

# NIEZAWODNOŚĆ SYSTEMU ROZJAZDOWEGO – WYBRANE ZAGADNIENIA<sup>1</sup>

---

**Mariusz Buława**

dr inż., voestalpine TENS Sp. z o.o.

---

**Krzysztof Semrau**

mgr inż., voestalpine VAE Polska

---

*Streszczenie.* Przedstawiono wybrane zagadnienia dotyczące niezawodności systemu rozjazdowego. Wykorzystano wnioski z projektu Innotrack oraz projektów badawczych realizowanych przez OBB, SBB i DB, a także doświadczenia PKP.

*Słowa kluczowe:* rozjazd kolejowy, niezawodność, koszty cyklu życia

## 1. Wprowadzenie

Eksploatacja (urządzeń) infrastruktury kolejowej obok zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, wymaga ciągłego dążenia do uzyskania wysokiej dostępności przy jednoczesnej racjonalizacji nakładów utrzymaniowych. Rosnące oczekiwania w zakresie gwarantowanego poziomu dostępności przekładają się na coraz wyższe koszty incydentów skutkujących perturbacjami ruchowymi, co pociąga potrzebę zapewnienia możliwie nieprzerwanej sprawności i funkcjonalności infrastruktury. W rezultacie zastosowane rozwiązania techniczne przekładają się na koszty cyklu życia (ang. LCC), reprezentujące całość nakładów na zakup i eksploatację urządzeń.

Jednym z kluczowych i odpowiedzialnych za bezpieczeństwo elementów infrastruktury kolejowej jest rozjazd kolejowy, umożliwiający bezpieczną zmianę kierunku przejazdu pojazdu szynowego. Jego funkcjonowanie w oczywisty sposób przekłada się na dostępność linii kolejowej, zatem naturalne jest poszukiwanie rozwiązań zorientowanych na poprawę jego niezawodności. Waga powyższego zagadnienia wynika ze stosunkowo dużej złożoności systemu rozjazdowego. W wąskim ujęciu tworzą go nawierzchnia stalowa wraz z zamknięciami nastawczymi oraz urządzeniami przestawiania i kontroli urządzeniami, natomiast na jego funkcjonowanie bezpośredni wpływ ma jakość podtorza.

W celu poprawy niezawodności rozjazdu powinien on być traktowany jako jeden system realizujący zadane funkcje. Powyższe podejście jest utrudnione z uwagi na dostawy elementów systemu rozjazdowego z różnych źródeł (np. osobno nawierzchnia stalowa, osobno napęd i kontrolery), co prowadzi do stosowania roz-

---

1 Wkład autorów w publikację: Buława M. 50%, Semrau K. 50%

wiązań dalekich od optymalnych oraz rozkłada odpowiedzialność za funkcjonowanie całego systemu pomiędzy poszczególnych dostawców jego części składowych. Warto więc zwrócić uwagę na wybrane zagadnienia związane z niezawodnością systemów rozjazdowych, koncentrując się na kluczowych wyzwaniach technicznych, co jest przedmiotem niniejszego artykułu.

## 2. Wybrane zagadnienia związane z niezawodnością systemów rozjazdowych

### 2.1. Trwałość konstrukcji rozjazdowych

Zagadnienie trwałości konstrukcji rozjazdowych było i jest przedmiotem szeregu analiz i prac badawczych. Wśród obszarów zainteresowań można wyróżnić poszukiwania:

- adekwatnych materiałów,
- odpowiednich geometrii minimalizujących oddziaływania dynamiczne tor-pojazd, w tym zastosowanie krzyżownic z ruchomym dziobem,
- optymalnego rozkładu sił i nacisków na nawierzchnię poprzez elastyczne posadowienie,
- minimalizacji połączeń.

#### 2.1.1. Materiały

Dobór właściwego materiału stalowego do produkcji głównych części rozjazdowych nie jest łatwy, gdyż oczekuje się jednoczesnego spełnienia dwóch wymagań – dużej wytrzymałości i niezbędnej plastyczności. Stopień plastyczności powinien być taki, by nie następowało rozwalcowywanie powierzchni tocznej, a jednocześnie by zachowana była odporność na uderzenie. W rezultacie coraz szerzej stosuje się szyny i materiały o plastyczności  $Re = 700$  Mpa, wytrzymałości na rozciąganie 880-1100 Mpa oraz twardości  $\geq 300$  HB.

