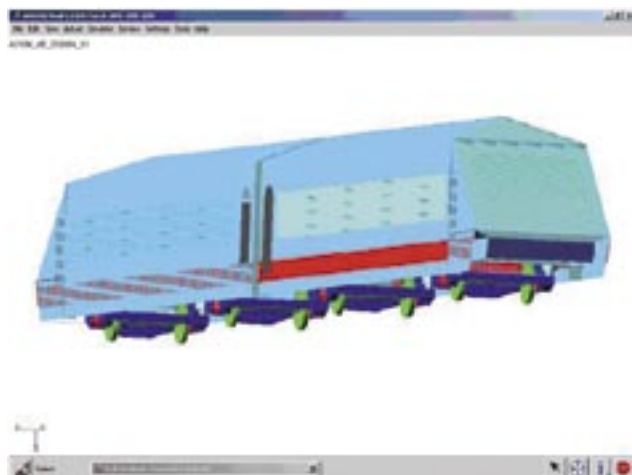


Tomasz Tomaszewski

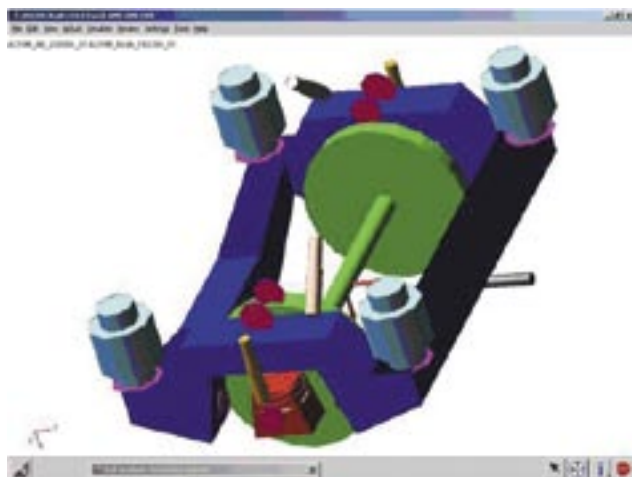
Symulacje komputerowe dynamiki pojazdów szynowych

Dzisiejszy świat stawia coraz wyższe wymagania nie tylko ludziom, ale także wyrobom, produktom, jakości i terminowi wykonania oraz ograniczeniu czynności obsługowych. Konstrukcja pojazdów i mechanizmów, obejmując cały skomplikowany proces, nie może pozostawać w tyle – konstrukcje mają powstawać w coraz krótszym czasie, spełniając jednocześnie coraz większe wymagania jakościowe, ilościowe, zachowując również minimalny poziom cenowy.

Praca konstruktora, ściśle związana z obliczeniami, analizami, projektami, rysunkami i modelami nie mogłaby być na tyle wydajna, gdyby nie komputery i ich odpowiednie oprogramowanie. Jednak pomimo tego, iż programy graficzne, moduły realizujące szeregi obliczeń i przekształceń matematycznych, różnego typu edytory są powszechne, to istnieje jeszcze pewien zakres niezbyt



