

Wykorzystanie programu komputerowego Railab w pracy inżyniera dróg kolejowych

Robert Wojtczak



mgr inż. Robert Wojtczak

robert.wojtczak@yahoo.com

W artykule przedstawione zostały niektóre możliwości programu komputerowego Railab, dostarczającego projektantom, inżynierom budowy i zarządcom infrastruktury obliczeniowych i graficznych narzędzi pomocnych w codziennej pracy. Omówiono układ i ustawienia programu oraz zaprezentowano główne narzędzia z każdego działu. W artykule znajduje się też kilka praktycznych porad związanych z projektowaniem linii kolejowych.

Wstęp

Railab to autorski program komputerowy mający na celu wspomaganie pracy osób zawodowo zajmujących się drogami i stacjami kolejowymi. Jego funkcjonalność nie ogranicza się jedynie do dostarczenia narzędzi projektantom, ale z powodzeniem może być wykorzystywana przez osoby weryfikujące rozwiązania projektowe lub w celach diagnostycznych.

Program powstał, i nadal rozwija się, z inspiracji rozwiązywania praktycznych problemów, jakie można napotkać w codziennej pracy inżynierskiej. Impulsem do powstania programu była praca autora w biurze projektowym. Z czasem zebrano się znaczna ilość narzędzi obliczeniowych w postaci arkuszy kalkulacyjnych, które warto było zgromadzić w jednym spójnym programie komputerowym.

Wiele z narzędzi programu powstało podczas pracy autora za granicą. Traktując one pewne problemy inżynierskie często w inny sposób, co może być nie tylko ciekawostką, ale także mieć wartość dydaktyczną.

W skład menu programu wchodzi dział Program, Przechyłka, Plan, Profil, Przekrój Poprzeczny, Rozjazd, Geotechnika, Inne Narzędzia, Dodatkowe Moduły oraz Pomoc. Na rysunku 1 pokazano wygląd głównego panelu programu. Oprócz dostępu do menu, użytkownik ma szybki podgląd na najważniejsze ustawienia programu, takie jak rozstaw szyn, stała równowagi, rodzaj krzywej przejściowej i rampy przechyłkowej. Program posiada angielską i polską wersję językową, natomiast na potrzeby niniejszej pracy użyto wersji angielskiej w celu zaznajomienia czytelnika z nomenklaturą angielskojęzyczną w drogach kolejowych.

Ustawienia programu

Ważną cechą programu jest jego uniwersalność i możliwość pracy z dowolnym rozstawem szyn i dowolnymi wymaganiami odnoszącymi się do parametrów geometrycznych i kinematycznych (rys. 2). Warto zauważyć, że stała równowagi dla toru o rozstawie standardowym 1435 mm jest różnie przyjmowana w różnych krajach. Na przykład w Wielkiej Brytanii wynosi ona 11,82, natomiast w Hiszpanii 11,85. Różnice te wynikają z dokładności z jaką jest ona wyliczona. Dla toru z szyn 60E1 o rozstawie standardowym 1435 mm rozstaw szyn w osiach wynosi $s = 1506$ mm, natomiast przyspieszenie ziemskie wynosi $g = 9,807$ m/s². Po podstawieniu do wzoru na stałą równowagi otrzymujemy

$$C = \frac{s}{g \cdot 3,6^2} = \frac{1506}{9,807 \cdot 3,6^2} = 11,849 \quad (1)$$

Oprócz stałej równowagi warto pamiętać o ustawieniu długości wirtualnej krzywej przejściowej (w Polsce często zwanej długością sztywnej bazy wagonu), gdyż w wielu krajach przyjmuje ona różną wartość (np. Polska 20 m, Wielka Brytania 12,2 m, Australia 13 m). Konceptcja wirtualnej krzywej przejściowej zakłada, że duża część wagonu (pomiędzy osiami) przy wejściu w łuk bez krzywej przejściowej porusza się po pewnej krzywej zaczynającej się w odległości $w/2$ przed początkiem łuku i kończącej w odległości $w/2$ za końcem łuku, gdzie w oznacza odległość pomiędzy osiami wagonu. Konceptja to pomaga sprawdzić, czy rzeczywista krzywa przejściowa jest dla danej prędkości i promienia łuku potrzebna.

W zakładce Parametry kinematyczne powinno się wpisać wartości standardowe i wyjątkowe dla parametrów związanych z przechyłką i niedoborem przechyłki. Warto pamiętać, że zarówno niezerównoważone przyspieszenie boczne i niedobór przechyłki, jak i przrost nierównoważonego przyspieszenia bocznego i prędkość zmiany niedoboru prze-

chyłki są ze sobą równoważne i używane są zamiennie w różnych krajach. Wszystkie parametry są przez program zapisywane i następnie porównywane z otrzymywanymi wynikami.