Korzystne parametry stali uzyskuje się w procesie ulepszania cieplnego tzw. perlityzacji. Poprzez nagrzanie szyny do temperatury austenizacji, a następane schłodzenie w kąpeli olejowej uzyskuje się strukturę drobno płytkowego perlitu. W ten sposób uzyskuje się szyny lub bloki do obróbki dziobnic o twardości powierzchni tocznej 320-390 HB. Istotne znaczenie dla twardości i wytrzymałości stali szynowej ma mały odstęp pomiędzy płytkami cementytu w perlicie (zmniejszenie odstępów z  $140 \mu\text{m}$  do  $70 \mu\text{m}$  zwiększa twardość z 280 HB do 360 HB). Taki materiał ma również zwiększoną odporność na rozprzestrzenianie się pęknięć [7]. Stal perlityczna stosowana jest w konstrukcji dziobów krzyżownic zwiększając ich twardość do 340 – 360 HB, co wpływa na zwiększenie odporności krzyżownicy na zużycie. Stosowanie takiej szyny np. na łukach zwiększa nawet 5 krotnie czas ich eksploatacji. Warto przypomnieć, że stal perlityczną uzyskuje się w procesie ogrzewania i schładzania w kąpeli olejowej oraz poprzez dodatki do składu stali,

takie jak: Mn, Si, Cr, V. Uzyskanie parametrów zbliżonych do stali perlitycznej nie jest możliwe w procesie powierzchniowego hartowania metodą nagrzewania płomieniowego i schładzania, gdyż na skutek takiej obróbki nie następują zmiany w gęstości upakowania stali w głębszych jej warstwach.

Obecnie rozpoczęto produkcję materiałów szynowych i dziobnic krzyżownic ze stali o strukturze bainitycznej ze stali niskowęglowych. Stale te charakteryzują się twardością do 400 HB, bardzo dużą odpornością na pękanie i o 30% wyższą odpornością na ścieranie, co zapobiega rozwojowi pęknięć zmęczeniowych w strefie kontaktu koła z szyną. Dotychczasowe wyniki badań tych materiałów są niezwykle obiecujące, co pozwala przewidywać ich rosnące zastosowania.

Doświadczenia eksploatacyjne wielu zarządów kolejowych wskazują na wysokie walory użytkowe krzyżownic wykonanych ze staliwa manganowego. Parametry referencyjne dla krzyżownic manganowych wskazują, że okres użytkowania bez napawania (do 18 lat) powinien pozwolić na przeniesienie 200 MgT, a całkowity okres użytkowania powinien osiągnąć 20-25 lat (250 MgT). Tego typu krzyżownice zostały przebadane w kilku europejskich projektach min. INNOTRACK [1], testy na odcinku próbnym OBB Brixlegg oraz projekcie SBB „Strategie Weichen”. Ich wyniki wskazują na znaczącą poprawę właściwości krzyżownic manganowych poprzez zastosowanie wstępnego utwardzania metodą wybuchową (explosive deep hardening). Wzmacnianie metodą wybuchową EDH pozwala utwardzić krzyżownicę manganową odlewaną od twardości początkowej 220 HB do ponad 350 HB przed zabudową w tor. Należy podkreślić, że w przypadku odlewu uzyskuje się jednorodność twardości w znacznie większej głębokości na przekroju profilu sięgającej 25 mm, a nie jedynie twardość powierzchniową. Powyższa metoda zastępuje obciążenie ruchem o wielkości od 5 do 10 mln ton i pozwala na eliminację przynajmniej jednego napawania w trakcie żywotności krzyżownicy, oraz wydłużenie żywotności krzyżownicy do 50%.

Należy również zwrócić uwagę przy tej okazji na fakt, że przedmiotem badań zarówno Innotrack, jak innych projektów na sieciach DB, OBB, SBB były zalecane i stosowane do produkcji części rozjazdowych stale perlityczne, HSH, bainityczne. Również warto zauważyć, że brakuje wyników badań stali R260 utwardzanej metodą nagrzewania zachęcających do jej stosowania, z uwagi na fakt, że proces ten nie zmienia wglębnie struktury atomowej stali.

