

OD POMIARÓW DO REALIZACJI - NOWOCZESNE TECHNOLOGIE W PROCESIE REGULACJI OSI TORÓW¹

Jan Szczęsny

mgr inż., Transprojekt Gdański Spółka z o.o.,
tel. 48 696 663 184, szcz@tgd.pl

Martyna Jakimowicz

mgr inż., Transprojekt Gdański Spółka z o.o.,
tel. 48 58 524 4124, jakm@tgd.pl

Andrzej Kwiatkowski

inż., GEOPLAN, +48 693 651 350, andrzej.kwiatkow-
ski@geoplan.eu

Marcin Jankowski

mgr inż., GEOPLAN, +48 601 376 232, marcin.jan-
kowski@geoplan.eu

Streszczenie. *W referacie ujęte są wybrane aspekty procesu projektowania regulacji osi torów kolejowych począwszy od założenia osnowy projektowej, poprzez pomiary inwentaryzujące, projektowanie nowych osi, opracowanie graficznej dokumentacji, aż do wyniesienia projektu w teren i odbiorczych pomiarów powykonawczych. Autorzy zwrócili uwagę na korzyści płynące z wykorzystania tachimetrii 3D oraz ze zintegrowania systemów pomiarowych, projektowych i wykonawczych.*

Słowa kluczowe: *regulacja osi toru, tachimetria, regresja, podbijanie toru*

1. Wprowadzenie

Od roku 2011 mamy do czynienia ze wzmożeniem prac remontowych na sieci kolejowej PKP. Celem jest podniesienie prędkości ruchu pociągów przy jak najmniejszych uciążliwościach dla przewoźników i pasażerów. Wysokim nakładom inwestycyjnym towarzyszy rozpowszechnianie nowych rozwiązań technologiczno-organizacyjnych. W niniejszym opracowaniu przedstawimy ich zastosowanie na bazie doświadczeń przy realizacji projektu regulacji osi toru i obsłudze geodezyjnej maszyn torowych podczas prac na Centralnej Magistrali Kolejowej w roku 2012.

Do najbardziej istotnych nowości, z punktu widzenia regulacji osi toru, należą naszym zdaniem:

- ujednolicony wzór znaku regulacji osi toru w formie trzpienia ze stali nierdzewnej wprowadzony wytycznymi Ig-6 (stosowany w wielu krajach europejskich);
- ujednolicona metoda wyznaczania współrzędnych kolejowej osnowy specjalnej (KOS – znaki regulacji) wprowadzona wytycznymi Ig-7;
- zastosowanie tachimetrii 3D o wysokiej dokładności w procesie projektowania regulacji osi toru, w tym również do opracowania protokołów regulacji;

¹ Wkład autorów w publikację: Szczęsny J.: 40%, Jakimowicz M.: 20%, Kwiatkowski A.: 20%, Jankowski M.: 20%

- wymiana danych cyfrowych w cyklu geodeta – projektant – geodeta – obsługa podbijarki torowej - geodeta.

Powyższe zjawiska zrewolucjonizowały podejście do projektowania. Zysaliśmy nowe spojrzenie na układ torowy. Dotychczas dane do projektu regulacji zbierane były najczęściej w oparciu o przeprowadzony pikietaż oraz pomierzoną krzywiznę toru (pomiarzy w względnym układzie odniesienia). Błąd popełniony przy każdym pomiarze strzałki nierówności, rzutował na wyniki pomiarów następnych. Dzisiaj, mając do dyspozycji tachimetry o wysokiej dokładności, mogąc z łatwością analizować pomiary na ekranie komputerów, obserwujemy jak różne od założeń są kształty osi torów. Okazuje się, że nie możemy wyregulować łuku stosując promienie i długości krzywych przejściowych takie jak na profilu linii bez spowodowania ogromnych nasunięć.

Obecnie, cała dokumentacja projektowa łącznie z projektem i protokołem regulacji osi toru może być wykonana przez projektanta, gdyż domeną geodety zostanie założenie osnowy, pomiary inwentaryzujące stan istniejący i tyczenie projektowanego układu (geodezyjna obsługa podbijarki) oraz pomiar powykonawczy do odbioru robót.

2. Osnowy geodezyjne w pomiarach inwentaryzujących położenie osi toru

W pomiarach dowolnie długich odcinków torów kolejowych w układzie bezwzględnym niezbędne jest wykorzystanie osnow geodezyjnych o odpowiedniej strukturze i dokładności. Tego rodzaju osnowy powinny umożliwiać prowadzenie zarówno pomiarów sytuacyjno-wysokościowych, jak również pomiarów inwentaryzacyjnych, realizowanych na potrzeby wykonania projektów regulacji osi toru, a także pomiarów związanych z realizacją tych projektów w terenie. Tak duże wymagania w stosunku do funkcjonalnych właściwości proponowanych osnow sprawiają, że powinny się one charakteryzować wysoką dokładnością wyznaczania współrzędnych punktów, a także ich prawidłowym usytuowaniem i stabilizacją. Optymalnym rozwiązaniem w tym zakresie jest zakładanie osnow zintegrowanych. Składają się one z punktów odniesienia, wyznaczonych techniką statyczną GPS oraz z punktów szczegółowych, których współrzędne wyznaczone są metodami klasycznymi z wykorzystaniem precyzyjnych tachymetrów elektronicznych. Punkty odniesienia stabilizowane są parami przy pomocy znaków ziemnych. Punkty w parze rozmieszczone są w odległościach od 100 do 300 metrów. Odległości pomiędzy sąsiednimi parami są w granicach 1,5 – 2,5 km.

