

mł. asp. Wojciech Apiecionek
LK KWP w Bydgoszczy

Opóźnienie hamowania tramwaju typu 120 NaG firmy PESA Bydgoszcz SA

Wstęp

Rozwój pojazdów szynowych napędzanych silnikami elektrycznymi na przełomie XIX i XX wieku związany był ściśle z rozwojem maszyn elektrycznych. Już w 1879 roku Werner v. Siemens jako pierwszy zastosował do napędu kolejki silnik elektryczny, który przedstawił na wystawie rzemiosł w Berlinie. W 1881 roku w Lichterfelde pod Berlinem uruchomiony został pierwszy tramwaj elektryczny. W Polsce pierwszy tramwaj elektryczny uruchomiono w Bydgoszczy w 1888 roku. Równolegle z rozwojem silników elektrycznych nastąpił ogromny postęp w technice oraz w produkcji i dostępności materiałów służących do budowy pojazdów szynowych.

W ostatnich latach w firmie PESA Bydgoszcz SA nastąpił rozwój technologiczny i produkcja w znacznych ilościach taboru szynowego na rynek Polski i zagraniczny. Wyprodukowano wiele pojazdów przeznaczonych do przewozu osób lub rzeczy zasilanych energią elektryczną i poruszających się po szynach na drogach publicznych, w tym tramwajów typu 120 Na. Tramwaje te charakteryzują się nowoczesną bryłą nadwozia z dużą przeszkloną powierzchnią. Wnętrza tramwajów wyposażone są w nowoczesne technologie oraz wykonane zostały z najnowocześniejszych materiałów.

Przy rekonstrukcji zdarzenia drogowego do prawidłowej oceny analizowanego zdarzenia niezbędne jest ustalenie, jaka była możliwość hamowania pojazdu w konkretnych warunkach drogowych i atmosferycznych. Aby określić hamowanie pojazdów biorących udział w zdarzeniu drogowym, do rekonstrukcji wypadków drogowych niezbędna jest znajomość ich średniego opóźnienia hamowania.

Przy odtworzeniu zdarzeń drogowych z udziałem wagonów tramwajowych bieżący ma możliwość wykorzystania minimalnych wartości współczynnika opóźnienia hamowania, które powinien spełniać wagon tramwajowy zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.

Z uwagi na ciągle zwiększającą się liczbę wagonów tramwajowych typu 120 Na poruszających się po ulicach miast, coraz częściej dochodzi do kolizji i wypadków z ich udziałem.

W literaturze dotyczącej wypadków drogowych brak danych o możliwych osiągniętych opóźnieniach hamowania nowoczesnych tramwajów typu 120 Na i prawidłowej interpretacji wyników zarejestrowanych przez urządzenie ATM, w które seryjnie wyposażone są te wagony tramwajowe. Podjęcie tematu opóźnienia hamowania tych wagonów tramwajowych na torach suchych i mokrych oraz prawidłowy odczyt danych z rejestratora ATM wydaje się uzasadnione. Badanie było możliwe dzięki uprzejmości kierownictwa firmy PESA Bydgoszcz SA.

W pracy przedstawiono m.in. podstawy teoretyczne dotyczące ruchu tramwajów, systemy układów hamulcowych tramwaju typu 120 NaG oraz ich tryby pracy, a także specyfikę kierowania tym tramwajem. Zaprezentowano również założenia metodyczne i wyniki badań opóźnienia hamowania tramwaju typu 120 Na oraz dokonano interpretacji danych z rejestratora ATM.

Mechanika ruchu tramwaju

Na pojazd będący w ruchu działa wiele sił, które ten pojazd musi pokonać, aby mógł poruszać się z określoną prędkością. Siła, która pokonuje opory ruchu (opory mechaniczne związane z ruchem pojazdu i opory powietrza), a dzięki której wagon tramwajowy może się poruszać, nosi nazwę siły napędowej. Zgodnie z zasadami fizyki siła ta ma swój kierunek i zwrot.

Do oporów mechanicznych, które wagony tramwajowe muszą pokonać, aby mogły się poruszać, zalicza się opory spowodowane tarciem kół o szyny (w tym ich obrzeży) oraz tarciem w łożyskach kół.

W komunikacji miejskiej przyjmuje się, iż mechaniczne opory ruchu są wartością stałą i niezależną od prędkości danego wagonu tramwajowego. Zależą natomiast od ciężaru danych wagonów tramwajowych i wyrażają się zależnością:

$$W_m = G \cdot w_m \quad (1)$$

gdzie: W_m – mechaniczny opór ruchu [kg, N],
 G – całkowity ciężar pojazdu [T, kN],
 w_m – współczynnik mechanicznego oporu ruchu [kG/T].

Współczynnik mechanicznego oporu ruchu zależy od wielu czynników, m.in. pogody, stanu szyn tramwajowych, stanu łożysk, i jego wartości wynoszą 8÷10 kG/T. Im lepszy stan torów, łożysk i lepsza pogoda, tym mniejsze wartości współczynnika mechanicznego oporu ruchu [1].