Omawiając krzyżownice manganowe nie sposób zwrócić uwagi na fakt odstąpienia niektórych zarządców kolei od stosowania krzyżownic z wkładkami np. manganowymi czy też śrubunkami z uwagi na fakt koniecznej kontroli stanu połączeń, oraz rosnących kosztów produkcji i utrzymywania takich krzyżownic. W szczególności dotyczy to np. rozjazdów typu Rkpd, które są nadal powszechnie w rozwiązaniach stacyjnych pomimo wielu prób odejścia od tego złożonego rozwiązania.

### 2.1.2. Minimalizacja oddziaływań dynamicznych

W celu minimalizacji oddziaływań dynamicznych w obszarze rozjazdu podejmowanych jest szereg działań, wśród których warto wspomnieć:

- a) optymalizacja geometrii konstrukcji rozjazdowych z wykorzystaniem modeli pojazdów,
- b) stosowanie krzyżownic z ruchomym dziobem,
- c) elastyczne posadowienie rozjazdu.

Przykładem optymalizacji kinetycznej geometrii iglic i opornic zmniejszającej zjawisko wężykowania koła pociągu i zmniejszające siły RCF jest FAKOP, pozwalający na zwiększenie spokojności przejazdu taboru przez zwrotnicę.

Zastosowanie krzyżownic z ruchomym dziobem redukuje dynamiczne obciążenia wywierane na krzyżownicę i całość rozjazdu poprzez brak uderzeń i bicia bocznego obrzeży kół oraz poprzez eliminację sił bocznych dzięki tzw. szynie prowadzącej. Ich stosowanie prowadzi do wydłużenia czasu eksploatacji, znacznej redukcji prac prewencyjnych ( np. szlifowania), jak i korygujących ( zdejmowanie spływów) prowadząc w efekcie do redukcji kosztów w rachunku LCC. Dodatkowo uzyskuje się zwiększenie komfortu jazdy, redukcję poziom hałasu i umożliwienie fazowania procesu stopniowego podnoszenia prędkości na linii. Jednymi z badań porównawczych wytrzymałości rozjazdów z ruchomym dziobem przeprowadzonymi w Europie były badania Technische Universitat w Graz (Austria), gdzie na linii dwutorowej Westabahn pod obciążeniem 80.000 T/dzień i 55.000 T/dzień zbadano zużycia i koszty utrzymaniowe krzyżownic manganowych Mn13 EDH i krzyżownicy z ruchomym dziobem [3]. Porównując koszty i nakłady na prace utrzymaniowe w perspektywie 20 lat stwierdzono m.in.:

- krzyżownica manganowa wymagała 7-krotnego podbijania, a krzyżownica z ruchomym dziobem 5-krotnego podbijania
- krzyżownica manganowa wymagała jedнокrotnego dodatkowego napawania
- krzyżownica manganowa wymagała corocznego zdejmowania spływów, a krzyżownica z ruchomym dziobem co 2 lata
- w trakcie całej żywotności krzyżownicy z ruchomym dziobem krzyżownica manganowa wymagała wymiany całkowitej

We wnioskach z badań uznano, że wprowadzenie krzyżownicy z ruchomym dziobem wydłuża cykl podbijania o 25%, redukuje częstotliwość szlifowania, a koszt usuwania usterek spada o ponad 10%. Podczas okresu żywotności badanych rozjazdów nastąpiła wymiana krzyżownicy ze stałym dziobem [4]. Zużycia na krzyżownicach ze stałym dziobem przy 200 km/h, niezależnie od rodzaju stosowanej stali np. perlit, bainit czy mangan są tak znaczne, że generują koszty utrzymania (wprawdzie rozłożone w czasie), ale przewyższające koszty krzyżownic z ruchomym dziobem, oferując jednocześnie niższy standard przejazdu, hałas i zwiększone oddziaływanie na podtorze.

