

OKREŚLANIE PARAMETRÓW MODELOWANIA GEOMETRII KRZYŻOWNIC ROZJAZDÓW ZWYCZAJNYCH DLA POTRZEB BUDOWY I UTRZYMANIA LINII KOLEJOWYCH

Piotr Omieczynski

mgr inż., Politechnika Gdańska, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel.: +48 58 347 1419, e-mail: piotr.omieczynski@pg.edu.pl

Streszczenie. *Zdecydowana większość rozjazdów występująca na liniach kolejowych w Polsce to rozjazdy zwyczajne o typowym zestawie parametrów. Z tego powodu analiza przypadków nietypowych (takich jak rozjazdy o zmiennej krzywiznie toru zwrotnego) może być utrudniona. Wirtualny model geometryczno-konstrukcyjny rozjazdu, generowany w oparciu o metody analityczne, stanowić może narzędzie użyteczne w sferze projektowania, konstrukcji oraz diagnostyki rozjazdu wbudowanego w tor. W artykule zaprezentowano główne założenia dotyczące modelowania rozjazdów, ustalono zakres niezbędnych danych wejściowych. Przedstawiono przykłady parametryzacji elementu krzyżownicy w kontekście geometrycznym oraz konstrukcyjnym (projektowanie krzyżownicy zwyczajnej rozjazdu oraz problem doboru wariantu przytwierdzenia w rejonie montażu krzyżownicy). W podsumowaniu przedstawiono możliwości i kierunki dalszej rozbudowy modelu.*

Słowa kluczowe: *rozjazdy kolejowe, metody numeryczne, krzyżownica*

1. Wprowadzenie

Rozjazdy kolejowe stanowią istotny element infrastruktury kolejowej, dzięki któremu możliwe jest odgałęzianie linii kolejowych czy budowa stacji. Istnieje wiele typów konstrukcji, począwszy od rozjazdów zwyczajnych, podwójnych (jednostronnych i dwustronnych), a skończywszy na rozjazdach krzyżowych. W większości przypadków są to konstrukcje, których geometria została ustalona już kilkadziesiąt lat temu. Stosowane w Polsce rozjazdy w większości charakteryzują się przebiegiem osi toru zwrotnego w kształcie łuku kołowego. Opis tych konstrukcji oraz sposób kształtowania ich w układzie torowym opisują monografie [9,13]. W krajach takich jak Niemcy, Hiszpania, Japonia czy ostatnio Czechy [10,12] stosuje się rozjazdy o bardziej skomplikowanym przebiegu osi toru, związanej z liniowym lub nieliniowym przebiegiem krzywizny. Nietypowy kształt osi toru zwrotnego posiadają również niektóre rozjazdy użytkowane na liniach kolejowych w Wielkiej Brytanii, przystosowanych do ruchu z prędkością do 200 km/h [16]. Mając powyższe na uwadze, należy zastanowić się, czy istnieje potrzeba i możliwość wykorzystania tego typu konstrukcji w Polsce. W perspektywie czasowej ich eksploatacja może wiązać się

z planami realizacji koncepcji rozbudowy polskiej sieci kolejowej, z których wyłoniły się dwie główne propozycje: «Linia Y» w relacji Warszawa – Łódź – Poznań/Wrocław, a także tzw. szprychy, czyli linie łączące duży obszar kraju z planowanym centralnym portem lotniczym „Solidarność”.

2. Możliwości rozjazdów użytkowanych na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Prędkość maksymalna poruszania się pociągów w Polsce wynosi 160 km/h na odcinkach linii magistralnych i pierwszorzędnych. Wyjątek stanowi Centralna Magistrala Kolejowa (CMK) na odcinkach Grodzisk Mazowiecki – Biała Rawska – Idzikowice oraz Włoszczowa – Góra Włodowska, gdzie maksymalna prędkość wynosi 200 km/h [17]. Oznacza to, że połączenia torów na tego typu liniach wymagają konstrukcji, dla której przejazd po torze zwrotnym będzie mógł odbywać się z prędkością wynoszącą 0,8 prędkości maksymalnej określonej dla torów zasadniczych, dla przypadku przejścia linii jednotorowej w dwutorową, lub prędkością zbliżoną dla połączeń węzłowych. Tym samym dla przypadku prędkości $V_{\max} = 160$ km/h prędkość na torze zwrotnym powinna wynosić 130 km/h, zatem warunki te spełnia tylko rozjazd o największym stosowanym w Polsce promieniu, to jest 2500 metrów. Dlatego też w Standardach Technicznych [15] wskazana jest możliwość zastosowania rozjazdów o zmiennej krzywiznie toru zwrotnego, dla połączeń węzłowych w typach linii P250, P200 oraz M200 (dla P250 także banalizacyjne).

Rozjazdy stosowane na sieci zarządzanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. zostały sklasyfikowane według typów oraz podstawowych parametrów geometrycznych i konstrukcyjnych, takich jak m.in. promień osi toru zwrotnego, skos rozjazdu, konstrukcje iglic, krzyżownic czy podrozjazdnic. Instrukcja Id-4 [2] zawiera odpowiednie arkusze kontrolne geometrii, lecz opracowane są one tylko dla określonych typów rozjazdów. Powyższe oznacza, że wprowadzenie rozjazdów o zmiennej krzywiznie wymagać będzie uzupełnienia polskich przepisów dotyczących rozjazdów, a także aktualizacji procedur dotyczących diagnostyki i utrzymania. Planowana budowa sieci kolei dużych prędkości oraz kwestia modernizacji krajowych linii magistralnych sprawiają, że należy szukać sposobu projektowania nietypowych rozwiązań geometrycznych rozjazdów kolejowych. Jedną z możliwości rozwiązania tego problemu może być zbudowanie modelu numerycznego rozjazdu, który na podstawie zadanych danych będzie w sposób zautomatyzowany generował jego konstrukcję i dostarczył niezbędnych informacji.

