

Marek SITARZ, Adam MAŃKA

## **AERODYNAMIKA UKŁADU KOŁO KOLEJOWE - KŁOCEK HAMULCOWY I JEJ WPŁYW NA OBCIĄŻENIA TERMICZNE**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono przebieg oraz wyniki badań prowadzonych w Katedrze Transportu Szynowego Politechniki Śląskiej w zakresie analizy wpływu własności aerodynamicznych układu koło kolejowe - klocek hamulcowy (KKH) na obciążenia termiczne tych elementów. Przedstawiono wyniki badań, z których wynika, że w lokomotywie EU07 prędkość strugi powietrza w otoczeniu układu KKH stanowi niespełna 10% prędkości pojazdu. Dowiedziono, że wiodącym sposobem oddawania ciepła podczas hamowania jest konwekcja, której intensywność zależy głównie od prędkości strugi powietrza.

## **AERODYNAMICS OF RAILWAY WHEEL - BRAKE SHOE SYSTEM AND ITS INFLUENCE ON THERMAL LOADS**

**Summary.** This article presents course and results of research conducted in Department of Railway Engineering within the range of railway wheel-brake shoe system (KKH) aerodynamic property and influence on thermal loads. Presented also results, which come from that air stream velocity in KKH environment is less than 10% of vehicle velocity. Proved also, that leading way of heat exchange during braking is convection, which intensity depends strongly on air stream velocity.

### **1. WSTĘP**

Autorzy wielu publikacji analizując problematykę zjawisk trybologicznych w parze koło kolejowe - klocek hamulcowy rozpatrują zachodzące tu procesy głównie z punktu widzenia mechaniki, pomijając wpływ zjawisk sprzężonych termomechanicznych. Powoduje to naturalne trudności z uzyskaniem modeli matematycznych, których wyniki byłyby dostatecznie zbliżone z wynikami doświadczeń. Szczególnie trudne jest to do realizacji w przypadku analizy procesów zmiennych w czasie, tj.: z punktu widzenia mechaniki - drgania i odkształcenia termiczne elementów układu, oraz z punktu widzenia przepływu ciepła - stan nieustalony przepływu ciepła i jego oddawania do otoczenia.

Prowadzonych jest wiele badań poświęconych poprawie własności trybologicznych par ciernych, których celem jest zmiana średniej wartości współczynnika tarcia, poprawa jego stabilności w różnych warunkach eksploatacji czy zmniejszenie zużycia współpracujących elementów. Jednak autorzy tej pracy nie dotarli do publikacji, w których opisywano by analizę wpływu rozkładu i prędkości przepływu powietrza na efektywność oddawania ciepła poprzez konwekcję z koła czy klocka hamulcowego, a poprzez to na temperaturę tych elementów. Zarówno wartość maksymalna temperatury koła, jak i temperatury klocka hamulcowego ma zasadnicze znaczenie nie tylko z punktu widzenia bezpieczeństwa, ale ma również podstawowy wpływ na trwałość współpracujących elementów (prawo Archarda). Podczas analizy przepływu ciepła w układzie koło kolejowe - klocek hamulcowy - obsada niezbędna jest znajomość zarówno własności materiałowych określających własności termiczne obszarów, w których analizowany jest przepływ ciepła, jak i własności opisujących rozpatrywany układ. Rozkład temperatur w badanym układzie, powstały wskutek zamiany energii hamowania na ciepło, jest silnie zależny od intensywności oddawania ciepła do otoczenia poprzez konwekcję, emisję i przewodzenie. Zakładając, że wiodącym sposobem przekazywania ciepła do otoczenia jest w tym przypadku konwekcja, niezbędne jest ilościowe określenie tego zjawiska.