Elementem konstrukcji rozjazdu, który kryje nadal duże rezerwy w optymalizacji zużyć jest elastyczne posadowienie, które redukuje siły na styku koło-szyrna i obciążenia działające na punkt podparcia. Zastosowanie elastycznego posadowienia pozwala na podwyższenie żywotności rozjazdów i ich głównych części (krzyżownica) oraz zredukowanie kosztów konserwacji i utrzymania, a w efekcie redukcji kosztów w rachunku LCC. Jak dowodzą badania DB nad optymaliza-

cją sztywności punktu podparcia zastosowanie elastycznego posadowienia odpowiadającego sztywności 85 kN/mm pozwala w stosunku do toru o sztywności posadowienia 500 kN/mm zredukować o 40% siły pionowe przy prędkości 200-230 km/h. Badania na DB zostały przeprowadzone na stacji Borkheide gdzie zastosowano sztywność pod zwrotnicą i krzyżownicą 30 kN/mm zaś szyn 40 kN/mm dla Rz 60 300 1:9 i Rz 60 500 1:12. Zgodnie z wynikami nastąpiła redukcja ogólnej sztywności rozjazdu o 50%, redukcja pionowych i wzdłużnych sił w obrębie krzyżownicy o ponad 30%. Po przejechaniu 35 MgT brak śladów zużycia na powierzchni tocznej szyn [2].

Reasumując, można stwierdzić, że w konstrukcji stalowej rozjazdów poprzez zastosowanie optymalnej geometrii, typu rozjazdu, materiału głównych części stalowych i posadowienia tkwią olbrzymie rezerwy możliwej minimalizacji zużyć nawierzchni, ograniczenia prac utrzymaniowych i znacznego wydłużenia żywotności nawierzchni.

## *2.2. Podatność utrzymaniowa*

Oczekiwaną właściwością konstrukcji rozjazdowych jest ograniczenie nakładów utrzymaniowych. Współczesny system rozjazdowy powinien zachować bezpieczeństwo i wysoką dostępność przy działaniach utrzymaniowych (przeglądy, regulacje, naprawy) realizowanych nie częściej niż dwa razy w roku. Za kilka lat można oczekiwać wydłużenia okresu między aktywnościami utrzymaniowymi nawet do 1 roku.

Dodatkowym, lecz niezwykle ważnym wymaganiem jest zapewnienie możliwości mechanicznego podbijania rozjazdu bez demontażu jego urządzeń (napęd, zamknięcia, kontrolery, przeniesienie sił).

Dla osiągnięcia powyższego celu stosuje się m.in.

- a) systemy rolek umożliwiające rezygnację ze smarowania,
- b) hermetyczne zamknięcia nastawcze, niewrażliwe na wpływ warunków środowiskowych,
- c) układy przeniesienia siły możliwie niewrażliwe na zmiany temperatury otoczenia (np. hydrauliczne),
- d) rozwiązania techniczne nie kolidujące z podbijarkami automatycznymi, szczególnie dla rozjazdów dużych prędkości.

### 2.2.1. Systemy rolek

Rollkowe systemy wspomagające przestawianie zwrotnicy pozwalają zmniejszyć opory przestawiania rozjazdu i ograniczyć zabiegi utrzymaniowe (eliminacja smarowania stołeczków ślizgowych) umożliwiając przystosowywania rozjazdów do pracy bezobsługowej - redukując wymagane przeglądy do okresów 6 miesięcznych. W wyniku coraz bardziej powszechnej świadomości korzyści wynikających z tego typu systemów w ostatnich latach powstało wiele różnych rozwiązań technicznych. Ocena ich przydatności wymaga jednakże potwierdzenia oczekiwanych

parametrów użytkowych w długim okresie czasu. Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne każą zwrócić uwagę na następujące problemy:

- stopniowe wyrabianie się bruzdy w stopie szyny nad rolką,
- wycieranie się rolek,
- problemy z regulacją wysokości rolek ponad stołeczki ślizgowe,
- tarcie ostrza iglicy niepodpartego rolką na pierwszy zamknięciu o stołeczek ślizgowy pod ciężarem iglicy i zamknięcia.

