

# PRZEGLĄD WYRANYCH TYPÓW WZMOCNIENIA NAWIERZCHNI W ŁUKACH KOŁOWYCH O MAŁYCH PROMIENIACH W KONTEKŚCIE ICH WPŁYWU NA MINIMALNĄ TEMPERATURĘ EKWIWALENTNĄ

---

Dorota Błaszkwicz

mgr inż., Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków tel.: +48 12 628 2157, e-mail: blaszkiewicz@pk.edu.pl

---

*Streszczenie. W artykule omówiono różne typy wzmocnień nawierzchni kolejowej w łukach o małych promieniach stosowane w celu wzmocnienia stateczności rusztu torowego. Elementy te są szczególnie istotne w aspekcie możliwości ich zastosowania w torze bezстыkowy. Dodatkowo wzmocnienia, które w znaczny sposób zwiększają stateczność toru pozwalają jednocześnie na szersze zastosowanie toru bezстыkowego.*

*Słowa kluczowe: łuk o małym promieniu, wzmocnienie, tor bezстыkowy, stateczność, wyboczenie, podkład, nawierzchnia kolejowa*

## 1. Wprowadzenie

W większości przypadków na liniach kolejowych standard i rodzaj nawierzchni na całym szlaku jest jednakowy, za wyjątkiem rozjazdów, przejazdów kolejowych oraz obiektów mostowych, których rozpiętość w osiach łożysk jest większa niż 20 m. Zdarza się jednak, że w miejscach gdzie linia kolejowa ma zostać zabudowana w łuku o małym promieniu, nawierzchnia ulega zmianie. Dzieje się tak, ponieważ w tych miejscach tor jest w szczególny sposób narażony na utratę stateczności, wyboczenie, a co za tym idzie może dojść do wypadku, bądź katastrofy kolejowej. Zjawisko to zaczęło stwarzać większe zagrożenie po wprowadzeniu toru bezстыkowego. Wcześniej, gdy stosowany był tor klasyczny (szyny połączone ze sobą za pomocą łubek), zjawisko wyboczenia oczywiście występowało, ale znaczna część siły termicznej powstającej w torze była niwelowana w połączeniach łubkowych.

W polskich przepisach i normach nie istnieją wytyczne, które ułatwiłyby projektantowi dobór odpowiedniego rozwiązania przy zastosowaniu łuku o małym promieniu, tak aby zapewnić bezpieczeństwo prowadzenia ruchu. Największy problem pojawia się w terenach podgórskich i górskich, gdzie ukształtowanie terenu wymusza na projektancie stosowanie projektowania ciasnych łuków, tak aby ograniczyć budowanie kosztownych tuneli oraz obiektów inżynierskich.

W Warunki technicznych [1] Id-1 w Załączniku nr 2 określono standardy konstrukcji nawierzchni dla torów od klasy 0 do klasy 5. Do każdej z klas przypo-

rządkowane są odpowiednie warianty, które definiują: rodzaj szyny, typ i rozstaw podkładów oraz grubość warstwy podsypki. Klasa do danej linii kolejowej jest przyporządkowana, natomiast projektantowi pozostaje dobór wariantu, w jakim dana linia kolejowa ma zostać wybudowana. Dobór wariantu głównie zależy od takich czynników jak: projektowana prędkość na danej linii kolejowej, czy planowane obciążenie ruchem.

W polskich przepisach, dotyczących budowy i utrzymania nawierzchni, minimalne promienie łuków kołowych to: 450 m, w przypadku nawierzchni z podkładami strunobetonowymi i 500 m – w przypadku zastosowania podkładów drewnianych [2]. Wyjątkowo, w łukach o promieniu nie mniejszym niż 190 m w torach głównych dodatkowych i bocznych oraz w łukach o promieniu nie mniejszym niż 250 m w torach szlakowych i głównych zasadniczych można odstąpić od tych wymagań. W tym przypadku należy zastosować tor bezстыkowy oraz wymusić naprężenia wzdłużne w tokach szynowych, które odpowiadają temperaturze przytwierdzenia  $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ . Ponadto należy zastosować rozwiązania zwiększające stateczność toru bezстыkowego lub niezawodność użytkowania [3]. Przepisy nie precyzują jednak jakie rozwiązania konstrukcji nawierzchni kolejowej zwiększają stateczność toru lub jego niezawodność.