Rys. 1. Model dwuczłonowego pojazdu opartego na jednoosiowych wózkach



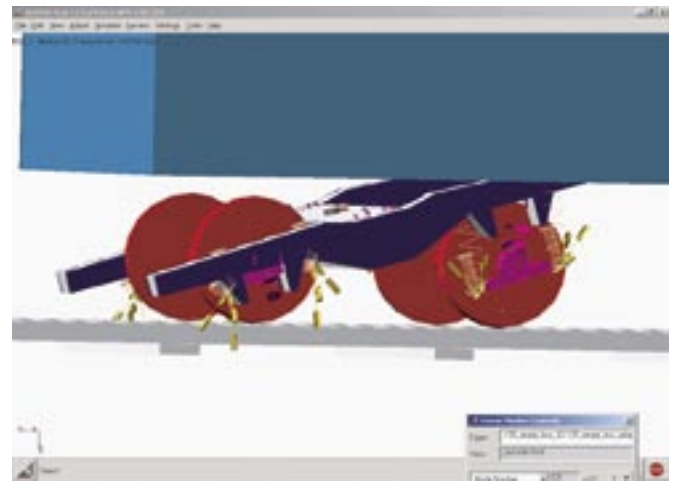
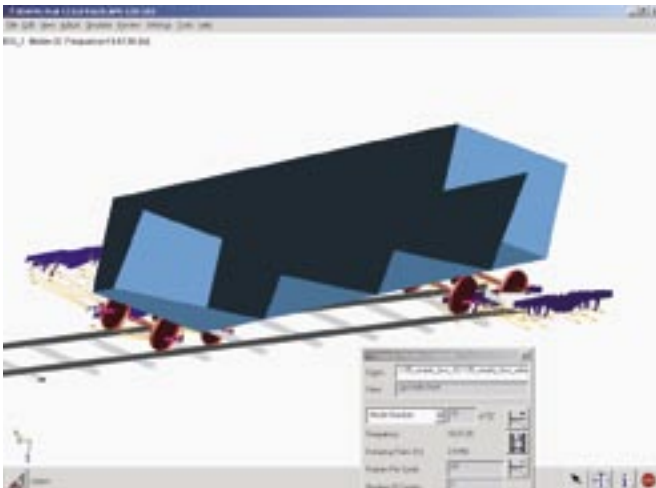
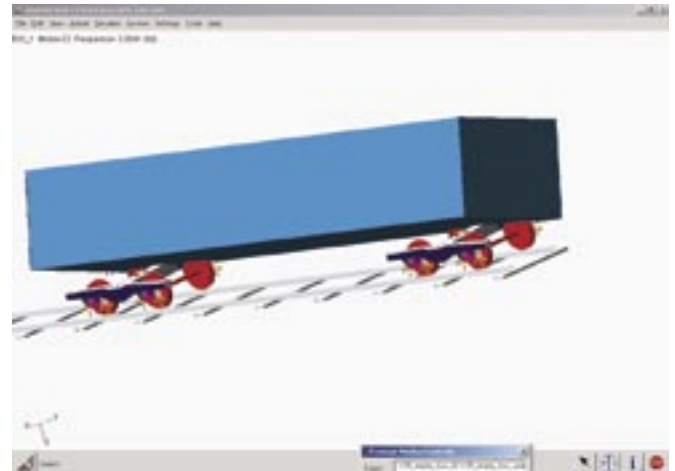
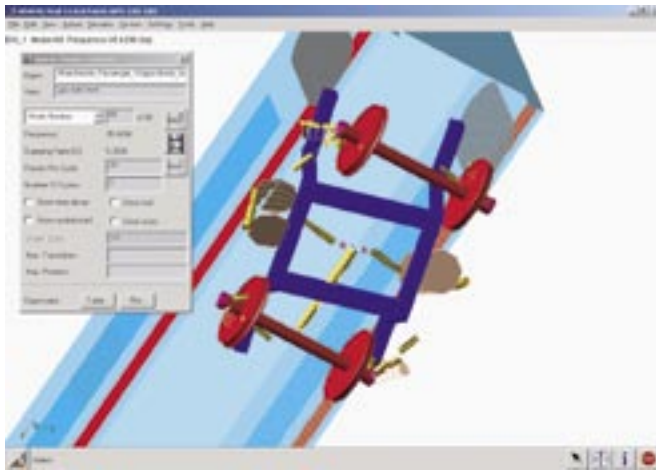
Rys. 2. Model wózka jednoosiowego

popularnych zagadnień ściśle specjalistycznych, które łączą w sobie funkcje dostosowane do wyrafinowanych potrzeb konstruktorów.

Obliczenia bazujące na teorii Metody Elementów Skończonych (MES), wykorzystywane głównie do obliczeń wytrzymałościowych, stanowią podstawę wielu bardzo popularnych i powszechnie na świecie używanych programów. MES – choć istotnie ważny – jest jednak fragmentem zapotrzebowań współczesnych obliczeniowców. Pośród wielu prostych i nieco bardziej złożonych zagadnień natury technicznej i obliczeniowej znajduje się dynamika, która jako nietatwa nauka długo nie doczekała się prostych i szeroko implementowanych programów komputerowych. Specyfika zagadnień dynamicznych, szczególnie w złożonych przykładach sprawiała – i nadal sprawia – że relatywnie niewiele osób zajmuje się tą dziedziną wiedzy oraz odpowiadającymi jej obliczeniami numerycznymi i symulacjami. Jak ważna jest to dziedzina okazuje się, gdy mamy do czynienia z coraz bardziej złożonymi i bardziej wyłożonymi konstrukcjami, które swoim charakterem zmierną do granicznych możliwości materiałowych.