Jak dowodzą badania porównawcze systemów rolkowych, lepsze parametry mają rolki o mniejszych średnicach, z materiałów podatnych (nie stalowych), rozłożone w miarę równomiernie po długości iglicy (nieskupione w 3-4 polach). Firmy mające wieloletnie tradycje techniczne i doświadczenie w stosowaniu urządzeń rolkowych preferują obecnie rolki umocowane do płyt żebrowych, co 2-3 pola, o małej średnicy i niskim podniesieniu nad stołeczek ślizgowy (np. 2 mm). Tego typu rolki sprawnie pozwalają zmniejszyć opory przestawiania, nie męczą iglicy i nie wymagają regulacji.

Mówiąc o systemie rolkowym warto podkreślić wagę jego prawidłowego doboru – nieprawidłowości w tym zakresie mogą prowadzić do zwiększenia nakładów utrzymaniowych na regulację i wymianę zużytych elementów, a w niektórych przypadkach konieczność demontażu na czas podbijania rozjazdu. Na końcu warto przypomnieć, że warunkiem właściwej pracy rolek jest prawidłowe ułożenie i podbicie rozjazdu.

### 2.2.2. Zamknięcia nastawcze i układy przenoszenia siły

Istotnym elementem wpływającym na pracę rozjazdu są zamknięcia nastawcze oraz układy przeniesienia siły. Pożądane właściwości powyższych urządzeń obejmują:

- odporność na zmiany warunków środowiskowych, w szczególności wahania temperatur,
- zabezpieczenie wewnętrznych mechanizmów przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych (eliminacja zacięć),
- ograniczone nakłady utrzymaniowe (regulacje, przeglądy).

Niestety znane i stosowane powszechnie klamrowe zamknięcia nastawcze (fot. 1) nie zapewniają oczekiwanych parametrów niezawodnościowych. Alternatywą są wdrożone niedawno zamknięcia hermetyczne (fot. 2), których ponadprzeciętne właściwości eksploatacyjne zostały potwierdzone na przestrzeni ostatnich lat eksploatacji m.in. na sieci OBB i PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Korzyści z ich stosowania są szczególnie widoczne w przypadku intensywnie eksploatowanych rozjazdów oraz rozjazdów w lokalizacjach odległych od obsługi technicznej [5].



*Fot. 1. Kłamrowe zamknięcie nastawcze*



*Fot. 2. Hermetyczne zamknięcie nastawcze*

Również stosowane układy przeniesienia siły ograniczają niezawodność i trwałość konstrukcji rozjazdowych, wymagając dodatkowych nakładów utrzymaniowych. Powyższe wady, w różnym stopniu dotyczą zarówno sprzężeń mechanicznych (fot. 3), jak i rozwiązań wielonapędowych (fot. 4).



*Fot. 3. Mechaniczny układ przeniesienia siły*



*Fot. 4. Układ wielonapędowy*

Przykładem rozwiązania eliminującego wady wymienionych wcześniej układów sprzężeń mechanicznych i wielonapędowych jest system hydrauliczny zainstalowany między tokami szynowymi zapewniający przestawianie rozjazdu za pomocą pojedynczego napędu (fot. 5).



*Fot. 5. Hydrauliczny układ przeniesienia siły*

### *2.3. Jakość początkowa*

Trwałość i niezbędne nakłady utrzymaniowe rozjazdu są uzależnione od jego jakości początkowej, tj. tuż po zabudowie. Coraz częściej rozjazd jest dostarczany na plac budowy w postaci zmontowanej w fabryce wraz z pod-

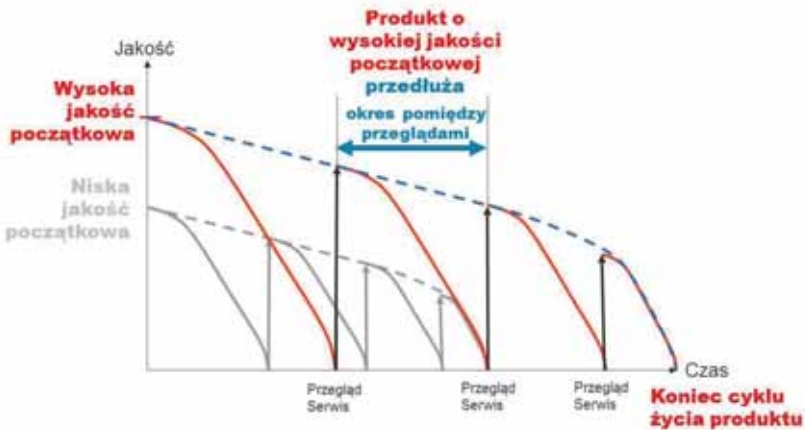


kładami oraz urządzeniami, a następnie instalowany bezpośrednio w torze (fot. 6).



