

Dwu- i jednostronne poszerzanie nasypów kolejowych

Double- and single-sided widening of railway embankments



Michał Pawłowski

Dr inż.

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska,

michal.pawlowski@put.poznan.pl
ORCID: 0000-0002-0747-1177



Adam Duda

Dr inż.

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska,

adam.duda@put.poznan.pl
ORCID: 0000-0003-2782-2189

Streszczenie: Modernizacja dostosowująca linie kolejowe do możliwości poruszania się pociągów pasażerskich z prędkością 200 km/h najczęściej wymaga przebudowy podtorza. W niektórych przypadkach konieczne jest zwiększenie szerokości torowiska, co wiąże się z koniecznością poszerzenia przekopów i nasypów. Poszerzenie nasypów może być realizowane jako dwu- lub jednostronne. O trybie realizacji prac decyduje wiele czynników. W artykule dokonano oceny najważniejszych z nich. Przedstawiono uwarunkowania mające wpływ na wybór trybu poszerzenia nasypów.

Słowa kluczowe: Podtorze kolejowe; Przebudowa podtorza; Poszerzanie nasypów

Abstract: The modernization to adapt railway lines for trains traveling at a speed of 200 km/h requires the reconstruction of the subgrade. In some cases, it is necessary to increase the substructure crown width, which entails the need to excavations and embankments. The widening of embankments can be carried out as either two-sided or one-sided. Many factors determine how the work is executed. The article assesses the most important of these. The conditions influencing the choice of the embankment widening mode are presented.

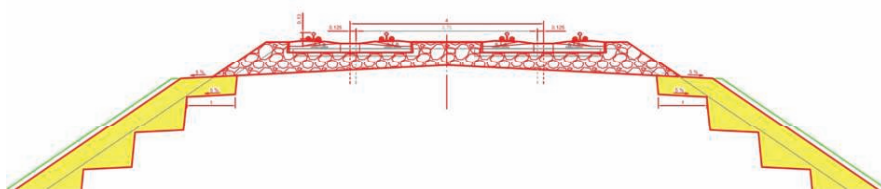
Keywords: Subgrade; Reconstruction of the subgrade; Widening of embankments

Wstęp

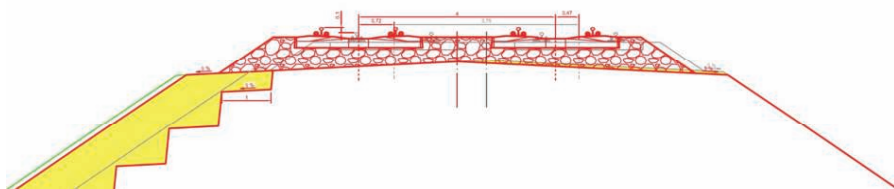
Prace modernizacyjne dwutorowych magistralnych linii kolejowych, dostosowujące je do możliwości poruszania się pociągów towarowych z prędkością 120 km/h i pasażerskich z prędkością 200 km/h, wykonywane są najczęściej w dwóch etapach. W pierwszym etapie do docelowych wartości nacisków osiowych oraz prędkości 200 km/h dostosowywane są: nawierzchnia, układ geometryczny torów i podtorze, obiekty inżynierskie oraz konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej. Po zakończeniu tych prac ruch pociągów towarowych może odbywać się z docelową prędkością 120 km/h, a pasażerskich z prędkością nieprzekraczającą 160 km/h. Zwiększenie prędkości jazdy pociągów pasażerskich do 200 km/h jest możliwe

po wykonaniu prac, przewidzianych w drugim etapie przebudowy, polegających na likwidacji przejazdów w poziomie szyn i wyposażeniu linii w adekwatne urządzenia sterowania ruchem kolejowym. Takie podejście, już w czasie realizacji prac etapu pierwszego, wymaga zastosowania rozstawu torów nie mniejszego niż 4,00 [6] oraz dostosowania istniejącego podtorza do nowych warunków pracy. Przystosowanie podtorza, do możliwości poruszania się ciężkich pociągów towarowych oraz pociągów pasażerskich z prędkością 200 km/h, zazwyczaj wymaga jego przebudowy. Przebudowa ta powinna obejmować, nie tylko wzmocnienie górnej strefy podtorza bezpośrednio współpracującej z nawierzchnią w przenoszeniu obciążeń od przejeżdżających pociągów, ale również