Punkty osnowy szczegółowej mogą być stabilizowane przy pomocy znaków ziemnych we wzajemnych odległościach rzędu $100 \div 200$ m. Coraz częściej jednak stosowane jest podejście by punkty kolejowej osnowy geodezyjnej utrzymywać na słupach trakcyjnych, podobnie jak to ma miejsce ze stabilizacją wskaźników regulacji. Proponowane rozwiązanie wdrażane jest na liniach kolejowych zarówno w Polsce

(Gogoliński, 1998), (Dobrowolski, 2002), (Jamka, Lisowski, Strach, 2009), jak i za granicą: Szwajcaria (Eisenegger, 1990), Niemcy (Siems, 1993), Austria (Retscher, 1996), Czechy, Słowacja (Friedrich, Hrdlička; 2002). Optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie takiej konstrukcji znaku i jego usytuowania by pełnił on jednocześnie funkcję wskaźnika regulacji i punktu osnowy geodezyjnej. Na uwagę zasługuje znak zaproponowany do stosowania na liniach PKP (Jamka, Lisowski, Strach, 2009), który w roku 2011 został wprowadzony do stosowania na PKP „Wytyczne dla osadzania znaków regulacji osi toru na konstrukcjach wsporczych (słupach) sieci trakcyjnej Ig-6” (Załącznik do zarządzenia Nr 24/2011 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 18 lipca 2011 r.).



Fot. 1. Osnowa stabilizowana punktami ziemnymi



Fot. 2. Nowy znak regulacji osi toru zgodny z Ig-6

Położenie punktów szczegółowej osnowy geodezyjnej, utrwalonej na słupach trakcyjnych po jednej lub po obu stronach linii kolejowej, wyznacza się metodą biegunową 3D (precyzyjna tachymetria) z dwóch różnych stanowisk instrumentu. Stanowiskami tachymetru są punkty ciągu poligonowego dowiązanego obustronnie do punktów odniesienia (GPS), znajdujących się w węzłach sieci. Punkty ciągu poligonowego mogą być utrwalone znakami ziemnymi trwałymi (fot. 1), lub tymczasowymi. W tym drugim przypadku pomiary prowadzi się metodą swobodnego stanowiska. Po wykonaniu obserwacji, współrzędne punktów na słupach wyznacza się w ramach łącznego wyrównania, obejmującego elementy geometryczne ciągów poligonowych i biegunowych konstrukcji wcinających. W 2012 roku został wprowadzony „Standard techniczny określający zasady i dokładności pomiarów geodezyjnych dla zakładania wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru Ig-7” (Załącznik do zarządzenia Nr 27/2012 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 19 listopada 2012 r.), który reguluje zasady i dokładności związane z zakładaniem znaków regulacji osi torów.

Punkty osnowy szczegółowej, założonej na słupach sieci trakcyjnej wzdłuż toru, umożliwiają prowadzenie pomiarów inwentaryzacyjnych i realizacyjnych

metodą swobodnego stanowiska. Na podstawie szczegółowych analiz dokładności, potwierdzonych wynikami pomiarów doświadczalnych stwierdzono, że istnieją techniczne możliwości, aby współrzędne punktów zintegrowanych osnów geodezyjnych wyznaczać z dokładnością rzędu $\pm 6\text{mm}$, przy poprawnie dobranych długościach ciągów i odległościach pomiędzy punktami.

3. Inwentaryzacja istniejącej osi toru

Instrukcja D-19 („O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej”) sugeruje, aby do pomiaru torów i rozjazdów stosować poziomą łątę, wyposażoną w reflektor pryzmatyczny zamontowany w osi toru (fot. 3). Możliwe jest również zastosowanie adaptera na reflektor, wyposażonego w magnes i przykładanego do wybranego toku szynowego (fot. 4).



Fot. 3. Łata wyposażona w reflektor pryzmatyczny umieszczony w osi toru



Fot. 4. Adapter z zamontowanym reflektorem pryzmatycznym

Tego typu rozwiązania pomiarowe ustępują jednak miejsca bardziej uniwersalnym systemom, umożliwiającym zdecydowane przyspieszenie pomiarów. Systemy te pozwalają na pomiar i wyznaczenie parametrów reprezentujących geometrię wewnętrzną toru: szerokość, gradient szerokości, przechyłkę, wichrowatość, nierówności toków szynowych w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Dzięki wyposażeniu systemów w urządzenia geodezyjne można nimi wyznaczyć także geometrię i położenie trasy kolejowej. Podstawowym założeniem tego systemu jest prowadzenie pomiarów geodezyjnych inwentaryzujących położenie osi toru i urządzeń położonych w pasie przyległym do toru podczas przejazdu po torze wózka pomiarowego. Wyznaczanie trzech współrzędnych osi toru w bezwzględnym układzie współrzędnych z milimetrową dokładnością, jest realizowane w skoordynowanym układzie stacji pomiarowej (Total Station) i poruszającego się po torze wózka pomiarowego. Stacja pomiarowa ustawiona w miejscu, z którego mierzony tor widoczny jest na długości po około 150 m w obie strony. Z niej dokonuje się

pomiaru kątów poziomych i pionowych oraz odległości do pryzmatu na wózku pomiarowym. Współrzędne stanowiska wyznacza się wcięciem wstecz do czterech punktów osnowy pomiarowej. W roku 2011 nasza firma wprowadziła do wykonawstwa robót związanych z pomiarami do projektu regulacji osi toru, komplet wózków pomiarowych. Obecnie korzystamy również z wózków najnowszej konstrukcji (fot. 5.)



Fot. 5. Wózki pomiarowe systemu TRIMBLE GEDO CE 2.0

System opisywanych wózków, to zestaw narzędzi do pomiarów, zapisu, analiz i dokumentacji w procesie lokalizacji, budowy i utrzymania torów kolejowych. Sprzęt pomiarowy i oprogramowanie są dostosowane do zadań i specyfiki pracy na torach kolejowych, co usprawnia działanie w terenie oraz w biurze. System używa standardowych technik pomiarowych i formatów wymiany danych między aplikacjami do projektowania szlaków kolejowych i ich utrzymania.

Oprogramowanie **GEDO Rec**, to zoptymalizowane oprogramowanie dla potrzeb prowadzonych pomiarów i sporządzania dokumentacji z inwentaryzacji istniejącego stanu torów kolejowych.

