

## **Badania poligonowe układu przeciwpoślizgowego na zmodernizowanej lokomotywie typu EU07A**

*W artykule przedstawiona została budowa i zasada działania sterownika układu przeciwpoślizgowego typu 88ZE-03, opracowanego w Instytucie Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu. Sterownik ten został zastosowany na zmodernizowanej lokomotywie serii EU07A. W artykule przedstawiono wyniki, w pełni obrazujące działanie sterownika 88ZE-03. Przebiegi zostały pozyskane podczas regulacji parametrów algorytmu sterownika układu przeciwpoślizgowego, przeprowadzonej w warunkach poligonowych, a także prób układu hamulcowego lokomotywy EU07A. Badania wykazały dużą skuteczność działania sterownika 88ZE-03, który ograniczył poślizgi zestawów kołowych przy hamowaniu, nie dopuszczając do ich rozwinięcia, zapewniając uzyskanie wymaganych dróg hamowania przy obniżonej przyczepności koło-szyna, przy jednoczesnym niewielkim zużyciu powietrza systemu pneumatycznego pojazdu.*

*Artykuł powstał w ramach projektu rozwojowego „Mikroprocesorowy system przeciwpoślizgowy dla trakcyjnych pojazdów szynowych spełniający wymagania unijnych Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności” N R10 0046 06/2009 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

### **1. Wstęp**

Zestawy kołowe pojazdów trakcyjnych wyposażonych w hamulce o dużej skuteczności działania, są szczególnie narażone na nadmierne poślizgi zestawów kołowych. Poślizgi te występując podczas hamowania, powodują wydłużenie drogi hamowania pojazdu a także niejednokrotnie zablokowanie zestawu kołowego. Prowadzi to do uszkodzeń cieplnych i mechanicznych powierzchni tocnych zestawów kołowych (pęknięcia cieplne i powstawanie płaskich miejsc)[1], co powoduje konieczność częstego przetaczania kół. Zjawiska te zmniejszają bezpieczeństwo ruchu pojazdu oraz żywotność zestawów kołowych. Współczesne pojazdy szynowe o dużej skuteczności hamowania wyposażane są zatem w układy przeciwpoślizgowe o dużej skuteczności działania, które nie dopuszczają do nadmiernego poślizgu zestawów kołowych przy hamowaniu pojazdu, zapewniając bezpieczną i ekonomiczną eksploatację pojazdu.

IPS Tabor opracował mikroprocesorowy sterownik układu przeciwpoślizgowego 88ZE-03, który we współpracy z upustowymi zaworami przeciwpoślizgowymi, wykrywa i likwiduje nadmierne poślizgi zestawów kołowych pojazdu podczas hamowania, zapewniając hamowanie pojazdu na granicy aktualnie występującej przyczepności kół. Po próbach i testach symulacyjnych przeprowadzonych w laboratorium, opracowany układ przeciwpoślizgowy zabudowano na lokomotywie 303Ea. W

artykule opisano ten układ i omówiono zarejestrowane przebiegi likwidacji poślizgów podczas prób poligonowych układu przeciwpoślizgowego przeprowadzonych na tej lokomotywie .

### **2. Budowa i zasada działania układu przeciwpoślizgowego opartego na sterowniku 88ZE-03**

Podczas procesu hamowania pojazdu, sterownik 88ZE-03 na podstawie zmierzonych chwilowych prędkości poszczególnych zestawów kołowych, steruje czterema niezależnymi zaworami przeciwpoślizgowymi, odpowiadającymi za kontrolę poślizgu poszczególnych osi. Kontrola poślizgu odbywa się poprzez odcięcie zasilania cylindra hamulcowego i sukcesywne obniżanie ciśnienia cylindra hamulcowego danego zestawu kołowego. Dzięki odpowiedniemu impulsowemu sterowaniu zaworami, możliwe jest uzyskanie pośrednich dowolnych stanów ciśnień w cylindrach zarówno w trakcie ich opróżniania jak i w trakcie napełniania. Daje to możliwość precyzyjnego sterowania momentem hamującym, w celu zapewnienia utrzymania zestawu kołowego w optymalnym poślizgu. Informacja o chwilowej prędkości obrotowej danego zestawu kołowego otrzymywana jest za pośrednictwem aktywnych reluktancyjnych czujników prędkości, zabudowanych na maźnicach osi poszczególnych zestawów kołowych. Informacje te umożliwiają określenie