zwiększenie wytrzymałości i nośności, poprawę warunków stateczności i odwodnienia podtorza. Działania te mogą prowadzić do konieczności zmiany kształtu i wymiarów podtorza. Zmiany te mogą wynikać również z niezbędnych korekt położenia osi torów w planie i w profilu, konieczności zapewnienia niezbędnych szerokości torowiska i jego ław [5, 6]. Na zakres robót podtorzowych mogą mieć również wpływ zmiany liczby i rozstawu torów, czy też zmiana standardu konstrukcyjnego nawierzchni [4]. W zależności od warunków miejscowych i zakresu niezbędnych zmian w układzie geometrycznym torów przebudowa podtorza może obejmować poszerzanie przekopów i nasypów oraz poprawę warunków odwodnienia [7].



1. Dwustronne, nieznaczne poszerzenie nasypu. Żółtą powierzchnią oznaczono zakres dodatkowych robót ziemnych w obrębie podtorza. Opracowanie własne na podstawie [3-5]



2. Jednostronne, nieznaczne poszerzenie nasypu. Żółtą powierzchnią oznaczono zakres dodatkowych robót ziemnych w obrębie podtorza. Opracowanie własne na podstawie [3-5]

Poszerzanie nasypów w procesie modernizacji linii kolejowych

Z rozważań dotyczących poszerzania nasypów wykluczono przypadki przebudowy podtorza związane ze znacznymi przesunięciami osi torów w planie powodującymi konieczność budowy nasypów w nowym śladzie.

Projektowa wartość poszerzenia nasypów, w procesie modernizacji linii kolejowych, mieści się w granicach od kilkunastu centymetrów do kilku metrów i zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to:

- parametry drogi kolejowej w stanie istniejącym: szerokość torowiska i jego ław, wartość pochylenia skarp, rodzaj i standard konstrukcyjny nawierzchni, rozstaw i liczba torów itp.,
- projektowane zmiany poziomego i pionowego położenia osi torów wynikające z dostosowywania układu geometrycznego torów do możliwości poruszania się pociągów z większymi prędkościami obejmujące korekty wartości promieni łuków poziomych i przechyłki, wydłużanie krzywych przejściowych, zmiany wartości i długości pochyłeń podłużnych, zwiększanie wartości promieni łuków pionowych itp.
- zmiana liczby torów,
- zwiększenie rozstawu torów

związane z koniecznością zachowania wymogów skrajni przy większych prędkościach [6],

- modernizacja nawierzchni obejmującą zmianę jej standardu konstrukcyjnego [4],
- konieczność zwiększenia szerokości ław torowiska ze względu na minimalne wymagania [5] lub potrzebę lokalizacji na nich dodatkowego wyposażenia,
- korekta kształtu nasypów ze względu na warunki ich stateczności.

Prawidłowo wykonane poszerzenie nasypów powinno gwarantować właściwe połączenie ich części istniejących i dobudowywanych. Można to osiągnąć poprzez:

- stosowne przygotowanie istniejących skarp, które polega na wykonaniu na nich stopni o szerokości około 1,0 m i pochyleniu 5 %. Wysokość stopni zależy od grubości wbudowywanych warstw i możliwości wykorzystywanego sprzętu zagęszczającego [1, 5, 7],
- użycie do budowy nowych części nasypów gruntów niespoistych. Przy zastosowaniu gruntów spoistych, trzeba przeciwdziałać możliwości tworzenia się zastoisk wód opadowych w korpusie nasypów [5, 7],
- każdorazowe zagęszczanie wbu-

dowywanych warstw gruntów do uzyskania wymaganych wartości wskaźnika zagęszczenia [5, 7].