Przechyłka

Jednym z narzędzi w dziale Przechyłka jest **Rampa przechyłkowa**, gdzie można przeanalizować numerycznie i graficznie dla różnych rodzajów ramp takie parametry jak przechyłka, pochylenie rampy, czy wichrowatość. Klikając na którąkolwiek wartość otrzymuje się wykres przebiegu tego parametru na długości rampy. Warto pamiętać, że wichrowatość jest stała na rampie liniowej, dla rampy parabolicznej przyjmuje postać trójkątną, a dla reszty rodzajów ramp postać dzwonu jak na rysunku 3. Program także generuje raport wielkości przechyłki na długości rampy przechyłkowej. Inne narzędzia w tym dziale pomagają przy analizie regulacji przechyłki w istniejącym torze, czy w zaprojektowaniu rampy przechyłkowej dla sytuacji bez krzywej przejściowej.

Plan

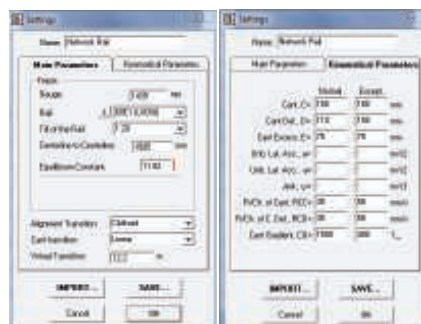
W dziale Plan użytkownik ma do dyspozycji szereg narzędzi pomocnych przy projektowaniu i weryfikowaniu geometrii, m.in. **Krzywa przejściowa**, **Łuk koszowy**, **Łuki odwrótne**, czy **Szyny w łuku**. Na rysunku 4 pokazano okno z przykładową analizą krzywych przejściowych o długości 100 m i promieniu końcowym 1500 m. Rysunek w dolnej części okna przedstawia wykres krzywizny, w tym przypadku krzywej przejściowej Blossa. Krzywe przejściowe obsługiwane w tym oknie to parabola 3-ego stopnia, kłotoidea, krzywa Blossa, krzywa w postaci cosinusoidy, krzywa w postaci sinusoidy i parabola 4-ego stopnia. W innym oknie programu jest możliwość przeanalizowania mniej znanych krzywych przejściowych takich jak RailCorp parabola, parabola czeska, Searles, Talbot, czy 10-chord AREMA.

Najczęściej używaną krzywą przejściową jest niewątpliwie kłotoidea. Bardzo dobrym przybliżeniem kłotoidy, szczególnie dla dużych promieni (większych niż 800 – 1000 m) jest parabola 3-ego stopnia (także korygowana). Różnice między obydwooma krzywymi są minimalne i mieszczą się znakomicie w granicach tolerancji wykonania i pomiaru. Niektóre zarządy kolejowe wprowadziły własne, nigdzie indziej nie stosowane rozwiązania – m.in. wspomniana wcześniej RailCorp parabola.

Bardzo ciekawym i przydatnym narzędziem jest **Najkrótszy łuk**. Jest to moduł, który na podstawie takich danych jak prędkość, kąt zwrotu trasy, a także granicznych dopuszczalnych parametrów dotyczących łuku, krzywej przejściowej i przechyłki, oblicza najkrótszy możliwy



1. Główny panel programu



2. Okna ustawień programu

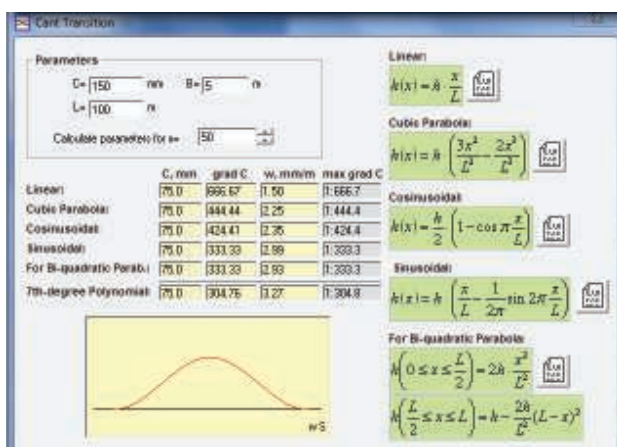
łuk. Jest to zagadnienie dość często występujące w praktyce inżynierskiej, szczególnie gdy projektant nie ma do dyspozycji zbyt dużo miejsca na wstawienie łuku, np. z powodu bliskości rozjazdów lub obiektu inżynierskiego. Na rysunku 5 pokazano przykład takiej analizy. Dla prędkości 120 km/h, kąta zwrotu trasy 2°, a także innych parametrów pokazanych na rysunku minimalnym łukiem okazał się łuk o promieniu 2128 m z krzywymi przejściowymi o długości 40 m i przechyłce 40 mm. Długość całego układu wyniosła niewiele ponad 114 m, podczas gdy inne możliwości m.in. wynosiły 168 m (najkrótszy łuk dla przechyłki 20 mm), 225 m (najkrótszy łuk dla przechyłki 100 mm), czy 325 m (najkrótszy łuk dla przechyłki 150 mm). Znalazienie najkrótszego rozwiązania nie

jest proste bez wspomaganie się programem obliczeniowym, ponieważ w tym problemie są aż trzy niewiadome – przechyłka, promień i długość krzywej przejściowej. Bardzo trudno też przewidzieć jaka przechyłka jest optymalna ze względu na długość łuku. Narzędzie to można również wykorzystywać przy obliczaniu najkrótszego poszerzenia torów.