Fot. 6. Rozjazd zmontowany w fabryce dostarczony na plac budowy

Doświadczenia wielu zarządów kolejowych wskazują na wymierne korzyści takiego działania, w szczególności ograniczenie nakładów utrzymaniowych w wyniku wydłużenia okresów międzyprzebiegów oraz znaczące wydłużenie czasu życia rozjazdu (rys. 1).



Rys. 1. Cykl życia rozjazdu

Powyższe ma szczególne zastosowanie do rozjazdów dużych prędkości, z uwagi na ich długość, ilość urządzeń oraz wymaganą dokładność instalacji. Pewnym ograniczeniem stosowania tej technologii jest konieczność zapewnienia specjalistycznych wagonów (fot. 7) oraz specjalistycznych dźwigów [6].



*Fot. 7. Transport zmontowanych rozjazdów*

### 3. Podsumowanie

Zagadnienie niezawodności rozjazdu kolejowego jest niezwykle ważne dla zarządców kolejowych optymalizujących dostępność linii kolejowych w funkcji nakładów. Istotnym dla poprawnych wniosków jest całościowe widzenie systemu rozjazdowego, począwszy od konstrukcji nawierzchni, poprzez urządzenia przedstawiania i kontroli (napędy, kontrolery, przenoszenie sił), a skończywszy na jakości jego instalacji. Dla podjęcia właściwych decyzji kluczowe jest zrozumienie uwarunkowań, w których funkcjonuje system rozjazdowy oraz wiedza dotycząca współczesnej techniki rozjazdowej. Praktyczne osiągnięcia wiodących zarządców kolejowych w tym obszarze są niezwykle obiecujące. W wielu krajach standardem jest system rozjazdowy, którego utrzymanie sprowadza się do 2 inspekcji w roku oraz mechanicznych podbić niezbędnych do zapewnienia bezawaryjnej pracy. Konieczne jest jednak podkreślenie niezbędnej determinacji zarządcy infrastruktury we wdrażaniu nowoczesnych strategii utrzymania linii kolejowych zorientowanej na zapewnienie wymaganego poziomu bezpieczeństwa i dostępności przy minimalizacji nakładów utrzymaniowych. W praktyce istotną barierą postępu w tym zakresie jest przywiązanie do dotychczasowych, często przestarzałych rozwiązań połączone z brakiem rzetelnej wiedzy o dostępnych nowoczesnych rozwiązaniach.

### Bibliografia

- [1] Projekt „INNOTRACK”, materiały informacyjne.
- [2] Projekt Deutsche Bahn: „Optymalizacja sztywności punktu podparcia” – materiał BWG WBG.
- [3] Projekt: „Strategie Fahrweg” TU Gratz Prof. Veit – ETR Eisenbahntechnische Rundschau 2000.

- 
- [4] Projekt SBB Schweiz: „Strategie Weichen” – materiał voestalpine VAE GmbH
  - [5] Lewinski L., Rosinski P., Szóstakowski G., Nowoczesne zamknięcia rozjazdowe – pierwsze doświadczenia eksploatacyjne na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Konferencja Naukowa „Drogi Kolejowe 2011” Gdańsk-Gdynia 5-7.10.2011.
  - [6] Ulatowski W., Michowski P., Nowoczesny system rozjazdowy na przykładzie tunelu Gottharda. Konferencja Naukowa „Drogi Kolejowe 2011” Gdańsk-Gdynia 5-7.10.2011.
  - [7] Towpik K., Infrastruktura Drogi Kolejowej. Warszawa-Radom 2006.