Dwu- i jednostronne nieznaczne poszerzanie nasypów

Poszerzanie nasypów może być realizowane jako dwu- (rys. 1) lub jednostronne (rys. 2). W przypadku potrzeby znacznego zwiększenia szerokości torowiska (dobudowa kolejnego toru, istotna zmiana położenia osi torów w planie) lub występowania ograniczeń terenowych bądź infrastrukturalnych po jednej ze stron tryb realizacji poszerzania nasypów jest zdefiniowany do jednostronnego. Przy nieznacznym poszerzaniu nasypów zdefiniowanym jako obejmujące do 15 % pierwotnej szerokości torowiska (korony nasypu) [3] tryb realizacji poszerzenia, przy braku występowania jednostronnych ograniczeń, może być dowolny i leży w gestii projektanta. Z analizy dokumentacji projektowych dotyczących modernizacji różnych linii kolejowych wynika, że najczęściej nieznaczne poszerzanie nasypów projektowane jest jako dwustronne (rys. 1). Słuszność takiego podejścia została zweryfikowana poprzez analizę kilku czynników mających wpływ na wybór trybu nieznacznego poszerzania nasypów, do których zaliczono: właściwości istniejących nasypów (wymiary i kształt nasypów oraz ich skarp, rodzaje i właściwości gruntów nasypów), ukształtowanie i dostępność terenu, uwarunkowania projektowe oraz uwarunkowania realizacyjne.

Właściwości istniejących nasypów

Nasypy podlegające przebudowie, wznoszone według historycznych zasad i metod budowy linii kolejowych, mogą zawierać w swym korpusie grunty niespełniające współcześnie obowiązujących wymagań

[5]. Grunty te mogą mieć zróżnicowane właściwości (różny skład granulometryczny, stan zagęszczenia, wrażliwość na zmiany wilgotności). Z uwagi na niejednorodną budowę nasypów, obciążenia eksploatacyjne, od wieloletniego ruchu pociągów, mogły prowadzić do nierównomiernej deformacji ich korpusu. Równocześnie, w zależności od warunków gruntowo-wodnych, osiadaniom mogły podlegać całe nasypy, zwłaszcza na skutek konsolidacji gruntów słabonośnych występujących w ich podłożu. Wartości osiadań wynikających z konsolidacji słabego podłoża uzależnione były od jego miąższości i wysokości nasypów. Deformacje i osiadania nasypów miały wpływ na występowanie nierówności pionowych i poziomych torów, a te najczęściej niwelowane były poprzez regulację położenia torów w procesie podbijania połączonym z uzupełnianiem podsypki. Takie działanie powodowało zwiększenie grubości podsypki i obciążenia podtorza; intensyfikowało deformacje nasypów i ich osiadanie w wyniku dalszej konsolidacji słabego podłoża; intensyfikowało osiadania torów i wymuszało kolejne ich podbicia; przyczyniało się do rozwoju innych wad podtorza [5, 7].

Opisane procesy powodowały zmiany kształtu korpusu i skarp nasypów, mogły także oddziaływać na poziom przyległego do nasypów terenu, który deformował się wraz z konsolidującym podłożem. W efekcie, ze względu na konieczność zachowania wymaganej niwelety torów, procesy ich podbijania i konsolidacji podłoża mogły prowadzić do zwiększenia wysokości nasypów. Na wartości pochylenia skarp nasypów mogło mieć wpływ odkładanie na nie wysiewek z procesu oczyszczania podsypki.

Istniejący i wymagany kształt nasypów ma wpływ na wartość wymaganego ich poszerzenia, a istniejące i docelowo wymagane właściwości

gruntów budujących ich korpus, mogą wpłynąć na wybór technologii przebudowy. Jeżeli wymagania dla zmodernizowanego podtorza [5] nie są spełnione konieczne jest wzmocnienie nasypów np. poprzez częściową lub nawet całkowitą ich przebudowę. Przebudowa nasypów, ze względu na warunki ich stateczności, może obejmować również konieczność wzmocnienia ich podłoża. Tym procesom może i często towarzyszy dwu- lub jednostronne poszerzanie nasypów.

Dwustronne poszerzanie nasypów daje możliwość usunięcia efektów wieloletniej eksploatacji w obrębie obu skarp poprzez stosowaną korektę ich pochylenia. Takie działanie narusza jednak pierwotną stateczność skarp i występujące na nich umocnienia np. dobrze rozwiniętą i ukorzenioną roślinność. Jednostronne poszerzanie nasypów ogranicza ingerencję budowlaną tylko do jednej ich strony i jednej ze skarp.

