

Prof. dr hab. inż. JAN BROŚ
Mgr inż. HALINA KNUTEL
Instytut Pojazdów Szynowych
Politechnika Krakowska

Oddziaływanie niemetalowych wkładek hamulcowych na obręcze zestawów kołowych pojazdów szynowych

W artykule omówiono zagadnienie oddziaływania niemetalowych wstawek hamulcowych na powierzchnie obręczy kół, w porównaniu z oddziaływaniem wstawek żeliwnych na te powierzchnie. Ze względu na przyczyny powstawania wyróżniono dwie zasadnicze grupy zjawisk wynikające z:

- oddziaływania cieplnego,
- oddziaływania mechanicznego

elementów skojarzenia ciernego koło-kłosek hamulcowy oraz oceniono ich wpływ na własności użytkowe i trwałość obręczy kół. Wykorzystano przy tym wyniki badań różnych ośrodków krajowych i zagranicznych, zajmujących się uzyskaniem nowych tworzyw niemetalowych przydatnych na wstawki hamulcowe pojazdów szynowych.

Wstęp

Większość zarządów kolejowych, w tym także PKP, nawet do pociągów szybkobieżnych stosuje jako podstawowy samoczynny hamulec powietrzny kłosek [1]. W dziedzinie rozwiązań konstrukcyjnych tego hamulca uzyskano stosunkowo wysoki poziom techniczny, a jego granice zastosowania zostały ściśle określone. W zakresie wysokich prędkości jazdy działanie tego hamulca ograniczone jest wartością sił hamujących, determinowane warunkami przyczepności kół z szynami oraz dopuszczalnymi temperaturami nagrzewania pary ciernej: kłosek hamulcowy-obręcz zestawu kołowego. Jednym z kierunków poprawienia efektywności w dziedzinie tych hamulców jest przechodzenie na sterowanie elektryczne hamulców pneumatycznych oraz zastępowanie żeliwnych kłosek hamulcowych kłosekami z tworzyw niemetalowych. Jednak stosowanie niemetalowych wkładek hamulcowych zależy od przeprowadzenia kompleksowych badań mających na celu dobranie składu chemicznego odpowiedniego tworzywa, oraz poznania złożonych zjawisk, towarzyszących współpracy skojarzenia ciernego: „kłosek niemetalowy-obręcz”. Z badań Komisji ORE [2] oraz doświadczeń różnych ośrodków [3] wynika, że przebieg procesów zużycia pary „tworzywa niemetalowe-stal” jest bardziej złożony niż pary „żeliwo-stal”. Zjawisko to uzależnione jest w różnym stopniu od wielu czynników, m.in. od własności materiałów obu elementów, kształtu kłosa,

siły docisku kłosa do obręczy oraz warunków atmosferycznych.

Od tworzyw przydatnych do produkcji wstawek hamulcowych pojazdów szynowych, poza dużą odpornością na zużycie ścierne, wymaga się także [4]:

- odpowiedniej wartości oraz stabilności współczynnika tarcia przy zmianie nacisku i prędkości ślizgania (jazdy pociągu),
- dobrego przewodnictwa cieplnego,
- niskiego oddziaływania ściernego,
- nie powodowania zmian stanu powierzchni i własności fizyko-chemicznych warstwy wierzchniej koła, tak aby nie zachodziło obniżanie przyczepności koła z szyną.

W niniejszym artykule rozpatrzone zostaną niektóre zjawiska obserwowane podczas współpracy wstawek hamulcowych, wykonanych z różnych gatunków tworzyw z obręczami, pod kątem ich wpływu na zmianę własności warstwy wierzchniej okręgu toczonego obręczy zestawu kołowych pojazdów szynowych.