3. Modelowanie rozjazdów zwyczajnych do celów projektowych

Trójwymiarowy model rozjazdu, który ma spełnić założone cele, musi odznaczać się odpowiednim stopniem złożoności i szczegółowości. Wymaga to utwo-

rzenia odpowiedniego skryptu (sposobu postępowania), umożliwiającego automatyczne utworzenie konstrukcji rozjazdu. Model taki powinien stanowić odwzorowanie w przestrzeni 3D kluczowych elementów rozjazdu, to jest profili szynowych oraz dostarczać informacji dotyczących ułożenia i kształtu podrozjazdnic oraz przytwierdzeń. Wyróżnić można kilka etapów konstrukcji modelu:

- utworzenie osi toru zwrotnego (generacja współrzędnych punktów na osi),
- generacja punktów wyznaczających oś toków szynowych,
- nałożenie na osie przekrojów szynowych wraz z uwzględnieniem obróbki profili,
- rozwiązanie szczególnych zagadnień konstrukcyjnych (krzyżownica, kierownica, przytwierdzenia).

Rozjazd zwyczajny (z jednym torem zwrotnym) można opisać za pomocą zwanego systemu cech, które definiują jego układ geometryczny oraz pozwalają na zwymiarowanie konstrukcji elementów rozjazdu. Na rys. 1 przedstawiono podział cech na grupy. Dysponując tymi informacjami stworzono model konstrukcyjny rozjazdu, którego geometria toru zwrotnego została podzielona na skończoną liczbę odcinków zależnych od charakteru krzywizny (stała, liniowa oraz nieliniowa, przy której konieczne jest podanie współczynnika „C” [5]). Do wykonania obliczeń konieczna jest znajomość długości poszczególnych odcinków oraz wartości krzywizn na ich końcach. Dla szczególnego przypadku rozjazdu o stałym promieniu, jako daną wejściową można zaproponować także skos rozjazdu. Należy również uwzględnić odległość między stykiem przediglicowym a rzeczywistym początkiem iglicy (tab. 1). Położenie toków szynowych zewnętrznego i wewnętrznego określone jest w odniesieniu do osi toru. Przykładowo tok zewnętrzny opisywany jest jako fragment okręgu współśrodkowego o promieniu odpowiednio zwiększonym o połowę odległości między osiami szyn. Położenie toru dla przypadku zmiennej krzywizny można ustalić na podstawie równań i zależności zawartych w pracach [3-8]. Wykorzystanie tych zależności i założeń opracowanej metody pozwoli z dowolną dokładnością wygenerować punkty na osi toków szynowych.

Tabela 1. Parametry geometrii osi toru

<i>Parametr</i>	<i>Wartość lub zakres</i>	<i>Jednostka</i>
Liczba odcinków o określonej charakterystyce krzywizny	n_z - liczba odcinków w torze zwrotnym	-
Funkcja opisująca krzywiznę	stała, liniowa, nieliniowa	-
Długość odcinków o określonej charakterystyce krzywizny	l_1, l_2, \dots, l_n	m
Wartości brzegowe poszczególnych krzywych	$k_{a(1,2,\dots,n)}$, $k_{b(1,2,\dots,n)}$ - wartość krzywizny na początku i końcu każdego odcinka	1/m
Długość odcinka od styku przediglicowego do początku iglicy	e	m



Rys. 1. Grupy parametrów modelu konstrukcyjnego rozjazdu

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym etapem po ustaleniu geometrii osi toru jest ustalenie przebiegu osi toków szynowych. Dla prostego odcinka toru osie te są do siebie równoległe i przebiegają w odległości około 75 cm od osi toru. Dla kolei normalnotorowych, dokładna jej wartość zależy od typu oraz nachylenia poprzecznego szyny. Dla najczęściej używanych typów szyn wynoszą one:

- szyna 60E1, bez pochylenia 1507 mm,
- szyna 60E1, pochylenie 1:40 1515 mm,
- szyna 49E1, bez pochylenia 1502 mm,
- szyna 49E1, pochylenie 1:20 1515 mm.

Podane wartości odnoszą się do sytuacji, gdy oś podłużną szyny przyjmujemy symetrycznie na dolnej powierzchni stopki, co uczyniono w ramach prezentowanego modelu.

W dalszej części na ustalonej geometrii generowana jest konstrukcja rozjazdu w postaci chmury punktów. Oprócz standardowych szyn występują jeszcze dodatkowe profile, których kształt przekroju poprzecznego zmienia się na długości (np. iglica w bloku zwrotnicy). W ramach tak opisanych założeń modelu można wyróżnić kilka istotnych zagadnień związanych z konstrukcją rozjazdu, których rozwiązanie jest niezbędne do właściwego działania programu i gwarancji poprawności uzyskiwanych wyników.

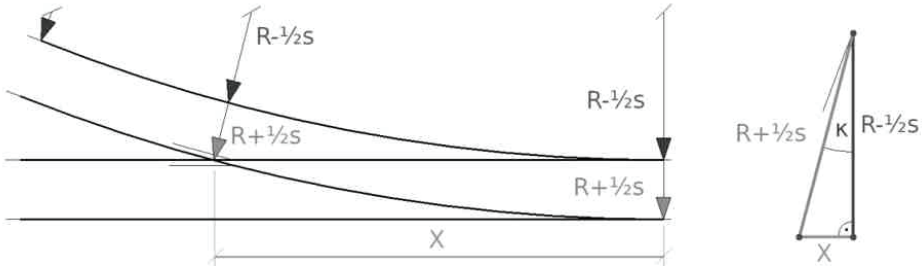
4. Określenie lokalizacji osi toków w rejonie krzyżownicy

W celu zaprezentowania możliwości tworzonego modelu posłużono się przykładem obliczeniowym jednego z elementów konstrukcyjnych rozjazdu, to jest krzyżownicy (rys. 2). Na początku fazy obliczeniowej wyznaczane jest położenie punktu przecięcia osi toku zasadniczego z osią toku zwrotnego. W standardowych konstrukcjach rozjazdów (o stałym promieniu) jego położenie można określić od-

powiednią zależnością (w odległości 'X' od początku iglicy), a także kąt między tokami, które wynoszą:

$$X = \sqrt{\left(R + \frac{s}{2}\right)^2 - \left(R - \frac{s}{2}\right)^2}, \quad \kappa = \arccos\left(\frac{R - \frac{s}{2}}{R + \frac{s}{2}}\right) \quad (1)$$

gdzie: R – promień rozjazdu w osi toru w m, s – odległość między osiami przeciwnych szyn w m.