Morfologia i dostępność terenu

Ukształtowanie terenu, występujące ograniczenia terenowe i infrastrukturalne, w tym szerokość pasa wywłaszczenia mogą mieć decydujący wpływ o wyborze trybu realizacji poszerzania nasypów. W przypadku ograniczeń terenowych (np. jezioro, bagno) lub infrastrukturalnych występujących z jednej strony przebudowywanych nasypów, proces ich poszerzania musi być realizowany w trybie jednostronnym, nawet jeśli jest to mniej korzystne z uwagi na inne uwarunkowania. Decydujący wpływ na tryb realizacji poszerzania mogą mieć ograniczenia w możliwości zajętości przyległego terenu, co ma bezpośredni związek z szerokością pasa wywłaszczenia i położeniem osi nasypów względem niego. W tym przypadku sposób realizacji może być z góry narzucony lub poszerzanie nasypów, ze względu na ograniczoną przestrzeń może wymagać za-

stosowania dodatkowych rozwiązań lub konstrukcji np. oporowych.

Uwarunkowania projektowe

Poszerzanie nasypów, w procesie modernizacji linii kolejowych należy odpowiednio zaprojektować. Podczas projektowania należy wziąć pod uwagę: czynniki mające wpływ na konieczność poszerzania nasypów i ich wpływ na zmianę poziomego i pionowego położenia osi torów; ograniczenia infrastrukturalne i terenowe; dostępność terenu, również wynikającą z szerokości pasa wywłaszczenia; sposób i tryb realizacji prac oraz występujące w ich czasie uwarunkowania i ograniczenia. Działania projektowe powinny być poprzedzone badaniami geotechnicznymi mającymi na celu rozpoznanie budowy geotechnicznej nasypów i ich podłoża. Analiza budowy geotechnicznej nasypów i ich podłoża, nowych warunków ich pracy wynikających z planowanego ruchu szybszych i cięższych pociągów oraz założeń projektowych związanych z planowaną korektą kształtu budowli ziemnych powinna prowadzić do przyjęcia prawidłowego rozwiązania projektowego zapewniającego stateczność nasypów oraz ich skarp w czasie i po zakończeniu realizacji robót.

W przypadkach przebudowy podtorza na prostych i łukach nie wymagających korekty położenia osi torów (ze względu na dostosowanie układu geometrycznego torów do możliwości poruszania się szybszych pociągów) dwustronny tryb poszerzania nasypów wiąże się z mniejszymi wartościami niezbędnych przesunięć osi torów, w stosunku do ich pierwotnego położenia (rys. 1 i 2). Przekłada się to na większą prostotę projektowania układu geometrycznego torów, w tym trybie, a sprowadza się najczęściej jedynie do korekty pionowego położenia torów. Dwustronne poszerzanie nasypów zwią-

Tab. 1. Uwarunkowania trybów poszerzania nasypów [opracowanie własne]

Czynnik	Uwarunkowanie	Poszerzanie nasypów	
		dwustronne	jednostronne
Właściwości istniejących nasypów	Przebudowa skarp	2 skarpy	1 skarpa
	Naruszenie istniejącego umocnienia skarp	2 skarpy	1 skarpa
Morfologia i dostępność terenu	Ograniczenia terenowe	wymaga dostępności terenu po obu stronach nasypów	możliwość wykonania przy jednostronnych ograniczeniach terenowych
Uwarunkowania projektowe	Wpływ na położenie osi torów	oś nasypu najczęściej pozostaje bez zmian, brak konieczności korekty poziomego położenia osi torów	prowadzi do przesunięcia osi nasypów, wymagana jednostronna korekta poziomego położenia osi torów
	Obciążenie podłoża	równomierne, symetryczne	nierównomierne, asymetryczne
	Konieczność stosowania niestandardowych rozwiązań dla zapewnienia stateczności	ograniczona	potencjalna
	Wpływ na istniejące ciągi odwodnieniowe	potrzeba obustronnej korekty	konieczność jednostronnej przebudowy
Uwarunkowania realizacyjne	Dostarczanie materiałów transportem kolejowym	po torze istniejącym lub nowym	po torze istniejącym
	Łatwość koordynacji robót	tak	nie
	Drogi tymczasowe	obustronne	jednostronne
	Roboty tracone	znaczne nakłady	minimalne nakłady

zane jest z mniejszą i symetryczną korektą położenia każdej z ich skarp. To zapewnia symetryczne obciążenie podłoża, mniejsze wartości dodatkowego jego obciążenia, w większości przypadków nie ma negatywnego wpływu na stateczność podtorza i nie powoduje konieczności stosowania niestandardowych rozwiązań dla jego zachowania. Dwustronne poszerzanie nasypów nie zmienia położenia ich osi, co ma szczególnie znaczenie w przypadku występowania wąskiego pasa wyłączenia. W tym trybie poszerzania nasypów konieczna jest obustronna przebudowa i zmiana położenia ciągów odwodnieniowych (jeżeli występują).