Zagadnienia dynamiczne, dla szczególnego przypadku zjawisk zachodzących w pojazdach szynowych – wielokrotnie złożonych, skomplikowanych układach mechanicznych – przez lata były tematem zainteresowania twórców oprogramowania. Od początku lat 80. ubiegłego stulecia na świecie powstawały podwaliny dzisiejszych programów do analizy dynamicznej, również zachodzących o specyfikę pojazdów poruszających się na profilowanych kołach po profilowanej szynie. Przez lata rozwoju, prób, błędów i udoskonaleń powstało kilka liczących się programów symulacyjnych, pozwalających współczesnemu konstruktorowi-obliczeniowcowi na znaczne ułatwienie pracy. Ułatwienie to polega nie tylko na możliwości testowania projektu-konstrukcji na wiele sposobów, jego optymalizację, ale również pozwala na obróbkę wyników wraz z pełną wizualizacją ruchu elementów, pojazdu lub układu pojazdów, składających się na kompletny model pociągu. Możliwości współczesnych programów do symulacji dynamiki ruchu – powstałych w oparciu o stosowaną teorię – dają więc szerokie pole do opisu współczesnym konstruktorom. Programy takie mają wiele niezaprzeczalnych zalet, stając się niezrównanym źródłem poznania, zawierając równocześnie nieco wad. Jedne i drugie (wady i zalety) w pracy wykorzystać trzeba na tyle umiejętnie i rozsądnie, by w efekcie niemal nieograniczonych możliwości uzyskać rzetelne i akceptowalne wyniki, skutkujące powiększaniem się wiedzy na temat zachowania się konstrukcji, jak też pozwalające na pełniejszą optymalizację zadań projektowych.

W ciągu ostatnich lat na światowym rynku pojawiło się kilkanaście komercyjnych programów starających się, mniej lub bardziej ogólnie ujęć zagadnienia dynamiki. Z tego szeregu wymienić można kilka, stworzonych dla specjalnych celów badania pojazdów szynowych, lub posiadających profesjonalne moduły przeznaczone kolejom. Bardziej znane, często szeroko implemen-



Rys. 3. Program pozwala na wizualizację drgań własnych modelu

towne, czasem będące lokalnymi, niemniej uznanymi komercyjnymi narzędziami to m.in.: Vampire, E-Train, Medyna, ADAMS/Rail, Simpac, czy najmłodszy z nich: Universal Mechanism. Oprócz wymienionych, nierzadko zdarza się, iż poszczególne środowiska naukowe bazują na własnych programach stworzonych według indywidualnych potrzeb.

Oprogramowanie to pozwala na możliwie wierne odtworzenie rzeczywistych konstrukcji, skomplikowane i zaawansowane badania dynamiczne, jakie nierzadko trudno jest zrealizować w przypadku badań prowadzonych standardowo na obiektach rzeczywistych.

Symulacje dynamiki ruchu układów wielomasowych w przypadku zastosowania ich do badań konstrukcji pojazdów szynowych umożliwiają analizę układów biegowych, zawiesznień, sprzęgów międzywagonowych, itd. w warunkach zbliżonych do tych, jakie spotyka się na torze rzeczywistym.