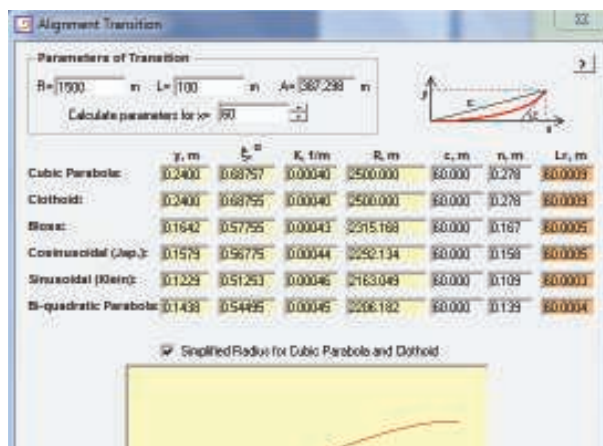
Profil

W dziale Profil użytkownik ma do dyspozycji narzędzia pomocne przy pracy nad profilem podłużnym linii kolejowej, czy innego obiektu liniowego. Narzędziami tymi można przeanalizować geometrię pochylenia podłużnego i łuku pionowego. Jeśli chodzi o pochylenia

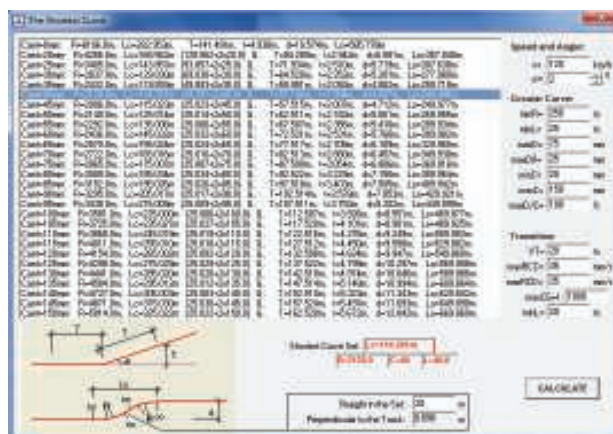
podłużne, na świecie używanych jest kilka metod do ich opisu. Najbardziej dla nas czytelna to wyrażanie pochylenia w promilach, czyli w zmianie wysokości na odcinku o długości 1000 m (m.in. Polska, Dania). W niektórych krajach pochylenie również wyraża się w promilach, ale opisuje się je jako mm/m (np. Niemcy). Wygodniejszym sposobem wydaje się być wyrażanie pochylenia w procentach (m.in. Wielka Brytania). Innym sposobem jest opisywanie pochylenia jako 1:n (m.in. USA), gdzie n oznacza długość, na której różnica w wysokości pochylenia wynosi 1. Interesującym, ale mało wygodnym dla projektanta sposobem opisywania pochylenia jest sposób wykorzystywany przez koleje australijskie w Queensland. Polega on na wyrażeniu pochylenia w wielkości różni-