Uwarunkowania realizacyjne

Do najważniejszych uwarunkowań realizacyjnych mających wpływ na wybór trybu poszerzania nasypów należą: organizacja ruchu pociągów, koordynacja robót, dostępność placów ładunkowych i dróg dojazdowych, zakres i objętości robót ziemnych, w tym również robót traconych. Utrzymanie jednotorowego ruchu pociągów w czasie przebudowy podtorza dwutorowej linii daje możliwość do-

starczenia potrzebnych materiałów transportem kolejowym i dogodną realizację dwustronnego poszerzania nasypów. Jednak ze względu na uwarunkowania jednotorowego ruchu pociągów dostępność czynnego toru może być znacznie ograniczona najczęściej do krótkich przerw między pociągami np. w porze nocnej [2]. W trybie jednostronnego poszerzania nasypów dostarczanie materiałów transportem kolejowym musi być realizowane po torze istniejącym, przed jego przebudową. Poszerzanie dwustronne łatwiej niż jednostronne jest skoordynować z realizacją innych prac, co wynika m.in. z nieznacznych, w tym trybie, przesunięć osi torów w stosunku do ich pierwotnego położenia. Zasadniczo poszerzanie nasypów powinno być wykonane przed przebudową torów. Realizacja robót wymaga dostępności do placów ładunkowych i organizacji tymczasowych dróg dojazdowych. Jednostronnie występujące ograniczenia w dostępności przyległego terenu mogą wymuszać tryb realizacji robót związanych z poszerzaniem nasypów. W celu spełnienia tolerancji pomiarowych dotyczących szerokości torowiska oraz pochylenia skarp

[5] roboty związane z poszerzaniem nasypów wykonuje się z pewnym naddatkiem umożliwiającym po ostatecznym oprofilowaniu skarp i zebraniu części naddatku uzyskanie projektowych wymiarów i kształtu nasypów. W związku z tym jednostronne poszerzanie charakteryzuje się mniejszym nakładem robót traconych, które są niezbędne również ze względu na schodkowanie istniejących skarp.

Dwu- i jednostronne nieznaczne poszerzanie nasypów

Czynniki mające wpływ na wybór trybu poszerzenia nasypów są mocno zróżnicowane i o różnym znaczeniu. Z tego powodu nie można jednoznacznie wskazać, który z trybów poszerzania nasypów jest korzystniejszy. Każdy z nich ma specyficzne uwarunkowania stosowania i ograniczenia. Zbiór podstawowych uwarunkowań sposobów poszerzania nasypów znajduje się w tabeli 1. W tabeli oznaczono czynniki preferujące dany tryb poszerzenia.

Analizowane uwarunkowania projektowe wskazują na przewagę dwustronnego trybu poszerzania nasypów, co potwierdza powszechność stosowania tego rozwiązania przez projektantów. Pozostałe analizowane uwarunkowania (właściwości istniejących nasypów, ukształtowanie i dostępność terenu, uwarunkowania realizacyjne) wskazują na przewagę jednostronnego trybu poszerzania nasypów, który powinien być podstawowym w specyficznych warunkach. Ostateczny wybór trybu realizacji poszerzania nasypów powinien być poparty analizą, co najmniej omawianych w tekście, czynników oraz kosztów realizacji zadania i nie powinien sprowadzać się do wyboru rozwiązania łatwiejszego do zaprojektowania. Wraz z powszechnym wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego umożliwiającego automatyzację pro-

cesu projektowania (np. CAD, GIS, BIM itp.) weryfikacja generowanej dokumentacji nabiera znacznie większego znaczenia.

