

PROBLEM AUTOMATYCZNEGO REGULOWANIA ROZSTAWU KÓŁ NA OSI ZESTAWU KOLEJOWEGO

Streszczenie: W artykule omówiono wpływ obciążeń na wartość oporów przesuwu koła wagonu na czopie osi w czasie regulacji rozstawu oraz wykazano potrzebę stosowania liczby dopuszczalnego współczynnika tarcia w ruchowym połączeniu czop-piasta. Zaproponowano nową postać konstrukcyjną mechanizmu automatycznej regulacji rozstawu kół na czopach osi wagonu kolejowego.

1. WSTĘP

Niezmiernie istotna jest płynność i przepustowość węzła przy zmianie szerokości toru kolejowego. Wydaje się, że w kolejnictwie nie nastąpi europejsko-azjatycka unifikacja szerokości toru z powodu potencjalnie ogromnych kosztów jej przeprowadzenia. Dlatego automatyzacja zmiany rozstawu kół jest obecnie jedną z głównych potrzeb związanych z transportem kolejowym pomiędzy wschodnią i zachodnią częścią naszego kontynentu.

Z uwagi na konieczność stosowania w kolejnictwie bardzo niezawodnych i bezpiecznych urządzeń, porusza się niniejszym pewne aspekty związane z problematyką niezawodności działania, a w szczególności wpływu sposobu obciążenia koła w czasie regulacji rozstawu kół na osi zestawu kołowego na zjawiska zachodzące w ruchowym połączeniu czopa osi zestawu z piastą koła. W wyniku przeprowadzonej analizy tej problematyki proponuje się wprowadzenie do obliczeń ruchowego połączenia wymaganą liczbę współczynnika tarcia μ_p .

Konstrukcję urządzenia z ruchowym połączeniem można różnie kształtować i rozwijać, wydaje się jednak, że siła regulująca położenie koła na czopie powinna działać w głównej osi symetrii koła.

W dalszej części artykułu zaproponowano do dyskusji sposób wymuszania wzdłużnego przesuwu koła po czopie osi oraz przykładową konstrukcję urządzenia automatycznie regulującego rozstaw kół wagonu kolejowego.

2. OPORY PRZESUWU W POŁĄCZENIU PIASTY KOŁA Z OSIĄ WAGONU

W rozwiązaniach konstrukcyjnych dąży się do tego, aby koło wagonu miało możliwość przemieszczania się wzdłuż osi w czasie przejazdu wagonu z toru o jednej szerokości na tor o innej szerokości.

W propozycji rozwiązania, np. [6, 7], wymuszanie przesuwu wywołują siły boczne pomiędzy szyną i kołem, a siły te wywołane są zmianą rozstawu szyn. Rozwiązanie takie może być wystarczające w warunkach optymalnych, natomiast w transporcie kolejowym warunki zewnętrzne, tj. warunki środowiska pracy zestawu kolejowego oraz warunki pracy ruchowego połączenia oś-piasta są zróżnicowane, niekiedy skrajne. Warunki te mogą doprowadzać do wzrostu oporów przesuwu w połączeniu ruchowym pomiędzy piastą i czopem w czasie regulacji rozstawu kół na osi.

Dodatkowe opory przesuwu powodować może m.in. korozja frettingowa rozwijająca się w obciążonym połączeniu [1, 5], oddziaływanie tzw. efektu krawędziowego [3].

Na rysunku 1 pokazano przykładowy efekt oddziaływania zmiennego obciążenia w kierunku promieniowym w połączeniu o kształcie walcowym. Korozja frettingowa, w tym przypadku już po ok. $4 \cdot 10^4$ zmian obciążenia, może istotnie wpłynąć na opory przesuwu związane z potrzebą regulacji położenia koła wagonu na swej osi.