## 2. Przegląd literatury

Stateczności toru bezстыkowego jest zagadnieniem wielokrotnie poruszonym w różnych rozprawach naukowych. Zostało wykonanych wiele badań doświadczalnych oraz modeli analitycznych, które miały na celu wyznaczenie wzdłużnych oraz poprzecznych oporów podsypki lub sprawdzających skuteczność nowych wzmocnień nawierzchni, które miały zwiększyć stateczność toru. Analizy te oraz ich wyniki zostały już wcześniej opisane w pozycjach [3,4,23,24], a także w wielu innych.

Z analiz doświadczalnych oraz modeli obliczeniowych wynika, że główny wpływ na stateczność toru bezстыkowego mają następujące czynniki:

- Wzdłużne siły w szynach – wywołane przemieszczeniami, jak i od zmian temperatury [9,12,17,19,23];
- Rodzaj zastosowanej nawierzchni kolejowej (rodzaj podkładów, przytwierdzeń) [4,19,21,23];
- Stan utrzymania nawierzchni oraz podsypki – stan przytwierdzeń i nierówności poziome [4,19,21];
- Parametry geometryczne toru – poziome łuki o małych promieniach [4,21];
- Oddziaływanie pojazdów szynowych poruszających się po torze [4,19,21].

Polskie przepisy nie definiują wprost jak radzić sobie ze statecznością toru w łukach kołowych o małych promieniach. Natomiast regulują aspekty projektowania dróg kolejowych [12,13].

### 3. Rodzaje wzmocnień

#### 3.1. Nadsypka

Drugim popularnym rozwiązaniem, który w niewielkim stopniu ma zwiększyć stateczność konstrukcji nawierzchni jest tzw. „nadsypka”. Efekt ten uzyskuje się poprzez zwiększenie oporu porzecznego podsypki. Nadsypka jest to powiększenie przyzmy tłucznia poprzez nadsypanie po stronie zewnętrznej toru niewielkiego naddatku. Naddatek ten wynosi około 15 cm powyżej usypanej przyzmy na przekroju poprzecznym na prostej. Rozwiązanie to nie stanowi jednak wystarczającego wzmocnienia na odcinku o małych promieniach łuku.

#### 3.2. Trzecia szyna – umieszczana przy toku wewnętrznym

Trzecia szyna umieszczona przy toku wewnętrznym nawierzchni kolejowej jest to tak zwana prowadnica. Szyny prowadnicowe układane są po wewnętrznej stronie łuku, najczęściej z szyn staroużytecznych, gdzie odległość szyny tocznej od szyny prowadnicowej powinna wynosić 60 mm. Rozwiązanie to można stosować na każdym rodzaju podkładu, tj. zarówno na podkładach drewnianych, strunobetonowych czy stalowych. Zgodnie z wymaganiami opisanymi w [Dz.U] w przypadku łuków o długości części kołowej nie większej niż 50 m w torze klasycznym lub w przypadku zastosowania toru bezстыkowego dopuszcza się stosowanie prowadnic wyłącznie na łukach o promieniu mniejszym niż 190 m. Taki rodzaj wzmocnienia nie zapewnia jednak wystarczającego wzmocnienia, stanowi on raczej dodatkowe zabezpieczenie dla kół pojazdu poruszającego się po łuku.