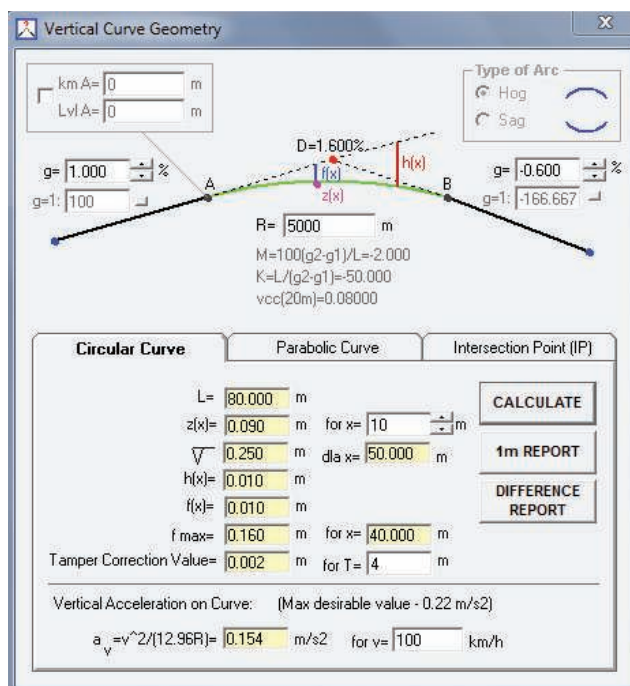
3. Okno modułu Rampa przechyłkowa



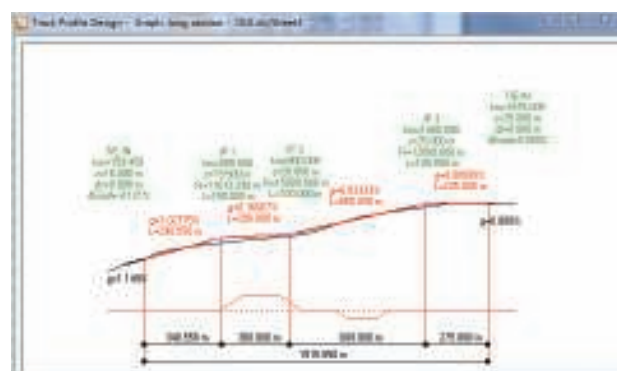
4. Okno modułu Krzywa przejściowa



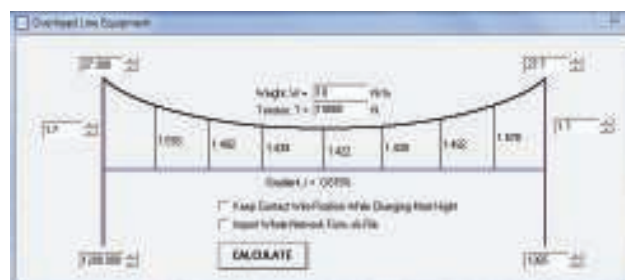
5. Okno modułu Najkrótszy łuk



6. Okno modułu Łuk w profilu



7. Okno prezentacji graficznej modułu Projekt profilu podłużnego



8. Projektowanie pojedynczego przęsła sieci trakcyjnej w module Sieć trakcyjna

cy wysokości przypadającej na 20 m.

Łuki pionowe można definiować jako łuki kołowe lub paraboliczne w postaci paraboli kwadratowej. Łuk kołowy definiuje się poprzez jego promień, natomiast łuk paraboliczny przez jego długość. Różnica pomiędzy łukiem kołowym i parabolicznym jest minimalna, w zasadzie pomijalna. Czasem łuk kołowy wyraża się poprzez parametr M lub K :

$$M = \frac{10000 \cdot (g_2 - g_1)}{L} = \frac{10000}{L} R_v \quad (2)$$

$$K = \frac{L}{100 \cdot (g_2 - g_1)} = \frac{100}{M} R_v \quad (3)$$

gdzie:

R_v – promień łuku kołowego

g_1, g_2 – odpowiednio pochylenie przed i za łukiem w jednostkach bezwymiarowych,

L – długość łuku pionowego.

Również łuk pionowy (paraboliczny) opisywany jest w nietypowy sposób w Queensland. Parametr charakteryzujący łuk pionowy nazywany jest **vertical curve constant** i obliczany jest w następujący sposób:

$$vcc = \frac{(g_1 - g_2) \cdot 400}{L} \quad (4)$$

Jak wspomniano, podstawowym parametrem parabolicznego łuku pionowego jest jego długość, ponieważ promień krzywizny zmienia się na długości łuku (zmiana promienia łuku parabolicznego jest bardzo mała i jest wielkością ułamka procenta). Jeśli jednak chwilowy promień w środku takiego łuku wyrazimy jako

$$R_{vo} = \frac{L}{g_1 - g_2} \quad (5)$$

wtedy **vertical curve constant** może być wyrażona prościej:

$$vcc = \frac{400}{R_{vo}} \quad (6)$$

Jak widać ze wzoru 6, parametr łuku vcc jest w prosty sposób zależny od promienia i jest dwudziestokrotnością parametru M .

Na rysunku 6 pokazano obliczenia dla kołowego łuku pionowego. Przydatną informacją jest tu wartość przyspieszenia pionowego przy jeździe po łuku oraz możliwość wygenerowania raportu wysokości punktów łuku $z(x)$ i odległości łuku od przedłużenia pochylenia $f(x)$.

Wygodnym sposobem projektowania profilu jest przyjmowanie punktów załomów pochyłeń tak, żeby zarówno wartości pochyłeń, długości i rzędne były liczbami wymiernymi, w miarę możliwości jak najbardziej zaokrąglonymi. Znacznie lepiej wygląda pochylenie 3,500‰ niż 3,487‰. To samo tyczy się odległości – dużo lepiej wygląda załom profilu w 12+200,000 niż w 12+200,053. W większości przypadków można, bez żadnej szkody dla geometrii, zaprojektować niweletę tak, jak opisano. Tak zaprojektowana niweleta pokazuje, że projektant doskonale nad nią panuje i że dołożył wysiłku by tak wyglądała.

Na rysunku 7 pokazano prezentację graficzną profilu podłużnego wykonanego w module **Projekt profilu podłużnego**. Program

automatycznie włącza projektowaną niweletę w istniejący tor (lub teren), ale można też wymusić jej podniesienie lub obniżenie. Program sprawdza także położenie niwelety projektowanej względem terenu lub niwelety istniejącej i sygnalizuje, gdy podniesienia lub obniżenia przekroczą wartości przyjęte jako maksymalne. Na profilu można także wyświetlić przecięcia niwelety z mostami, drogami i innymi obiektami.

Jedną z ciekawszych możliwości modułu jest praca z siecią trakcyjną (rys. 8). Po przyjęciu masy kabla podwieszającego i jego naciągu, program wylicza jego ugięcie i dopasowuje długość wieszaków. Cały zaprojektowany odcinek sieci trakcyjnej można wyświetlić na profilu niwelety (rys. 9).

Przekrój poprzeczny

Jednym z narzędzi w tej części programu jest **Tor kolejowy w przekroju**. Moduł ten pozwala na wyliczenie współrzędnych charakterystycznych punktów przekroju poprzecznego i niektórych odległości. Inne narzędzia w tym dziale służą do obliczania położenia toru w tunelu, czy przewodu sieci trakcyjnej w przekroju poprzecznym.

