

Michał Strach\*

WYKORZYSTANIE APLIKACJI FIRMY BENTLEY  
DO PROJEKTOWANIA TRANSPORTU KOLEJOWEGO\*\*

---

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój linii kolejowych. Dotyczy on przede wszystkim modernizacji i przebudowy istniejącej sieci kolejowej, ale również budowy nowych linii, przeznaczonych dla pociągów rozwijających duże prędkości. W Polsce drogi kolejowe tworzą:

- krajowa sieć linii kolejowych,
- lokalne sieci tramwajowe,
- metro.

Jednak największe znaczenie dla transportu szynowego mają linie kolejowe. Ich sieć wymaga dostosowania do aktualnych oraz przyszłych potrzeb przewozowych, związanych przede wszystkim z międzynarodowymi przewozami tranzytowymi i połączeniami dużych krajowych aglomeracji miejskich.

W naszym państwie rozwój infrastruktury kolejowej jest finansowany głównie ze środków Unii Europejskiej, przede wszystkim z funduszu ISPA (*Instrument for Pre Accession*) oraz funduszy strukturalnych, a także z budżetu państwa. Łącznie w latach 2002–2007 na inwestycje realizowane w ramach programu ISPA wydanych zostanie około 2800 milionów złotych, z czego ISPA pokryje 70 procent, a pozostałą część budżet państwa [1]. Korzystając z funduszy Phare oraz ISPA, PKP zmodernizowały już do prędkości 160 km/h linię E-20, będącą fragmentem II korytarza paneuropejskiego Paryż – Berlin – Warszawa – Mińsk – Moskwa. Intensywnie przebudowywana jest magistrala E-30 (fragment III korytarza paneuropejskiego: Drezno – Wrocław – Lwów – Kijów) na odcinkach Opole – Wrocław – Legnica oraz Legnica – Węglińiec – Zgorzelec. W kolejnych latach będą modernizowane następne odcinki. Wszystkie linie dostosowywane są do prędkości pociągów pasażerskich równej 160 km/h (towarowych 100÷120 km/h). Tylko Centralna Magistrala Kolejowa dzięki swej geometrii jest przystosowywana do prędkości 250 km/h. Istnieje plan wybudowania superszybkiej kolei z Berlina do Moskwy (przez Poznań, Łódź, Warszawę) po roku 2020. Zakłada się, że na trasie tej pociągi będą jeździły z prędkością 350÷400 km/h.

---

\* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

\*\* Praca finansowana z badań statutowych nr 11.11.150.312 w 2005 r.

Podniesienie funkcjonalności sieci linii kolejowych odbywa się poprzez utrzymywanie wysokich konstrukcyjnych standardów technicznych, ale i poprawę układów torowych poszczególnych linii i węzłów. Dzięki postępowi w dziedzinie elektroniki i informatyki w ostatnich latach powstały nowoczesne i precyzyjne systemy pomiarowe. W ślad za nimi powstało również specjalistyczne oprogramowanie pozwalające w sposób szybki i automatyczny rozwiązać niemal każdy problem. W zagadnieniach związanych z projektowaniem transportu szynowego można korzystać z wielu komercyjnych aplikacji. Wśród nich znajdują się takie, jak: VESTRA z modułem KOLEJ [6], CARD/1 [5] oraz InRoads z modułem InRail [4]. Program InRail oferowany jest przez firmę Bentley Systems Inc. Posiada on kompletne, zintegrowane rozwiązania dla profesjonalnego projektowania w zakresie kolejnictwa. Dzięki temu cieszy się największą popularnością w branży kolejowej w świecie. W artykule przedstawiono jego charakterystykę oraz zaprezentowano jego możliwości na przykładzie wykonania projektu regulacji osi toru.