Rys. 2. Uproszczony schemat konstrukcyjny rozjazdu

Zródło: opracowanie własne

Należy jednocześnie zwrócić uwagę na fakt, iż kąt dziobu krzyżownicy mierzony jest po wewnętrznej stronie powierzchni toczonej główki szyny, wobec czego przyjmie on nieco mniejszą wartość. Uwzględnienie tego faktu spowoduje rozbudowanie zależności (1) do postaci:

$$X = \sqrt{\left(R + \frac{s}{2} - \frac{z}{2}\right)^2 - \left(R - \frac{s}{2} + \frac{z}{2}\right)^2}, \quad \theta = \arccos\left(\frac{R - \frac{s}{2} + \frac{z}{2}}{R + \frac{s}{2} - \frac{z}{2}}\right) \quad (2)$$

gdzie: z – szerokość główki szyny mierzona 14 mm poniżej powierzchni toczonej, w m

Wartości te dla rozjazdów eksploatowanych w Polsce podano w tab. 2. Różnice w wartościach 'X' oraz 'X' wynoszą maksymalnie 2,3%.

Tabela 2. Przecięcie osi toków w krzyżownicy

Promień toru zwrotnego [m]	Kąt κ [°]	Kąt θ [°]	Różnica [°]	X [m]	X' [m]	Różnica [m]
300	5,738131	5,609332	0,128798	30,070	29,394	0,676
500	4,446223	4,346358	0,099864	38,820	37,947	0,873
760	3,606982	3,525941	0,081042	47,861	46,785	1,076
1200	2,870865	2,806347	0,064518	60,140	58,788	1,352
2500	1,989210	1,944497	0,044713	86,804	84,853	1,952

Przykładowe typy krzyżownic zawarto w załączniku do instrukcji [2]. Podane są w nim jednak tylko podstawowe wymiary, takie jak szerokości żłobków w określonych miejscach:

- w gardzieli (nie we wszystkich typach),

- w początkowej strefie dzioba krzyżownicy,
- na odcinku równoległych krawędzi szyn dzioba i szyn skrzydłowych,
- w miejscu zakończenia przebiegu szyn skrzydłowych.

W ramach generacji kształtu tego elementu należy uwzględnić kilka własności konstrukcyjnych, obejmujących zmienną szerokość żłobka w krzyżownicy, obniżenie ostrza dzioba, skrawanie stopek szyn skrzydłowych od strony dzioba krzyżownicy (dla krzyżownic szynowych). W celu wprowadzenia zestawu kołowego w obręb krzyżownicy stosuje się odpowiednie poszerzenia, najczęściej poprzez odpowiednie odgięcie szyny skrzydłowej o określony kąt ψ , który musi spełniać następujące warunki:

- $\psi \geq 0$: kąt nie może być ujemny, gdyż celem jest poszerzenie żłobka,
- $\Theta/2 > \psi$: kąt nie może być większy niż połowa kąta krzyżowania, gdyż gardziel, jako najmniejsza odległość między szynami skrzydłowymi musi znajdować się przed dziobem krzyżownicy (względem początku rozjazdu).

Omawianą sytuację przedstawiają rysunki 3 oraz 4. Zakładając jako dane wejściowe wielkości takie jak kąt krzyżowania, wartości szerokości żłobków oraz odległości między gardzielą a dziobem krzyżownicy można wyznaczyć wielkości pomocnicze 'φ', 'a', 'b', 'd':

$$\varphi = \frac{\Theta}{2}, \quad b = l' - tg(\varphi) \cdot i', \quad a = b \cdot \sin(\varphi) + \frac{i'}{\cos(\varphi)}, \quad d = b \cdot \cos(\varphi) \quad (3)$$

Na ich podstawie można ustalić wartość kąta ψ , który wynosi:

$$tg(\varphi - \psi) = \frac{a-g}{l+d} \Rightarrow \psi = \varphi - \arctg\left(\frac{a-g}{l+d}\right) \quad (4)$$

gdzie: Θ – kąt krzyżowania toków w stopniach,
 φ – połowa kąta krzyżowania w stopniach,
 i' – szerokość żłobka krzyżownicy w m ,
 i – szerokość żłobka krzyżownicy w rejonie początku dzioba krzyżownicy w m ,
 l' – odległość od początku dzioba do miejsca o stałej szerokości żłobka w m ,
 l – odległość od początku dzioba do gardzieli w m .

Odległość 'c' można potraktować jako dystans dzielący teoretyczny początek dzioba krzyżownicy i gardziel, mierzony wzdłuż przedłużenia bocznej wewnętrznej krawędzi szyny odpowiedniego toku szynowego.

Ustalenie kąta ψ przy założeniu prostoliniowego przebiegu osi odchylonej części szyny skrzydłowej może odbyć się na podstawie szerokości żłobków w początku dzioba krzyżownicy i na stałym odcinku, co ilustruje zależność:

$$\psi = \frac{i-i'}{l'} \quad (5)$$

gdzie: i – szerokość żłobka krzyżownicy w m , i' , l' – jak w (3).

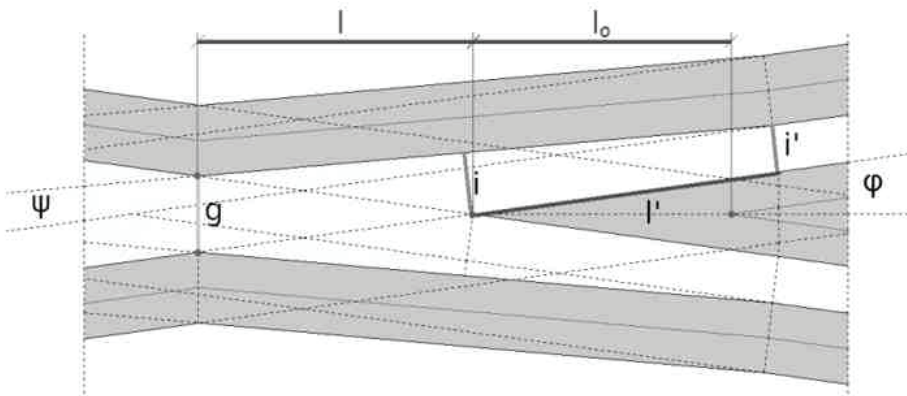
Z analizy przedstawionej sytuacji wynika, że wymiary gardzieli (odległość gardziel – początek dzioba, szerokość) zależą od przyjętych na etapie projektowania szerokości żłobków, ich wzajemnej odległości oraz kąta krzyżowania, co można zapisać jako (6):

$$g = f(l', i, i', \theta), \quad l = f(l', i, i', \theta) \quad (6)$$

W przypadku dokonywania pomiaru odległości od przecięcia osi toków szynowych, do ' l ' należy dodać wartość ' l_0 ', przedstawioną na rys. 4. Wymiar ten opisano zależnością (7):