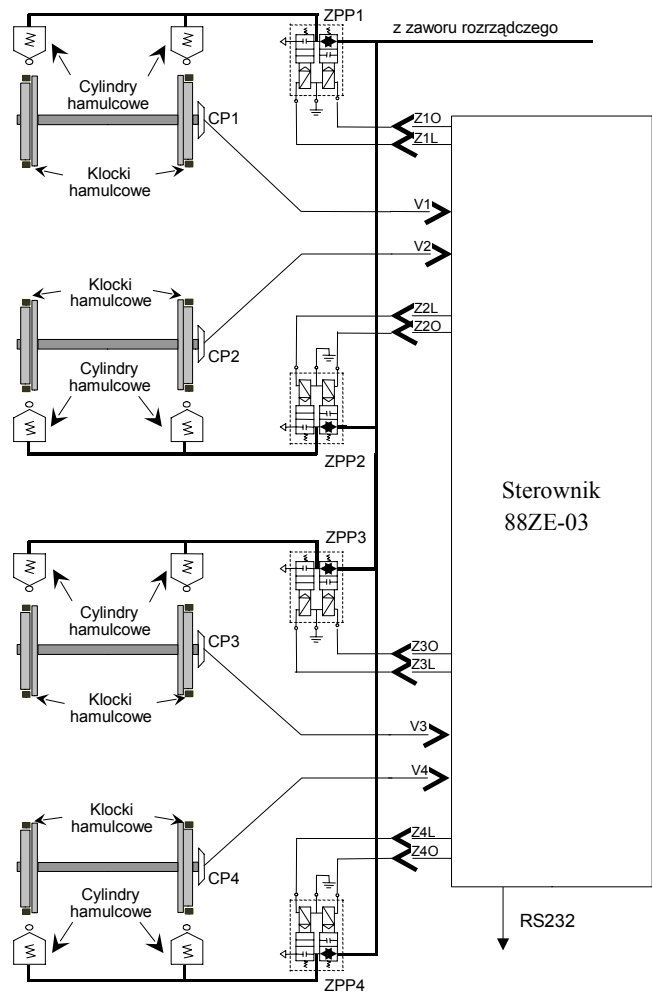
rzeczywistej prędkości obrotowej danego zestawu kołowego, a następnie obliczenie przez sterownik ich poślizgów względnych i opóźnień [2]. Uproszczony schemat blokowy układu przeciwoślizgowego przedstawiony został na rysunku 1.

Sterownik układu przeciwoślizgowego 88ZE-03 komunikuje się za pośrednictwem magistrali danych RS232 z systemem sterowania pojazdu. Przekazuje on do systemu sterowania informacje o prędkości referencyjnej pojazdu, a także o występowaniu poślizgów poszczególnych zestawów kołowych. Tą drogą przekazywane są także informacje o wszelkich uszkodzeniach czujników lub zaworów przeciwoślizgowych, dzięki realizowanym przez sterownik funkcjom autodiagnostyki. Z systemu sterowania pojazdem sterownik otrzymuje informacje o trybie pracy pojazdu (hamowanie, wybieg, jazda). Informacje te, w połączeniu z sygnałami z czujników prędkości, umożliwiają realizację funkcji wykrywania i likwidowania nadmiernego poślizgu poszczególnych zestawów kołowych podczas procesu hamowania pojazdem. Wykrywanie poślizgu zestawu kołowego odbywa się na podstawie kilkunastu kryteriów zaimplementowanych programowo w sterowniku. W przypadku wykrycia poślizgu, sterownik tak steruje zaworami przeciwoślizgowymi, aby utrzymać zestaw w optymalnym poślizgu zapewniającym maksymalne wykorzystanie chwilowej przyczepności zestawu kołowego do szyny, przy minimalnym zużyciu powietrza z układu pneumatycznego hamulca.