Oddziaływanie cieplne wstawek niemetalowych na ob

Celem stosowania hamulców w pojazdach szynowych, jak ogólnie wiadomo, jest zwiększenie naturalnych oporów ruchu o takie wartości oporów dodatkowych oporami hamulcowymi, aby spowodowały

manie pociągu na określonej drodze (zależnie od prędkości jazdy) lub regulację prędkości jazdy bez użycia siły pociągowej. W hamulcu klockowym opór hamulcowy stanowi siłę tarcia klocków o koło. Podstawowym warunkiem więc poprawnego działania takiego hamulca, jest spełnienie w każdej chwili i w każdych warunkach nierówności:

$$\mu_k \cdot P \leq \mu_s \cdot K \quad (1)$$

gdzie:

μ_k — współczynnik tarcia klocka o koło,
 μ_s — współczynnik przyczepności kół z szynami,
 P — siła nacisku klocka hamulcowego na obręcz w [kG],
 K — siła nacisku koła na szynę w [kG]

Zachwianie tego warunku spowoduje tzw. zakleszczenie kół, a tym samym ich ślizganie się po szynach [5]. Wspomniany opór hamulcowy jest największy podczas hamowania nagłego i dlatego tzw. hamowność odnosi się właśnie do tego rodzaju hamowania. Hamowanie ma za zadanie pochłonięcie całej energii pociągu, istniejącej w chwili rozpoczęcia hamowania i pokonanie siły ciężkości, która np. na spadku działa również jako siła pociągowa. Energia kinetyczna pociągu o ciężarze Q_p [T], poruszającego się z szybkością v_0 [km/h], wynosi:

$$\varrho \cdot 3,93 \cdot Q_p \cdot v_0^2 \quad [\text{kGm}] \quad (2)$$

a całkowita energia, którą mają pokonać hamulce, wynosi:

$$E_1 = (\varrho \cdot 3,93 \cdot v_0^2 \pm e S_p - w_B S_p) Q_p \quad [\text{kGm}] \quad (3)$$

gdzie:

S_p — droga hamowania pociągu w [m],
 e — współczynnik uwzględniający energię mas wirujących w ruchu obrotowym,
 e — pochyłość szlaku [%] (znak „+” dla spadku, „-” dla wzniesienia),
 w_B — średni jednostkowy opór biegu pociągu [kG/T].

W przypadku omawianych hamulców klockowych, całkowita energia pociągu musi być zrównoważona pracą E_2 siły tarcia klocków o koło:

$$E_2 = w_{hp} \cdot Q_p \cdot S_p \quad [\text{kGm}] \quad (4)$$

gdzie:

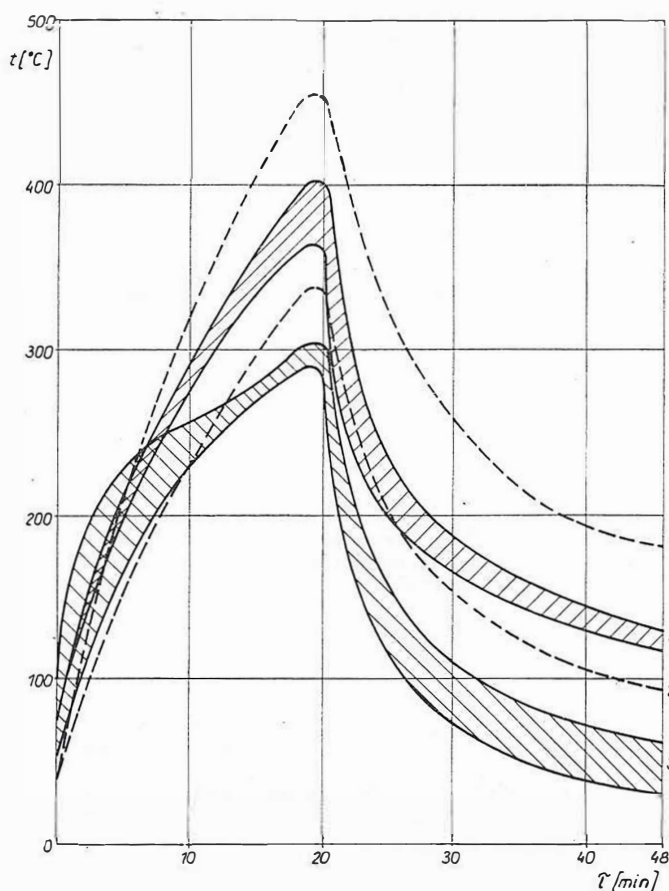
w_{hp} — średni jednostkowy opór wytworzony przez hamulce.