Dwustronne, nieznaczne poszerzanie nasypów:

- ze względu na równomierne i symetryczne obciążenie podłoża i istniejących nasypów zapewnia warunki stateczności przebudowanego podtorza, które w większości przypadków nie wymagają stosowania niestandardowych rozwiązań,
- jest korzystne, gdy nie następuje zmiana położenia osi torów w planie oraz nie występują jednostronne ograniczenia terenowe lub infrastrukturalne,
- jest preferowane przy wąskim i symetrycznym, względem osi nasypu, pasie wywłaszczenia,
- łatwo skoordynować z realizacją innych prac modernizacyjnych,
- umożliwia korektę kształtu i pochylenia obu skarp nasypu,
- wymaga wykonania robót ziemnych w obrębie obu skarp, co przy braku konieczności korekty pochylenia skarp narusza ich pierwotną stateczność zapewnianą np. dobrze rozwiniętą i ukorzenioną roślinność,
- wiąże się z potrzebą wykonania robót ziemnych o większej objętości (roboty tracone),
- powoduje konieczność dwustronnej przebudowy ciągów odwodnieniowych (jeżeli występują).

Jednostronne, nieznaczne poszerzanie nasypów:

- ma wyraźny wpływ na zmianę położenia osi nasypów i torów,
- wymaga odpowiedniego skoordynowania robót modernizacyjnych,
- jest możliwe do wykonania, gdy występują ograniczenia terenowe lub infrastrukturalne po jednej ze stron przebudowywanego nasypu,

- jest preferowane przy niesymetrycznym położeniu osi nasypu względem pasa wywłaszczenia,
- charakteryzuje się mniejszą objętością robót (roboty tracone),
- obejmuje przebudowę tylko jednej ze skarp i jednego z ciągów odwodnieniowych.

Wnioski

Na podstawie przedstawionej analizy dwu- i jednostronnego poszerzenia nasypów można sformułować następujące wnioski:

- Ze względu na zróżnicowane uwarunkowania techniczne i terenowe nie można jednoznacznie wskazać, który z trybów poszerzania nasypów jest korzystniejszy.
- Poszerzanie dwustronne, ze względu na równomierne i symetryczne obciążenie podłoża i istniejących nasypów zapewnia warunki stateczności przebudowanego podtorza, które w większości przypadków nie wymagają stosowania niestandardowych rozwiązań. Jest preferowane ze względu na uwarunkowania projektowe.
- Poszerzenie jednostronne jest preferowane gdy występują ograniczenia terenowe i infrastrukturalne uniemożliwiające dwustronną realizację prac. Charakteryzuje się mniejszym nakładem robót traconych.
- Ostateczny wybór trybu realizacji poszerzania nasypów powinien być poparty analizą wielu czynników oraz kosztów realizacji zadania i nie powinien sprowadzać się do wyboru rozwiązania łatwiejszego do zaprojektowania. Automatyzacja procesu projektowania poprzez wykorzystanie specjalistycznego oprogramowania komputerowego sprawia, że weryfikacja generowanej dokumentacji nabiera znacznie większego znaczenia. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Cyunel B., Kulczycki B.: Kolejowe budowlę ziemne. Tom II. Technologia, organizacja budowy i modernizacji. WKiŁ, Warszawa 1987.
- [2] Pawłowski M., Protosawicki K., Straszewski W.: Wpływ sposobu ograniczenia ruchu pociągów na czas realizacji robót podtorzowych. Przegląd Komunikacyjny 10/2018, s. 25-29.
- [3] Pawłowski M.: Nieznaczne poszerzanie torowiska. W: Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym NOVOKOL 2025, materiały konferencyjne - Kraków, Polska, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, Kraków 2025, s. 75-82.
- [4] Pawłowski M.: Wybrane podtorzowe aspekty wymiany nawierzchni kolejowej. W: Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym NOVOKOL 2024, materiały konferencyjne - Kraków, Polska, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, Kraków 2024, s. 151-162.
- [5] PKP PLK S.A.: Id-3. Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. Warszawa 2009.
- [6] PKP PLK S.A.: Standardy techniczne. Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 250$ km/h. Tom II. Skrajnia budowlana linii kolejowych. Warszawa 2025.
- [7] Skrzyński E.: Podtorze kolejowe. Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 2010.