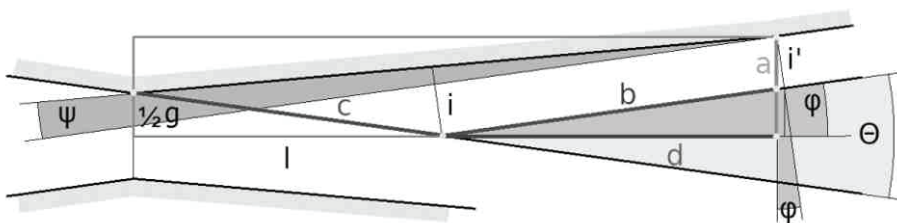
$$l_0 = \frac{z}{2 \cdot \sin(\varphi)} \quad (7)$$

gdzie: z , φ - jak w (2) i (3).



Rys. 3. Rozwiązanie konstrukcyjne krzyżownicy zwyczajnej pojedynczej. Zbliżenie na rejon dzioba krzyżownicy - skala skazona 7

Zródło: opracowanie własne



Rys. 4. Geometryczne wyjaśnienie zależności (3) i (4) - rysunek schematyczny

Zródło: opracowanie własne

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że w przeprowadzanej analizie geometrycznej uwzględniany jest punkt teoretyczny początku dzioba krzyżownicy, powstały przez przecięcie powierzchni bocznych. Ze względu na właściwości mechaniczne dzioba fizyczny początek znajduje się nieco w głąb dzioba (im mniejszy kąt krzyżowania, tym większa odległość). W celu uszczegółowienia obliczeń po przekształceniu wymienionych zależności i uwzględnieniu znajomości wartości kąta ' ψ ' można wyznaczyć długość przeciwprostokątnej ' c ', która wynosi (8):

$$c = \frac{a \cdot b \cdot \cos(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \psi)}{\cos(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \psi) + \sin(\varphi)} \quad (8)$$

gdzie:

ψ – kąt poszerzenia żłobka (ułożenia części szyn skrzydłowych) w stopniach, a, b, φ – jak w (3).

Wartość uzyskanej szerokości gardzieli oraz odległość między gardzielią a teoretycznym początkiem dziobu krzyżownicy można opisać zależnościami (9) i (10):

$$g = 2 \cdot c \cdot \sin(\varphi) \Rightarrow g = 2 \cdot \frac{(l' - \operatorname{tg}(\varphi) \cdot i') \cdot (\sin(\varphi) - \cos(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \psi)) + \frac{i'}{\cos(\varphi)}}{\frac{\operatorname{tg}(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}(\varphi)} + 1} \quad (9)$$

$$l = c \cdot \cos(\varphi) \Rightarrow l = \frac{(l' - \operatorname{tg}(\varphi) \cdot i') \cdot (\sin(\varphi) - \cos(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \psi)) + \frac{i'}{\cos(\varphi)}}{\operatorname{tg}(\varphi - \psi) + \operatorname{tg}(\varphi)} \quad (10)$$

gdzie: ψ , i' , l' , φ – jak w (3) i (4)

Wyznacza ona jednocześnie miejsce odgięcia toków przechodzących w szyny skrzydłowe, jak również obróbki wewnętrznej powierzchni bocznej główki szyny. Można w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, iż przyjęcie kąta ' $\psi = 0$ ' spowoduje uproszczenie równań (9) i (10) do postaci (11):

$$l = \frac{i'}{2 \cdot \sin(\varphi)}, \quad g = \frac{i'}{\cos(\varphi)} \quad (11)$$

gdzie: ' i' ', φ – jak w (3) i (4).

Ze względu na minimalną wartość żłobka gardzieli (podyktowaną odpowiednią współpracą elementu z zestawem kołowym pojazdu), odpowiednim przekształceniu wzoru na ' g ' można uzyskać minimalną wartość kąta ' ψ' ', dla którego warunek szerokości gardzieli jest spełniony. Wartość ' g ' w rzeczywistej konstrukcji będzie się jednak nieznacznie różniła, ze względu m.in. na miejscowe wygięcie szyny w krzyżownicach kuto-zgrzewanych, posiadające określony promień (jego kształt zależy od zastosowanej technologii produkcji).

W istniejących konstrukcjach kąt ' ψ ' oscyluje w granicach od 0,5 do około 2,5 w zależności od geometrii konstrukcji (typu rozjazdu). Wartości te można ustalić posługując się danymi zawartymi w instrukcji Id-4 [2]. Należy jednak zaznaczyć, że nie są to dane projektowe. Stanowią one pochodną całego procesu wdrożenia rozwiązań konstrukcyjnych, w którym po zaprojektowaniu i wykonaniu elementu określa się jego wymiary kontrolne z odpowiednią tolerancją. Posłużenie się tą tabelą ma zatem charakter opisowy, jednak jest korzystne ze względu na ukazanie podstawowych założeń konstrukcyjnych. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne (wraz z określeniem odległości ' l' ') przedstawiono w tab. 3, przy zachowanych oznaczeniach jak z rys. 3. Należy zauważyć, iż w dwóch przedstawionych przypadkach (zaznaczonych na szaro) kąt ' ψ' ' jest większy od ' φ ', co może sugerować, że