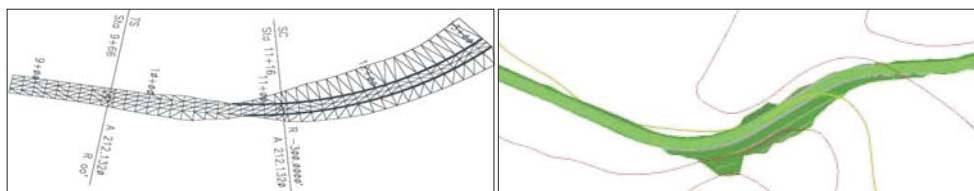
## **2. Aplikacje firmy Bentley Systems Inc. przeznaczone do zastosowania w inżynierii lądowej**

Firma Bentley Systems Inc. proponuje kilkanaście aplikacji przeznaczonych do zastosowania w inżynierii lądowej. Mogą one być wykorzystywane podczas projektowania, budowy, remontu i zarządzania infrastrukturą transportową. Najczęściej są przydatne przy projektowaniu, modernizacji i przebudowie dróg oraz tuneli, pracach ziemnych i odwadniających, w hydrologii, modelowaniu konstrukcji mostowych, projektowaniu węzłów drogowych i trakcji transportu szynowego oraz w zarządzaniu i utrzymaniu sieci infrastruktury drogowej. Aplikacje umożliwiają opracowanie dokumentacji, przekrojów podłużnych i poprzecznych, map warstwicznych, przestrzennego modelu terenu i planowanie przebiegu inwestycji. Z ich pomocą można opracować wszystkie informacje i dokumenty niezbędne przy projektowaniu i budowie.

Aplikacje Bentleya bazują na najpopularniejszych na rynku platformach CAD, takich jak AutoCAD czy Microstation. Wszystkie programy podzielone są na dwa pakiety. Pierwszy z nich, o nazwie GEOPAK, zawiera siedem programów. Tworzą one kompletne, zintegrowane rozwiązania we wszystkich fazach projektowania inżynierskiego. GEOPAK oferuje unikalne mechanizmy pozwalające dostosowywać środowisko projektowe do indywidualnych standardów.

Kolejny pakiet – InRoads – pierwotnie był własnością firmy INTERGRAPH. W kwietniu 2000 r. Bentley kupiła od INTERGRAPH-a całą rodzinę aplikacji do zastosowań w inżynierii cywilnej. Przez lata pakiet programów ewoluował z wersji 7.x, otrzymując przy każdym nowym wydaniu kolejne funkcje i udoskonalenia. Obecnie Bentley oferuje wersję 8.7 współpracującą zarówno z programem AutoCAD (od wersji 2000 i wzwyż), jak i programem Microstation (od wersji 8.1 wzwyż). Pakiet zawiera sześć programów. Stanowią one kompletne rozwiązania automatyzujące prace projektowe. Pierwszy z programów o identycznej nazwie jak cały pakiet – InRoads – posiada funkcje pozwalające na tworzenie modelu 3D, a w oparciu o niego – projektowanie dróg i robót ziemnych. Kolejny program to InRoads Bridge. Pomaga on w opracowaniu geometrii i precyzyjnym trójwymiarowym modelowa-

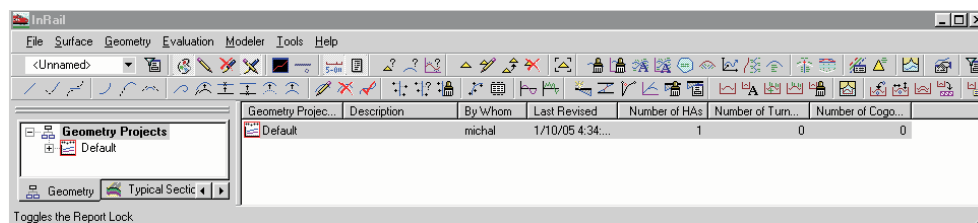
niu konstrukcji mostowych. Następnym programem jest InRoads Site, który służy do projektowania robót ziemnych i przestrzennego modelowania terenu z wykorzystaniem funkcji COGO (COordinate GeOMetry – obliczenie geometrii ze współrzędnych) (rys. 1).



Rys. 1. Automatyczne generowanie powierzchni korpusu trasy

Aplikacja InRoads Storm&Sanitary dysponuje narzędziami do zaawansowanego modelowania 3D, analizy i projektowania sieci kanalizacyjnych. Piąty program w pakiecie o nazwie InRoads Survey umożliwia transfer danych z rejestratorów polowych do środowiska MicroStation lub AutoCAD z interaktywną edycją. Możliwy jest bezpośredni import zarówno współrzędnych, jak i „surowych” obserwacji wykonanych w terenie wszystkimi popularnymi tachymetrami. Program odczytuje pliki z urządzeń produkowanych przez następujące firmy: Leica/Wild, Nikon, Topcon, Zeiss, Trimble, Geodimeter, Sokkia. Do programu można także wczytać dowolny plik tekstowy ASCII z uprzednim zdefiniowaniem znaczenia jego treści. W trakcie importu obserwacji można też ustawić jednostki, poprawki i odchylenia standardowe niezbędne do wyrównania wyników pomiarów i wyznaczenia współrzędnych mierzonych punktów.