Ponieważ całkowita energia pociągu podczas hamowania jest przekształcana w energię cieplną, zatem ilość ciepła, wydzielającego się podczas hamowania można określić wzorem:

$$Q [\text{kcal}] = \frac{1}{427} E_1 [\text{kGm}] = \frac{1}{427} E_2 [\text{kGm}] \quad (5)$$

Wytworzona w ten sposób duża ilość ciepła jest odprowadzana częściowo przez koło, częściowo zaś przez klocek. Doświadczalnie stwierdzono, że w przypadku wstawek żeliwnych 12—15 [%] tego ciepła jest odprowadzane przez te wstawki [1], [6]. Reszta ciepła natomiast jest rozpraszana przez koło. Inaczej kształtują się te wartości w przypadku zastosowania klocków niemetalowych. Wówczas, ze względu na małą w stosunku do żeliwa przewodność cieplną tworzyw sztucznych, zaledwie około 5% wydzielonego w czasie hamowania ciepła jest rozpraszane przez te klocki. Orientacyjnie można przyjąć, że w czasie hamowania temperatura obręczy kół, współpracujących z wstawkami hamulcowymi z tworzyw sztucznych, jest około 2 razy wyższa, niż w przypadku wstawek żeliwnych [8]. W oparciu o liczne prace krajowe i zagraniczne, a także prace Instytutu Pojazdów Szynowych P.K. [2], [3], [7], [9] można orientacyjnie wykreślić krzywe zmian temperatury na powierzchni klocków hamulcowych współpracujących z obręczą — rys. 1. Z przebiegu tych krzywych wynika, że powierzchnia klocków żeliwnych podczas hamowania rozgrzewa się bardzo szybko na skutek dużego przewodnictwa cieplnego żeliwa. Natomiast odwrotnie, znacznie wolniejszy wzrost temperatury na powierzchni klocków niemetalowych wynika z ich małego przewodnictwa cieplnego. Stąd na powierzchni obręczy w przypadku klocków niemetalowych występuje wysoka temperatura. Ponadto, o ile wzrost temperatury na powierzchni obręczy, przy użyciu wstawek żeliwnych, jest niemal równomierny, o tyle przy tworzywach niemetalowych (sztucznych) obserwuje się

gwałtowny wzrost temperatury szczególnie w przedziale prędkości 130÷50 [km/h]. Dalsze wyhamowanie, aż do zatrzymania pojazdu, powoduje już tylko niewielki wzrost temperatury. Uzyskiwane podczas doświadczeń wysokie temperatury powierzchni ciernych są jednym z głównych,



Rys. 1. Orientacyjny przebieg krzywych temperatury na powierzchni elementów skojarzenia ciernego: koło — klocek hamulcowy (1 — klocek Ż2120, 2 — obręcz współpracująca z klockiem Ż2120, 3 — klocki niemetalowe, 4 — obręcz współpracująca z klockami niemetalowymi).

ujemnych zjawisk, towarzyszących hamowaniu przy użyciu wstawek niemetalowych. W tabeli 1. przedstawiono wyniki pomiarów temperatury obu elementów skojarzenia ciernego „koło-klocek” dla wybranych gatunków tworzyw. Wyniki te uzyskano w ramach badań poligonowych przeprowadzonych przez Instytut Pojazdów Szynowych PK [7].