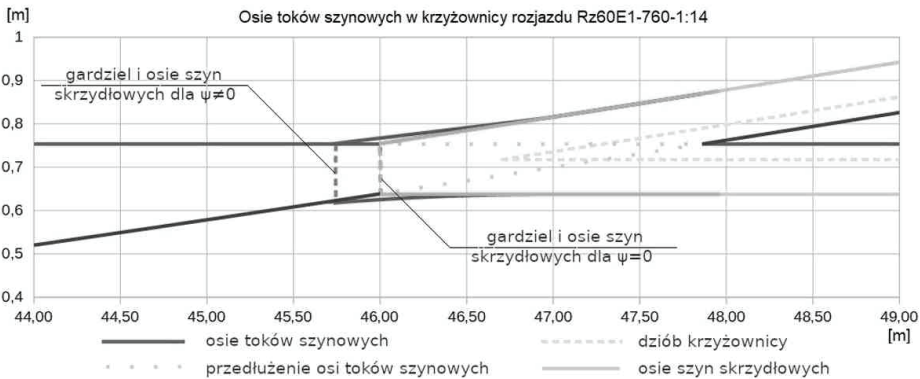
powierzchnia boczna dziuba krzyżownicy nie jest ułożona równolegle do przedłużenia osi toków lub też osie szyn skrzydłowe nie stanowią odcinka prostego między gardzielą a miejscem początku poszerzenia żłobka.

Tabela 3. Wybrane rozwiązania konstrukcyjne krzyżownic

Promień toru zwrotnego [m]	Typ	i [mm]	i' [mm]	l' [mm]	$K_{qt} \Theta$ [°]	l [mm] dla $\psi=0$	g [mm] dla $\psi=0$	$K_{qt} \psi$ [°]	Warunek $\frac{1}{2}\Theta > \psi$	l [mm] dla $\psi \neq 0$	g [mm] dla $\psi \neq 0$
300	Kz	46,5	44	150	5,609332	449,6	44,05	0,954841	TAK	572,3	56,1
	Kz	48,5	44	100				2,576572	TAK	914,7	89,6
	Ma	47,5	44	150				1,336659	TAK	636,6	62,4
500	Ma	46,5	44	202	4,346358	580,2	44,03	0,709070	TAK	732,4	55,6
	Sz	46,5	44	150				0,954841	TAK	785,3	59,6
760	Kz	47,6	44	100	3,525941	715,1	44,02	2,061758	NIE	1860,8	114,5
	Ma	46,5	43	273		698,9	43,02	0,734521	TAK	954,3	58,7
1200	Kz	47,2	44	100	2,806347	898,4	44,01	1,832840	NIE	2775,8	136,0
	Ma	46	43	347		878,0	43,01	0,495340	TAK	1140,4	55,9

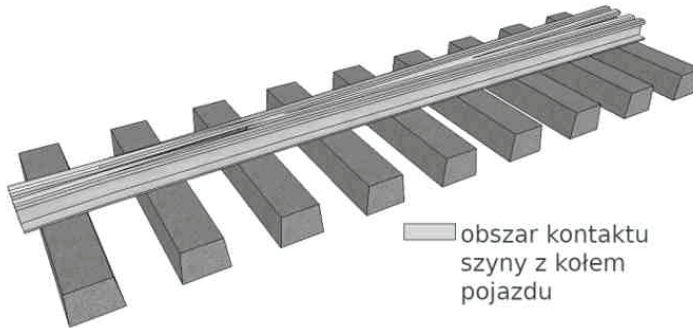
Typ krzyżownicy: Kz - kuto-zgrzewana, Ma - z dziobem manganowym, Sz - szynowa

W następnym etapie wykonano obliczenia geometrii krzyżownicy dla rozjazdu typu Rz60E1-760-1:14 (w wariacie bez pochylenia poprzecznego szyny), których interpretację graficzną przedstawiono na rys. 5, natomiast przykładową wizualizację na rys. 6. Przebieg osi wygenerowany został na podstawie szerokości żłobków określonych w dwóch punktach w rejonie dziuba krzyżownicy, długości odcinka między „ i' ” oraz „ i ”, a także (wynikających z zależności) szerokości gardzieli oraz jej odległości od teoretycznego dziuba krzyżownicy „ l' ”. Zastosowanie w obszarze krzyżownicy wyłukowania osi toku zewnętrznego w torze zwrotnym powoduje powstanie niewielkiej rozbieżności (przesunięcie wyznaczonej odległości w kierunku dziuba krzyżownicy). Dodatkowo wartość odległości od żłobka do osi szyny skrzydłowej może ulec zmianie ze względu na wykonanie pionowego ścięcia wewnętrznej powierzchni bocznej szyny skrzydłowej.



Rys. 5. Przebieg osi toków szynowych w rejonie krzyżownicy

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Uproszczony model krzyżownicy (wizualizacja 3D) na podstawie danych
Zródło: opracowanie własne

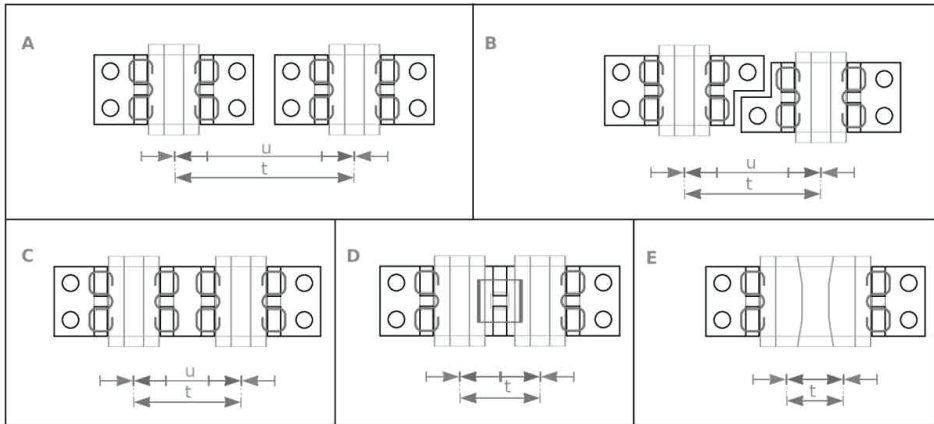
W przypadku projektowania geometrii rozjazdu o zmiennej krzywiznie, zaistnieje konieczność zaprojektowania nowego typu krzyżownicy pod daną geometrię osi toru, w szczególności krzyżownicy z ruchomym dziobem. Jak pokazuje przykład zawarty w [16], jedną z możliwości rozwiązania tego zagadnienia jest dobór krzyżownicy z gotowego zestawu. Na podstawie danych o geometrii krzyżownicy można podać próbę dopasowania lokalnego przebiegu krzywizny i kąta krzyżowania w miejscu przecięcia osi toków. Dla prezentowanego sposobu generacji punktów wymaga to jednak podejścia iteracyjnego.

