

długości krzywej przejściowej niż ma to miejsce dla łuku kołowego. W trakcie analizy dla odcinka testowego $V = 80$ km/h, do wyznaczenia krzywizny łuku kołowego byłoby najkorzystniej zastosować cięciwę $l_c = 30$ m, podczas gdy do określania krzywizny krzywej przejściowej – cięciwę $l_c = 20$ m. Dla odcinka testowego $V = 120$ km/h odpowiednie byłyby długości $l_c = 40$ m dla łuku kołowego i $l_c = 30$ m dla krzywych przejściowych, natomiast nad celowością zastosowania cięciwy $l_c = 40$ m przy identyfikacji krzywych przejściowych na odcinku testowym $V = 120$ km/h należałoby się już zastanowić (krzywizna łuku kołowego musi tutaj zostać wyznaczona przy wykorzystaniu cięciwy $l_c = 50$ m).

7. Wnioski

Podstawą do określenia położenia odcinków prostych toru kolejowego i odcinków położonych w łuku, jak również wyznaczenia odpowiednich parametrów geometrycznych, jest znajomość krzywizny osi toru. W pracach [23–25] została przedstawiona koncepcja nowej metody wyznaczania krzywizny (nazwanej „metodą ruchomej cięciwy”) oraz jej weryfikacja na jednoznacznie zdefiniowanym elementarnym układzie geometrycznym torów.

W pracach [26, 30, 31] omówiono procedurę estymacji krzywizny osi toru metodą ruchomej cięciwy przy wykorzystaniu współrzędnych kartezjańskich uzyskanych na drodze przeprowadzonych pomiarów bezpośrednich. Wykazano, że na podstawie wykresu krzywizny można określić wartości promienia łuku kołowego i długości krzywych przejściowych, jak również lokalizację tzw. punktów segmentacyjnych (czyli punktów granicznych pomiędzy odcinkami prostymi, krzywymi przejściowymi i łukami kołowymi).

Niniejszy artykuł skupia się na kwestii doboru długości cięciwy, która w konkretnej sytuacji będzie najbardziej korzystna. Chociaż dla układów modelowych, jak wykazano w pracy [24], wpływ zastosowanej długości cięciwy na wyznaczone wartości krzywizny okazał się nieistotny, to w eksploatowanym torze kolejowym, z uwagi na deformacje toru i błęd pomiarowy, sytuacja może się istotnie różnić. Świadczą o tym chociażby nieregularne wykresy krzywizny pokazane w pracy [31]. Przeanalizowano trzy testowe układy geometryczne dostosowane do prędkości 80 km/h, 120 km/h i 160 km/h (wyznaczone w wyniku przeprowadzonej estymacji krzywizny promienie łuków kołowych wynosiły odpowiednio około 410 m, 880 m i 1480 m). Rozpatrywano długości ruchomej cięciwy w zakresie 10÷50 m.

Na podstawie analiz jednoznacznie wykazano, że długość cięciwy przyjmowana do wyznaczania

krzywizny w eksploatowanym torze kolejowym powinna zależeć od wartości promienia łuku kołowego. Wirtualna cięciwa nie powinna być zbyt krótka; np. stosowanie długości cięciwy $l_c = 10$ m nie jest rozwiązaniem racjonalnym. Przy dużych promieniach łuku kołowego mało przydatna może się również okazać cięciwa $l_c = 20$ m; w takich przypadkach należy się liczyć z koniecznością stosowania cięciwy $l_c = 50$ m. Zaproponowano orientacyjne długości l_c w zależności od przedziału wartości R_{LK} , nic jednak nie stoi na przeszkodzie, żeby – kierując się powyższymi sugestiami – stosować również inne, pośrednie wartości l_c , gdyż najczęściej nie będzie to miało istotnego wpływu na dokładność uzyskiwanej krzywizny osi toru. Metoda ruchomej cięciwy jest pod tym względem bardzo elastyczna. Istnieje również możliwość przyjęcia innej (czyli nieco krótszej) cięciwy przy wyznaczaniu krzywizny na długości krzywej przejściowej niż ma to miejsce dla łuku kołowego. Często z wykresu krzywizny uzyskanego przy zastosowaniu krótszej cięciwy można dokładniej wyznaczyć położenie i długość krzywej przejściowej.

Przedstawione w artykule zagadnienia, dotyczące dostosowania metody ruchomej cięciwy do przyjętej procedury pomiarowej oraz sposobu wykorzystania uzyskanego wykresu krzywizny, stwarzają w opisanym metodzie odpowiednie podstawy aplikacyjne. Wdrożenie przedstawionej procedury powinno znacznie usprawnić proces identyfikacji układów geometrycznych toru w płaszczyźnie poziomej.