Wytworzona na powierzchni cierniej koła wysoka temperatura wpływa ujemnie na stan tej powierzchni, prowadząc niekiedy nawet do powstawania siatki pęknięć termicznych. Przyczyną tych pęknięć są w pierwszym rzędzie naprężenia cieplne powierzchni tocznej [2], [10], powstające podczas długotrwałego hamowania. Na podstawie badań mikrostruktury metodami mikroskopii optycznej i rentgenowskiej oraz analizy uszkodzeń obręczy, występujących w eksploatacji kół hamowanych klockami z wysokociernych tworzyw niemetalowych, ustalono, że w takich warunkach materiał obręczy narażony jest lokalnie i krótkotrwale aż do zakresu austenitycznego. Następnie z powodu szybkiego ochłodzenia możliwe jest utworzenie struktury martenzytycznej, co związane jest z powstawaniem naprężeń. Ponieważ tak silne nagrzanie obręczy ma charakter powierzchniowy, stąd też obszar o zmienionej, utwardzonej strukturze (martenzytycznej) na przekroju poprzecznym obręczy lub koła osiąga niewielką grubość, odpowiadającą zakresowi warstwy powierzchni. Miejsca utwardzone, choć o niewielkiej powierzchni, są zalążkiem pęknięć, a następnie wykruśzeń na powierzchni tocznej obręczy. Jest to wynikiem działania naprężeń, pochodzących od różnic w objętości właściwej poszczególnych składników strukturalnych. Łatwo dostrzegalnym dowodem wystąpienia lokalnego nagrzania obręczy do tak wysokich temperatur są barwy nalotowe i ślady przypalenia.

Wszystkie przedstawione dotąd dane prowadzą do jednego podstawowego stwierdzenia, że przy współpracy klocków hamulcowych z obręczami kół pojazdów szynowych wytwarza się znaczna ilość ciepła, która zasadniczo jest odprowadzana przede wszystkim przez obręcz koła. Długotrwałe oddziaływanie tego ciepła może prowadzić w rezultacie do zmian stanu powierzchni i własności warstwy wierzchniej okręgu tocznego obręczy. Wystąpiłoby wtedy obniżenie wartości użytkowej, a tym samym zmniejszenie trwałości obręczy zestawów kołowych.

Oddziaływanie mechaniczne wstawek niemetalowych na obręcz

Współpraca skojarzeń koło-kłosek powoduje wystąpienie w różnym stopniu zmian na powierzchniach współpracujących elementów. Zmiany te zależą z jednej strony od rodzajów materiałów, z drugiej zaś od warunków określonych m.in. rodzajem i częstotliwością hamowania, wielkością nacisku i warunkami atmosferycznymi.

Stosowane tradycyjnie żeliwo Z120, w porównaniu z adaptowanymi do tego celu tworzywami niemetalowymi, oznacza się zdecydowanie wyższą twardością. Konkretnie przeprowadzone na aparacie Brinella-Schoppa, przy dobraniu odpowiedniego obciążenia, pomiary twardości H_{15} krajowych tworzyw niemetalowych, wykazały, że nawet najkorzystniejsze pod tym względem tworzywo posiada przeszło dwukrotnie niższą twardość (33,9 [kg/mm²]) niż żeliwo klockowe (78,5 [kg/mm²]) [7]. Ta rozbieżność twardości żeliwa i tworzyw sztucznych jest więc m.in. jedną z przyczyn odmiennego oddziaływania wstawek niemetalowych na obręcze kół. Jak wykazały badania radzieckie [3], szczególnie w okresie zimowym, zaobserwowano intensywne zużycie powierzchni tocznych współpracujących z wkładkami niemetalowymi, przy czym na powierzchniach tocznych obręczy występowały rysy i bruzdy. Spowodowane one były tym, że w miękką powierzchnię, tworzywa łatwo wbijają się cząstki produktów metalowych, tworząc narzędzie wielostrzowe, które powoduje intensywniejsze zużycie obręczy. Obliczony średni wskaźnik zużycia kół przy wstawkach 6KB-10 wynosił $0,69 \pm 0,72$ [mm/10⁴ km] tzn. około dwa razy więcej niż w przypadku wstawek żeliwnych ($0,35 \pm 0,39$ [mm/10⁴ km]). Ponadto zauważono następujące wady powierzchni obręczy, których nie spotykano przy klockach żeliwnych: płaskie miejsca, nadtopienia, wyszczerbienia i pierścieniowe wybiccia, a w przypadku niektórych tworzyw, jak już wspomniano — siatki pęknięć termicznych.