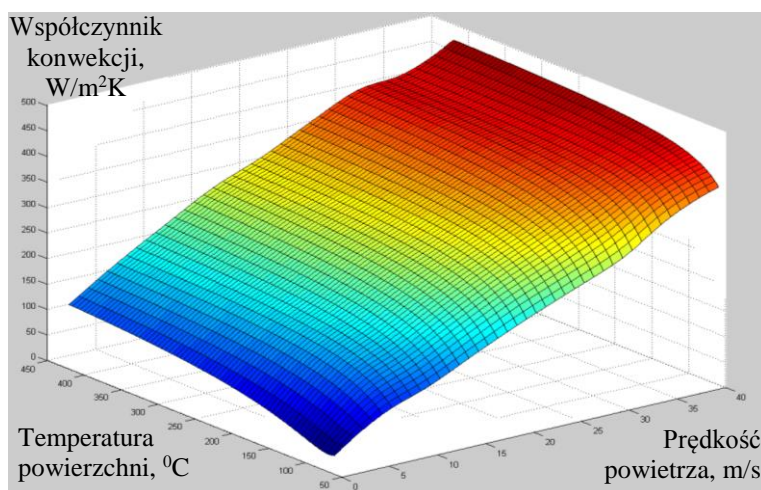
Źródła literaturowe nie podają jednak wartości współczynnika konwekcji  $\alpha$  W/m<sup>2</sup>K dla wstawek wykonanych z żeliwa P10, a tym bardziej dla wstawek hamulcowych wykonanych z nowych materiałów kompozytowych czy spieków. Trudno zatem uwzględnić w modelu numerycznym tę wielkość (dla analizy przepływu ciepła i wynikających z nich naprężeń konwekcja jest czynnikiem wiodącym), nie mówiąc już o uwzględnieniu wpływu prędkości strugi powietrza i temperatury na wartości współczynnika konwekcji. Brak precyzyjnie wyznaczonego rozkładu współczynnika konwekcji dla układu KKH był jednym z powodów otrzymywania bardzo dużych rozbieżności pomiędzy wynikami analizy numerycznej MES rozkładu temperatury i naprężeń a wynikami badań doświadczalnych.

## 2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Wyznaczenie wartości współczynnika konwekcji w funkcji prędkości strugi powietrza i temperatury zwiększa uniwersalność zastosowania uzyskanych wyników badań, natomiast wyznaczenie dodatkowo rozkładu prędkości strugi powietrza wokół pojazdu szynowego (w tym przypadku lokomotywy EU07) pozwala na bezpośrednią aplikację uzyskanych wyników badań dla badanego modelu.

Należy jednak zaznaczyć, że prędkości wyznaczone w poszczególnych miejscach otoczenia układu KKH, znacznie różnią się od prędkości ruchu lokomotywy. Zależność ta jest

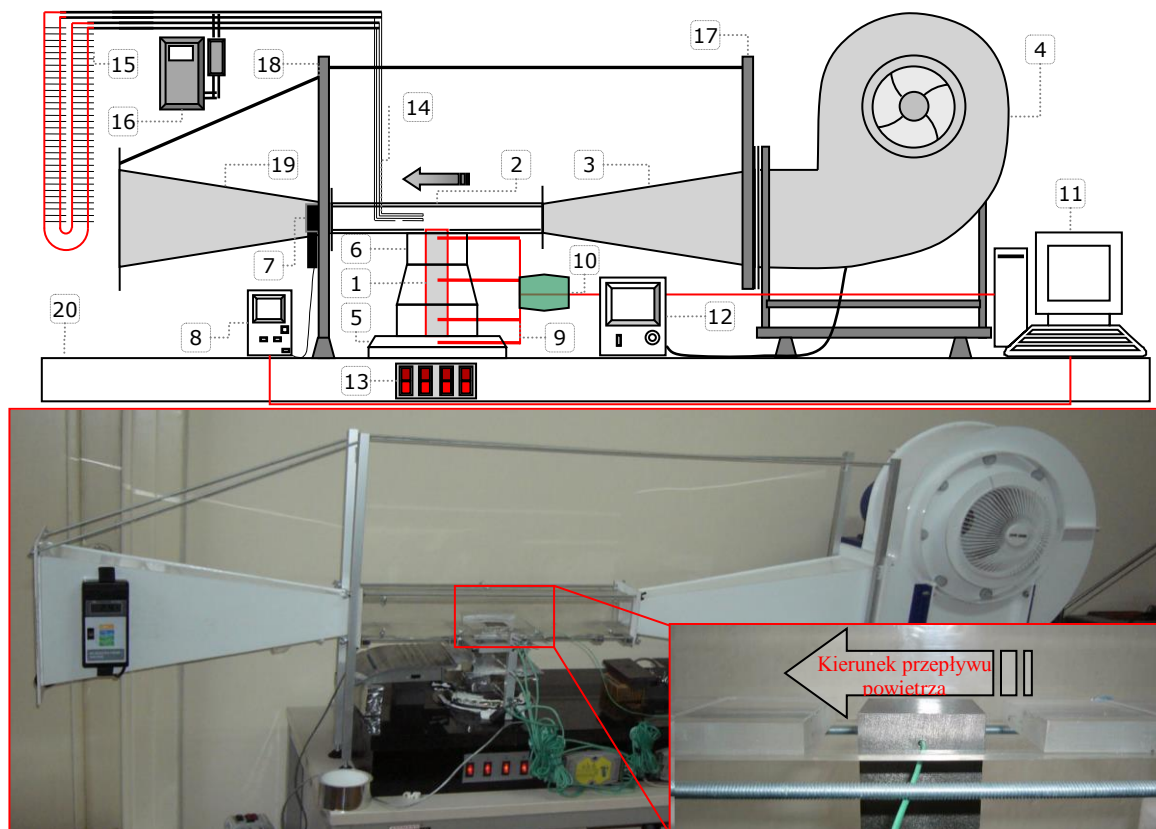
istotna w przypadku budowy modeli numerycznych, w których nie można przyjąć wartości współczynnika konwekcji dla prędkości lokomotywy, lecz dla prędkości powietrza opływającego modelowaną powierzchnię. Jest to szczególnie ważne podczas modelowania elementów lokomotyw, gdzie przepływ powietrza wokół układu KKH jest znacznie wolniejszy niż w wagonach (szczególnie towarowych), w których struga powietrza działa bezpośrednio na ten układ. Dlatego też podczas analizy i modelowania przepływu ciepła w układzie KKH należy wziąć pod uwagę rodzaj pojazdu, a najlepiej wyznaczyć dla niego rozkład prędkości strugi powietrza i dopiero dla tak wyznaczonych prędkości strugi powietrza określać wartości współczynnika konwekcji. Należy więc wyraźnie oddzielić dwa etapy badań: pierwszy etap wyznaczania współczynnika konwekcji dla całego zakresu prędkości strugi powietrza i temperatury powierzchni próbki oraz drugi, w którym wyznaczana jest rzeczywista prędkość strugi powietrza w różnych punktach otoczenia układu KKH w funkcji prędkości ruchu pojazdu. Wynika stąd, że dla modelu numerycznego należy najpierw określić chwilową prędkość modelowanego pojazdu, po czym określić chwilową prędkość strugi powietrza w otoczeniu wszystkich modelowanych powierzchni, a dopiero potem przypisać dla tych powierzchni wartości współczynnika konwekcji. Istnieje możliwość uwzględnienia również temperatury powierzchni (np. na podstawie wyników z wcześniejszego kroku analizy przepływu ciepła), jednak na podstawie badań własnych stwierdzono, że wpływ temperatury powierzchni ciała na wartość współczynnika konwekcji jest znacznie mniejszy niż wpływ prędkości strugi powietrza - rysunek 1.



Rys. 1. Wartość współczynnika konwekcji w funkcji temperatury i prędkości strugi powietrza [2]  
Fig. 1. Value of convection coefficient as a function of the temperature and air flow velocity [2]

W celu wyznaczenia wartości współczynnika konwekcji podjęto się opracowania autorskiego stanowiska TC-01, umożliwiającego m.in. wyznaczenie wartości współczynnika  $\alpha$  w funkcji temperatury i prędkości strugi powietrza dla różnych materiałów - rysunek 2. Pozwoliło to na wyznaczenie nie tylko wartości współczynnika konwekcji w funkcji prędkości strugi powietrza i temperatury powierzchni, ale również, poprzez uwzględnienie wyników badań eksploatacyjnych, na wyznaczenie rozkładu tego współczynnika na

powierzchniach wstawki hamulcowej, koła kolejowego i obsady hamulcowej w funkcji prędkości ruchu pojazdu dla lokomotywy EU-07. Opracowane stanowisko umożliwia wyznaczanie współczynnika konwekcji dla próbek wykonanych z ciał stałych o wymiarach 0.035x0.035x0.135 m w funkcji temperatury i prędkości powietrza do 160 km/h dla tunelu otwartego i wyższych prędkości przy zamkniętym obiegu powietrza w tunelu.



Rys. 2. Stanowisko laboratoryjne TC-01 do wyznaczania własności termicznych ciał stałych [2]

Fig. 2. Laboratory stand TC-01 for the determining of the solid body thermal properties [2]

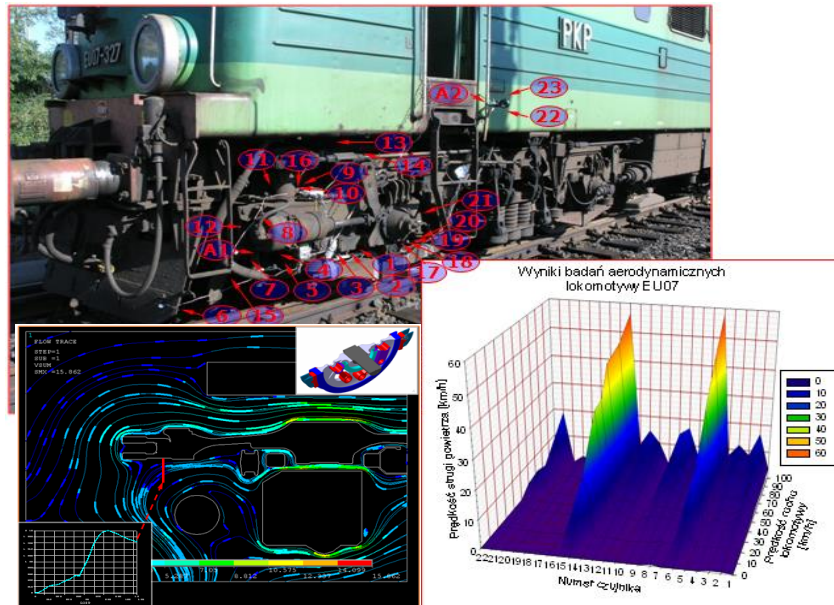
Modelując przepływ ciepła w układzie KKH, należy wziąć pod uwagę rzeczywistą wartość współczynnika konwekcji. Na podstawie badań własnych stwierdzono, że wartość tego współczynnika zależy głównie od prędkości strugi powietrza "omywającego" modelowane powierzchnie ciał.

### 3. BADANIA EKSPLOATACYJNE

Chcąc wiarygodnie odwzorować zachodzące w badanym układzie zjawiska, nie można założyć, że prędkości powietrza w otoczeniu modelowanego układu są takie same i równe prędkości ruchu lokomotywy. Dlatego też wyznaczono rozkład prędkości strugi powietrza w otoczeniu układu KKH lokomotywy EU-07. Rozkład ten uzyskano zarówno w wyniku

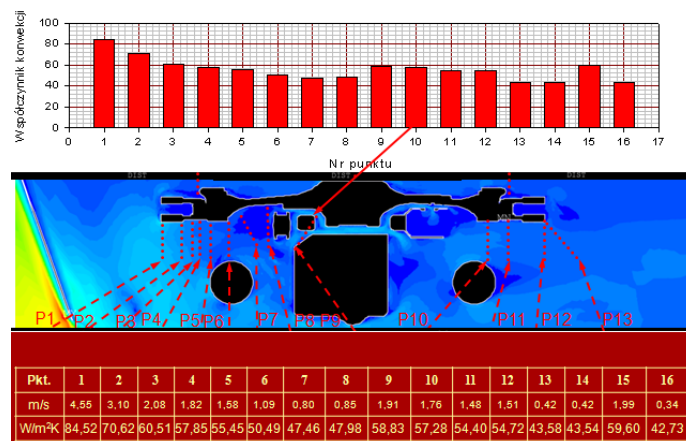
analizy modelu numerycznego przepływu powietrza CFD (Computational Fluid Dynamics) w programie ANSYS, jak i na podstawie badań eksploatacyjnych - rysunek 3.