4. Projektowanie

Nasze Biuro Projektów opracowując projekty regulacji rewitalizowanych linii posługuje się danymi geodezyjnymi pozyskanymi wyłącznie z tachimetrii. Wszelkie dane liczbowe znajdujące się na rysunkach i w protokołach regulacji osi toru pochodzą z obliczeń dokonanych w programie *CAD Bentley Rail Track* dedykowanym do zastosowań kolejowych. Do projektowania regulacji osi toru nie potrzebna jest mapa, lecz szczegółowe pomiary wykonane według określonych zasad. Są to pomiary:

- osi toru przeznaczanego do regulacji w kroku co 10-20 m oraz naprzeciw każdego znaku regulacji;
- osi torów sąsiednich co 10-20 m (wskazane w tych samych kilometrach co tor projektowany);
- obiektów mogących naruszyć skrajnię budowli – wiadukty, perony, słupy, semafony itp.;

- początków i końców oraz dziobów krzyżownic rozjazdów;
- współrzędnych znaków regulacji;
- w przypadkach naprawy głównej rzędne spodu podsypki;
- punktów dowiązania kilometracji.

Szczególną uwagę zwraca się na skrajnię budowli. Mierzy należy zawsze lico konstrukcji lub krawędź peronu tachymetrycznie z osnowy, jaką są znaki regulacji. Niejednokrotnie zdarza się, że o przebiegu osi toru i możliwości podniesienia prędkości ruchu decydują milimetry. Z tego względu przy regulacji osi toru pomiary słupów w ich osi lub pomiary skrajni przy pomocy odbiorników GPS są mało przydatne.

Dane dotyczące rozjazdów istniejących są szczególnie ważne w połączeniach z rozjazdami projektowanymi. Dlatego, oprócz początków i końców, dla weryfikacji położenia rozjazdów mierzone są także dzioby krzyżownic. Ponieważ styki i spawy mogą być poprzesuwane, geometryczne końce rozjazdów wyznacza się znając odległość od dzioba do końca rozjazdu.

Zamiast osi torów przy pomiarach wózkami, czasami mierzone są szyny. W takim przypadku geodeci powinni używać specjalistycznych adapterów do luster, które pozycjonują lustro nad osią szyny bądź nad jej powierzchnią prowadzącą (fot. 4).

4.1. Przygotowanie danych

W dużym uproszczeniu można powiedzieć, że w programie tym pracuje się na *punktach i osiach* rozumianych jako łańcuch połączonych ze sobą elementów takich jak: odcinek prosty, łuk kołowy i krzywa przejściowa. Program ułatwia kształtowanie wspomnianych *osi* oraz daje możliwość analizy ich przebiegu względem elementów w przestrzeni.

Dane do projektowania przekazywane są w formie chmury punktów w pliku dwg/dxf 3D oraz pliku tekstowego. Jest dużym ułatwieniem, jeśli punkty są połączone w polilinie. Oprócz współrzędnych sytuacyjno-wysokościowych każdy punkt posiada kod, który umożliwia rozpoznanie reprezentowanego obiektu (OT1 - oś toru 1, PER - krawędź peronu itp.) oraz nazwę. Nazwy punktów są kolejnymi numerami, tylko w przypadku znaków regulacji w nazwie kodowany jest numer słupa.

Punkty pomierzone można wczytać do programu z każdego pliku txt bez względu na układ kolumn w nim zawartych. Dzięki kodowaniu projektant rozpoczynając pracę segreguje je na te opisujące osie torów oraz na różne zbiory punktów określających skrajnię. Punkty opisujące osie torów łączone są w *osie* toru istniejącego, po czym następuje ich analiza.

4.2. Regresja

Celem większości projektów regulacji, które opracowaliśmy, było osiągnięcie zakładanej prędkości przy minimalizacji przesunięć osi toru i zminimalizowaniu

ilości kolizji w skrajni budowli. W takich przypadkach pierwszym krokiem projektowania regulacji osi toru jest zlokalizowanie elementów geometrii toru istniejącego – prostych, łuków i krzywych przejściowych. Służy do tego wykres krzywizny (rys. 1). Na jego podstawie wybierane są punkty pomierzonej osi toru do regresji jednoelementowej – czyli takiej, w której poszukuje się elementu prostej lub łuku kołowego o przebiegu najbardziej zbliżonym do istniejącego. Z naszych doświadczeń zebranych przy regulacjach wielu linii kolejowych wynika, że układy krzywizn prezentowane na profilach linii dość znacznie odbiegają od rzeczywistości i nawet na dobrze utrzymanych liniach można spodziewać się nasuwania do 10 cm. Jak podejrzewamy, jest to spowodowane przeskokiem technologicznym w realizacji pomiarów, deformacjami toru lub błędnym tyczeniem w przeszłości. Projektując regulację toru na Centralnej Magistrali Kolejowej, dzięki analizie punktów regresji otrzymaliśmy optymalne położenie osi toru przy nasuwaniach nie większych niż 100 mm. Średnie nasuwanie na około 16 km projektowanego odcinka Szeligi – Biała Rawska wyniosły 25 mm.



Rys. 1. Dwa stopnie regresji na przykładowym wykresie krzywizny

Punktem regresji można nadać indywidualne cechy: wagę oraz oczekiwane odsunięcie osi projektowanej od punktu. Nadanie wagi przydaje się w sytuacji, gdy mamy za zadanie dowiązać się na przykład do rozjazdu, który pozostaje w położeniu istniejącym. Oczekiwane odsunięcie osi projektowanej od punktu określamy, gdy jakaś wartość nasuwania jest z góry pożądana, na przykład ze względu na skrajnię lub gdy do regresji wciągamy punkty spoza osi toru. Raport z regresji jednoelementowej przedstawiony jest na rys. 2. Widać na nim, że to co wydawało się być odcinkiem prostym na wykresie krzywizny, jest w rzeczywistości opisane przez dwie przecinające się proste. Analizując przedstawione nasuwania oraz biorąc pod uwagę skrajnię budowli, można w tym miejscu zaprojektować odcinek prosty lub wykonać regresję ponownie dla ograniczonego zbioru punktów. Na tym etapie dokonujemy też weryfikacji poprawności pomiaru i celowości uwzględnienia poszczególnych punktów i ewentualnego odrzucenia ze zbioru danych do regresji (na przykład pojedyncze punkty położone z dala od wyznaczonego elementu).