„Podczas prób z krajowymi tworzywami niemetalowymi zauważono także zjawisko powlekania tworzywem powierzchni tocznej obręczy koła, bądź też odwrotne — powlekania powierzchni czarnej wstawki wtarceniami pochodzenia metalowego, usytuowanymi równolegle do kierunku względnej prędkości elementów pary czarnej.”

Niektórzy autorzy stawiają tezę [2], że przyczyną nierównomiernego zużycia się obręczy w postaci rys i pęknięć należy dopatrywać się w deformacji poprzecznej klocków niemetalowych. Deformacja ta z kolei wynika z małego współczynnika przewodności cieplnej tworzyw i równocześnie dużego współczynnika ich rozszerzalności liniowej. Stąd też słuszny wydaje się tym autorom wniosek, że należy dążyć do unikania powstawania rys m.in. przez zmianę parametrów geometrycznych klocków (głównie ich szerokości).

Przedstawione zmiany stanu powierzchni i własności warstwy wierzchniej dotyczą hamowania pociągów w „cięższych warunkach”. Przy hamowaniu w „lżejszych warunkach”, temperatury obręczy są znacznie niższe. Zależy to od rodzaju materiału wstawki, rodzaju i czasu hamowania oraz szybkości początkowej [10], [11] i nie stanowi zagrożenia dla istniejącej struktury materiału obręczy. Natomiast obserwacja śladów zużycia na powierzchni tocznej wskazuje na zaistniałe wówczas procesy wygładzania i polerowania. Jak ustalono, największe i najistotniejsze zmiany chropowatości — zwiększenie chropowatości nawet o trzy klasy — przypadają na początkowy okres współpracy skojarzenia czarnej (droga tarcia 0–1000 [m] [9]). Jest to prawdopodobnie wynikiem selektywnego zużycia w obrębie wierzchołków nierówności.

Stopień wygładzenia powierzchni tarcia zależy także od składu chemicznego tworzywa. Wyraźne działanie w kierunku większego polerowania powierzchni obręczy wykazuje azbest, jako składnik tworzyw. Zbyt daleko posunięte wygładzanie obręczy ma swoją ujemną stronę, jest nią obniżanie współczynnika przyczepności, co z ko-

lei wywołuje skłonność do poślizgu kół po szynach, szczególnie w niekorzystnych warunkach atmosferycznych. Utrata wymaganej przyczepności kół, objawiająca się poślizgiem, zwiększa drogę hamowania pojazdu, co jest niekorzystne [12]. Jak wykazały badania [7], [9] w składzie

TABELA 1.

Wartości temperatury powierzchni współpracujących kół i wstawek hamulcowych [7]

Lp.	Rodzaj wstawki	Temperatura °C	
		obraz	kłosek
1	Z120	70–120	130–150
2	Koral KR2	190–220	90–110
3	Koral KR5	90–150	70–120
4	Tarkol B20	220–260	120–150
5	Tarkol TK7	110–170	90–130

chemicznym tego typu tworzyw należy uwzględnić stosowanie modyfikatora, który poprzez swoje oddziaływanie ścierne utrzymywałby chropowatość powierzchni, a w konsekwencji współczynnik przyczepności, na ustalonym poziomie. Takim modyfikatorem może być elektrokorund. Jego obecność w składzie tworzywa wymaga jednak użycia także innych składników, które odpowiednio obniżają wartość współczynnika tarcia.