Ostatnim programem z rodziny InRoads jest InRail (rys. 2). Zajmuje on wiodącą pozycję wśród konkurencyjnych programów związanych z kolejnictwem. InRail posiada zestaw narzędzi do trójwymiarowego projektowania nowej trakcji, regulacji istniejącej osi toru, a także zarządzania i nadzorowania budowy elementów linii kolejowej. Wszystkie funkcje programu są zgodne z pozostałymi aplikacjami pakietu InRoads. Dodatkowo aplikację wzbogacono o specjalistyczne narzędzia do obliczeń geometrycznych, projektowania torowisk i pobocza, układania torowisk, raportowania, przeglądania i nanoszenia poprawek w celu zapewnienia współpracy pomiędzy służbami utrzymania ruchu i ekipami odpowiedzialnymi za utrzymanie nawierzchni. InRail oferuje pełen zestaw narzędzi branżowych, które mogą być stosowane w ramach różnych technologii projektowania, procedur zarządzania ruchem oraz remontów trakcji szynowej.



Rys. 2. Typowy widok interfejsu graficznego programu InRail

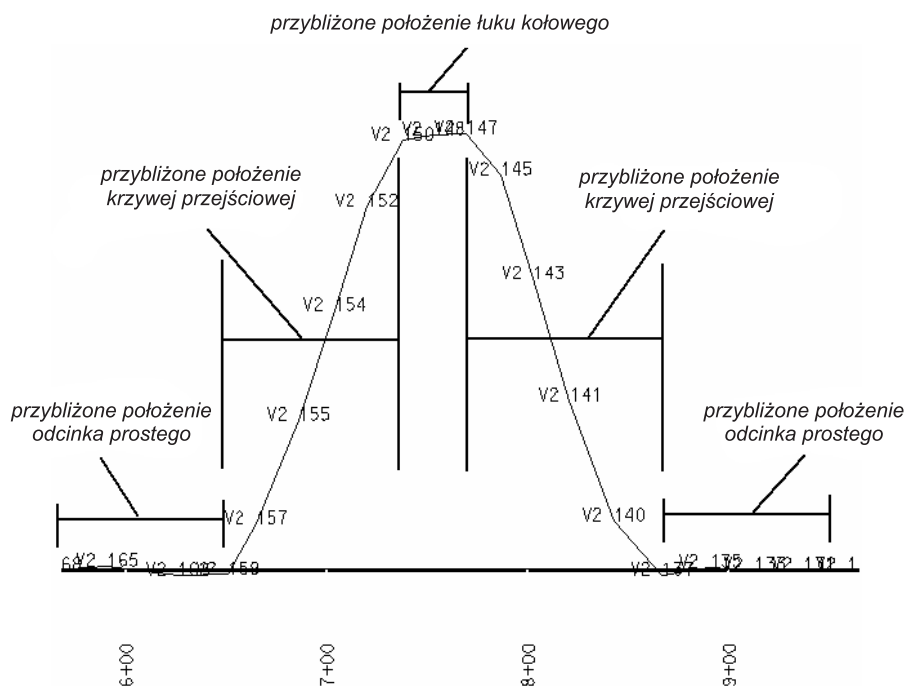
Program w najnowszej wersji pozwala na importowanie obserwacji z niemal każdego źródła danych, łącznie z maszynami kolejowymi Plaster-Theurer oraz skanerem laserowym CYRA. Scentralizowana baza stanowi wspólne źródło danych dla wszystkich produktów z rodziny InRoads. Takie rozwiązanie umożliwia płynną współpracę pomiędzy wszystkimi aplikacjami należącymi do pakietu. Dzięki wspólnemu dostępowi do bazy danych nad projektem może pracować wielu użytkowników.