#### 3.3. Tor ułożony na stalowych podkładach typu Y

Podkłady stalowe typu Y są znanym rozwiązaniem wzmacniającym stateczność rusztu torowego, stosowanym na świecie od ponad 30 lat, w Polsce po raz pierwszy zostały zabudowane niemal 20 lat temu. Podkłady te zostały z powodzeniem zastosowane w łukach o promieniu minimalnym 170 m w torze bezстыkowym. Główną zaletą podkładów stalowych jest zwiększenie powierzchni podparcia względem standardowego rozwiązania z użyciem podkładów belkowych. Dzięki wykorzystaniu dwuteownika jako elementu nośnego uzyskuje się również znaczną poprawę stabilności położenia podkładu w kierunku wzdłużnym. Podsypka podczas podbijania klinuje się pomiędzy półkami dwuteownika, zabezpieczając w ten sposób jego optymalne położenie. Dodatkowo podkłady te zapewniają większą stabilność w kierunku poprzecznym dzięki dodatkowemu kątownikowi przyspawanemu do półki dolnej dwuteownika. Obszary, na których najchętniej stosowane są takie podkłady, to trasy o ograniczonych możliwościach rozbudowy w kierunku poprzecznym i odcinki torowe, gdzie nie można uzyskać wyznaczonej wysokości położenia górnej krawędzi toru bez wykonywania uciążliwych robót ziemnych, poszerzeń torowiska czy wykupu ziemi.

### 3.4. *Tarcza podkładowa typu SN, zwiększająca opór poprzeczny podsypki*

Zakotwienia podkładów (zwane niekiedy opórkami przeciwpęzelnymi podkładów lub kapturami) należą do grupy dodatkowych elementów pomocniczych do budowy i utrzymania nawierzchni kolejowej. Najstarsze rozwiązanie tego typu wzmocnień stosowane już były w latach 30-tych ubiegłego wieku. Są one wykorzystywane w wybranych miejscach i służą zwiększeniu bezpieczeństwa, poprawie warunków eksploatacji torów kolejowych, jak również zwiększają stateczność rusztu torowego. Zakotwienia te mogą być osadzone na krawędzi podkładu lub w jego środku. Stosowane są zarówno na podkładach drewnianych jak i betonowych. Zaletą umiejscowienia opórki na środku podkładu jest to, że podsypka nie ulega uszkodzeniu w miejscu przenoszenia obciążeń. Opórka przeciwpęzelną przetestowana była przez Urząd Badań Budownictwa Lądowego Politechniki w Monachium (raport Politechniki w Monachium nr 1080), po zamontowaniu w torze zwiększa opór poprzeczny przęsła torowego, przy czym warstwa podsypki nie ulega uszkodzeniu.

## 4. Porównanie wartości minimalnych temperatur ekwiwalentnych w zależności od wybranych rodzajów zastosowanego wzmocnienia

Autorka artykułu przeanalizowała jaki wpływ na minimalną wartość temperatury ekwiwalentnej mają poszczególne typy wzmocnień. Jak opisano w [1], stopień bezpieczeństwa toru bezстыkowego można określić na podstawie przyrostu temperatury ekwiwalentnej  $\Delta T$ , jeśli  $\Delta T$  jest mniejsza niż minimalna temperatura ekwiwalentna  $\Delta T_{\min}$ , to tor jest bezpieczny.

Do wykonania obliczeń wykorzystano model przygotowany w Katedrze Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej. Model został wykonany w programie Mathcad 15 oraz Microsoft Excel.

Jak wspomniano we wstępie niniejszego artykułu, z analiz doświadczalnych wynika, że duży wpływ na stateczność toru bezстыkowego ma stan utrzymania nawierzchni, jest to aspekt szczególnie ważny w kontekście podsypki. Dlatego podczas analiz obliczeniowych przyjęto wybrane wartości oporów poprzecznych podsypki, odpowiadające różnym jej stanom [4]:

- 7 kN/m – podsypka w stanie luźnym, podkłady betonowe,
- 12,2 kN/m – podsypka średnio zagęszczona, podkłady betonowe,
- 18 kN/m – podsypka dobrze zagęszczona, podkłady betonowe.

W analizach obliczeniowych uwzględniono podkłady stalowe typu Y oraz tarce montowane do podkładów. Ze względu na mały wpływ na wzrost stateczności toru kolejowego, a co za tym idzie wartość minimalnej temperatury ekwiwalentnej w obliczeniach pominięto nadsypkę oraz trzecią szynę.

Przedstawiono wyniki obliczeń dla łuku o promieniu  $R=250$  m, jako najmniejszego promienia łuku, dla którego można zastosować tor bezстыkowy zgodnie z [3].

Dodatkowo w celach porównawczych zestawiono wyniki uzyskane dla odcinka prostego, dla wszystkich typów nawierzchni.