Trwałość obręczy

Zużycie obręczy kół, spowodowane oddziaływaniem cieplno-mechanicznym niemetalowych wstawek hamulcowych, decyduje również o trwałości obręczy. Trwałość obręczy i klocków hamulcowych stanowi jeden z warunków ograniczających największą, dopuszczalną intensywność hamowania. W aspekcie trwałości obręczy szczególną rolę odgrywa hamowanie długotrwałe, z dość dużą częstotliwością [10]. Wtedy temperatura na całym przekroju obręczy jest bardziej równomierna i może powodować:

- trwałe odkształcenie materiału obręczy na powierzchni tocznej, wskutek nacisku koła na szynę (przy temperaturze 600°C i wyżej),
- zmiany strukturalne, prowadzące do obniżenia twardości obręczy, w przypadku nagrzewania jej do temperatury około 800°C i powolnego chłodzenia,
- obłuzienia obręczy na kole.

Są to zjawiska niepożądane, prowadzące do przedwczesnego zużycia obręczy oraz, co jest jeszcze bardziej niekorzystne, do obniżenia pewności ruchu zestawu kołowego. Dlatego istotne jest uzyskanie takiej pary czarnej koło-kłosek niemetalowy, której współpraca w konkretnych warunkach eksploatacji nie doprowadzałaby do niebezpiecznego luzowania obręczy. Początek luzowania obręczy określa granicę cieplnego obciążenia koła przy hamowaniu klockami [1], [5]. Granica ta zależy od grubości obręczy i od skurczu zrealizowanego przy nasadzeniu na gorąco obręczy na koło bosc. W przypadku kół monoblokowych granica obciążenia cieplnego zależy od odkształceń cieplnych występujących na obwodzie koła. Wraz ze wzrostem średnicy i grubości obręczy dopuszczalne obciążenia cieplne mogą być większe. Ustalono, że długotrwałe hamowanie wstawkami niemetalowymi, zwłaszcza przy wyższych mocach hamowania, powoduje spiętrzenie ciepła na obręczy koła. Prowadzi to następnie do luzowania nowych obręczy nawet o grubości około 77 [mm]. Przy cięższych obręczach (około 25 [mm]) luzowanie nastąpić może po krótszym czasie [11].

Po luzowaniu obręczy, oddziaływanie cieplne klocków niemetalowych, wynikające z ich małej przewodności cieplnej, wywołuje znaczne naprężenia, które niewątpliwie są przyczyną zmian strukturalnych warstwy wierzchniej obręczy oraz powstawania siatki pęknięć termicznych na powierzchni tocznej koła. Najczęściej są to słabokierunkowe niewielkie pęknięcia. Zdarza się jednak, że w krańcowych przypadkach rozprzestrzeniają się one nawet na całą grubość obręczy. Ponadto, jak już wspomniano, rozszerzanie się pęknięć cieplnych kończy się zwykle wykruszaniem metalu. Ta ostatnia grupa zjawisk, niewątpliwie powodujących obniżenie trwałości obręczy, występuje szczególnie wyraźnie przy wysokich naciskach osi

(około 20 [T]) oraz przy dużych szybkościach jazdy (około 120 [km/h]).

Z danych opublikowanych przez koleje zachodnoniemieckie [13] wynika, że duży wpływ na wielkość zużycia obręczy kół ma rodzaj tworzywa klocka, przy czym używane średnie przebiegi pojazdów do wymiany klocków niemetalowych wynoszą około 14000 [km], (zaś w przypadku klocków żeliwnych niewiele ponad 10000 [km]). Określone po 10000 [km] zużycie obręczy, w zależności od gatunku stosowanego tam tworzywa niemetalowego wahało się w granicach 0,28–0,36 [mm]. Omawiane zjawiska decydujące o trwałości obręczy zestawów kołowych współpracujących z niemetalowymi klockami hamulcowymi mają zarówno aspekt ekonomiczny, jak również, co wydaje się nawet ważniejsze, techniczny. Rzutuje to bezpośrednio na bezpieczeństwo ruchu pociągu, a więc przede wszystkim pod tym kątem należy zjawiska te oceniać.