Oprogramowanie zapewnia interaktywne generowanie geometrii trasy. Jest to możliwe dzięki narzędziom rysującym elementy według metod i zasad specyficznych dla projektowania linii kolejowych. Projektant ma do wyboru odcinki prostoliniowe, łuki kołowe oraz pełne spektrum zdefiniowanych krzywych przejściowych: kłotoide, krzywą Blossa, parabolę sześcienną, sinusoidę itp. (rys. 3).



Rys. 3. Funkcje do lokalizacji i modyfikacji elementów osi toru w planie i profilu

Lokalizacja odcinków wykonywana jest także podczas regulacji osi. Projektowane elementy geometryczne toru wstawiane są w zbiór punktów osi. Wykonuje się to poprzez wskazanie dwóch punktów dla odcinków prostych i trzech punktów dla łuków kołowych. Punkty mogą być wybierane w różny sposób: poprzez wpisanie ich numerów z klawiatury bądź wskazanie myszką na punkty na wykresie krzywizn (rys. 4) lub na planie.



Rys. 4. Wykres krzywizn

Ostateczne położenie danego elementu jest ustalane poprzez jego wpasowanie w zbiór punktów osi, metodą najmniejszych kwadratów. W tej fazie projektowania odcinki proste i łuki kołowe mogą być modyfikowane pod względem długości. Krzywe przejściowe tworzone są poprzez wskazanie na końce elementów, między którymi mają być wpasowane. Po wpisaniu wszystkich odcinków tworzących projektowaną oś toru następuje ich połączenie, z zachowaniem warunku liniowości w punktach wspólnych. Na tym etapie projektu można nałożyć warunki związane z przebiegiem projektowanej osi. Możliwe jest wymuszenie położenia określonego elementu w zadanych punktach, np. mostu ma mostownicach, lub ominięcie przeszkody w ustalonej odległości, dla zachowania wymaganej skrajni, np. peronu na przystanku osobowym, podpory wiaduktu, muru oporowego.

Dla ustalonego przebiegu trasy można wykonać analizę regresji. Odpowiednie funkcje umożliwiają obliczenia zarówno dla pojedynczych odcinków, jak i ich wielokrotności tworzącej oś całego toru. Dzięki funkcjom analizy regresji wyniki pomiarów można wyrównać przy użyciu metody najmniejszych kwadratów. Dotyczy to zarówno elementów położonych w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej (rys. 5).



Rys. 5. Opcje umożliwiające analizę regresji w planie i profilu

Po ustaleniu najlepszego przebiegu projektowanej osi toru, program InRail generuje wykresy przesunięć (rys. 7). Pomagają one użytkownikowi w weryfikacji poprawności projektu regulacji. Wykresy te w jasny sposób wskazują kierunki i wartości przesunięć, jakim musi zostać poddana istniejąca oś toru, aby została doprowadzona do stanu projektowanego.

Oprócz wykresu przesunięć, generowany jest dodatkowo plik wynikowy w formacie tekstowym ASCII (rys. 8).

Plik ten składa się z części odnoszących się do kolejno rozpatrywanych elementów i zawiera:

- nagłówek, w którym podane są zasadnicze cechy rozpatrywanego elementu: rodzaj elementu, jego długość, początkowy i końcowy kierunek zwrotu, współrzędne końców elementu oraz atrybut danej krzywej (dla krzywych przejściowych promień początku i końca, a dla łuków promień);
- kolumny zawierające informacje dotyczące kilometrażu i wartości przesunięć: kilometraż lokalny i główny, numery punktów wraz z wartościami i kierunkami przesunięć.

Program InRail umożliwia również wykonanie projektu regulacji osi toru w profilu. Przy zastosowaniu odpowiednich opcji możliwe jest sporządzenie projektu niwelety na podstawie pomiarów wysokościowych wykonanych w terenie. Podczas projektowania osi toru w profilu brane są pod uwagę jedynie dwa elementy: odcinek prosty i łuk kołowy, analizowane w płaszczyźnie pionowej. W praktyce do wyokrąglenia załomów niwelety stosuje się łuki kołowe. Przystępując do projektowania osi w profilu, należy wyświetlić na ekranie punkty reprezentujące niweletę istniejącego toru. Następnie w zbiór rzędnych pro-

filu można wpisać odcinki proste niwelety. Odcinki te mogą być wpasowane metodą najmniejszych kwadratów lub przechodzić przez punkt o najwyższej rzędnej, by uniknąć obniżania toru. W chwili gdy projektant uzna, że projektowane pochylenia są odpowiednie, może przystąpić do wyokrąglenia załomów łukami kołowymi. Po połączeniu elementów składających się na niweletę toru, można całość podnosić równoległe o zadaną wartość lub też podnosić w wybranym punkcie, uzyskując w sąsiedztwie zmiany pochyłeń.