Literatura

1. Deutsche Bahn: 883.2000 DB_REF-Festpunktfeld, Deutsche Bahn Netz AG, Berlin, Germany, 2016.
2. European Committee for Standardization (CEN): *Railway applications -Track—Track alignment design parameters—Track gauges 1435 mm and wider. Part 1: Plain line. EN 13803-1*, Brussels, Belgium, 2010.
3. Federal Railroad Administration: *Code of federal regulations title 49 transportation*, US Government Printing Office, Washington, DC, 2008.
4. Network Rail: *NR/L3/TRK/0030 NR Reinstatement of Absolute Track Geometry (WCRL Routes), Iss. 1*, London, UK, 2008.
5. New South Wales: *Standard: Railway Surveying, Version 1.0. T HR TR 13000 ST, Government (Transport for NSW), Sydney, Australia, 2016*.
6. Österreichische Bundesbahnen: *Linienführung von Gleisen, B 50 – Oberbau – Technische Grundsätze. Teil 2*, GB Fahrweg Technik, Wien, Austria, 2004.
7. Standardy Techniczne – Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru

- konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem) – TOM I – DROGA SZYNOWA – Załącznik ST-T1-A6: Układy geometryczne torów, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2018.
8. Schweizerische Bundesbahnen: *Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnver-ordnung*. SR 742.141.11, Ministerium für Verkehr, Bern, Switzerland, 2016.
 9. Szwilski A.B. et.al.: *Employing HADGPS to survey track and monitor movement at curves*, In Proc. 8th Int. Conf. „Railway Engineering 2005”, London, UK, Engineering Technics Press, Edinburgh.
 10. Li W. et.al.: *A method for automatically recreating the horizontal alignment geometry of existing railways*, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 34, iss. 1/2019. pp. 71–94, Wiley Online Library.
 11. Pu H. et.al.: *A global iterations method for recreating railway vertical alignment considering multiple constraints*, IEEE Access, vol. 7, iss. 1/2019, pp. 121199–121211, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
 12. *A guide to using IMU (accelerometer and gyroscope devices) in embedded applications*, Starlino Electronics, 2009, Web side: http://www.starlino.com/imu_guide.html.
 13. Guimarães-Steinicke C. et.al.: *Chapter Four – Terrestrial laser scanning reveals temporal changes in biodiversity mechanisms driving grassland productivity*, Advances in Ecological Research, vol. 61, 2019, pp. 133–161, Academic Press.
 14. Alkan R.M.: *Cm-level high accurate point positioning with satellite-based GNSS correction service in dynamic applications*, Journal of Spatial Science, vol. 66, iss. 2/2019, pp. 351–359, Taylor & Francis.
 15. Chang, L. et.al.: *Railway infrastructure classification and instability identification using Sentinel-1 SAR and Laser Scanning data*, Sensors, vol. 20, iss. 24/2020, 7108, Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
 16. Quan, Y., Lau L.: *Development of a trajectory constrained rotating arm rig for testing GNSS kinematic positioning*, Measurement, vol. 140, 2019, pp. 479–485, Elsevier.
 17. Wang, L. et.al.: *Validation and assessment of multi-GNSS real-time precise point positioning in simulated kinematic mode using IGS real-time service*, Remote Sensing, vol. 10, iss. 2/2018, 337, Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
 18. Wu S. et.al.: *Improving ambiguity resolution success rate in the joint solution of GNSS-based attitude determination and relative positioning with multivariate constraints*, GPS Solution, vol. 24, iss. 1/2020, 31, Springer.
 19. Koc W.: *Design of rail-track geometric systems by satellite measurement*, Journal of Transportation Engineering, vol. 138, iss. 1/2012, pp. 114–122, American Society of Civil Engineers.
 20. Koc W.: *Analytical method of modelling the geometric system of communication route*, Mathematical Problems in Engineering, vol. 2014, 679817, Hindawi Publishing Corporation.
 21. Koc W.: *Design of compound curves adapted to the satellite measurements*, The Archives of Transport, vol. 34, iss. 2/2015, pp. 37–49, Polska Akademia Nauk, Komitet Transportu.
 22. Koc W.: *Design of reverse curves adapted to the satellite measurements*, Advances in Civil Engineering, vol. 2016, 6503962, Hindawi Publishing Corporation.
 23. Koc W.: *The method of determining horizontal curvature in geometrical layouts of railway track with the use of moving chord*, Archives of Civil Engineering, vol. 66, iss. 4/2020, pp. 579–591, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Łądowej.
 24. Koc W.: *Analysis of the effectiveness of determining the horizontal curvature of a track axis using a moving chord*, Problemy Kolejnictwa, 2021, z. 190, s. 77–86.
 25. Koc W.: *Analysis of moving chord inclination angles when determining curvature of track axis*, Current Journal of Applied Science and Technology, vol. 40, iss. 10/2021, pp. 92–103, Article no. CJASt.68309, SCIENDOMAIN International.
 26. Koc W.: *Estimation of the horizontal curvature of the railway track axis with the use of a moving chord based on geodetic measurements*, Journal of Surveying Engineering, vol. 148, iss. 4/2022, 04022007, American Society of Civil Engineers.
 27. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych, Dz.U., 2012, poz. 1247.
 28. Moritz H.: *Geodetic Reference System 1980*, Bulletin Géodésique, vol. 54, iss. 3/1980, pp. 395–405, Springer Link.
 29. Turiño C.E.: *Gauss Krüger projection for areas of wide longitudinal extent*, International Journal of Geographical Information Science, vol. 22, iss. 6/2008, pp. 703–719, Taylor & Francis Online.
 30. Koc W.: *Identification of geometrical parameters of an operational railway route determined by the curvature of the track axis*, European Journal of Applied Sciences, vol. 10, iss. 5/2022, pp. 129–148, Services for Science and Education, United Kingdom.
 31. Koc W. et.al.: *Determining horizontal curvature of railway track axis in mobile satellite measurements*, Bulletin of Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, iss. 6/2021, e139204, Polska Akademia Nauk.