Zakończenie

Porównawcza ocena zjawisk, towarzyszących zużyciu obręczy kół, współpracujących z klockami żeliwnymi i różnego rodzaju klockami z tworzyw niemetalowych, wykazuje, że zjawiska te różnią się niekiedy dość istotnie i prowadzą do odmiennych skutków. Zdecydowanie mniej poznany, a bardziej skomplikowany jest przebieg zużycia kół w skojarzeniu z wstawkami wykonanymi z tworzyw niemetalowych. Wynika to z jednej strony z dużej stosunkowo ilości składników kompozycyjnych takich tworzyw, a z drugiej, z braku szerszych badań w tym zakresie. Z tego względu konieczne jest prowadzenie doświadczeń mających na celu ustalenie optymalnego składu chemicznego tworzywa. Procesy towarzyszące współpracy żeliwa w omawianym skojarzeniu ciernym zostały już dokładnie przebadane, ale wniosków płynących z tych badań nie można „przenieść” na współpracę skojarzenia koło—klocek niemetalowy. Dlatego też, mimo że doświadczenia w zakresie możliwości wdrożenia niemetalowych wstawek hamulcowych prowadzą ośrodki naukowe na całym świecie, nie ustalono jeszcze ostatecznych, jednoznacznych wniosków i wytycznych w tym zakresie. Pomimo wykorzystania informacji z wielu źródeł literaturowych i prac badawczych, nie można obecnie dokonać pełnej oceny wpływu różnych tworzyw niemetalowych

w zależności od ich składu chemicznego i warunków współpracy, na przebieg zużycia i trwałość obręczy. Świadczy o tym również próba przedstawienia w niniejszym artykule procesów towarzyszących oddziaływaniu klocków niemetalowych na obręcz kół. Problem zatem, który przedstawiono w tytule artykułu, jest w dalszym ciągu otwarty i powinien stanowić przedmiot studiów i badań.

Literatura

1. Praca zbiorowa — Przystosowanie kolei do zwiększonych szybkości. WKiŁ Warszawa 1969.
2. Gegenseitiges Verhalten der Kompositionsbremssohlen und der Räder ORE B64/RPZ.D März 1967.
3. Kriwoszejew W.N. — Wpływ kompozycyjnych kołodod na rabotosposobnost wagonnych koles. Wiestnik 2/1971
4. Korczył S. — Charakterystyki tarciowo-zużyciowe nowych gatunków żeliwa przeznaczonych na klocki hamulcowe. Materiały I Krajowej Konferencji Pojazdy Szynowe, Kraków 1973.
5. Langrod A. — Mechanika ruchu pociągów. WKiŁ Warszawa 1963.
6. Inozemcow W.G. — Tępiowyje reżimy tormozienija. Elektryczeskaja i tępiowoznaja tiaga nr 2/1964.
7. Praca zbiorowa — Badanie przydatności tworzyw niemetalowych na klocki hamulcowe pojazdów szynowych. IPSz PK Kraków 1973.
8. Praca zbiorowa — Badania tworzyw sztucznych w zastosowaniu na hamulcowe wstawki ciernie. Prace COBiRTK Z. 23/1966.
9. Sadowska A. — Ocena przydatności wybranych tworzyw niemetalowych na wstawki ciernie hamulców pojazdów szynowych w świetle badań laboratoryjnych. Praca doktorska PK, Kraków 1972.
10. Praca zbiorowa — Pomiar drog hamowania pojazdów szynowych wyposażonych we wstawki hamulcowe z tworzyw sztucznych. COBiRTK Warszawa 1963.
11. Praca zbiorowa — Drogi hamowania pojazdów szynowych wyposażonych we wstawki hamulcowe z tworzyw sztucznych. Prace COBiRTK Z. 20/1966.
12. Praca zbiorowa — Studium układu hamulcowego dla lokomotywy elektrycznej typu 101E mocy ok. 6000 kW i szybkości maksymalnej 200 km/h. IPSz PK 1972.
13. Santhoff F. — Kunststoffbremsklotze. Eisenbahntechnik Rundschau nr 10/1963.