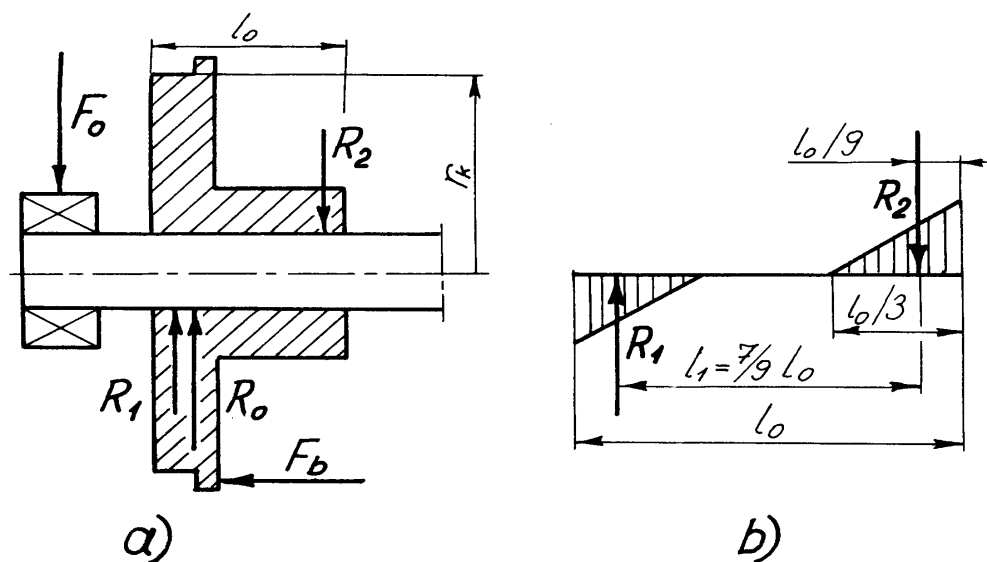


Rys. 1. Wyniki obciążania połączenia sworzniowego siłą zmienną $F_r = 100/10$ kN [4]

Zwiększenie oporów przesuwu powoduje zwiększenie się bocznego nacisku szyny na koło, większe zużycie pary ciernej oraz większy moment zginający oś zestawu, a to powoduje większe siły reakcji w połączeniu ruchowym oś-piasta, co dodatkowo zwiększa opory przesuwu w połączeniu.

Z powyższego wynika, że ze względu na zjawisko synergicznego narastania oporów w połączeniu, niewielki ich wzrost spowodować może istotne zakłócenie przesuwu.

Na rysunku 2 pokazano schemat przykładowego rozkładu sił działających w połączeniu ruchowym piasty z osią koła wagonu kolejowego przy bocznych naciskach szyny na koło.



Rys. 2. Koło z osią wagonu
a - obciążenie osi koła, b - założony rozkład obciążenia na długości piasty.

Z rozkładu obciążenia w połączeniu (rys. 1) wynika, że opory przesuwu piasty po osi w chwili regulacji rozstawu kół wagonu, w kierunku przesuwu z toru szerszego na tor węższy, wynosić będą:

$$O_p = \mu (R_o + R_1 + R_2), \quad (1)$$

$$R_1 = R_2, \quad (2)$$

$$R_1 = F_b r_k / l_1, \quad (3)$$

$$F_b \geq O_p, \quad (4)$$

$$R_o = F_o, \quad (5)$$

gdzie: O_p - opór przesuwu w połączeniu oś – piasta koła,
 F_o - siła nacisku na węzeł łożyskowy osi wagonu,
 R_o - reakcja od siły nacisku F_o na węzeł łożyskowy,
 $R_{1,2}$ - para sił w połączeniu w wyniku oddziaływania siłą boczną szyny na koło,
 F_b - siła boczna (oddziaływanie szyny na koło przy regulacji rozstawu kół),
 r_k - promień koła,
 l_1 - ramię pary sił R_1, R_2 , a przy założeniu rozkładu obciążeń jednostkowych jak na rys. 2b, ramię $l_1 = 7/9 \cdot l_o$ tj. całkowitej długości piasty koła.