5. Lokalizacja wariantów przytwierdzeń w rejonie krzyżownicy

Ustalenie odległości między osiami toków szynowych ma również wpływ na sposób przytwierdzania w rejonie krzyżownicy. Celem wyznaczenia wariantu przytwierdzenia można posłużyć się numerycznym procesem wyznaczenia odległości między tokami szynowymi. Wyróżnić można pięć rozwiązań konstrukcji przytwierdzeń. Warianty, oznaczone literami od A do E, przedstawiono na rys. 7. Dodatkowo zaznaczone zostały dwie wartości, gdzie ' t ' oznacza odległość między osiami szyn (mierzona równoległe do osi podrozjazdnic), natomiast ' u ' to odległość między krawędziami stopki szyny. Ich poznanie jest niezbędne do ustalenia możliwego do zastosowania wariantu. Dodatkowo zaznaczono miejsce pomiaru odległości między osiami toków szynowych. Natomiast na kolejnym rysunku (rys. 8) pokazano szczegół przytwierdzenia w rejonie krzyżownicy w widoku od czoła, w przekroju szyny. Na tym rzucie oznaczono odległość między środkami żeberek (wariant D zawiera tylko jedno żeberko środkowe). Aby dokonać jednoznacznego przyporządkowania wariantów konstrukcyjnych do podrozjazdnic, należy uzależnić ich stosowanie od wymiarów podkładek żeberkowych. Odległości od środka podkładki do miejsc charakterystycznych (narożników), przedstawionych na rys. 9, zależne są od zastosowanego przytwierdzenia. Można je oznaczyć jako:

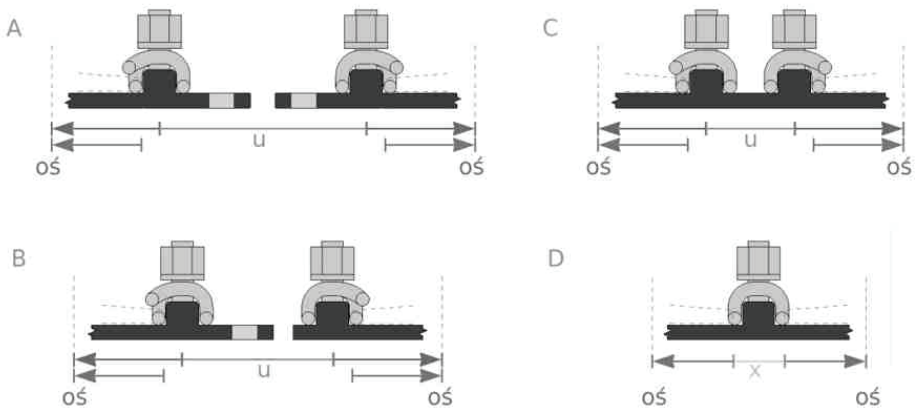
- a - odległość między osią a środkiem żeberka,

- b - odległość między osią a początkiem strefy mocowania wkrętami,
- c - odległość między osią a krawędzią podkładki żebrowej.



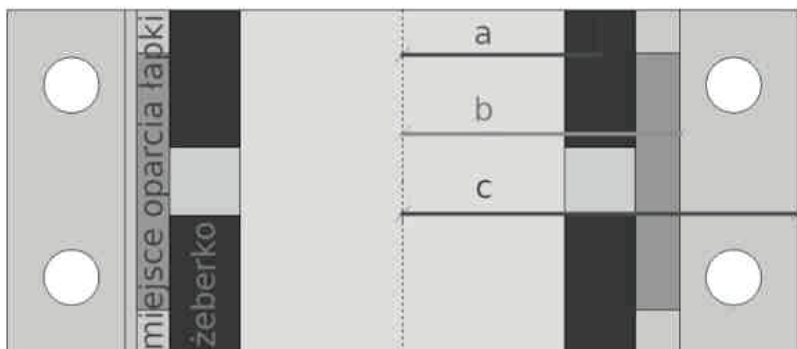
Rys. 7. Sposoby przytwierdzenia toków szynowych w rejonie krzyżownicy

Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Szczegół przytwierdzenia w rejonie krzyżownicy

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Wymiary szczególne podkładki żebrowej

Źródło: opracowanie własne

Dla przykładowego przytwierdzenia na podkładce żebrowej z łapką typu Skl-12 (przedstawione schematycznie na rysunkach od 7 do 9) wartości te zostały przedstawione w tab. 4. Przytwierdzenie to jest często stosowane w konstrukcji rozjazdów użytkowanych w Polsce. W zdecydowanej większości rozwiązań obecne będą wszystkie warianty przytwierdzeń w odpowiedniej kolejności. Wyjątek stanowią konstrukcje takie jak np. Rz-150-1:7 czy Rz-150-1:5, gdzie następuje pominięcie jednego z wariantów przytwierdzeń. Rozjazdy te mimo dostępności w sprzedaży [11] są jednak w ramach prac modernizacyjnych zamieniane na konstrukcje o większym promieniu łuku.