InRail pozwala także na projektowanie rozjazdów i połączeń torów. Dużym ułatwieniem w projektowaniu tego typu elementów jest wewnętrzna biblioteka zawierająca kilkadziesiąt standardowych rozjazdów i złączy. Są to: pojedyncze i podwójne rozjazdy, pojedyncze i podwójne skrzyżowania oraz ukośne skrzyżowania torów. Istnieje także możliwość zdefiniowania nietypowych rozjazdów zgodnych z normami branżowymi odpowiednimi dla danych linii kolejowych.

Bardzo przydatną funkcją programu InRail jest opcja umożliwiająca przeliczenie projektu regulacji na bezpośrednie namiary do podbijarek firmy Plasser-Theurer. Wygenerowany z programu plik jest aplikowany do komputera pokładowego podbijarki. Takie rozwiązanie eliminuje uciążliwą pracę zespołu geodezyjnego, który musiałby rozpisywać wartości przesunięć osi na podkładach kolejowych.

Program tworzy także profile i przekroje oraz ma możliwość dołączania adnotacji do poszczególnych elementów. Ciekawą opcją jest również zestaw narzędzi stanowiących wsparcie przy projektowaniu szybkich kolei magnetycznych MAGLEV.

### **3. Projekt regulacji odcinka linii kolejowej z wykorzystaniem pakietu InRail**

Regulacja osi toru jest specyficznym rodzajem projektowania transportu kolejowego. Jej celem może być doprowadzenie zdeformowanego toru do położenia zgodnego z projektem lub też modernizacja linii, która łączy się ze zmianą parametrów geometrycznych toru. Poniżej przedstawiono charakterystykę wybranego odcinka toru oraz rezultaty z przeprowadzonej regulacji jego osi.

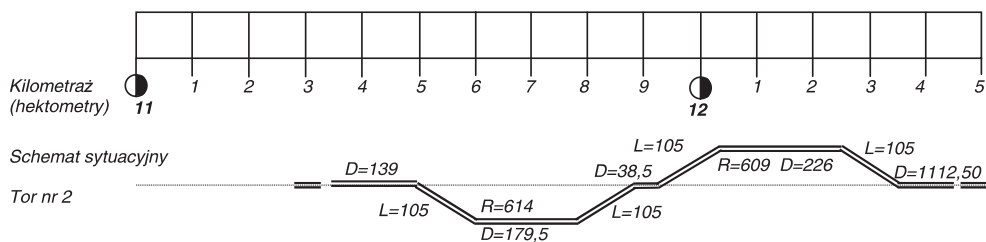
Regulowany tor ma długość 1020 metrów i jest fragmentem czynnej linii kolejowej relacji Kraków Płaszów – Oświęcim, w pobliżu przystanku osobowego Kraków Sidzina. Analizowany odcinek toru składa się z elementów geometrycznych opisanych w tabeli 1, odczytanych z profilu podłużnego (rys. 6).

Na wybranym odcinku wykonano pomiary biegunowe 3D oraz pomiary satelitarne GPS techniką *stop and go*. Po wprowadzeniu redukcji geometrycznych do wykonanych obserwacji, wyznaczono współrzędne punktów osi toru, rozmieszczonych w przekrojach poprzecznych co 5 metrów. Do wykonania projektów regulacji osi wzięto punkty zinwentaryzowane metodą satelitarną GPS. Współrzędne poszczególnych punktów zinwentaryzowanej osi toru zawiera praca [3].

Podczas opracowania projektu regulacji wzięto pod uwagę skrajnię budowli. Elementami, które należało uwzględnić, były słupy trakcyjne. W analizowanym przykładzie na wszystkich słupach, założono znaki kolejowej osnowy geodezyjnej.