Z układu równań od (1) do (5) wyznaczyć można obliczeniową liczbę współczynnika tarcia μ w połączeniu, powyżej której spodziewać się można utraty możliwości przesuwu w połączeniu ruchowym oś –piasta koła.

$$\mu \leq \frac{F_b}{F_o + 2F_b \frac{r_k}{l_1}} \quad (6)$$

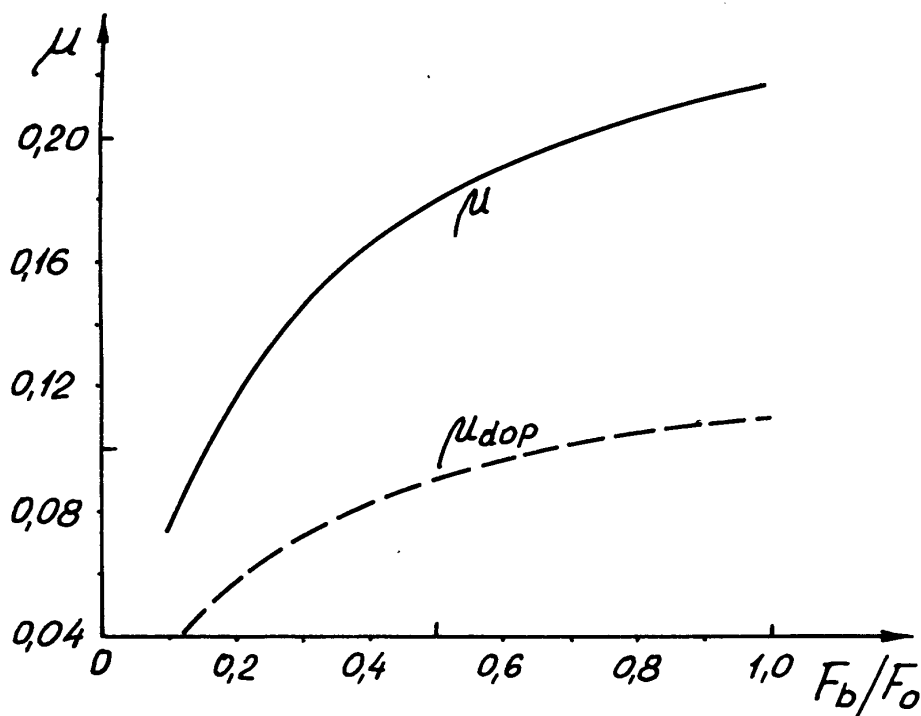
Dla zakładanej proporcji, $r_k/l_1 \approx 1,78$ liczba współczynnika tarcia μ w połączeniu obliczona z zależności (6) pokazano w postaci graficznej na rysunku 3, na którym poniżej krzywej $\mu=f(F_b/F_o)$ znajduje się pewna strefa związana z prawdopodobnym występowaniem dodatkowych oporów przesuwu w ruchowym połączeniu oś-piasta koła. Dodatkowe opory przesuwu mogą być powodowane zanieczyszczeniami, zużyciem fretting [1], korozją frettingową [5] lub działaniem efektu krawędziowego [3]. Ocena wpływu ilościowego tych dodatkowych czynników na opory przesuwu nie mieści się w zakresie niniejszej pracy, jest to jedynie uwaga dotycząca możliwych istotnych utrudnień związanych z przesuwarem w połączeniu ruchowym, szczególnie po dłuższym okresie eksploatacji.

Niektóre z dodatkowych czynników mają wpływ na liczbę współczynnika tarcia i mogą spowodować taki jej wzrost, przy którym wzrost wartości sił reakcji w połączeniu ruchowym $R_{1,2}$ może uniemożliwić regulowanie rozstawu kół za pomocą sił bocznych F_b .

Z zależności (3) i (4) wyznaczone wartości sił $R_{1,2}$, powodowane poziomym oddziaływaniem szyny na koło (siła boczna F_b), wynoszą

$$R_{1,2} = \frac{\mu \frac{r_k}{l_1} \cdot F_o}{1 - 2\mu \frac{r_k}{l_1}} \quad (7)$$

Z zależności (7) wynika, że wartość mianownika nie może dążyć do zera, co oznacza, że przy wartości stosunku np. $r_k/l_1 \approx 1,78$ współczynnik μ nie może zbliżyć się do liczby 0,28.