Opracowany w IPS Tabor układ przeciwoślizgowy, oparty na sterowniku typu 88ZE-03, został zabudowany i przebadany na zmodernizowanej lokomotywie typu 303Ea. Jest to lokomotywa czteroosiowa, posiadająca dwa wózki dwuosiowe. Każda oś posiada własny układ mechaniczny hamulca klockowego, napędzany przez parę cylindrów hamulcowych.

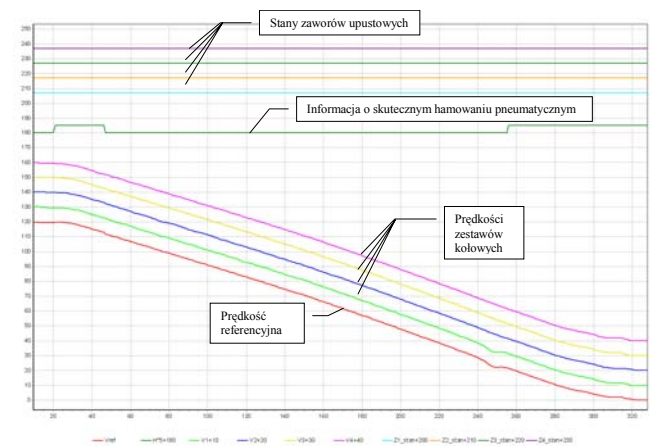
### 3. Badania poligonowe sterownika układu przeciwoślizgowego 88ZE-03

W ramach badań ruchowych hamulca lokomotywy serii 303Ea zostały wykonane testy układu przeciwoślizgowego. Celem badań było określenie poprawności doboru parametrów pracy działania układu przeciwoślizgowego hamulca pneumatycznego i elektrodynamicznego pojazdu, dokonanego na podstawie badań modelu i symulacji jego działania w laboratorium. Sterownik przeciwoślizgowy 88ZE-03 realizuje funkcje przeciwoślizgowe zawsze przy hamowaniu hamulcem pneumatycznym, natomiast przy hamowaniu elektrodynamicznym aktywowany jest, gdy ciśnienie w cylindrach hamulcowych wzrośnie powyżej określonego poziomu, gdyż tylko wtedy istnieje realna możliwość skutecznej likwidacji poślizgu przy pomocy zaworów upustowych.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy układu przeciwoślizgowego [3]

Hamowanie kontrolne (bez umyślnego obniżania przyczepności kół) z udziałem hamulca elektrodynamicznego z prędkości 120km/h zostało przedstawione na rysunku 2.



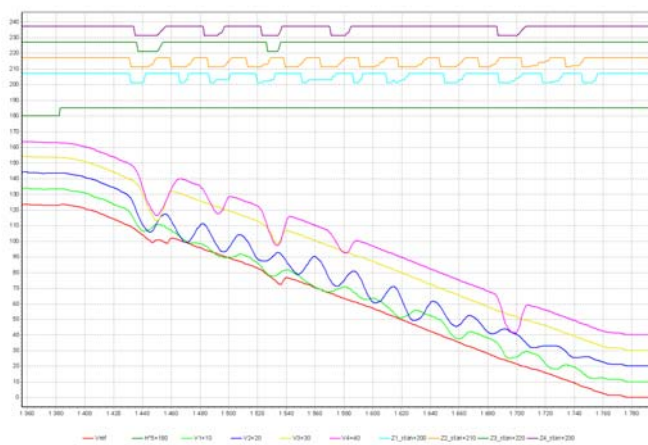
Rys. 2. Hamowanie kontrolne z prędkości 120km/h

Na powyższym rysunku zauważyć możemy przebieg prędkości referencyjnej pojazdu, a także prędkości poszczególnych osi, przesunięte wzajemnie o 10km/h w górę, dla poprawienia czytelności.