Tabela 1. Charakterystyka geometrii regulowanego odcinka

Kilometraż		Element	Parametry
od	do		
11,400	11,495	prosta wlotowa	$D = 95$ m
11,495	11,600	krzywa przejściowa	$D = 105$ m
11,600	11,779.5	łuk kołowy	$R = 614$ m, $L = 179,5$ m
11,779.5	11,884.5	krzywa przejściowa	$D = 105$ m
11,884.5	11,923	prosta	$D = 38,5$ m
11,923	12,028	krzywa przejściowa	$D = 105$ m
12,028	12,254	łuk kołowy	$R = 609$ m, $L = 226$ m
12,254	12,359	krzywa przejściowa	$D = 105$ m
12,359	12,420	prosta wylotowa	$D = 21$ m



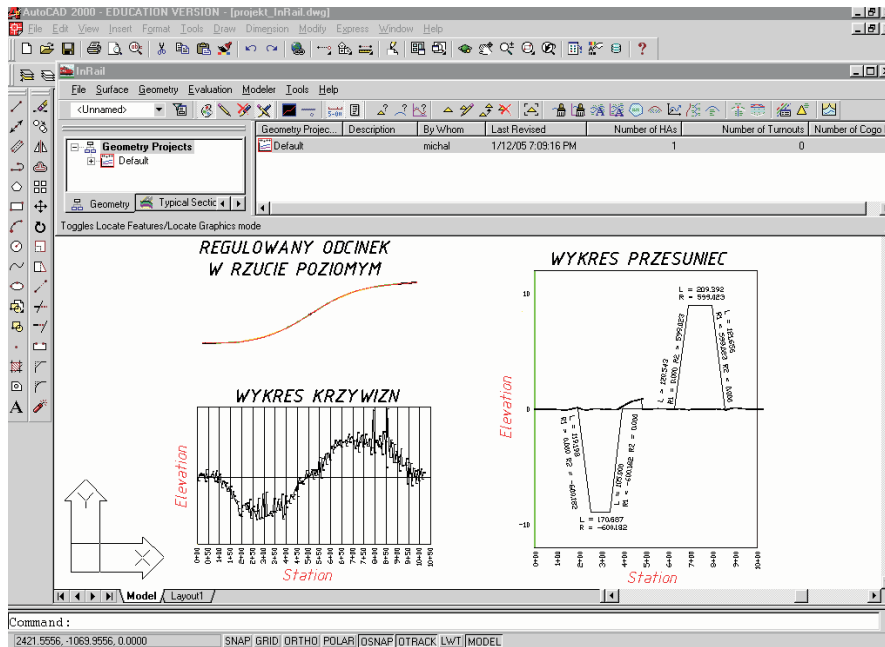
Rys. 6. Profil podłużny fragmentu regulowanej linii kolejowej

Po wykonaniu pomiarów wyznaczono współrzędne znaków, które w projekcji regulacji potraktowano również jako współrzędne słupów trakcyjnych. Dzięki umieszczeniu znaków na każdym słupie mogą one pełnić rolę wskaźników regulacji. Przy wykonywaniu regulacji osi toru kierowano się zasadą minimalizacji przesunięć zinwentaryzowanej osi do położenia projektowanego, z jednoczesnym nałożeniem warunku na krzywe przejściowe. Założono, że długość wszystkich czterech krzywych przejściowych będzie stała i równa 105 metrów.

W efekcie wczytania do programu punktów reprezentujących oś regulowanego toru otrzymano obraz odcinka w rzucie poziomym (rys. 7). Po wygenerowaniu wykresu krzywizn można było przyporządkować poszczególnym punktom odcinka tworzące geometrię trasy (rys. 7). Ostatecznie w wyniku przeprowadzenia analizy regresji powstał wykres przesunięć, a raport z obliczeń został zapisany do pliku tekstowego przedstawionego na rysunku 8.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że InRail został oprogramowany według standardów obowiązujących w Stanach Zjednoczonych. Zgodnie z nimi, wartości przesunięć mają znaki przeciwne w stosunku do znaków przyjętych w normach polskich.