Rys. 3. Obliczeniowe μ i dopuszczalne μ_{dop} liczby współczynników tarcia w zależności od sił działających na koło w czasie regulacji rozstawu, dla $r_k/l_1 \approx 1,78$

Z powodu zasadniczego wpływu oporów przesuwu w ruchowym połączeniu oś-piasta koła na bezpieczeństwo przewożonych osób i ładunku, powinno się to uwzględnić w obliczeniach przez zastosowanie dodatkowego współczynnika x_p zabezpieczającego pewność przesuwu w połączeniu, co oznacza, że w ruchowym połączeniu oś-piasta wymagana liczba współczynnika tarcia μ_p powinna być mniejsza od dopuszczalnej liczby współczynnika μ_{dop} , co można zapisać w postaci

$$\mu_p \leq \mu_{dop} = \mu / x_p, \quad (8)$$

przy czym μ jest liczbą współczynnika tarcia obliczoną z zależności (6).

Do obliczeń wymaganej liczby współczynnika tarcia w ruchowym połączeniu μ_p można wstępnie przyjąć liczbę współczynnika bezpieczeństwa, np. $x_p = 2$, wtedy $\mu_p \leq \mu/2$.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że do zapewnienia wieloletniego i niezawodnego działania ruchowego połączenia czopa osi wagonu z piastą koła, przy wymaganej liczbie współczynnika tarcia μ_p , w przypadku wykorzystania siły oddziaływania szyny na koło do jego przesuwu na osi, mogą wystąpić trudności.

3. NOWA POSTAĆ KONSTRUKCYJNA MECHANIZMU AUTOMATYCZNEJ REGULACJI ROZSTAWU KÓŁ NA OSI WAGONU KOLEJOWEGO

Działanie mechanizmu automatycznej regulacji rozstawu kół wagonu kolejowego zależne jest istotnie od właściwego funkcjonowania ruchowego połączenia czopa osi z piastą koła, a

wpływ na to funkcjonowanie ma odpowiednie umieszczenie siły wymuszającej przesuw koła na czopie osi.

Istota nowej propozycji postaci konstrukcyjnej urządzenia do automatycznej regulacji rozstawu kół na osi zestawu kołowego **polega na centralnym umieszczeniu siły wymuszającej przesuw koła po czopie osi**, siła ta działa w głównej osi symetrii koła.

Realizacją konstrukcyjną zapewniającą, że użyta siła do przesuwania koła działać będzie w głównej osi symetrii koła, może być np. połączenie gwintowe. Schemat postaci konstrukcyjnej urządzenia do automatycznej regulacji rozstawu kół na czopach osi wagonu kolejowego z zastosowaniem połączenia gwintowego, pokazano na rysunku 4.

3.1. Opory przesuwu

W zestawie kołowym o proponowanym [2] rozwiązaniu konstrukcyjnym (rys. 4), opór przesuwu jest związany jedynie z siłą tarcia od siły reakcji $R_o = F_o$. Stąd siła potrzebna do przesunięcia koła na czopie osi wynosi $F_c \geq \mu \cdot F_o$.

Ważne w proponowanej konstrukcji jest także to, że liczba współczynnika tarcia w połączeniu ruchowym nie ma istotnego znaczenia. Nawet przy dużej liczbie współczynnika tarcia, wartość siły F_c regulującej położenie koła na osi rośnie jedynie proporcjonalnie, co nie sprawia większego kłopotu w czasie eksploatacji, ponieważ połączenie gwintowe pozwala uzyskać znaczne wartości sił w kierunku osiowym.

3.2. Regulacja rozstawu kół na czopach osi

W proponowanym rozwiązaniu konstrukcyjnym mechanizmu do automatycznej regulacji rozstawu kół na czopach osi zestawu, siły wymuszania uzyskuje się za pomocą połączeń gwintowych [2]. Piasta koła, na zewnątrz nagwintowana (śruba) obejmowana jest tuleją z gwintem wewnętrznym (nakrętka), przy czym dla jednego koła połączenie jest z gwintem prawym, a dla drugiego koła na osi połączenie jest z gwintem lewym. Jest to negatywna cecha rozwiązania, ponieważ po jednej stronie składu pociągu wszystkie koła muszą mieć taki sam kierunek gwintu w połączeniu piasty z tuleją. Stąd przy ew. stosowaniu tego typu rozwiązania zachodzi konieczność widocznego oznakowania kół o kierunku gwintu, np. przez wytłoczenie liter P oraz L. Oprócz tego skład pociągu musi jechać w odpowiednim kierunku. Np. patrząc z zewnątrz toru na koło P przy ruchu wagonu w prawo, rozstaw kół na osi wagonu będzie się zwężał. Inaczej to ujmując, wagon przejeżdżając przez zębatkę prostą o długości l_z przestawiony zostaje z toru szerokiego na normalny.