Zakres zastosowania symulacji komputerowych dynamiki ruchu

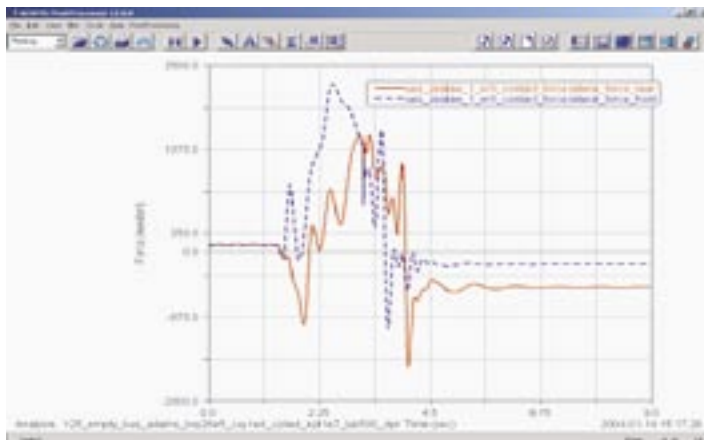
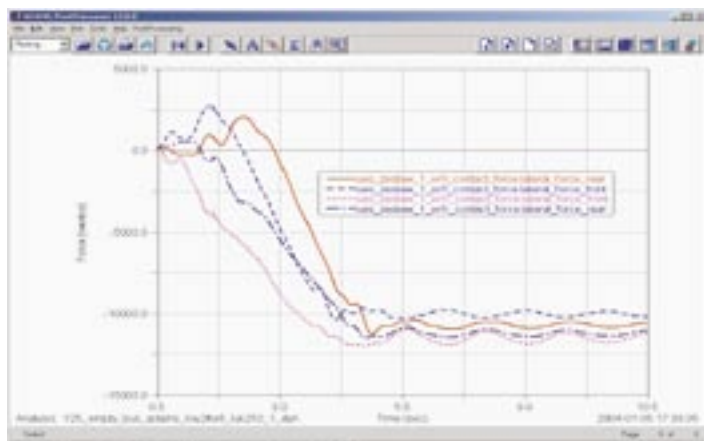
- we wstępnej fazie projektowania do oceny zachowania modelu pojazdu;
- do projektowania i optymalizacji dynamiki układów mechanicznych bazujących na modelach, składających się z podstawowych, prostych elementów;

- do oceny podstawowych parametrów konstrukcji, np. stateczności ruchu, prędkości krytycznych, zdolności pokonywania łuków, komfortu jazdy, działających sił, itd.;
- do eksperymentalnego przewidywania i prowadzenia badań w celu ustalenia (wspierania) planu badań na rzeczywistym modelu;
- do monitorowania, diagnostyki, oraz przewidywania uszkodzeń istniejących systemów.

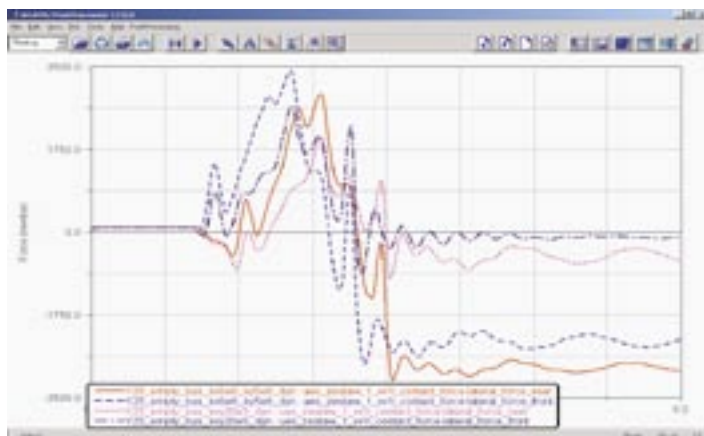
Rozpatrywany w przypadku symulacji może być nieliniowy model pojazdu o wielu stopniach swobody, pozwalający na bliższe oddanie rzeczywistości i satysfakcjonującą dokładność obliczeń numerycznych. Mniejszą dokładność (zbieżność z rzeczywistością) zapewniają modele liniowe składające się z ciał nieskończenie sztywnych. Równocześnie fakt lawinowego wzrostu możliwości obliczeniowych komputerów pozwolił na analizę metodami numerycznymi niektórych właściwości pojazdów, które wydają się być nieosiągalne na drodze rozwiązań analitycznych. Dotychczasowe ręczne wyprowadzanie równań ruchu, zapisywanie ich w postaci możliwej do przyjęcia przez komputer i scalanie ich okazało się, w porównaniu do obecnych, niemal automatycznych metod komputerowych, wyjątkowo trudne, czasochłonne i o wiele bardziej zawodne.

Zalety symulacji komputerowych

- Możliwość realizacji symulacji ruchu modelu wirtualnego bez potrzeby przeprowadzania podobnych procedur bezpośrednio na obiekcie rzeczywistym.
- Uproszczenie przygotowania realnej konstrukcji od wstępnej koncepcji do produktu finalnego.
- Zwiększenie możliwości poznania wpływu parametrów obiektu na własności dynamiczne.
- Skrócenie czasu powstawania produktu.
- Znaczne zmniejszenie kosztów przygotowania konstrukcji do produkcji.
- Szybki cykl obliczeniowy oraz niskie koszty badania.