Rozjazdy

W dziale Rozjazdy znajduje się grupa modułów przeznaczonych do analizy rozjazdów, połączeń torów równoległych i skrzyżowań. Oprócz rozjazdów typowych szeroko używanych w i poza Europą, dostępne są także biblioteki rozjazdów brytyjskich i amerykańskich. Możliwa jest analiza rozjazdu położonego w łuku kołowym lub na krzywej przejściowej. Na rysunku 11 pokazano analizę wygięcia jednostronnego rozjazdu zwyczajnego 1:9-300 do łuku o promieniu 1500 m. Dodatkowo nadano przechyłkę 50 mm, na podstawie której obliczono wartości niedoborów przechyłki (środkowa część okna). W prawej części okna pokazane są długości toków szynowych i osi dla toru głównego i zwrotnego przed i po wygięciu, a także skrócenia i wydłużenia szyn i osi.

Geotechnika

Jednym z najbardziej praktycznych narzędzi w tej grupie jest **Wzmocnienie podtorza** (rys. 12). Moduł ten pozwala na obliczenie wymaganej grubości warstwy wzmocniającej wykorzystując metodę nomogramu DORNII. Możliwe jest też zaprojektowanie wzmocnienia dwuwarstwowego, co w przypadku braku programu obliczeniowego jest trochę kłopotliwe. Innymi narzędziami w dziale Geotechnika są m.in. moduły do wyliczania sił i naprężeń w podtorzu.

Inne narzędzia

Jest to dział zawierający bardzo dużo różnych narzędzi. Jednym z najważniejszych jest **Dynamika pociągu**. Jest to moduł pozwalający na obliczenie odległości i czasu potrzebnych na zadaną zmianę prędkości. Możliwa jest analiza przyspieszania pociągu, hamowania, a także hamowania swobodnego. Możliwe

jest wybranie pociągu z biblioteki lub też na analizę dowolnego pociągu poprzez wpisanie jego charakterystyk w programie. Na rysunku 13 pokazano analizę pociągu Siemens Velaro przyspieszającego od prędkości 0 km/h do prędkości 200 km/h na wzniesieniu 3‰. W tym przypadku prędkość zamierzona zostanie osiągnięta po niespełna 4 min, po prawie 7 km od ruszenia. Na osiągnięcie 250 km/h pociąg ten będzie potrzebował jeszcze około 1,5 min, ale aż ponad 4 km. Jak widać z obliczeń, bardzo uzasadnione jest, żeby miejsca zatrzymań bądź znacznych ograniczeń prędkości dla pociągów dużych prędkości były znacznie od siebie oddalone.

Kolejnym narzędziem wartym omówienia jest **Analiza istniejącego toru**. W tym module możliwe jest wczytanie danych z pomiarów terenowych w postaci współrzędnych geograficznych x, y . Program następnie analizuje każdy zestaw trzech sąsiednich punktów i oblicza promień okręgu przechodzącego przez te punkty. Wyliczony promień jest przypisywany punktowi środkowemu. Dodatkowo obliczana jest odległość między punktami i odległość od początku pomiarów (rys. 14). Obliczenia promieni można przedstawić graficznie w postaci wykresu krzywizny (rys. 15).

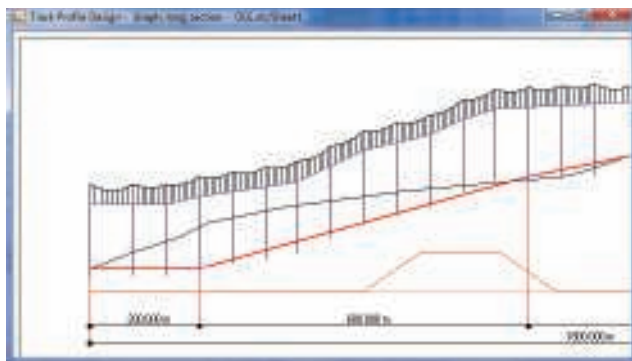
Moduły Dodatkowe

W dziale Moduły Dodatkowe znajdują się cztery rozbudowane narzędzia – **Analiza skrajni**, **Analiza geometrii toru**, **Modelowanie rozjazdu** i **Modelowanie przekroju**.