Różnica pomiędzy szerokościami torów, azjatyckiego i europejskiego, wynosi $\Delta_t = b_a - b_e = 1520 - 1435 = 85$ mm. Wynika z tego, że każde z kół na czopie osi przy zmianie szerokości torów, powinno przesunąć się o $\Delta_t/2$. Przy różnicy obwodu koła wagonu i obwodu koła zębatego dla pewnej drogi obtaczania (koło wagonu po szynie, koło zębate na tulei po zębatce prostej) wynikają zależności:

$$\Delta_t = 2 \cdot u_{wzgl} \cdot h \quad (9)$$

$$u_{wzgl} = u_t - u_k \quad (10)$$

$$u_t = l_z / \pi \cdot d_t \quad (11)$$

$$u_k = l_z / \pi \cdot d_k \quad (12)$$

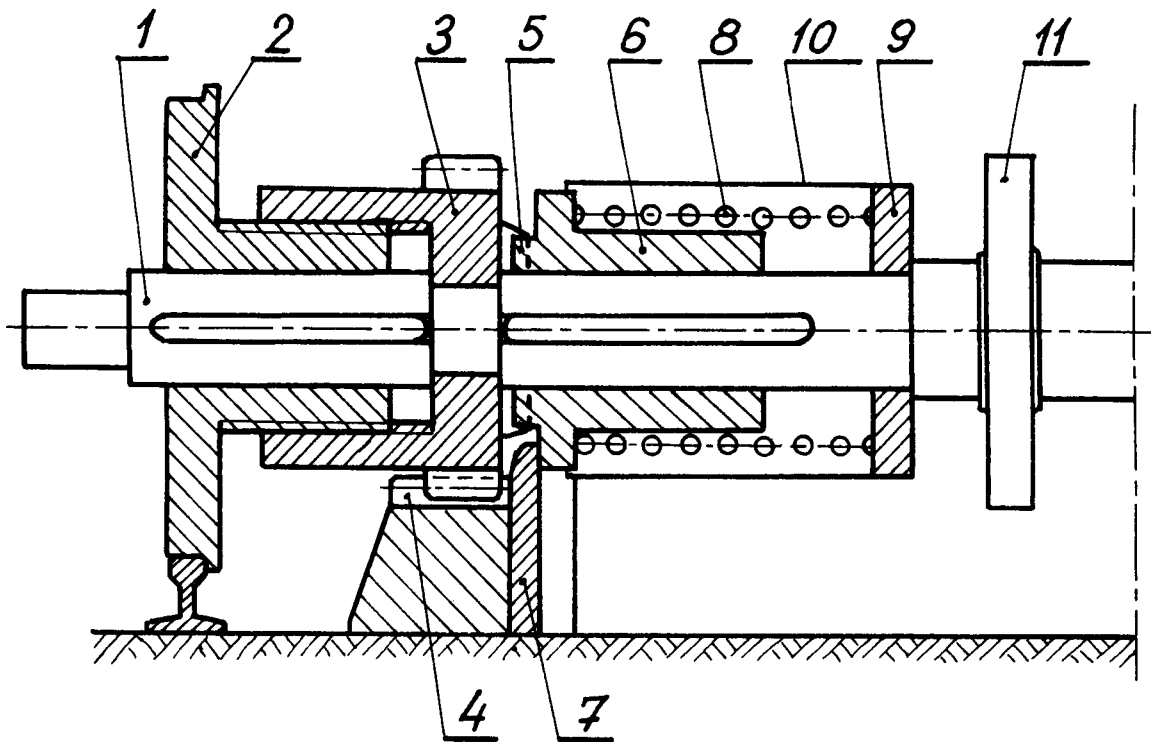
gdzie: u_{wzgl} - względna liczba obrotów pomiędzy piastą koła i tuleją regulującą przy przejeździe przez zębatkę prostą,

h - skok gwintu w połączeniu piasta koła –tuleja,

- l_z - długość zębatki prostej zamocowanej na torowisku w miejscu zmiany rozstawu,
- u_t - liczba obrotów tulei uzębionej na długości zębatki,
- u_k - liczba obrotów koła na długości zębatki,
- d_t - średnica toczna koła zębatego na tulei,
- d_k - średnica toczna koła.