Następnym krokiem po wyznaczeniu podstawowych elementów układu torowego z regresji jednoelementowej jest regresja wieloelementowa. Na tym

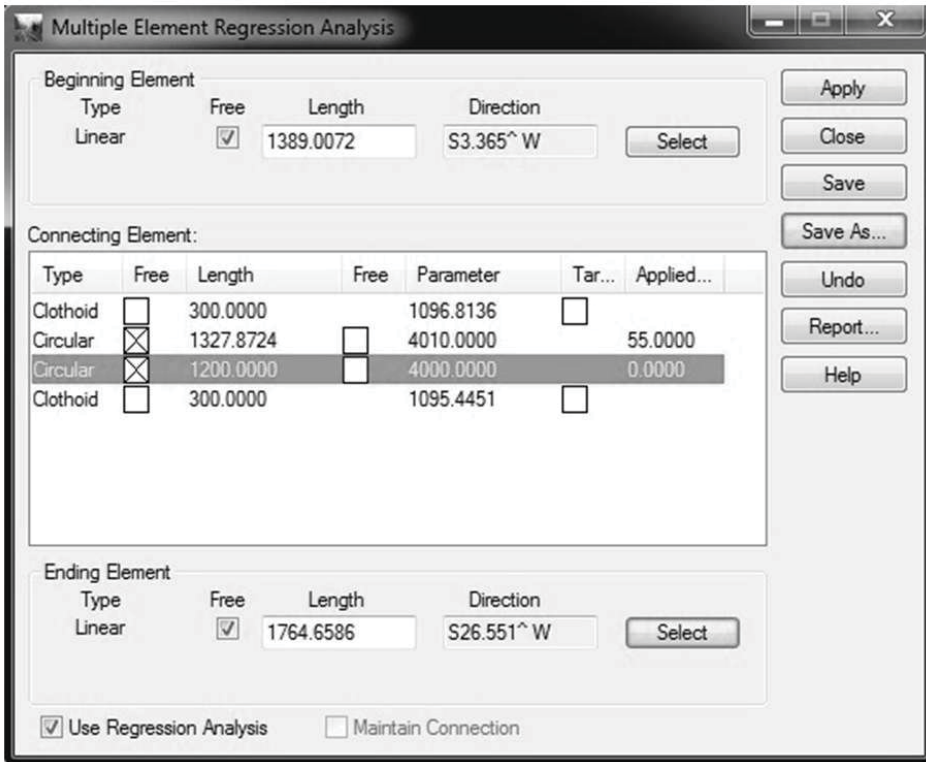
etapie następuje optymalizacja parametrów geometrycznych i korekta geometrii pod względem skrajni. Możliwe jest również dobranie promieni łuków i długości krzywych przejściowych o wartościach całkowitych. Do regresji wieloelementowej wybiera się dowolną ilość elementów. Wybrane parametry każdego elementu można zablokować, nadając im z góry pożądaną wartość, inne pozostawić wolne – do wyznaczenia przez program. Ilość wolnych parametrów jest ograniczona.

Dzięki szeregowi raportów, które oferuje program możemy kontrolować czy zakładany cel projektu został już osiągnięty. Przedstawiają one między innymi: wzajemne odległości zadanych w programie osi, odległości projektowanego toru od wybranych punktów, zestawienia projektowanej geometrii.

Do regresji zarówno wielo- jak i jednoelementowej można wracać na każdym etapie prac projektowych.

ID	Value 1	Value 2	Indicator
11506	0+357.632	-0.0091	<
11507	0+377.155	-0.0115	<
11508	0+404.678	-0.0095	<
11509	0+420.770	-0.0061	<
11510	0+443.461	-0.0019	=
11511	0+466.398	-0.0001	=
11512	0+482.892	-0.0003	=
11513	0+504.465	-0.0003	=
11514	0+526.862	0.0012	=
11515	0+544.868	0.0030	=
11516	0+568.448	0.0070	>
11517	0+589.845	0.0114	>
11518	0+605.705	0.0114	>
11519	0+627.595	0.0128	>
11520	0+653.654	0.0119	>
11521	0+667.695	0.0099	>
11522	0+692.213	0.0218	>
11523	0+712.759	0.0251	>
11524	0+729.978	0.0233	>
11525	0+748.715	0.0191	>
11526	0+771.708	0.0106	>
11527	0+791.960	0.0113	>
11528	0+813.912	0.0090	>
11529	0+834.559	0.0004	=
11530	0+853.737	-0.0017	=
11531	0+874.635	-0.0114	<

Rys. 2. Raport z regresji jednoelementowej. W kolumnie odchyłek widoczny załom odcinka prostego niezauważony na wykresie krzywizny



Rys. 3. Okno regresji wieloelementowej łuku koszowego. Kratka zaznaczona krzyżykiem oznacza, że dany parametr zostanie obliczony w wyniku regresji

4.3. Projektowanie toru sąsiedniego

Najwięcej możliwości optymalizacji osi toru pod względem spokojności jazdy jak i wielkości nasunięć czy skrajni występuje przy jednoczesnej regulacji obu torów na linii dwutorowej (możliwość przeprojektowania peronów bywa wyjątkiem). Projektowanie sąsiedniego toru rozpoczynamy zwykle od analizy raportu szerokości międzytorza istniejących torów. Można go otrzymać zarówno w wersji graficznej jak i tekstowej. Dzięki temu dzielimy projektowany odcinek na mniejsze, różniące się szerokością międzytorza. Tam gdzie tory są równoległe przebieg toru sąsiedniego wyznaczamy wstępnie odsuwając równoległe pierwszy z zaprojektowanych torów na wyznaczoną odległość. Następnie po analizie skrajni przyjmujemy wyznaczony przebieg toru sąsiedniego bądź wprowadzamy korekty za pomocą regresji.

Nie zawsze oś odsunięta równoległe od osi toru zaprojektowanej na podstawie regresji prezentuje najmniejsze nasuwania toru sąsiedniego. Otrzymujemy raczej dwa tory, z których jeden jest zaprojektowany z uwzględnieniem minimalizacji nasunięć, a drugi po prostu równoległy do niego. Dla wyeliminowania tego zja-

wiska, przy projekcie regulacji CMK, gdzie szczególnie istotne było zmniejszenie wielkości nasunięć każdego z torów, regresji jednoelementowej poddano oba tory jednocześnie, analizując jednocześnie punkty pomierzone z toru projektowanego i sąsiedniego. Znając średnią szerokość międzytorza torów istniejących, przykładowo 4.51 m. Punktem pomierzonym na torze sąsiednim nadano wartość odsunięcia 4.50 m. W ten sposób otrzymywaliśmy prostą lub łuk reprezentującą najmniejsze nasunięcia zarówno dla toru nr 1 i 2. Atutem tego rozwiązania było przesunięcie średniej wartości nasuwania w kierunku do środka międzytorza, co korzystnie wpłynęło na zachowanie skrajni oraz pierwotnego przebiegu całej linii.