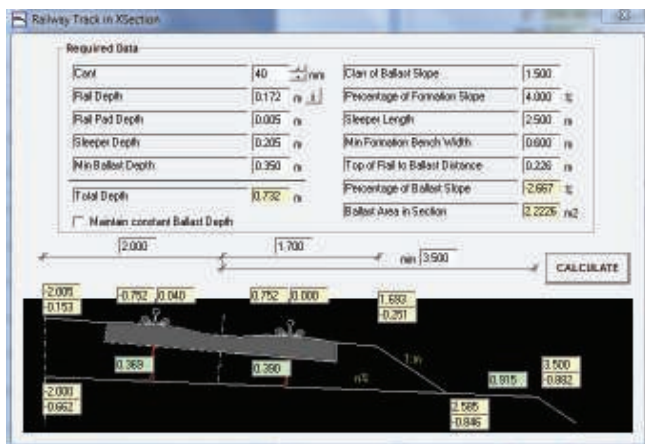
Moduł **Analiza skrajni** to jedno z najbardziej rozbudowanych narzędzi programu Ralib (rys. 16). Pozwala on na wczytanie skrajni o dowolnym kształcie dla dwóch torów i obiektu (np. wiaduktu ponad torami) i znajdowanie najkrótszej odległości pomiędzy skrajniami (rys. 17). Skrajnie, oprócz zdefiniowanego wzajemnego położenia, mogą mieć nadaną przechyłkę. Możliwe jest również nadanie torom krzywizny w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Kolejną możliwością jest zdefiniowanie punktu i maksymalnego wychylenia obrotu pudła wagonu. Do wszystkich wymienionych wcześniej zależności geometrycznych można jeszcze dodać tolerancje toru i taboru. Te wszystkie możliwości składają się na obwiednię granicznego położenia skrajni dla zadanych warunków geometrycznych i tolerancji (rys. 18). W module tym można także wczytać informacje o wzajemnym położeniu torów oraz krzywiznie i przechyłce z arkusza kalkulacyjnego. Takie dane mogą być przez program przeanalizowane pod kątem ewentualnej kolizji między skrajniami oraz minimalnych odległościami między nimi. Wyniki analizy w postaci wyrysowanych skrajni mogą być wyeksportowane do środowiska graficznego CAD.

Moduł **Analiza geometrii toru** służy do oceniania większości możliwych parametrów, takich jak prędkość, krzywizna, przechyłka, niedobór przechyłki, pochylenie, przyspieszenia pionowe, itd. Wszystkie te parametry są dostępne jako raporty z wartościami i wykresy. Na rysunku 19 pokazano przykładowe wykresy parametrów związanych z przechyłką.

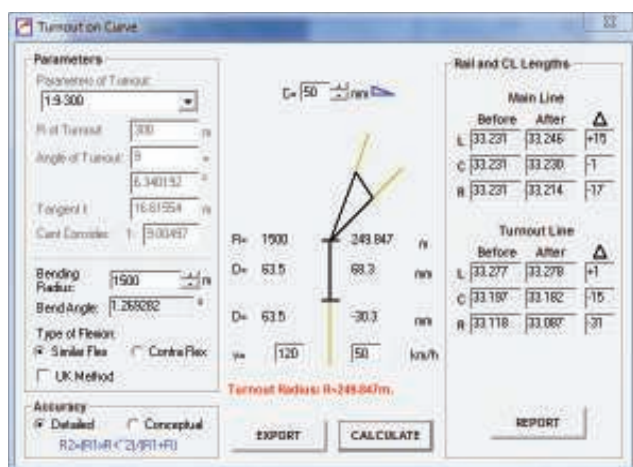
Istotną funkcją tego modułu jest możliwość



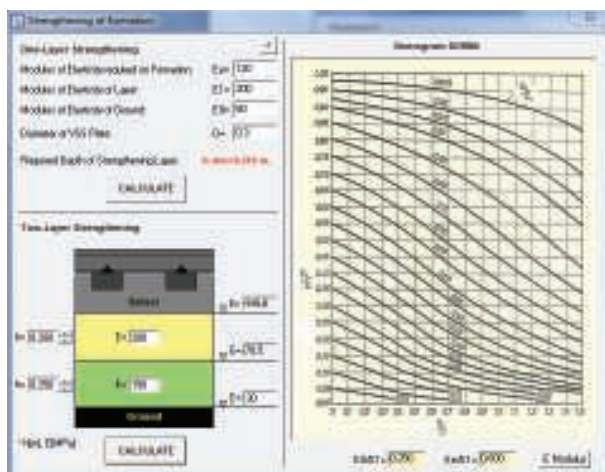
9. Sieć trakcyjna wyświetlona na profilu podłużnym



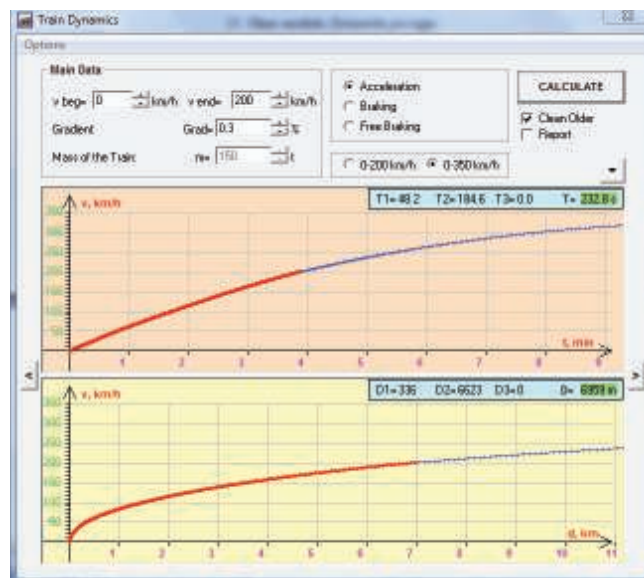
10. Okno modułu Tor kolejowy w przekroju



