/RP 17 (wyd. 7).
- [3] *Symulacja nabiegania wagonów (program komputerowy TULIP2)*, ORE B36/RP 27.
- [4] *Zastosowanie modeli matematycznych przy analizie nabiegania pojazdów szynowych*, ORE B165/RP 4.
- [5] *Zderzaki kategorii A wg UIC 526-1 ze sprężyną pierścieniową typu Ringfeder. Wyznaczanie charakterystyk statycznych i dynamicznych w temperaturach ujemnych*, SB-2081 Instytut Pojazdów Szynowych, Poznań.
- [6] *Próby nabiegania 6-osowego wagonu przegubowego do przewozu kontenerów i wymiennych pojemników samochodowych typu 626Z serii Sggrss 104*, RP-0025 Instytut Pojazdów Szynowych, Poznań.
- [7] *Badania zderzaków kategorii A typu KX-ZU z amortyzatorem z elastomeru stałego typu KAMAXIL®ES*, RP-0081 Instytut Pojazdów Szynowych, Poznań.