W tabeli 1 przedstawiono wartość minimalnej temperatury ekwiwalentnej dla łuku o  $R=250$  m oraz odcinka prostego.

Tabela 1. Wartości minimalnych temperatur ekwiwalentnych

Rodzaj układu	Podsypka w stanie luźnym, podkłady betonowe	Podsypka średnio zagęszczona, podkłady betonowe	Podsypka dobrze zagęszczona, podkłady betonowe	Podkłady stalowe typu Y	Podkłady strunobetonowe wzmocnione tarczą (opórką)
Łuk $R=250$ m	37,46	55,4	71,2	128,96	105,17
Prosta	62,03	79,96	95,52	245,11	191,10

*Źródło: własne*

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone wyniki obliczeń pozwoliły na porównanie  $\Delta T_{\min}$  dla każdego z analizowanych rozwiązań w zależności od różnie przyjmowanych parametrów geometrycznych i mechanicznych toru. Po otrzymaniu i przeanalizowaniu wyników końcowych można wyciągnąć następujące wnioski:

- Stan utrzymania podsypki w torach ma bardzo duże znaczenie w kontekście bezpieczeństwa ruchu kolejowego;
- Podkłady stalowe typu Y zwiększają opór podsypki dla łuków o promieniach rzędu 250 m i są rozwiązaniem skutecznym oraz wystarczającym z obliczeniowego punktu widzenia;
- Kotwy/opórki zwiększające opór podsypki dla łuków o promieniach rzędu 250 m, są rozwiązaniem skutecznym i wystarczającym z obliczeniowego punktu widzenia.

## Bibliografia

- [1] Id-1, Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych, Warszawa 2005.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju, z dnia 5 czerwca 2014, zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie.
- [4] Czyczuła W., Tor bezстыkowy, Kraków 2002 r.
- [5] 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 pu-  
dłem), Warszawa 2017.
- [6] Czyczuła W., Błaszkiwicz D., Wykorzystanie modeli analitycznych  
w ocenie stateczności toru kolejowego.
  - [7] Sołkowski J., Analiza wpływu imperfekcji nawierzchni na zmienność  
rozkładu sił i przemieszczeń w torze bezстыkowy. Praca doktorska,  
Politechnika Krakowska, Kraków 1995.
  - [8] Führer G. i wsp., Y-Stahlschwellenoberbau, Darmstadt, 1994.
  - [9] Czyczuła W., Bogacz R., Mechanics of track structure with Y-shaped  
steel sleepers in Bartlett D., Die Stabilität durchgehend verschweisster  
Gleise, Eisenbahntechnische Rundschau, 1961, Heft 1/2.
  - [10] Führer G. i wsp., Y-Stahlschwellenoberbau, Darmstadt, 1994.
  - [11] Materiały z V seminarium Nawierzchnie szynowe z podkładami stal-  
owymi typu Y (Projekt POLYS, Eureka, E! 2862 – Wzmocniona kon-  
strukcja nawierzchni kolejowej z zastosowaniem zmodyfikowanych  
podkładów stalowych typu Y.
  - [12] Bałuch H., Skalowanie zagrożeń wyboczeń toru kolejowego. Technika  
Transportu Szynowego, 2013.
  - [13] Czyczuła W., Bogacz R., Mechanics of track structure with Y-shaped steel  
sleepers in sharp curves. Applied Mechanics and Materials, 9, 2008.
  - [14] Bednarek W., Wpływ pionowych odkształceń nawierzchni i podtorza na  
pracę toru bezстыkowego. Rozprawy Politechniki Poznańskiej, nr 506, Po-  
znań 2013.
  - [15] Kerr A.D., An analysis of thermal track buckling. Acta Mechanica, 30,  
1978.
  - [16] Kerr A.D., An analysis of thermal track buckling. Acta Mechanica, 30,  
1978.
  - [17] Samavedam G., Theory of CWR track stability. European Rail Re-  
search institute, D-202 Committee, Report 3, Utrecht, February 1995.
  - [18] Chrostowski P., Badania oporów poprzecznych rusztu torowego podczas  
pracy podbijarki, Gdańsk 2009.
  - [19] J. Wattmann J., Langskrafte im Eisenbahngleis.