4.4. Graficzne opracowanie projektu

Dokumentacja projektowa składa się zazwyczaj z części opisowej, czyli opisu technicznego i protokołu regulacji, oraz części rysunkowej, w której skład wchodzi głównie: niwelety toru, geometria toru w płaszczyźnie poziomej, wykres regulacji osi toru, przekroje poprzeczne i konstrukcyjne. Dedykowany program CAD pozwala zawrzeć w dokumentacji wiele istotnych danych, otrzymując je w łatwy i stosunkowo szybki sposób. Co ważne, po wprowadzeniu modyfikacji na dowolnym etapie prac, możliwe jest automatyczne generowanie opisów geometrii na wszystkich rysunkach.

Program umożliwia generowanie raportów, które są bardzo pomocne przy tworzeniu protokołów regulacji. Po wczytaniu danych takich jak: oś istniejącego toru, oś projektowanego toru, współrzędne znaków regulacji oraz obiektów inżynierskich możemy uzyskać wszystkie istotne dla nas dane. Tym sposobem otrzymujemy: kilometrację znaków regulacji oraz punktów charakterystycznych w planie i profilu (tj. KKP, PŁP, W, PLK), wysokości znaków i osi toru, strzałki na cięciwach pomiędzy znakami oraz strzałki na stycznych do wyokrąglonych załomów profilu. Punkty regresji pozwalają na wygenerowanie wartości nasuwań oraz podnoszeń toru projektowanego względem istniejącego. Dane liczbowe są porządkowane i sortowane w arkuszu kalkulacyjnym zaś szkice wykonywane są ręcznie.

Z raportów generowanych przez program dodatkowo można uzyskać informacje odnośnie wysokości osi toru w miejscu gdzie znajdują się obiekty mostowe, początki/końce rozjazdów, szerokości międzytorza w przypadku linii dwutorowej i wiele innych.

Przy wykorzystaniu wspomnianych wcześniej punktów regresji uzyskujemy dokładne wartości przemieszczeń toru projektowanego względem istniejącego, czyli podnoszenia i nasuwania. Są to dane istotne dla wykonawcy, określające jak wiele pracy musi wykonać podbijarka.

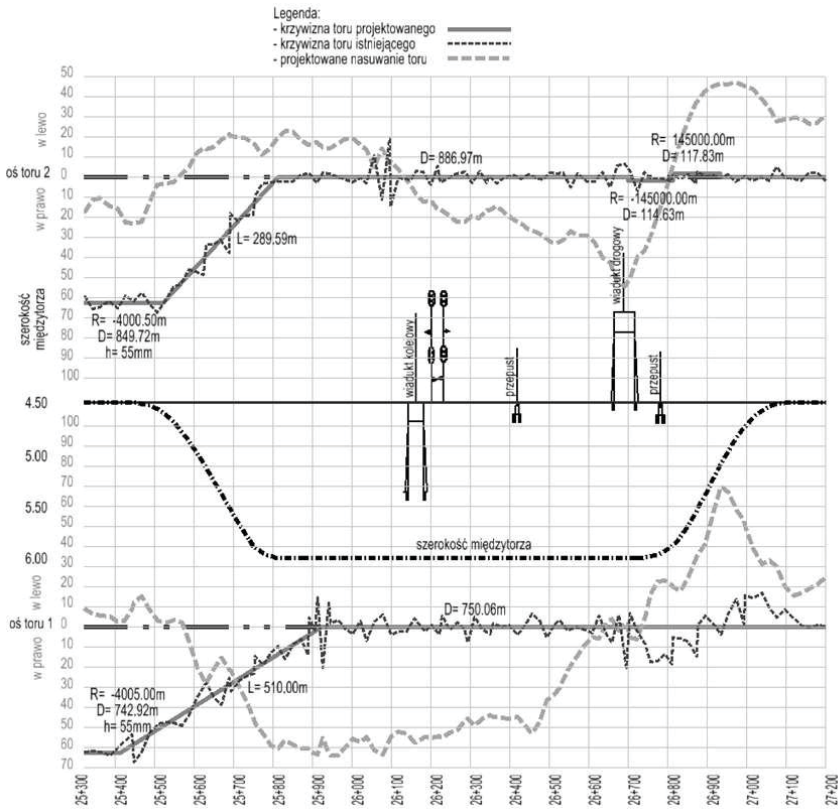
Ciekawym zobrazowaniem danych dotyczących projektowania osi toru w płaszczyźnie poziomej jest wykres regulacji. Przedstawiamy krzywiznę projektowanej osi toru, istniejącej osi toru, nasuwania oraz szerokość międzytorza na jednym rysunku.

PROTOKÓŁ REGULACJI OSI TORU													
Linia: Centralna Magistrala Kolejowa		Kil. 162 870 - 162 961							tor nr 1		Przebiegnięcie		
Kilometr znaku	Data znaku	Wysokość		Znak	Nadzwyczajna wysokość [mm] (prz. - wpr. w)	Odległość od projektowanej osi toru	Projektowana wysokość	Zmiana na odcinku pomiędzy znakami	Data	Zmiana na wytycznych	Data	Nazwa	Pozycja
		Przed	Teraz										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
162 870.00													
162 880.00													
162 885.00	Pl.P	252 007											
162 890.00													
162 900.00													
162 910.00													
162 915.26	ZP	252 040											
162 916.22	162033	252 041	252 585	-544	-2 753	4 50						28	36
162 920.00													
162 930.00													
162 940.00	Kl.P	252 040											
162 950.00													
162 960.00													
162 970.00													
162 980.00													
162 981.37	162035	252 014	252 571	-526	-2 802	4 50						45	29

Odległość znaku od bicia słupa trakcyjnego : 35 mm

Protokoły regulacji wykonano w kilometracji osi każdego toru osobno.
W trakcie robót przygotowawczych do tyczenia należy kilometrację każdego toru prowadzić od kilometracji znaków regulacji wskazanej w protokołach regulacji.