Z zależności od (9) do (11) wyznaczyć można długość zębatki prostej potrzebnej do przesunięcia koła na osi wagonu o wymaganą odległość 42,5 mm

$$l_z = \frac{\pi \cdot \Delta_t}{2h \cdot \left(\frac{1}{d_t} - \frac{1}{d_k}\right)} \quad [\text{mm}] \quad (13)$$



Rys. 4. Urządzenie do automatycznej regulacji rozstawu kół na osi wagonu kolejowego

- 1 – oś zestawu, 2 – koło o wydłużonej piaście, 3 – uzębiona tuleja do przesuwu koła,
- 4 – zębatka prosta, 5 – ryglujące sprzęgło wzdłużne wielowypustowe,
- 6 – tuleja ryglująca, 7 – prowadnica krzywkowa tulei ryglującej, 8 – sprężyna spiralna, 9 – pierścień oporowy, 10 – osłona, 11 – tarcza hamulcowa

4. PODSUMOWANIE

Rozwiązania konstrukcyjne mechanizmów do automatycznej regulacji rozstawu kół na osi wagonu, znany [6] oraz proponowany [2] posiadają charakterystyczne zalety. Jednak ze względu na szczególną konieczność zachowania bezpieczeństwa i niezawodności pracy urządzeń stosowanych w kolejnictwie, istotna jest szczegółowa analiza tych urządzeń, w tym przypadku mechanizmów do automatycznej regulacji rozstawu kół.

Z przeprowadzonej analizy zawartej w artykule można sformułować następujące wstępne uwagi:

- W znanej postaci konstrukcyjnej wg [6] przy wystąpieniu zwiększonych oporów przesuwu piasty koła po czopie osi mogą wystąpić znaczące dla niezawodności działania, zakłócenia w możliwości realizacji zmiany rozstawu kół.
- W proponowanym (rys. 4) rozwiązaniu konstrukcyjnym zmiana rozstawu kół wymuszana jest siłą działającą wzdłuż głównej osi symetrii zestawu kołowego, stąd zdecydowanie zwiększa się niezawodność działania urządzenia.

5. LITERATURA

- [1] GUZOWSKI S.: Warunki rozwoju zużycia fretting w połączeniu koło-oś zestawu kołowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Transport z. 27, s. 111-118.
- [2] KOWAL A. i in.: Urządzenie do automatycznej regulacji rozstawu kół, zwłaszcza na osi wagonu kolejowego. Zgłoszenie patentowe nr P 327813 z dnia 04.08.1998.
- [3] KOWAL A.: Badania frettingu w połączeniach sworzniowych zawiesznień wielolinowych górniczych naczyń wyciągowych. Praca Instytutu Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej o symbolu BW-562/RG-0/99 (niepublikowana).
- [4] KOWAL A.: Badania zużycia frettingowego w stykowych skojarzeniach elementów maszyn. Biuletyn Naukowo-Techniczny Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Urządzeń Mechanicznych OBRUM; Samojezdne Pojazdy Gąsienicowe. Gliwice, październik 1999.
- [5] KOWAL A.: Wstępne badania odporności połączeń sworzniowych na korozję frettingową. Materiały VII Konferencji Naukowo-Technicznej; Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych, TEMAG 99, s.113-120. Gliwice-Ustroń 3-5 listopada 1999.
- [6] SUWALSKI R.: Zestaw kołowy z automatyczną zmianą rozstawu kół. Opis zgłoszeniowy w UP RP nr W –97238.
- [7] SUWALSKI R.: Zestaw kołowy z automatyczną zmianą rozstawu kół. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Transport z. 27, s. 279-288.

AUTOMATIC ADJUSTMENT OF WHEEL TRACK OF RAILWAY AXLE SETS

Abstract: Paper discusses the influence of load on movement resistance of wheel on axle journal during wheel track adjustment. The need to apply permissible friction coefficient in moving connection between axle journal and wheel hub is indicated. A new structure of automatic wheel track adjustment mechanism is proposed.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej WILK