Do badań tych celowo wybrano lokomotywę EU-07 ze względu na fakt, że układ KKH w tym pojeździe jest osłonięty elementami konstrukcji pojazdu, dlatego też spodziewano się szczególnie niekorzystnych warunków dla eksploatacji elementów układu KKH w wyniku słabego odprowadzanie ciepła z ich powierzchni.



Rys. 3. Doświadczalne i numeryczne wyznaczenie rozkładu prędkości strugi powietrza w otoczeniu układu KKH lokomotywy EU07 [2]

Fig. 3. Experimental and numerical determining of the air flow velocity distribution in KKH environment of the EU07 locomotive [2]



Rys. 4. Uzyskany rozkład prędkości powietrza i współczynnika konwekcji w otoczeniu KKH [2]

Fig. 4. Obtained air flow velocity and convection coefficient distribution in KKH environment [2]

Wyniki badań potwierdziły te przypuszczenia, gdyż uzyskano średnią prędkość w otoczeniu układu KKH nieprzekraczającą 10% prędkości pojazdu, natomiast wyznaczone wartości współczynnika konwekcji wynoszą ponad 82 W/m<sup>2</sup>K.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Dotychczasowe dane literaturowe pozwalały na przybliżone określenie współczynnika konwekcji dla prędkości pojazdu do 50 km/h. Zakres ten nie pozwala na praktyczne wykorzystanie podanej wartości współczynnika konwekcji dla wyższych prędkości pojazdów, w których układ KKH jest szczególnie obciążony termicznie. Dlatego też w pracy rozszerzono ten zakres do 160 km/h. Dodatkowo, jak wynika ze studiów literaturowych, uważa się, iż współczynnik konwekcji dla koła kolejowego zależy głównie od temperatury powierzchni, podczas gdy badania autorów, prowadzone na opracowanym stanowisku badawczym, dowiodły, że wartość współczynnika konwekcji zależy głównie od prędkości strugi powietrza "omywającego" badaną powierzchnię i dla prędkości do 4 m/s wynosi ona prawie 500 W/m<sup>2</sup>K. Opracowanie metody oraz wyznaczenie rozkładu współczynnika konwekcji dla prędkości pojazdu od 0 do 160 km/h umożliwiają zwiększenie dokładności wyników analiz numerycznych dla prędkości 50 km/h oraz pozwalają na modelowanie zjawisk zachodzących w układzie KKH również dla wyższych prędkości, w których obciążenia termiczne odgrywają dominującą rolę, co do tej pory było utrudnione ze względu na brak danych wejściowych dla modelowania. W najbliższej przyszłości planowane jest wyznaczenie rozkładu prędkości i współczynnika konwekcji również dla wagonów towarowych, w przypadku których, jak wynika ze wstępnych pomiarów, prędkości przepływu powietrza w otoczeniu układu KKH są zbliżone do prędkości ruchu pojazdu.

#### Bibliografia

1. Gąsowski W.: Aerodynamika pociągu. Ośrodek Badawczo - Rozwojowy Pojazdów Szynowych - Poznań, 1998.
2. Mańka A.: Badania naprężeń mechanicznych i termicznych w układzie koło kolejowe-kłosek hamulcowy. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Katowice 2008.
3. Sitarz M., Mańka A.: Investigation of mechanical and thermal stresses in wheel-brake shoe system. 15th International Wheelset Congress, Prague 2007.
4. Sitarz M., Mańka A., Hełka A.: Theory and research of composite brake shoe, International Wheelset Congress, Orlando, USA, 2004.
5. Maćkowski J., Wilk K.: Zwiększanie dokładności obliczeń przebiegu wydzielania się ciepła. Diagnostyka pojazdów samochodowych 2002. VI Konferencja naukowo-techniczna, Katowice, 2002, s. 157-166.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Pawełczyk