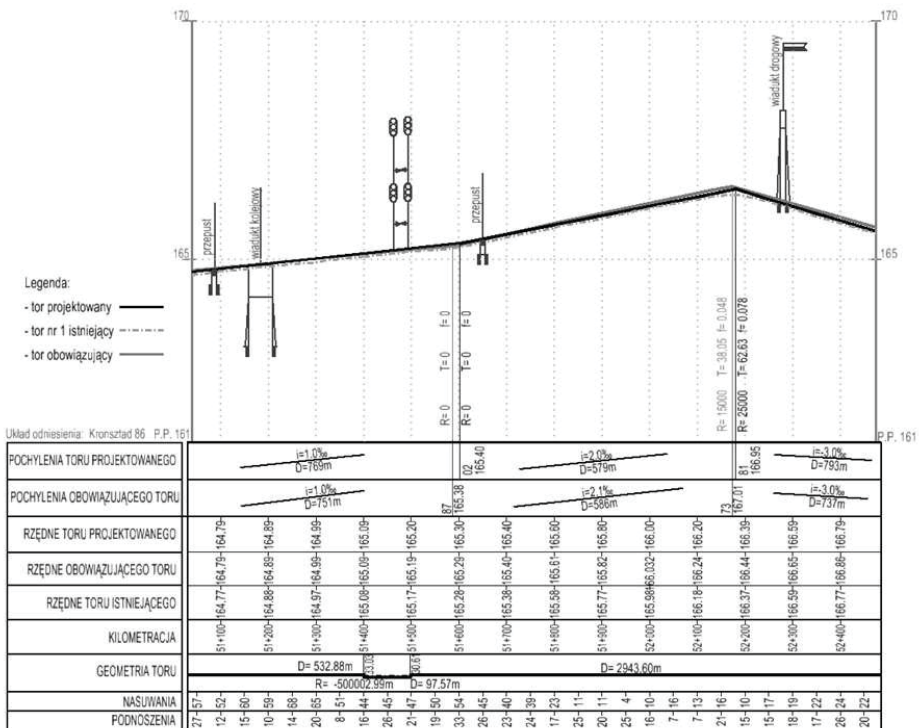
Rys. 4. Przykładowy protokół regulacji osi toru



Rys. 5. Wykres regulacji linii dwutorowej

Na rys. 5 ciemna cienka przerywana linia przedstawia krzywiznę toru istniejącego, a ciągła linia obrazuje tor projektowany. Projektowane nasuwania osi toru zaznaczono jasną przerywaną linią. Analizując wykres nasuwań możemy stwierdzić, czy optymalne położenie osi torów zostało osiągnięte. Wartość przesunięć w poziomie nie przekracza 70 mm. Ciemna linia przerywana, opisana jako „szerokość międzytorza”, przedstawia zaprojektowane nowe międzytorze – poszerzone do wartości 6.00 m. Na pozostałych odcinkach wynosi ono 4.50 m. Wykres regulacji pozwala stwierdzić, że rozszerzenie rozstawu osi toru spowodowane jest występowaniem wiaduktu kolejowego oraz drogowego o konstrukcji niepozwalającej na poprowadzenie torów w odległości 4.50 m na całym analizowanym odcinku. Dlatego warto na takim wykresie umieścić położenie obiektów inżynierskich oraz rozjazdów w celu weryfikacji nasuwań w punktach szczególnych.

Jak widać, rysunek wykresu regulacji pozwala odczytać wiele elementów istotnych przy prowadzeniu robót związanych z rewitalizacją linii kolejowej. Mamy możliwość sprawdzenia czy projekt współgra ze stanem istniejącym lub czy zastosowano odpowiednie parametry układu torowego. Posługując się poleceniami wykresu krzywizn i wykresu nasuwań można zobrazować wzajemne relacje pomiędzy dowolnymi wprowadzonymi do programu osiami i punktami.



Rys. 6. Niveleta toru

Nieodzownym rysunkiem w dokumentacji projektowej jest niveleta toru. Poza standardowymi wartościami pokazanymi w tabeli, jak np. rzędne toru projekto-

wanego i istniejącego, kilometracja, schemat geometrii w planie, można pokazać więcej istotnych danych.

Na rys. 6 w formie liczbowej, w dwóch ostatnich wersach, zostały przedstawione wartości nasuwania oraz podnoszenia osi toru, w zadanym przez projektanta odstępnie. Z obserwacji wartości podnoszeń, stwierdzamy, że regresja na etapie projektowania pozwoliła na najbardziej optymalne umiejscowienie załomów profilu oraz zaprojektowanie odpowiednich wartości pochyłeń i ich długości.

Dodatkowo na rysunku niwelety w formie tabelarycznej można przedstawić szerokości międzytorza lub zaznaczyć położenie dowolnych obiektów – określić ich wysokość oraz kilometr względem osi toru. Wszystkie wspomniane wcześniej wartości, czyli międzytorze, przemieszczenia, rzędne czy kilometracja, poza przedstawieniem ich w określonych odstępach np. co 100m, mogą być również podane w punktach charakterystycznych takich jak obiekty inżynierskie, czy początki/końce elementów geometrii.

5. Geodezyjna obsługa podbijarki

System GEDO Vorsys służy do wynoszenia projektu w teren. Jest to system dwuwózkowy, pozwalający na znaczne przyspieszenie prac terenowych. Całość systemu współpracuje z tachimetrem Trimble S8. Dane uzyskane z pomiarów można eksportować bezpośrednio do wysokowydajnych podbijarek torowych takich jak np. Plasser & Theurer 09-3X, co ułatwia i znacznie przyspiesza całość procesu podbijania toru. Za pomocą tego systemu, mamy możliwość wykonania pomiarów z wydajnością ok 1-1,5 km/h zapisując namiary w interwale 0.5 m, 1 m, 5 m lub 10 m. System ten umożliwia pracę nocą, co w przypadku podbić na linii CMK było wymogiem. Pomiar wzoruje się na klasycznej metodzie pomiaru stosowanej dotychczas w geodezji kolejowej. Opiera się on o tzw. wirtualną cięciwę dowiązaną do znaków regulacji osi toru. Dzięki wykorzystaniu precyzyjnego tachimetru Trimble S8 mamy możliwość uzyskania wymiarów w planie i profilu w tym samym czasie.