Przebieg, znajdujący się na offsecie 180 obrazuje informację o skutecznym hamowaniu realizowanym przez hamulec pneumatyczny, otrzymywaną przez sterownik 88ZE-03. Wysoki poziom sygnału informuje o dostatecznym poziomie ciśnienia w cylindrach hamulcowych do realizacji algorytmu przeciwpoślizgowego przy hamowaniu. Sygnał ten jest aktywny w początkowej fazie hamowania – dopóki hamulec elektrodynamiczny nie uzyska pełniej mocy, a także w końcowej fazie hamowania – gdy moc hamulca elektrodynamicznego słabnie przy małej prędkości i pojawia się w cylindrach odpowiednio duża wartość ciśnienia sprężonego powietrza. Hamowanie kontrolne pojazdu przebiega płynnie, praktycznie bez nadmiernych poślizgów poszczególnych zestawów kołowych, ze względu na wysoki współczynnik przyczepności kół podczas przeprowadzania tej próby.

Sprawdzenie układu przeciwpoślizgowego 88ZE-03 w warunkach obniżonej przyczepności polegało na wykonaniu serii hamowań nagłych z prędkości 120km/h oraz 160km/h, przy szynach pokrytych roztworem obniżającym przyczepność (w sposób wymagany kartą UIC-541-05[4]).

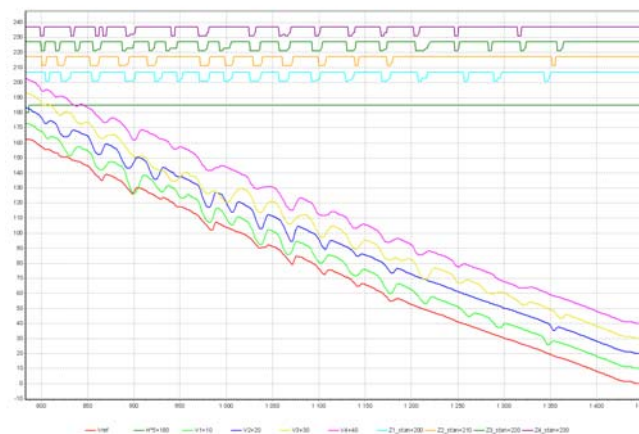
Przykładowe zarejestrowane (przez system diagnostyczny sterownika 88ZE-03) podczas badań dane podczas hamowań tylko hamulcem pneumatycznym przedstawiono na Rys.3 i 4, na których widać chwilowe prędkości poszczególnych osi (V1 – V4), aktualną prędkość referencyjną pojazdu (Vref), aktywację algorytmu przeciwpoślizgowego przy hamowaniu (H), oraz stany pracy zaworów upustowych poszczególnych osi (Z1\_stan – Z4\_stan) od których zależy chwilowy przebieg ciśnienia w cylindrach wytwarzających nacisk wstawek hamulcowych na poszczególne zestawy kołowe. Przebiegi pokazano w funkcji czasu (jednostka czasu na przedstawionych przebiegach odpowiada okresowi 0,1 sek).