Rys. 4. Wizualizacja i obróbka wyników jest równie istotna, jak same badania



Rys. 5. Na wykresach można dowolnie składać wyniki kolejnych symulacji, modyfikacji

- Brak ryzyka, niebezpieczeństwa, jak to ma miejsce w przypadku eksperymentowania z realnym pojazdem.

Wady symulacji komputerowych

- Większa dokładność obliczeń zwiększa czas rozwiązania zadania.
- Konieczność dobrej znajomości topologii programu wraz z błędami typu obliczeniowego.
- Umiejętność interpretacji wyników ze szczególnym uwzględnieniem błędów numerycznych;

Program symulacyjny, jako narzędzie o rozbudowanych możliwościach trafia do użytku konstruktora-obliczeniowca, pozwalając na niemal dowolne badania prowadzone na wirtualnym modelu. Dowolność polega nie tylko na możliwości odzwierciedlenia w modelu komputerowym konkretnego układu mechanicznego, ale również pozwala na wykonanie badań przy wykorzystaniu rzeczywistej geometrii toków szynowych, zarysów kół i szyn.

Narzędzie tego typu udostępnia szerokie spektrum badań, począwszy od najprostszych weryfikacji modelu, po takie, które są w stanie naśladować badania rzeczywistego obiektu (pojazdu szynowego) w realnych warunkach. Możliwość zastosowania nie ogranicza się więc wyłącznie do projektowania nowo tworzonych konstrukcji i ich wstępnej weryfikacji. Otwiera się szansa nie tylko do szerszej, zdecydowanie szybszej i proporcjonalnie taniej optymalizacji modelu wirtualnego zgodnie ze standardowym tokiem badań homologacyjnych pojazdów szynowych, określanym w ramach odpowiednich norm krajowych i kart UIC.

Badania odzwierciedlające standardowe procedury badawcze i pomiarowe prowadzone dla nowych i modyfikowanych pojazdów szynowych mogą dać wiele informacji, jakie nie zawsze jest możliwość uzyskać przy badaniach rzeczywistych. Rzetelne badania symulacyjne – prowadzone równoległe z badaniami rzeczywistymi – mają więc nie tylko szansę porównania z wynikami pomiarowymi konstrukcji ale też mogą dostarczać informacji, jakich z wielu przyczyn nie da się pomierzyć podczas badań ruchowych, a które mają kluczowe znaczenie podczas długoletniej eksploatacji pojazdu.

Dodając do przedstawionych możliwości badawczych fakt pełnej obróbki wyników (tabele, wykresy, wizualizacja), programy tego rodzaju wydają się być niezwykle warte uwagi.

Powody, dla których programy symulacyjne zyskują coraz szersze zastosowanie są wręcz spektakularne. Podstawą zaletą jest możliwość o wiele łatwiejszego projektowania, weryfikacji, badań i optymalizacji układów mechanicznych, m.in. kompletnych pojazdów szynowych, całych składów pociągów. Zdecydowane ograniczenie kosztów polegające na braku konieczności budowy prototypu, czy modelu obiektu rzeczywistego wykonanego w odpowiedniej skali to kolejna fundamentalna cecha decydująca o coraz szerszej implementacji wirtualnych badań do prac nad rozwojem konstrukcji. Wirtualny model nie pochłania więc niebotycznych kosztów wytworzenia i badań (w tym zniszczeniowych) wstępnego prototypu lub prototypów.

Krótszy czas przygotowania modelu – począwszy od koncepcji wstępnej, poprzez budowę do finalnych badań – to kolejny plus na koncie nowoczesnych metod obliczeniowych. Procedura badawcza przeprowadzana wirtualnie znacząco skraca czas przygotowania i wprowadzenia nowej konstrukcji do produkcji. Fakt ograniczania czasu przygotowania obiektu do użytku generuje