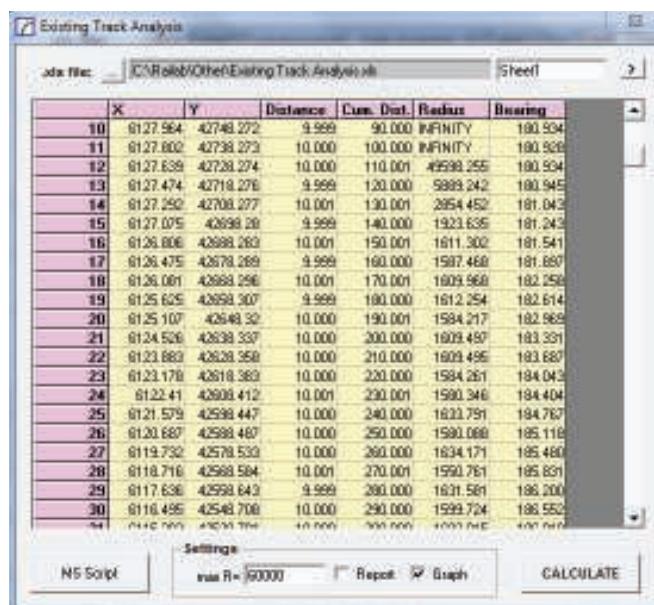
11. Okno modułu Rozjazd łukowy



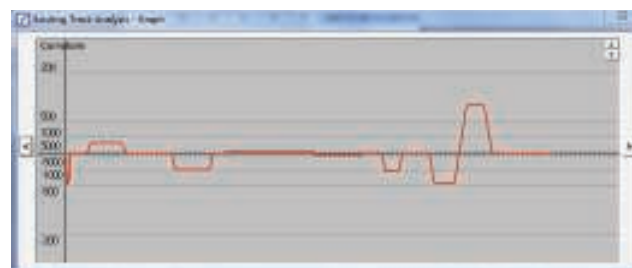
12. Okno modułu Wzmocnienie podtorza



13. Okno modułu Dynamika pociągu



14. Okno modułu Analiza istniejącego toru

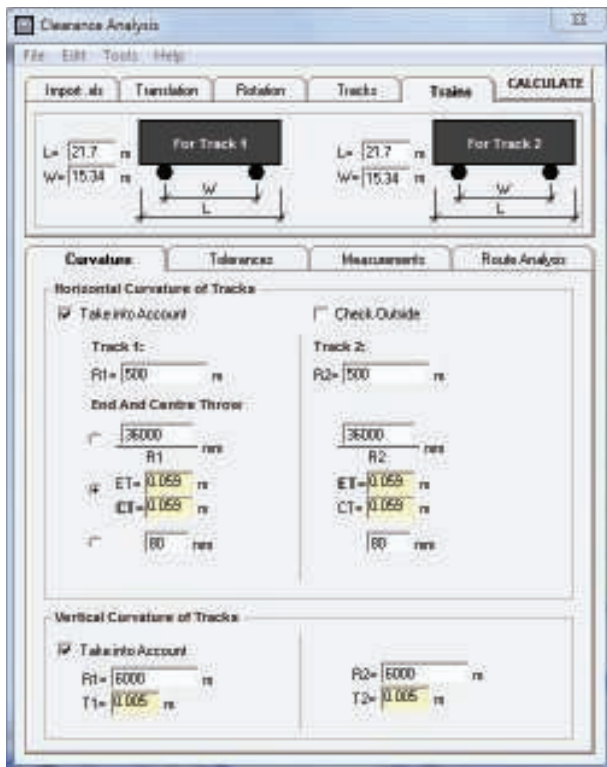


15. Wykres krzywizny analizowanych danych

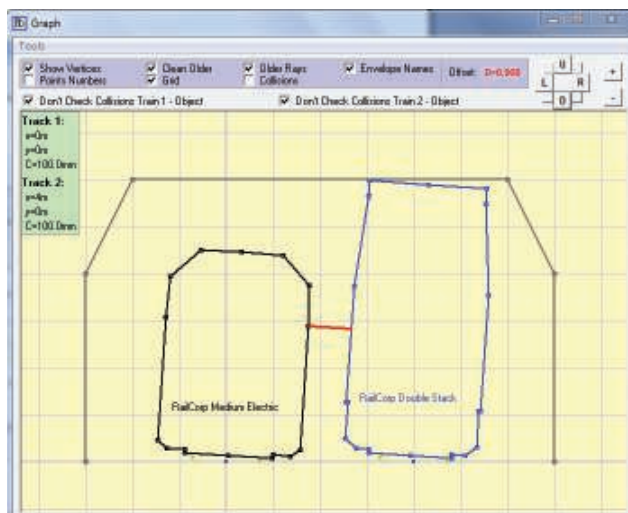
przeanalizowania ruchu pociągu po danym torze. Po wczytaniu danych pociągu, program nakłada wykres ruchu pociągu na wykres prędkości (rys. 20). Program sumuje wszystkie sekwencje przyspieszania, jazdy ze stałą prędkością i hamowania i podaje czas przejazdu na tym odcinku.