Rys. 7. Ogólny widok interfejsu graficznego programu wraz z niezbędnymi wykresami wygenerowanymi w procesie regulacji osi

```

Slew Diagram
...
Type: Clothoid                      Length: 105.00
Start Direction: 294.01
End Direction: 299.51
Start Northing: 5539157.04           Start Easting: 7418601.01
End Northing: 5539153.21            End Easting: 7418496.11
Start Station: 12+258.72             End Station: 12+363.72
Start Radius: 607.89                 End Radius: 0.00
Start Cant (mm): 0.0                 End Cant (mm): 0.0

```

Element	Sta.	Track Sta.	Name	Offset	Left	Right
	0+001.44	12+260.16	12260	+0.083		>
	0+006.40	12+265.12	12265	+0.115		>
	0+011.43	12+270.15	12270	+0.118		>
	0+016.42	12+275.14	12275	+0.139		>
	0+021.41	12+280.13	12280	+0.149		>
	0+026.41	12+285.13	12285	+0.155		>
	0+031.41	12+290.13	12290	+0.160		>
	0+036.41	12+295.13	12295	+0.164		>
	0+041.40	12+300.12	12300	+0.158		>
	0+046.41	12+305.13	12305	+0.146		>
	0+051.40	12+310.12	12310	+0.141		>
	0+056.40	12+315.12	12315	+0.115		>
	0+061.40	12+320.12	12320	+0.108		>
	0+066.40	12+325.12	12325	+0.090		>
	0+071.40	12+330.12	12330	+0.072		>
	0+076.39	12+335.11	12335	+0.057	=	=
	0+081.39	12+340.11	12340	+0.044	=	=
	0+086.39	12+345.11	12345	+0.047	=	=
	0+091.39	12+350.11	12350	+0.019	=	=
	0+096.39	12+355.11	12355	+0.006	=	=

Rys. 8. Fragment pliku wynikowego „Wykres Przesunięć” zawierający wartości przesunięć osi toru do położenia projektowanego



#### 4. Podsumowanie

Plany rozbudowy sieci linii kolejowych w ramach Wspólnoty Europejskiej są realizowane od kilku lat. W Polsce także podjęto prace zmierzające do zwiększenia prędkości kursowania pociągów, przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu i bezpieczeństwa jazdy [2]. W wykonywaniu tego typu zagadnień przychodzi z pomocą odpowiednie, specjalistyczne oprogramowanie. Na największą uwagę zasługuje tutaj firma Bentley ze swoimi aplikacjami. Pakiet InRoads posiada jedno z najbardziej popularnych aplikacji stosowanych w świecie. Program InRail jest nowoczesnym systemem przeznaczonym do projektowania dróg szynowych. Przy projektowaniu obiektów komunikacyjnych dla ruchu szynowego jest szybkim i w pełni zintegrowanym przez środowisko Windows programem. Za jego pomocą można przeprowadzać pełne opracowanie projektu, od pomiarów, aż do przekazania danych służbom kolejowym odpowiedzialnym za utrzymanie nawierzchni. Za stosowaniem tego oprogramowania przemawia wiele czynników. Dzięki łączeniu aplikacji w pakiety powstają bardziej wszechstronne systemy programowe. Stosowanie układu modułowego zwiększa efektywność pracy i może obniżać koszty zakupu softwaru. Wersje demonstracyjne, czasowe i promocje przy zakupie zwiększają liczbę potencjalnych użytkowników oprogramowania. Korzystanie z gotowych elementów zgrupowanych w bibliotekach zwiększa efektywność pracy poprzez skrócenie czasu potrzebnego do zrealizowania zadania. Opieka nad użytkownikiem programu w postaci komunikacji on-line przez Internet, przykłady do samodzielnego wykonania, szkolenia i serwisy zwiększają zaufanie do producenta i jego produktów. Wieloplatformowość pozwalająca na instalację aplikacji Bentley pod różnymi platformami CAD, ujednoczenie formatów plików i możliwość importowania/eksportowania danych z/do wielu urządzeń zewnętrznych w ogromnym stopniu uniezależnia użytkowników oprogramowania od ściśle dedykowanych rozwiązań programowych.

#### Literatura

- [1] Augustowski T.: *Poland – a gate to Eurasia*. European Railway Review, nr 4, 2003, 15–21
- [2] Koller R.: *High-speed railway lines in South-European Europe*. Rail International, nr 10, 2003, 37–40
- [3] Strach M.: *Ocena możliwości wykorzystania techniki satelitarnej RTK GPS do regulacji osi torów kolejowych*. Kraków, AGH 2003 (rozprawa doktorska)
- [4] [www.bentley.com](http://www.bentley.com)
- [5] [www.card-1.com](http://www.card-1.com)
- [6] [www.vestra.pl](http://www.vestra.pl)