Rys. 3. Poślizg przy hamowaniu hamulcem pneumatycznym z prędkości 120km/h

Funkcjonowanie zaworów przeciwpoślizgowych dla różnych stanów ich pracy przedstawionych na wykresie jest następujące:

- stan 1 (najniższe położenie znacznika stanu na wykresie) - odcięcie cylindra hamulcowego od zasilania, połączone z upuszczaniem powietrza z cylindra
- stan 2,3 (kolejne dwa położenia znacznika stanu) - stany pośrednie (upuszczanie sprężonego powietrza z cylindrów z różnymi gradientami)
- stan 4 (kolejne położenie znacznika) - odcięcie cylindra hamulcowego od zasilania przy odcięciu upuszczania (utrzymywanie stałej wartości ciśnienia w cylindrze)
- stan 5,6 (kolejne dwa położenia znacznika stanu) - stany pośrednie (napełnianie cylindrów sprężonym powietrzem z różnymi gradientami)
- stan 7 (najwyższe położenie znacznika stanu na wykresie) - cylinder hamulcowy zasilany, odpowiedzenie odcięte (normalne połączenie cylindra z zasilaniem - najszybsze napełnianie cylindra).

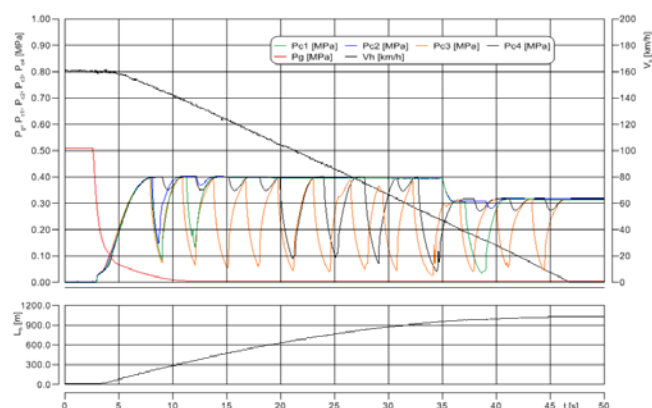


Rys. 4. Poślizg przy hamowaniu hamulcem pneumatycznym z prędkości 160km/h

Na obu wyżej przedstawionych przebiegach wystąpiły chwilowe jednoczesne poślizgi wszystkich zestawów kołowych, na skutek czego prędkość referencyjna jest wyznaczana w sterowniku w sposób obliczeniowy. Prędkość ta wyznaczana jest z założeniem, że opóźnienie pojazdu jest stałe i nieco większe niż realne realizowane chwilowe opóźnienie pojazdu podczas hamowania pełnego. Zaobserwować można reagowanie układu przeciwpoślizgowego na dwa różne jakościowo kryteria stwierdzenia nadmiernego poślizgu zestawu kołowego – na przekroczenie granicznego opóźnienia poszczególnych zestawów kołowych oraz na przekroczenie różnicy prędkości danego zestawu kołowego i prędkości referencyjnej. Dzięki zdolności sterownika do szybkiej reakcji na stwierdzone poślizgi i możliwości utrzymywania przez układ pośrednich wartości ciśnień w cylindrach (w wyniku zastosowania logiki rozmytej), mimo częstego wpada-



nia zestawów w poślizgi droga hamowania pojazdu nie uległa istotnemu wydłużeniu. Likwidacja poślizgów odbywa się również przy minimalnym zużyciu powietrza z przewodu pneumatycznego zasilającego cylindry hamulcowe.



Rys. 5. Przykładowy przebieg ciśnień w cylindrach hamulcowych podczas hamowania z  $V=160\text{km/h}$ .