Podsumowanie

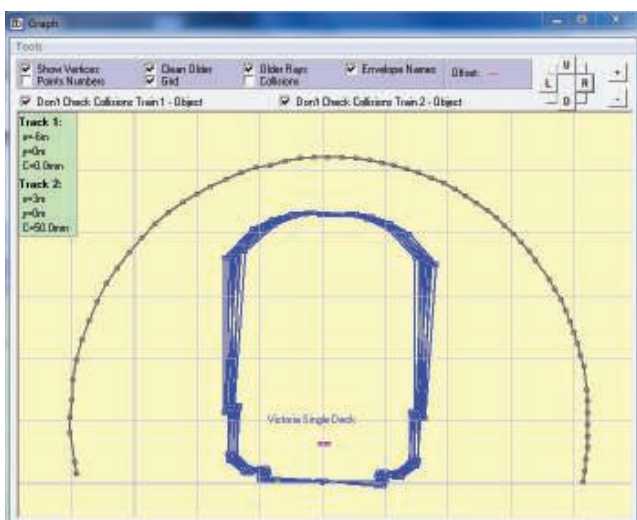
W artykule przedstawiono część możliwości programu Railab, a jego celem było omówienie jednego lub dwóch narzędzi z każdego działu.



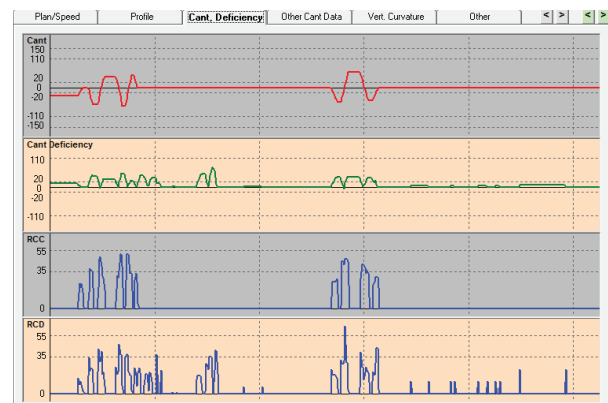
16. Okno modułu Analiza skrajni



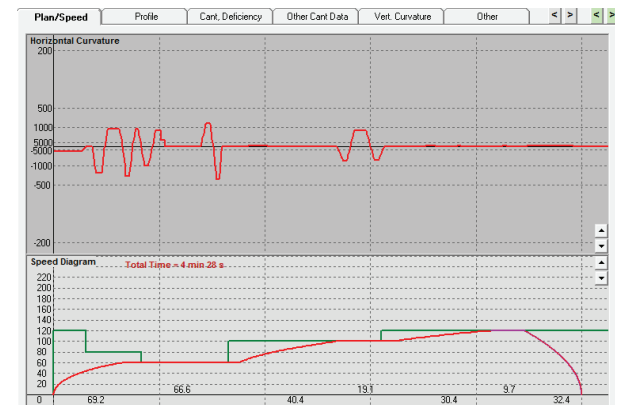
17. Pomiar odległości pomiędzy skrajniami



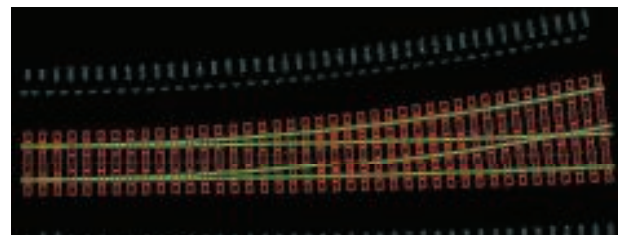
18. Superpozycja wszystkich zadanych przypadków położenia skrajni w tunelu



19. Wykresy parametrów związanych z przechyłką



20. Wykres ruchu pociągu



21. Rysunek rozjazdu wygenerowany przez moduł Modelowanie rozjazdu

Program ten nie tylko jest pomocny przy rozwiązywaniu codziennych problemów w inżynierii kolejowej, ale także, poprzez pokazanie wielu wzorów i wykresów, może być wartościowym narzędziem dydaktycznym. Możliwości programu nie ograniczają się do tych przedstawionych w artykule, a są znacznie szersze i niekiedy wykraczają poza inżynierię kolejową. Autor również żywi przekonanie, że niniejszy artykuł będzie inspiracją do tworzenia własnych zaawansowanych narzędzi przez wielu inżynierów kolejnictwa. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie, wraz z późniejszymi zmianami
- [2] Bałuch H. Zastosowanie informatyki w drogach kolejowych. WKiŁ, 1990.
- [3] Bałuch H. Optymalizacja układów geometrycznych toru. WKiŁ, 1983.
- [4] Bałuch H. Układy geometryczne połączeń torów. WKiŁ, 1989.
- [5] Łęczyński J. Rozjazdy kolejowe. WKiŁ, 1976.
- [6] Rzepka W. Rozjazdy łukowe w planie i profilu. WKiŁ, 1966.
- [7] Sysak J. Drogi kolejowe. PWN, 1982.
- [8] www.railabstudio.com/Railab_PL.pdf, 2015-07-20.