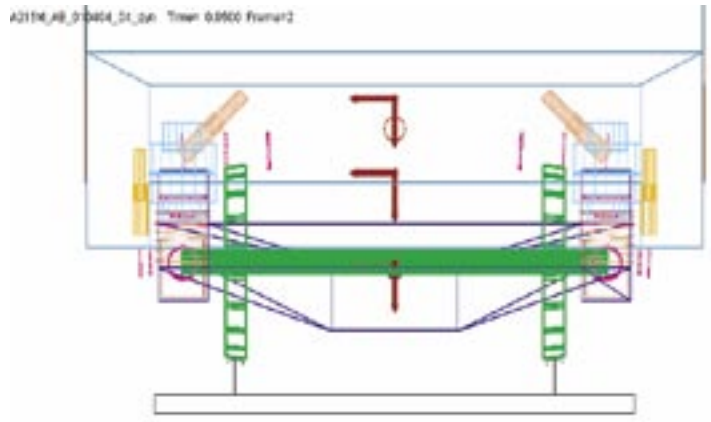
oczywiście zdecydowanie mniejsze wydatki niż miałyby to miejsce w przypadku wykonania prototypu.

Względnie szybka ingerencja w strukturę testowanego modelu również nie pozostaje bez znaczenia, jeśli weźmiemy pod uwagę problemy polioptymalne (optymalizacja wielokryterialna), w których dla każdego z parametrów należy przebadać zadany przedział możliwych do przyjęcia rozwiązań. Tego typu ingerencja, prócz normalnych zadań optymalizacyjnych, umożliwia również symulowanie skrajnych przypadków eksploatacyjnych, pozwalając na określenie zachowania się pojazdu w sytuacjach nietypowych, często niebezpiecznych (np.: pęknięcie jednej ze sprężyn w zawieszaniu, brak ciśnienia w poduszkach powietrznych zawieszania, nierównomierność rozkładu ładunku, i inne). Zalety takiego stosowania nietrudno sobie wyobrazić patrząc z perspektywy bezpieczeństwa i kosztów naprawy infrastruktury wywołanych skutkami ewentualnych wypadków. W przypadku symulacji koszty sprowadzają się jedynie do czasu obliczeniowego, nie generując uszczerbku zdrowia, życia i zniszczeń mechanicznych.

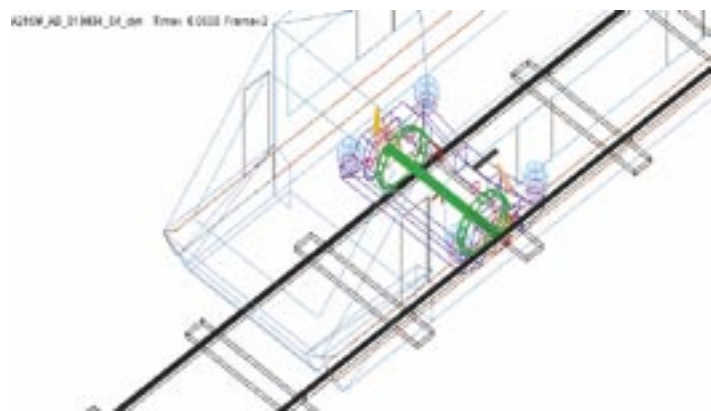
Czy symulacje komputerowe dynamiki są więc przyszłością w zagadnieniach projektowych nowego taboru kolejowego? Wydaje się, że są nie tyle nieuchronną przyszłością, ale stanowią rzeczywistość, która w polskich warunkach nie pozostaje zbyt daleko w tyle. Oczekuje się, że do obecnie wykonywanych, nielicznych wciąż projektów tego typu, z każdym rokiem dołączają będą kolejne. Stosowanie jednak teoretycznie zawansowanych programów i najnowocześniejszych metod obliczeniowych nie wyeliminuje pracy człowieka, jego wiedzy i umiejętności podejmowania racjonalnych decyzji. Bez tego wszak nawet najlepsze programy generować będą niezliczoną liczbę informacji liczbowych, których jakość może mieć iście wątpliwe znaczenie. Zachętyjąc się nowinkami nie zapominajmy również o rozsądku, jaki powinien zachować człowiek wobec wyników generowanych przez maszyny liczące.

□

Prezentowany materiał stanowi fragment pracy zaliczeniowej wykonanej podczas kursu Ekspertkiej Szkoły Technologii Inteligentnych, działającej w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, Polska.



Rys. 6. Podczas wizualizacji symulacji możliwe jest ustawienie widoku na dowolny element modelu



Rys. 7. Różne spojrzenia na modelowany obiekt mogą uwidocznic szczegolne, niezauważalne na pierwszy rzut oka problemy

Autor

mgr inż. Tomasz Tomaszewski

Zakład Pojazdów Szynowych

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa