

KWAŚNIKOWSKI Jerzy¹
GRAMZA Grzegorz²
SMOCZYŃSKI Piotr³

WIZUALIZACJA WYNIKÓW SYMULACJI KOMPUTEROWYCH PROCESU RUCHU POJAZDU SZYNOWEGO

W pracy przedstawiono zastosowanie wizualizacji wyników symulacji komputerowych procesu ruchu pojazdu szynowego. Opisano pakiet opracowanych i wykorzystanych programów symulacyjnych RSEL/RSDL oraz oprogramowanie RONG służące do przedstawienia wizualizacji wybranych wyników symulacji. Przedstawiono też przykładowe zastosowanie tych programów komputerowych.

VISUALIZATION OF RAILWAY VEHICLE COMPUTER SIMULATION DATA

The paper presents the use of visualized data from computer simulation process of a moving rail vehicle. At the beginning, a package of simulation programs RSEL/RSDL is described. Then a new program RONG used for visualization of selected simulation results is presented and the examples of application of this software are given.

1. WSTĘP

Modelowanie i symulacja mają zastosowanie w wielu dziedzinach nauki. Obecnie często wykorzystuje się w tym celu techniki komputerowe. Są stosowane ze względu na to, że w pewnych przypadkach działania na obiekcie rzeczywistym może być kosztowne i czasochłonne, a w pewnych przypadkach nawet niemożliwe. Modelowanie dotyczy głównie zależności pomiędzy systemami rzeczywistymi a modelami, natomiast symulacja związana jest głównie zależnościami pomiędzy komputerami a modelami [15]. Przegląd metod modelowania matematycznego, zastosowania modeli matematycznych oraz oprogramowania komputerowego wykorzystywanego w symulacji ruchu pojazdów szynowych przedstawiono w pracach [6, 14].

¹ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: (61) 665 2612, e-mail: jerzy.kwasnikowski@put.poznan.pl,

² Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel.: (61) 665 2017, e-mail: grzegorz.gramza@put.poznan.pl,

³ Student specjalności Transport Szynowy, Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, e-mail: psmoczynski@wp.pl

Metody modelowania komputerowego często umożliwiają również wizualizację wyników badań w celu ich obrazowego przedstawienia i szybszej analizy. W pracy przedstawiono oprogramowanie do wizualizacji wyników symulacji komputerowych procesu ruchu pojazdu szynowego RONG. Szczególnie skupiono się na możliwości zastosowania go do wizualizacji wyników symulacji uzyskanych z pakietu symulacyjnego RSEL/RSDL.

2. SYMULACJA PROCESU RUCHU POJAZDU SZYNOWEGO

2.1 Pakiet symulacyjny RSEL/RSDL

Do analiz symulacyjnych wykorzystano symulator cyfrowy procesu ruchu pociągu RSEL/RSDL (Run Simulation of Electric Locomotives/Run Simulation of Diesel Locomotives). Pakiet symulacyjny RSEL/RSDL umożliwia odwzorowanie ruchu pojazdu szynowego według trzech sposobów sterowania:

- minimalno-czasowego (forsownego – MR),
- przy zadanym czasie przejazdu (quasi-forsownego – SL)
- energooszczędnego, również przy zadanym czasie przejazdu (FC).

Przejazd minimalno-czasowy dostarcza informacji o najkrótszym czasie przejazdu zadanej trasy oraz możliwościach trakcyjnych pojazdu przy obciążeniu ekstremalnym. Przejazd quasi-forsowny realizowany jest w zadanym czasie przejazdu dłuższym od minimalnego przy konwencjonalnym sposobie sterowania, podobnym do obserwowanego u maszynistów nie przeszkolonych do jazdy energooszczędnej. Przejazd energooszczędny odbywa się w zadanym czasie, a regulacja czasu przejazdu wykonywana jest przez wymuszanie odcinków jazdy wybiegiem (bez napędu) przed hamowaniem i na spadkach profilu. Szczegółowy opis podstawowych procedur programów RSEL/RSDL przedstawiono w pracy [6]. Symulatory RSEL/RSDL liczą dodatkowo wiele innych wskaźników eksploatacyjnych np. zużycie energii na przejazd, pracę oporów wzniesień, oraz inne nie związane bezpośrednio ze zużyciem energii, tj. średnią prędkość techniczną i handlową, prąd zastępczy, wydajność czasową oraz histogramy nastawień sterownika jazdy/hamowania i histogramy obciążeń kół siłą pociągową.

2.2 Zastosowanie symulatorów RSEL/RSDL

Wcześniej program wykorzystywano do analizy czasowych i energetycznych realizacji zadań przewozowych między innymi w pracach [5, 7, 8, 9, 10, 11]. W latach następnych program był ulepszany i zmieniany. Istnieje również możliwość zmiany i dostosowania programu do aktualnych potrzeb np. analizy przejazdów pociągów prowadzonych lokomotywami z silnikami asynchronicznymi, autobusów synowych i tramwajów.

Symulatory RSEL i RSDL są wykorzystywane zarówno w pracach naukowych, jak i w dydaktyce. Ich możliwości się zwiększają, jednak przygotowywanie plików z danymi wejściowymi, choć daje się w pewnym stopniu zautomatyzować, wymaga dużego nakładu czasu i pracy. W praktycznym zastosowaniu ważna jest również łatwość analizy wyników symulacji. Program nie ma własnego modułu wizualizacji, a wyniki symulacji zapisywane są w formacie plików tekstowych.

3. WIZUALIZACJA WYNIKÓW SYMULACJI PROCESU RUCHU POJAZDU SZYNOWEGO

3.1 Problemy wizualizacji wyników symulacji z użyciem programów RSEL/RSDL

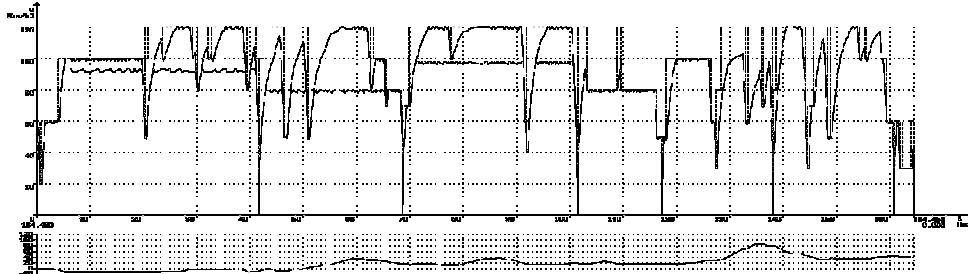
Do wizualizacji wyników symulacji procesu ruchu pociągu uzyskanych z użyciem pakietu symulacyjnego RSEL/RSDL wykorzystywany był od lat 90-tych program HASLER, który powstał w czasie realizacji pracy magisterskiej [2]. Program jest całkowicie niezależny od samego symulatora. Wizualizacje wykonywane są na podstawie – maksymalnie sześciu – generowanych przez pakiet symulacyjny RSEL/RSDL plików z trajektoriami prędkości (zmian prędkości w funkcji drogi). Taki dobór plików ogranicza znacznie zakres wyników poddawanych wizualizacji. Istnieje możliwość wykreślenia wyłącznie trajektorii wraz z ograniczeniami prędkości i profilu trasy. Nie jest możliwe graficzne przedstawienie pozostałych wyników dostarczanych przez symulator. Ponadto program nie współpracuje z nowymi systemami operacyjnymi. Powyższe problemy spowodowały, że niezbędne stało się opracowanie nowego programu do graficznego przedstawiania wyników symulacji. Istotne jest to przede wszystkim dla tych analiz symulacyjnych, które stały się podstawą prac naukowych, a niemożliwe stało się ich odtworzenie na nowszym systemie operacyjnym.

3.2 Program wizualizacyjny RONG i przykłady jego zastosowania

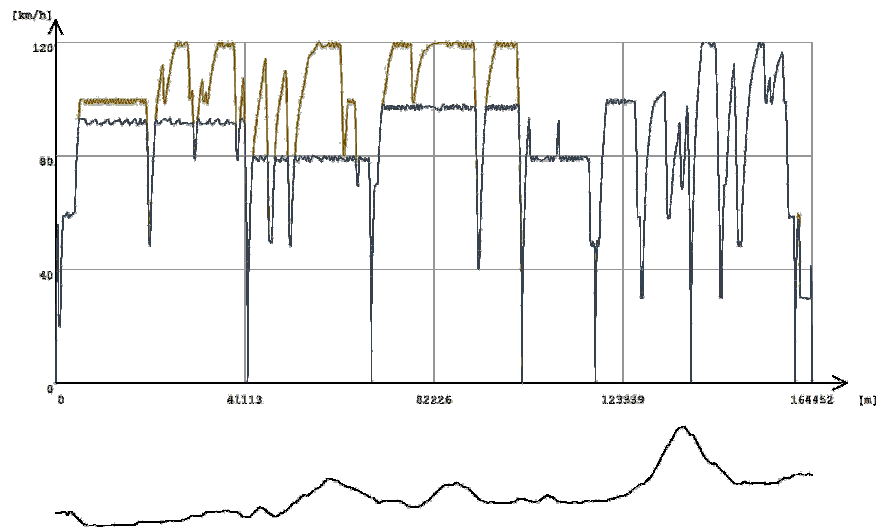
Program RONG (z estońskiego: *pociąg*) powstał w ramach pracy inżynierskiej na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej [13]. W jego opracowaniu wykorzystano zarówno własne doświadczenia autora w pracy z oprogramowaniem wizualizacyjnym HASLER, jak i analizę możliwości konkurencyjnych rozwiązań informatycznych, dostępnych bezpośrednio lub w postaci publikacji [1, 3]. Program posiada nowoczesny interfejs, dzięki któremu możliwe jest nie tylko tworzenie wykresów, ale także intuicyjne wyświetlanie wyników symulacji liczonych przez pakiet symulacyjny RSEL/RSDL. Podczas przygotowywania programu uznano, że prezentacja danych może służyć również dydaktyce, w związku z czym wprowadzono możliwość ich wyświetlania w postaci graficznej, wzorowanej na prędkościomierzu rejestrującym Hasler-Bern typu RT9.

W celu pokazania możliwości programu RONG wykorzystać można przykład zamieszczony w pracach [10, 13]. Badany był w nich wpływ zakłóceń ruchu i profilu trasy na zużycie energii przez lokomotywę elektryczną. Wizualizacje wyników przeprowadzonych symulacji procesu ruchu pociągu wykonywane były z wykorzystaniem programu HASLER. Jeden przykładowy wykres, umieszczony pierwotnie w omawianej pracy, został przedstawiony na rys. 1. Wykres ten wystarcza, aby poznać charakter zmian prędkości pociągów w obu symulowanych procedurach prowadzenia pociągu. Można jednak wskazać również pewnie ich niedoskonałości, wynikające bezpośrednio z ograniczeń programu HASLER. Należą do nich:

- wykorzystanie tego samego rodzaju i koloru linii dla różnych trajektorii,
- brak możliwości wyświetlenia wybranego fragmentu trasy,
- wizualizacja jedynie wyników związanych z prędkością.

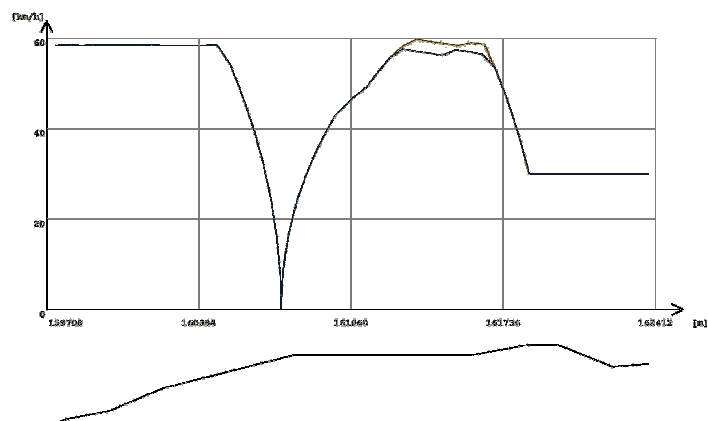


Rys.1. Wykres trajektorii $v(s)$ wykonany w programie *HASLER*: przejazd pociągu na trasie Poznań Gł. - Wrocław Gł. z uwzględnieniem rozkładu jazdy oraz Wykazu Ostrzeżeń Stałych [10]



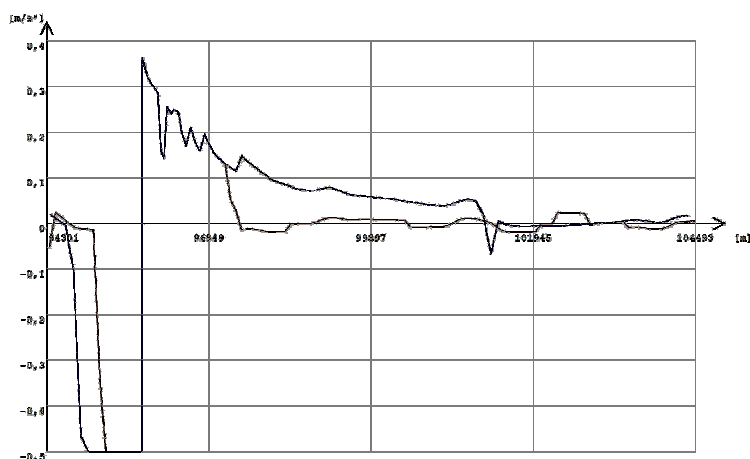
Rys. 2. Wykresy trajektorii $v(s)$ wykonane w programie *RONG*: przejazd pociągu na trasie Poznań Gł. - Wrocław Gł. z uwzględnieniem rozkładu jazdy oraz Wykazu Ostrzeżeń Stałych [13]

Rys. 2 przedstawia wizualizację trajektorii tych samych przejazdów teoretycznych, wykonane w programie *RONG*. Jednocześnie pokazano możliwość zmiany proporcji wykresu, wykonywaną poprzez zmianę rozmiaru okna programu. W ten sposób czytelna wizualizacja ułatwia interpretację wyników symulacji. W programie *RONG* wybrany fragment trasy można powiększyć i zapisać w postaci kolejnego wykresu, co przedstawiono na rys. 3.

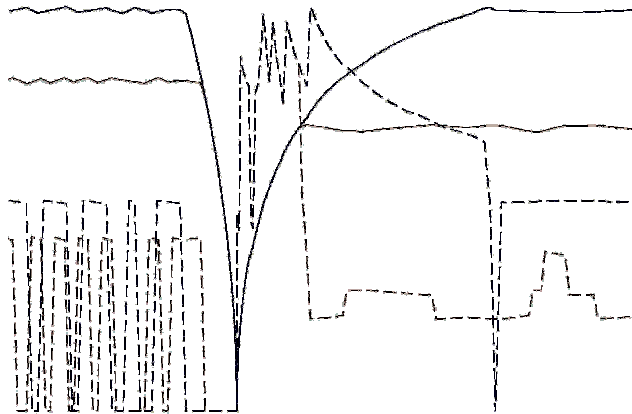


Rys. 3. Powiększony fragment trajektorii przejazdu na odcinku Poznań Gł. - Wrocław Gł. [13]

Program RONG pozwala na wizualizację nie tylko trajektorii, ale także innych wyników komputerowej symulacji procesu ruchu pociągu. Jednym z nich jest chwilowa wartość przyspieszenia. Wykres taki dla jednej z symulacji przedstawiono na rys. 4. Program RONG umożliwia więc także jednoczesne wyświetlanie różnych typów wyników symulacji. Przykład dla prędkości i natężenia prądu zespołu silników przedstawiono na rys. 5. Zgodnie z przewidywaniami, większa prędkość pociągu związana jest z większą wartością tego natężenia.

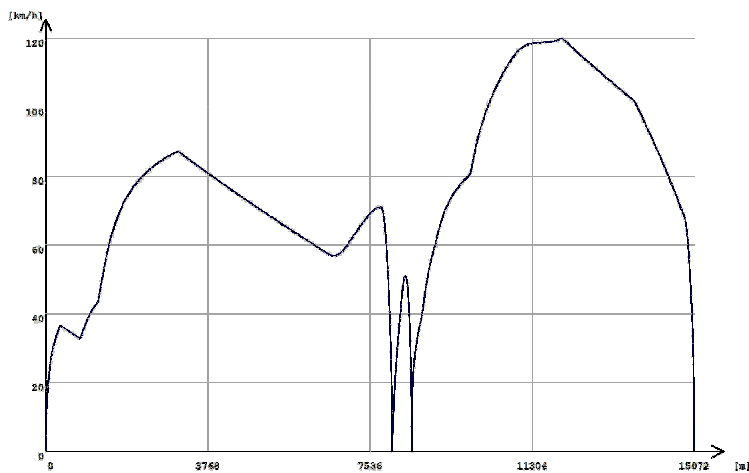


Rys. 4. Wartości przyspieszeń podczas przejazdu na odcinku Wrocław Gł. - Poznań Gł. (fragment) [13]



Rys. 5. Przejazd na trasie Wrocław Gł. - Poznań Gł. Oznaczenia: linia ciągła - prędkość, linia przerywana - prąd zespołu silników (fragment) [13]

Przedstawione możliwości programu RONG wykorzystywać można jednak nie tylko w badaniach naukowych. Po niewielkich i łatwych do zautomatyzowania zmianach wizualizować można również dane pochodzące z gier komputerowych o tematyce kolejowej, np. polskiej gry symulacyjnej MaSzyna [12]. Przykładowy wykres trajektorii przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Trajektoria uzyskana podczas wirtualnej jazdy w grze MaSzyna [13]

Wykorzystanie gry komputerowej jako źródła danych jest szczególnie interesujące z punktu widzenia dydaktyki, gdyż umożliwia przekazanie studentom idei różnych procedur prowadzenia pociągu w sposób intuicyjny. Obecnie trwają prace nad wdrożeniem

tego pomysłu na zajęciach dydaktycznych prowadzonych w Zakładzie Pojazdów Szynowych Politechniki Poznańskiej.