W zależności od tego, dla jakiej maszyny wykonujemy namiary, możemy je tradycyjnie opisywać na szynie bezpośrednio przed podbijarką torową lub też po wykonaniu pomiaru, a programem **GEDO Tamp**, przygotować do eksportu pliki w formacie odpowiednim dla danego typu podbijarki. Dane są rejestrowane w kontrolerze i mogą posłużyć do wykonania dokumentacji wykonanych robót. Pomiar odbywa się w sposób ciągły przyspieszając znacznie proces pracy na torach.

1 6	209296.782	-25	11	15	1432.5	1	20919	+	6214	-1077	0
2 6	209382.618	-45	-109	-107	1432.6	1	20925	+	6461	-648	3
3 3	209300.067	-18	14	13	1437.4	1					
4 3	209309.989	-17	4	-10	1438.1	1					
5 3	209319.945	-16	-33	-35	1432.1	1					
6 3	209330.039	-28	-71	-88	1431.8	1					
7 3	209339.986	-20	-97	-101	1433.3	1					
8 3	209350.079	-14	-91	-92	1432.4	1					
9 3	209359.969	-15	-114	-126	1431.9	1					
10 3	209369.902	-33	-129	-118	1428.3	1					
11 3	209379.948	-96	-111	-110	1433.4	1					
12 6	209454.445	6	-96	-96	1431.9	1	20927	+	6629	-554	48
13 3	209390.054	-28	-105	-108	1433.7	1					
14 3	209400.072	-16	-103	-107	1433.4	1					
15 3	209409.964	-11	-103	-105	1433.0	1					
16 3	209419.990	-7	-101	-104	1433.6	1					
17 3	209430.072	-6	-98	-100	1433.0	1					
18 3	209440.028	-7	-94	-96	1433.4	1					
19 3	209449.934	0	-95	-96	1433.5	1					
20 6	209511.603	51	-95	-96	1433.8	1	20920	+	6686	-489	84
21 3	209459.968	11	-97	-99	1433.3	1					
22 3	209470.030	24	-98	-98	1433.1	1					
23 3	209480.040	35	-100	-103	1433.2	1					

Rys. 7. Plik tekstowy danych z wózka pomiarowego

Index	Station	Name	Change [m]	Ht. ant. [m]	Shift [m]	Cart size [m]	Port type	Deviation reference	Code
1	1811_209_V1.br	20919	209296.782	25	11	-4	Flare	RIGHT	
2	1811_209_V1.br		209300.067	18	14	1	Line	RIGHT	
3	1811_209_V1.br		209309.989	17	4	16	Line	RIGHT	
4	1811_209_V1.br		209319.945	36	33	2	Line	RIGHT	
5	1811_209_V1.br		209330.039	28	71	17	Line	RIGHT	
6	1811_209_V1.br		209339.986	20	97	4	Line	RIGHT	
7	1811_209_V1.br		209350.079	14	91	1	Line	RIGHT	
8	1811_209_V1.br		209359.969	16	118	12	Line	RIGHT	
9	1811_209_V1.br		209369.902	33	125	-11	Line	RIGHT	
10	1811_209_V1.br		209379.948	96	111	1	Line	RIGHT	
11	1811_209_V1.br	20925	209382.618	48	106	-2	Flare	RIGHT	
12	1811_209_V1.br		209390.054	28	105	3	Line	RIGHT	
13	1811_209_V1.br		209400.072	16	103	4	Line	RIGHT	
14	1811_209_V1.br		209409.964	11	103	-2	Line	RIGHT	
15	1811_209_V1.br		209419.990	7	101	3	Line	RIGHT	
16	1811_209_V1.br		209430.072	6	99	2	Line	RIGHT	
17	1811_209_V1.br		209440.028	7	94	-2	Line	RIGHT	
18	1811_209_V1.br		209449.934	0	95	1	Line	RIGHT	
19	1811_209_V1.br	20927	209454.445	6	98	0	Flare	RIGHT	

Rys. 8. Plik tekstowy danych opracowany dla podbijarki Plasser & Theurer 09-3X z oprogramowaniem WINALC

6. Pomiary odbiorcze

Ostatnim ogniwem w procesie regulacji osi toru, są geodezyjne pomiary odbiorcze po wykonanym podbiciu toru, a przed oddaniem toru do eksploatacji. Pomiar ten jest wykonywany również wózkami GEDO CE na bazie Systemu GEDO Vorsys.

Wyniki tego pomiaru mogą być przedstawione w formie tabelarycznej lub w postaci 8 kanałowego wykresu na wzór wydruków z podbijarek takich jak Plasser&Theurer 09-3X.

PRĘDKOŚĆ: 120 KM/H

OGRANICZENIA -6 mm ≤ RÓŻNICA W WYSOKOŚCI POŁOŻENIA TOKÓW ≤ 6 mm

-6 mm ≤ WICHROWATOŚĆ ≤ 6 mm

-5 mm ≤ PION ≤ 5 mm

-5 mm ≤ POZIOM ≤ 5 mm

KILOMETRAŻ	PRZECHYLKA POM. [mm]	PRZECHYLKA PROJ. [mm]	RÓŻNICA W WYSOKOŚCI POŁOŻENIA TOKÓW [mm]	WICHROW ATOŚĆ [mm]	PION SZYNA LEWA [mm]	PION SZYNA PRAWA [mm]	POZIOM SZYNA LEWA [mm]	POZIOM SZYNA PRAWA [mm]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
103+938.00		0.0						
103+940.00	4.0	0.0	4.0					
103+945.00	4.0	0.0	4.0	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0
103+950.00	3.0	0.0	3.0	-1.0	0.0	-0.5	0.8	0.2
103+955.00	3.0	0.0	3.0	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0
103+960.00	2.0	0.0	2.0	-1.0	-1.5	-1.5	-0.3	-1.7
103+965.00	1.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	-0.5	0.0	0.0
103+970.00	1.0	0.0	1.0	0.0	3.0	3.0	0.5	3.5
103+975.00	1.0	0.0	1.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0
103+980.00	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	-0.5	0.0	-3.0
103+985.00	2.0	0.0	2.0	1.0	0.0	0.5	0.5	0.5
103+990.00	2.0	0.0	2.0	0.0	-1.0	0.5	-0.8	-1.2
103+995.00	-1.0	0.0	-1.0	-3.0	0.5	-0.5	0.0	0.0
104+000.00	-2.0	0.0	-2.0	-1.0	1.0	0.5	0.8	4.2
104+005.00	-2.0	0.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
104+010.00	-2.0	0.0	-2.0	0.0	-2.5	-4.0	0.7	-1.7
104+015.00	1.0	0.0	1.0	3.0	-0.5	0.0	0.0	0.0
104+020.00	3.0	0.0	3.0	2.0	2.0	3.0	-0.9	-0.1
104+025.00	3.0	0.0	3.0	0.0	0.0	-0.5	0.0	0.0
104+030.00	4.0	0.0	4.0	1.0	1.5	2.5	-0.5	-0.5