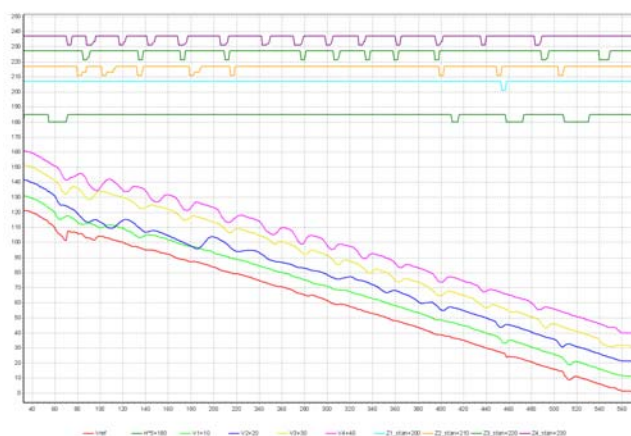
Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy przebieg ciśnień w cylindrach hamulcowych przy hamowaniu pneumatycznym z prędkości  $160\text{km/h}$ . Zauważalne są wyraźnie krzywe wykładnicze upuszczania powietrza z cylindrów hamulcowych, powrotu ciśnień do wartości nominalnych, a także stany odcięcia cylindrów od zasilania. Jak zauważyć można, sterownik 88ZE-03 działa na tyle szybko, iż poślizg danego zestawu kołowego zostaje zlikwidowany bez konieczności całkowitego opróżnienia cylindra hamulcowego, a opóźnienie hamowania jest wartością praktycznie stałą w całym zakresie drogi hamowania, mimo występowania licznych poślizgów.

Próby układu przeciwpoślizgowego (działania sterownika układu przeciwpoślizgowego 88ZE-03) z załączonym hamulcem elektrodynamicznym, realizuje się w analogiczny sposób jak próby hamulca pneumatycznego. W takim przypadku sposób działania sterownika jest nieco inne, ze względu na fakt, iż hamulec pneumatyczny jest aktywowany na lokomotywie wyłącznie w celu dopełnienia siły hamowania hamulca elektrodynamicznego (blending). Gdy hamulec elektrodynamiczny rozwija właściwą wymaganą siłę hamowania ciśnienie w cylindrach hamulcowych nie osiąga poziomu umożliwiającego pracę sterownika układu przeciwpoślizgowego.

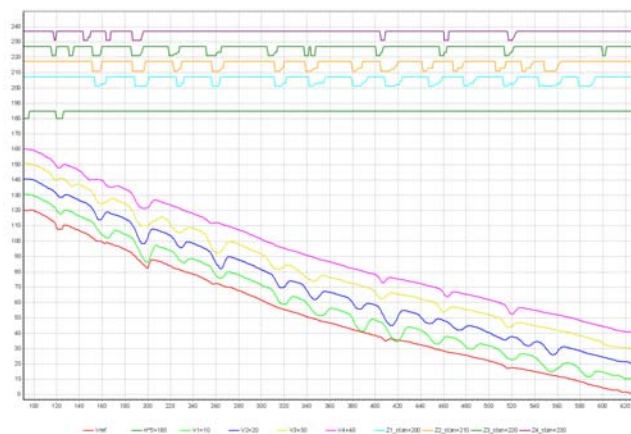
W warunkach obniżonej przyczepności natomiast układ przeciwpoślizgowy hamulca elektrodynamicznego obniża jego siłę hamowania przy wystąpieniu poślizgu. Dla zapewnienia odpowiedniego opóźnienia przy hamowaniu pojazdu, zwiększone zostaje wówczas ciśnienie w cylindrach hamulcowych i równocześnie obniżenie siły hamowania hamulca elektrodynamicznego. Powoduje to aktywację sterownika układu przeciwpoślizgowego, który przejmuje rolę zapobiegania poślizgom. Po odzyskaniu przyczepności hamulec elektrodynamiczny ponownie

zaczyna w pełni pracować, dezaktywując sterownik 88ZE-03. Przykładowe przebiegi likwidacji poślizgów przez układ hamulca ED i przez sterownik 88ZE-03 przy hamowaniu elektrodynamicznym przedstawione zostały na rysunkach 6 oraz 7.

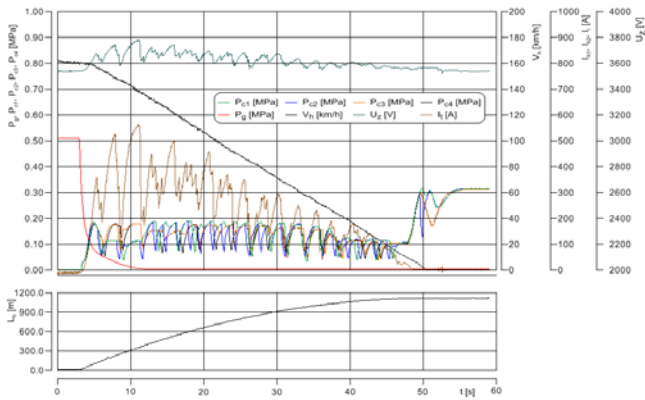
Na rysunkach 6 i 7 zauważyć można chwilowe, okresowe wyłączenia sterownika 88ZE-03 z działania, spowodowane niewielkim ciśnieniem w cylindrach hamulcowych. Świadczy to o odzyskaniu przyczepności w takim stopniu, iż umożliwia to hamowanie z pełną mocą hamulca elektrodynamicznego. Na powyższych przebiegach zauważalny jest chwilowy poślizg wszystkich zestawów kołowych, skutkujący koniecznością używania przez sterownik obliczeniowej prędkości referencyjnej, na skutek niemożności wyznaczenia wartości rzeczywistej na podstawie prędkości zestawów kołowych pojazdu.



Rys. 6. Poślizg przy hamowaniu hamulcem elektrodynamicznym z prędkości  $120\text{km/h}$



Rys. 7. Poślizg przy hamowaniu hamulcem elektrodynamicznym z prędkości  $160\text{km/h}$



Rys. 8. Przykładowy przebieg ciśnień w cylindrach hamulcowych

Na rysunku 8 przedstawiono przebieg ciśnień w cylindrach hamulcowych i przebieg prądu hamowania elektrodynamicznego. Prąd hamowania elektrodynamicznego jest tutaj ograniczany przez niezależny sterownik hamulca elektrodynamicznego. Zauważyć można pełną współbieżność działania obu sterowników przeciwpoślizgowych – przy odzyskaniu przyczepności rośnie prąd hamulca elektrodynamicznego, jednocześnie ciśnienia w cylindrach hamulcowych wracają do wartości zadanej.

## Literatura

- [1] Kaluba M., *Hamulec klockowy i niektóre aspekty cieplnych uszkodzeń kół. Pojazdy Szynowe*, 2/2006
- [2] Barna G., Cierniewski M., Kaluba M., *Układ przeciwpoślizgowy przy hamowaniu dla szynowych pojazdów trakcyjnych. Pojazdy Szynowe*, 2/2011.
- [3] Cierniewski M., *Dokumentacja techniczno-ruchowa mikroprocesorowego układu przeciwpoślizgowego typu 88ZE-03. Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”, Poznań 2010.*
- [4] *Karta UIC-541-05 Hamulec. Przepisy dotyczące budowy różnych części hamulca. Urządzenie przeciwpoślizgowe.*

## 4. Wnioski

Sterownik układu przeciwpoślizgowego 88ZE-03 wykazał swoją dobrą skuteczność dla ochrony kół przed zablokowaniem na lokomotywie 303Ea, oraz zapewnił opóźnienie hamowania pojazdu w warunkach obniżonej przyczepności na niewiele mniejszym poziomie od opóźnienia przy hamowaniu w warunkach normalnej przyczepności (bez poślizgu).

Na podstawie analizy zarejestrowanych przebiegów zauważyć można, iż szybkość reakcji sterownika 88ZE-03 na poślizg jest porównywalna ze sterownikiem przeciwpoślizgowym układu hamulca elektrodynamicznego. Tak dużą szybkość działania osiągnięto dzięki zastosowaniu w sterowniku mikrokontrolera o dużej mocy obliczeniowej, umożliwiającej realizację złożonych algorytmów pracy wymagających dużej ilości obliczeń.

Dzięki budowie modułowej sterowniki serii 88ZE mogą być z powodzeniem zastosowane na pojazdach trakcyjnych posiadających od dwu do sześciu osi przy niewielkich tylko zmianach programowych.