Tabela 4. Warianty przytwierdzeń w zależności od odległości

Mierzona względem osi podkładu	odległość a		odległość b		odległość c	
<i>toki równoległe</i>	92 mm		130 mm		185 mm	
<i>kąt jak dla skosu 1:9</i>	100 mm		138 mm		192 mm	
Zastosowany wariant przytwierdzenia	Ułożenie toków szynowych – odległość między osiami					
	toki równoległe			kąt jak dla skosu 1:9		
	od		do	od		do
A	370 mm			377 mm		
B	315 mm		370 mm	322 mm		377 mm
C	260 mm		315 mm	268 mm		322 mm
D	184 mm		260 mm	192 mm		268 mm
E			184 mm			192 mm

Sposób wyznaczenia odległości t' przedstawia rys. 10, na którym uwzględniono wzajemne położenie dwóch podkładek, pod odpowiednim kątem. Po prawej stronie rysunku zaprezentowano sposób wyznaczenia punktów skrajnych. Punkt skrajny podkładki żebrowej przytwierdzenia typu Skl oznaczono jako y', x' , gdzie współrzędna y' mierzona jest po osi podrozjazdnicy, natomiast x' prostopadłe do niej (zachowany układ współrzędnych z rys. 5). Obrót podkładki powoduje wysunięcie punktu skrajnego, które trzeba uwzględnić przy określaniu ilości dostępnego miejsca na jej montaż. Wartości współrzędnych (mierzonych od punktu centralnego podkładki) można uzyskać na podstawie zależności (12):

$$y' = y \cdot \cos(\varepsilon) + x \cdot \sin(\varepsilon), \quad x' = x \cdot \cos(\varepsilon) - y \cdot \sin(\varepsilon) \quad (12)$$

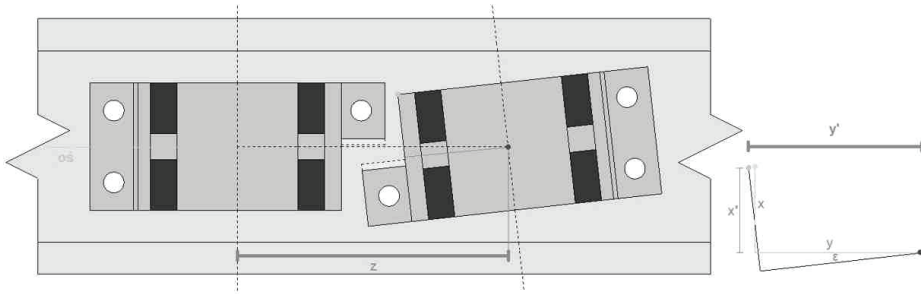
gdzie:

x, y – współrzędne punktów w podkładce ustawionej równoległe do podrozjazdnicy w m,

y' – współrzędna y po obrocie w m,

x' – współrzędna x po obrocie w m,

ε – kąt obrotu w stopniach.



Rys. 10. Typowy przykład konstrukcyjny zastosowania wariantu B

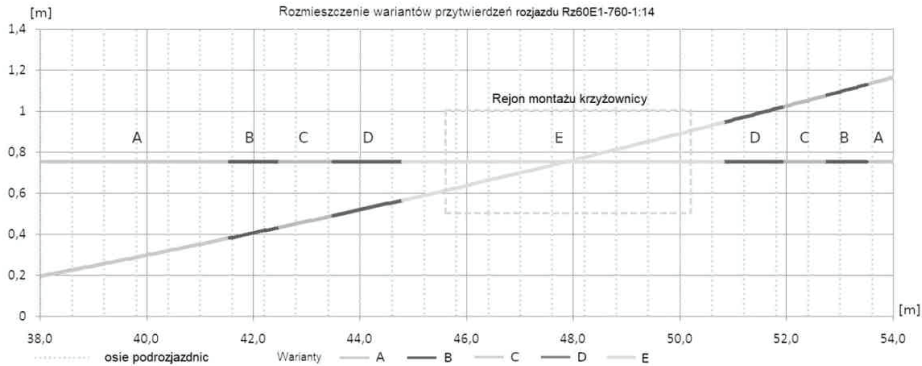
Źródło: opracowanie własne

Aby dokonać przyporządkowania miejsc na tokach szynowych do osi określonych podrozjazdnic konieczne jest przeprowadzenie procesu geometrycznej interpolacji, w trakcie której utworzone zostają (z odpowiednią gęstością) linie prostopadłe do osi toku zasadniczego z odpowiadającymi im punktami na osi toku zwrotnego. Część z tych linii stanowić będzie następnie osie wyznaczające środek fizycznie istniejących obiektów - podrozjazdnic.

Rozwiązanie wymienionych zagadnień pozwala na wykonanie przykładowych obliczeń do celów ustalenia konfiguracji przytwierdzeń w okolicy krzyżownicy dla rozjazdu zwyczajnego o promieniu osi toru 760 metrów i skosie 1:14, których wyniki zestawiono w tab. 5. Wynika z nich konieczność zastosowania każdego z wariantów przytwierdzeń, co przedstawia odpowiednia kolumna. Zasięg elementu krzyżownicy można określić na podstawie wspomnianej w poprzednim rozdziale zależności na wielkość l' oraz l'_0 , a także zdefiniowanej długości szyn skrzydłowych. Poza obrębem krzyżownicy obydwie toki można traktować jako niezależne od siebie. Wygenerowanie takiej tabeli dla konkretnego rozjazdu umożliwi pozyskanie danych dotyczących określania wariantu przytwierdzenia w rejonie krzyżownicy. W przypadku przytwierdzenia w wariantcie C uzyskuje się informacje o odległości i kącie między żeberkami wewnętrznymi sąsiadujących toków, zaś w wariantcie D jest to odległość i kąt między żeberkami zewnętrznymi oraz umiejscowienie żeberka środkowego (symetrycznie). Dla wariantu C, D, oraz E można uzyskać informacje dotyczące długości podkładki. Wyniki z tabeli zobrazowano na wykresie (rys. 11), na którym oznaczono poszczególne strefy zastosowania przytwierdzeń. Liniami przerywanymi zaznaczono osie podrozjazdnic.