Rys. 9. Tabela wyników z pomiaru odbiorczego

7. Podsumowanie

Zaprezentowano wybrane aspekty projektowania i przedstawienia efektów prac projektowych, a także informacje na temat geodezji w najnowocześniejszej odsłonie. Dzięki elektronicznej wymianie wszystkich danych i zaawansowanym programom do ich gromadzenia i przetwarzania, proces projektowania jest dużo szybszy i dokładniejszy, a prezentowane wyniki są przejrzyste i zrozumiałe. Duża część elementów graficznych projektu generowana jest automatycznie według definiowanych stylów opisów. Dzięki takim ułatwieniom jak np. automatyczne opisywanie rzędnych niwelety toru, poświęca się więcej czasu na samą istotę projektowania. Ważnym elementem jest też szybka reakcja na drodze projektant – budowa, gdzie przy pojawieniu się jakiegś nieścisłości, można szybko ją wyjaśnić i przekazać nowe dane na budowę. Jest to możliwe dzięki współdziałaniu systemów pomiarowych, projektowych i wykonawczych.

Pomimo licznych ułatwień wciąż wiele pracy i uwagi wymaga obróbka graficzna projektu oraz dokumentowanie prac geodezyjnych, szczególnie, że wymagania zamawiającego są różne w zależności od regionu. Wypracowanie jednolitych norm w tym zakresie byłoby istotnym wkładem w usprawnienie procesu inwestycyjnego.

Na zakończenie, warto zaakcentować podstawowe cechy omówionej metody projektowania i realizacji regulacji osi torów:

1. Podstawę prac stanowi precyzyjnie wyznaczona kolejowa osnowa specjalna o współrzędnych w układzie państwowym 2000.
2. Zastosowanie nowego znaku regulacji osi toru w formie trzpienia, pozwala na wymuszone osadzanie przyzmatu dalmierza w pozycji powtarzalnej. Pozwala to na powtórzenie lub uzupełnienie pomiarów w dowolnym momencie, przez dowolną osobę, a także na precyzyjne wyniesienie projektu w teren.
3. Dane wejściowe do projektowania stanowią pomierzone tachymetrycznie punkty na osi toru oraz wybrane punkty infrastruktury towarzyszącej. Mapa, ortofotomapa, zdjęcia, film, są dodatkową pomocą projektanta.
4. Dane te analizowane są w programie CAD w postaci osi i punktów w procesie regresji jedno i wielo- elementowej. Na tym etapie program oferuje wszechstronne informacje na temat projektowanego toru.
5. Wszystkie obliczenia do protokołu regulacji osi toru wykonywane są przez program.
6. Przygotowanie geodezyjne przed podbijaniem polega na ponownym pomiarze osi toru za pomocą wózka pomiarowego z tachimetrem. Tym razem w urządzenie wczytana jest projektowana oś toru. Podczas przejazdu zapisywane jest projektowane nasuwanie toru. Następuje również kontrola danych projektowych. Na tym etapie, w przypadku konieczności kilkukrotnego przejścia podbijarki ze względu na wysokie podnoszenie, obsługa wózka może wyznaczyć niweletę równoległą do projektowanej.
7. Plik opracowany przez program wózka wczytywany jest do podbijarki i na jego podstawie realizowana jest regulacja osi toru.
8. Sprawdzenie robót po przejściu podbijarki jest również realizowane wózkiem pomiarowym analogicznie jak przed podbijaniem.

Praagniemy wyrazić uznanie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. za wprowadzanie nowoczesnych standardów, szczególnie Ig-6 i Ig-7 oraz zwrócić szczególną uwagę na pilną potrzebę dalszej standaryzacji. Dotyczy to między innymi wszystkich spraw poruszanych w instrukcji D-19 oraz opracowania jednolitych wymagań, co do formy i zawartości projektów.

Bibliografia

- [1] „Instrukcja o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” D-19. Załącznik do Zarządzenia Nr 144 Zarządu PKP z dnia 23 października 2000 r.
- [2] „Wytyczne dla osadzania znaków regulacji osi toru na konstrukcjach wsporczych (słupach) sieci trakcyjnej Ig-6”. Załącznik do zarządzenia Nr 24/2011 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 18 lipca 2011 r.

-
- [3] „Standard techniczny określający zasady i dokładności pomiarów geodezyjnych dla zakładania wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru Ig-7”. Załącznik do zarządzenia Nr 27/2012 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 19 listopada 2012 r.
 - [4] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz.Ust. Nr 151 z dnia 15 grudnia 1998 r.
 - [5] Jamka M., Lisowski S., Analiza porównawcza metod regulacji osi toru. XII Konferencja Naukowo-Techniczna Drogi Kolejowe, Wisła 2005 r.
 - [6] Jamka M., Lisowski S., Regulacja osi toru – analiza metod pomiarów do projektu regulacji. VII Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Szynowych, Łeba 2005 r.
 - [7] Jamka M., Lisowski S., Strach M., Zastosowanie nowoczesnych technik pomiaru i oprogramowania do regulacji osi torów. XV Konferencja Drogi Kolejowe, Warszawa 2009. Technika Transportu Szynowego 2009, nr 10.
 - [8] „Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych” – D1. Załącznik do Uchwały nr 155 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 6 czerwca 2002 r.