4. WNIOSKI

Wyniki symulacji dostarczane przez pakiet symulacyjny RSEL/RSDL były wcześniej trudne w interpretacji, ze względu na ograniczone możliwości ich wizualizacji w programie HASLER. Dzięki zastosowaniu nowego programu RONG dane te będą łatwo dostępne, co może przełożyć się na podjęcie badań naukowych w nowych, dotychczas pomijanych kierunkach. Nie bez znaczenia jest też łatwość zapisu wykonanych wizualizacji i ich późniejszego wykorzystania w raportach, sprawozdaniach czy artykułach. Ze względu na intuicyjność obsługi, czas pomiędzy zaistnieniem potrzeby wygenerowania wykresu a jego uzyskaniem uległ znaczącemu skróceniu. Pozwala to na wykonanie większej liczby symulacji w tym samym czasie, co niewątpliwie przyczynia się do lepszego zrozumienia zależności opisywanych przez teorię ruchu pojazdów szynowych. Głównym z wymogów stawianych projektowanemu programowi była możliwość jego współpracy z symulatorami pakietu RSEL/RSDL. Stosunkowo łatwo można wczytać także dane pochodzące z innych programów symulacyjnych np. Dynamis [4].

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Burak-Romanowski R.: *Energetyczne aspekty poprawy stanu infrastruktury kolejowej*. Infrator, nr 5/2009.
- [2] Dzioba T.: *Problemy doboru parametrów pojazdów trakcyjnych*. Praca magisterska pod kierunkiem B. Kasprzaka, Politechnika Poznańska 1991.
- [3] Gaudyn R.: *Komputerowa symulacja ruchu pociągu w ujęciu praktycznym*. Praca inżynierska pod kierunkiem J. Kwaśnikowskiego, Politechnika Poznańska 2010.
- [4] IVE DYNAMIS Program [online, dostęp 20.09.2011], <http://www.ivembh.de/dynamis/programm.en.htm>.
- [5] Kwaśnikowski J.: *Energetyczne i czasowe skutki ograniczeń prędkości dla pociągu prowadzonego lokomotywą EU07*. Technika Transportu Szynowego, 3/1994, str. 28-30.
- [6] Kwaśnikowski J.: *Modelowanie i symulacja komputerowa procesu ruchu pociągu*. Wyd. Politechniki Poznańskiej, serii rozprawy, nr 264, Poznań 1992.
- [7] Kwaśnikowski J.: *Ograniczenia prędkości a forsowność jazdy pociągu*. Problemy Eksploatacji, vol. 44, nr 1/2002 str. 167-175.
- [8] Kwaśnikowski J.: *Wpływ wzniesień i zakłóceń ruchu na zużycie energii i czas jazdy lokomotywy ET22 z pociągiem towarowym*. Technika Transportu Szynowego, nr 6/1994, str. 38-41.
- [9] Kwaśnikowski J., Gramza G.: *Porównanie własności trakcyjno-ruchowych lokomotyw EU07 i ET22 ze składem towarowym*. Mat. XII Krajowej i VI Międzynarodowej Konferencji „QSEV’ 09”, Kraków 15-16 czerwca 2009 r., str. 153-159.
- [10] Kwaśnikowski J., Gramza G.: *Wpływ zakłóceń ruchu i profilu trasy na zużycie energii przez lokomotywę elektryczną EU07 prowadzącą pociąg pasażerski*. Mat. IX Konferencji TransComp, Zakopane 5-8 grudnia 2005. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej - Elektryka, nr 1 (9) 2005, str. 131-136.

- [11] Kwaśnikowski J., Komar D.: *Wpływ sposobu prowadzenia pociągu lokomotywą elektryczną EU07 na czas jazdy i zużycie energii*. Mat. IX Konferencji TransComp, Zakopane 5-8 grudnia 2005. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej - Elektryka, nr 1 (9) 2005, str. 137-142.
- [12] MaSzyna EU07-424 symulator pojazdów szynowych [online, dostęp 20.09.2011], <http://eu07.pl/>.
- [13] Smoczyński P.: *Wizualizacja wyników komputerowych symulacji procesu ruchu pociągu*. Praca inżynierska pod kierunkiem G. Gramzy, Politechnika Poznańska 2011.
- [14] Zboiński K.: *Komputerowe metody mechaniki w modelowaniu i symulacji ruchu pojazdów szynowych*. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej. Transport. nr 3(23) 2005, s. 555-560.
- [15] Zeigler B. P.: *Teoria modelowania i symulacji*. PWN, Warszawa 1984.

Praca finansowana z projektu N R 10 0037 06