Tabela 5. Oś toku zewnętrznego w torze zwrotnym rozjazdu Rz60E1-760-1:14

Nr podrozdniczy	Długość po styczney [m]	Rzędna osi toku zwrotnego [m]	Rzędna osi toku zasadniczego [m]	Kąt ułożenia szyny [°]	Odległość osiowa [m] 3*	Wariant przytw.	Ilość	Uwagi
67	38,000	0,196	0,754	2,863143	0,557	A		
68	38,600	0,226	0,754	2,908389	0,527	A		
69	39,200	0,257	0,754	2,953637	0,496	A		
70	39,800	0,288	0,754	2,998887	0,465	A		
71	40,400	0,320	0,754	3,044138	0,434	A		
72	41,000	0,352	0,754	3,089392	0,401	A		
73	41,600	0,385	0,754	3,134647	0,369	B	2	
74	42,200	0,418	0,754	3,179905	0,336	B		
75	42,800	0,451	0,754	3,225164	0,302	C	2	
76	43,400	0,485	0,754	3,270425	0,268	C		I*
77	44,000	0,520	0,754	3,315689	0,234	D	2	
78	44,600	0,555	0,754	3,360954	0,199	D		
79	45,200	0,590	0,754	3,406222	0,163	E		
80	45,800	0,626	0,754	3,451492	0,127	E		
81	46,400	0,663	0,754	3,496764	0,091	E		
82	47,000	0,700	0,754	3,542038	0,054	E		
83	47,600	0,737	0,754	3,587314	0,016	E	10	I,2*
84	48,200	0,775	0,754	3,632593	(-) 0,021	E		
85	48,800	0,813	0,754	3,677873	(-) 0,060	E		
86	49,400	0,852	0,754	3,723157	(-) 0,099	E		
87	50,000	0,891	0,754	3,768442	(-) 0,138	E		
88	50,600	0,931	0,754	3,813730	(-) 0,178	E		
89	51,200	0,971	0,754	3,859020	(-) 0,218	D	2	I*
90	51,800	1,012	0,754	3,904313	(-) 0,259	D		
91	52,400	1,053	0,754	3,949608	(-) 0,300	C	1	
92	53,000	1,095	0,754	3,994905	(-) 0,341	B	1	
93	53,600	1,137	0,754	4,040205	(-) 0,384	A		
94	54,200	1,180	0,754	4,085508	(-) 0,426	A		
Uwaga 1. Przytwierdzenia (podkładki) projektowane indywidualnie (według odległości między osiami szyn i kąta ułożenia szyn)								
Uwaga 2. Strefa krzyżownicy. Należy uwzględnić szerokość elementu razem z szynami skrzydłowymi								
Uwaga 3. Między podrozdnicą 83 a 84 następuje przecięcie osi toków wewnętrznego toru zasadniczego i zewnętrznego toru zwrotnego								



Rys. 11. Graficzne przedstawienie zakresów przytwierdzeń z tabeli 6

Zródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Efektem zastosowania przedstawionych w artykule sposobów określania parametrów modelowania jest wstępne wymodelowanie rejonu krzyżowania się toków szynowych. Wyprowadzone z zależności geometrycznych dane pozwalają na kontynuację procesu projektowania krzyżownicy, w zależności od docelowo zastosowanego rozwiązania konstrukcyjnego. Wyszczególnienie w artykule dwóch elementów, to jest lokalizacji osi szyn (a przez to powierzchni tocnych) oraz wariantów przytwierdzeń, spowodowane jest znacznymi ich zmianami w przypadku modyfikacji krzywizny osi toru zwrotnego. Przedstawione w formie tabelarycznej rozwiązania oraz ich interpretacja graficzna pozwalają na stwierdzenie poprawności zastosowanej metody postępowania. W dalszym etapie prac nad numerycznym modelem rozjazdu przewidziano rozbudowę o kolejne elementy konstrukcyjne. Ostateczna dokładność i szczegółowość modelu powinna pozwolić na jego skuteczne zastosowanie w procesach projektowania, wykonania i późniejszej diagnostyki konstrukcji rozjazdu.

Bibliografia

- [1] Bałuch H., Bałuch M., Eksploatacyjne metody zwiększenia trwałości rozjazdów kolejowych, Wydawnictwo CNTK, Warszawa, 2009.
- [2] Instrukcja Id-4, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2015.
- [3] Koc W., Shaping of the turnout diverging track with variable curvature sections, International Journal of Rail Transportation Volume 5, 2017, s. 229-249.
- [4] Koc W., Zastosowanie odcinków nieliniowej krzywizny w torze zwrotnym rozjazdu kolejowego, Przegląd Komunikacyjny, 10/2017, s.27-31.

- [5] Koc W., Modelowanie zmiennej krzywizny na długości toru zwrotnego rozjazdu, *Przegląd Komunikacyjny*, 8/2017, s.8-12.
- [6] Koc W., Analityczne podejście do problematyki łukowania rozjazdów kolejowych, *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* nr 25, 2017.
- [7] Koc W., Rozjazdy z nieliniową krzywizną toru zwrotnego dla różnych prędkości jazdy pociągów, *Problemy Kolejnictwa*, z. 181, s. 33-41, 2018.
- [8] Koc W., Palikowska K., Wyznaczanie optymalnej krzywizny toru zwrotnego w rozjazdach dla kolei dużych prędkości na podstawie analizy dynamicznej, *Przegląd Komunikacyjny*, 10/2017, s.2-7.
- [9] Łaczyński J., *Rozjazdy kolejowe*. WKiŁ, Warszawa, 1976.
- [10] Nowakowski M., Rozjazdy do dużych prędkości o zmiennej krzywiznie toru zwrotnego, *Przegląd Komunikacyjny*, nr 9-10, 2011, s. 88-91.
- [11] Prospekt informacyjny „Rozjazdy kolejowe” firmy „Kolejowe Zakłady Nawierzchniowe Biezanów” Sp. z.o.o.
- [12] Raif L. et al, Design of high-speed turnouts and crossing, BESTInfra2017, IOP Conference Series, 2017.
- [13] Rzepka W., *Rozjazdy łukowe w planie i profilu*. WKiŁ, Warszawa 1966.
- [14] Standardy techniczne PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Tom I – Załącznik ST-T1-A6 Układy geometryczne torów, Warszawa, 2018.
- [15] Standardy techniczne PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Tom I – Załącznik ST-T1-A9 Rozjazdy, Warszawa, 2016.
- [16] Wojtczak R., Konstrukcja geometryczna rozjazdów stosowanych na sieci Network Rail w Wielkiej Brytanii, *Przegląd Komunikacyjny*, 7/2015, s. 6-10.
- [17] Wykaz prędkości maksymalnych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.