Na poruszający się wagon tramwajowy działają również opory powietrza w postaci ciśnienia wywieranego przez gazy na część czołową pojazdu, podciśnienia powstającego bezpośrednio za pojazdem, tarcia cząsteczek gazów o powierzchnię boczną oraz czaszę dachu pojazdu. Opór powietrza wyrażany jest zależnością:

$$W_p = \lambda \cdot S \cdot v^2 \quad (2)$$

gdzie: W_p – opór powietrza [kg, N],
 λ – stała zależna od kształtu pojazdu
 $\lambda = C_x \cdot \rho$ [Kg · s²/m⁴]
 C_x – współczynnik oporów powietrza
 ρ – gęstość powietrza
 S – rzut powierzchni czołowej na płaszczyznę prostopadłą do osi podłużnej [m²],
 v – prędkość pojazdu [m/s].

Zatem opór powietrza jest wprost proporcjonalny do powierzchni, na którą działa, i kwadratu prędkości pojazdu. W praktyce za wartość stałej zależnej od kształtu pojazdu dla nowoczesnych tramwajów przyjmuje się około 0,004 Kg · s²/m⁴.

Pozostałe opory ruchu, jakie działają na wagon tramwajowy, to opory powstające przy ruszaniu pojazdu oraz opory wynikające z trajektorii ruchu wagonu tramwajowego, tj. m.in. jazda po torze krzywoliniowym, jazda po wzniesieniu. Wartości tych oporów powodują nieznaczny wzrost sumaryczny oporów ruchu wagonów tramwajowych. Nowoczesne wagony tramwajowe wyposażone są w dobrej jakości smary, które minimalizują opory ruchu wagonów tramwajowych podczas ruszania. Wagony mają mechanizmy różnicowe umożliwiające poruszanie się kół napędzanych z różną prędkością podczas jazdy po torze krzywoliniowym.

Opóźnienie hamowania tramwaju

Zgodnie z prawami fizyki każdy poruszający się z prędkością v pojazd o masie m ma energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (3)$$

gdzie: v – prędkość pojazdu [m/s]
 m – masa pojazdu [kg].

Wagon tramwajowy uzyskuje tę energię, pokonując siły oporu ruchu przez wykorzystanie prędkości pochodzącej z silników elektrycznych. Energia kinetyczna, którą ma poruszający się wagon tramwajowy, równa jest pracy F wykonanej na drodze S przez ten pojazd:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = F \cdot S \quad (4)$$

gdzie: F – siła wykonana przez pojazd [N, kG]
 S – droga pokonana przez pojazd [m, km].

Z uwagi na bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego oraz pasażerów wagonów tramwajowych motorniczy musi mieć podczas jazdy możliwość zmniejszenia w każdej chwili prędkości ruchu pojazdu lub szybkiego zatrzymania wagonów. W procesach tych energię kinetyczną wagonów tramwajowych trzeba zmienić w inną postać energii lub wyemitować do otoczenia w trakcie hamowania, tzn. zrównoważyć siły wymuszające ruch pojazdu. W wagonach tramwajowych emitowanie energii do otoczenia odbywa się za pomocą hamulców szynowych przez tarcie klocków stalowych o szyny oraz za pomocą hamulców tarczowych kół przez tarcie powierzchni w czasie, gdy koła wagonów tramwajowych obracają się [2].

Zgodnie z Kulombowskim prawem tarcia wykorzystanie maksymalnej wartości sił tarcia T_i działających na poszczególne koła pojazdu będącego w ruchu związane jest z wartością siły nacisku wszystkich kół oraz szyn hamulców szynowych na szyny Z i wyraża się zależnością:

$$T_i = \mu \cdot Z \quad (5)$$

gdzie: μ – współczynnik przyczepności koła oraz szyn hamulców do szyn

Z – siła nacisku na szyny.

Wartość wypadkowej siły hamującej można wyrazić również następująco:

$$T = \mu \cdot Z = \mu \cdot G \quad (6)$$

gdzie: G [N] – ciężar pojazdu.

W układzie jednostek SI ciężar pojazdu określa się wzorem:

$$G = m \cdot g$$

gdzie: m – masa pojazdu [kg]

g – przyspieszenie ziemskie, $g = 9,81$ [m/s²].

W wagonach tramwajowych w przypadku wykorzystania sił przyczepności wypadkową hamującą siłę tarcia wyrazić można wzorem:

$$T = \mu \cdot g \cdot m \text{ [N]} \quad (7)$$

gdzie: $\mu \cdot g$ – wartość maksymalnego opóźnienia, jakie osiągnąć może hamowany wagon tramwajowy.

W praktyce biegli zajmujący się rekonstrukcją przebiegu zdarzenia drogowego przy udziale wagonów tramwajowych stosują metodę określania intensywności hamowania za pomocą współczynnika przyczepności μ (wyrażającą się utożsamianiem osiąganego przez pojazd opóźnienia z wartością iloczynu $\mu \cdot g$). Jest to jedynie przybliżenie, ale ze względu na specyfikę hamowania wagonów tramwajowych – jedyne możliwe do wykorzystania w praktyce [3].

Proces hamowania tramwajów w świetle obowiązujących przepisów prawnych

Wymagania stawiane układom hamulcowym tramwajów eksploatowanych na terenie Polski oraz sposób przeprowadzenia badań tych pojazdów określone są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz.U. Nr 65 Poz. 344).

Zgodnie z przytoczonym aktem prawnym tramwaj powinien być wyposażony w następujące rodzaje systemów hamowania zwanych hamulcami:

- hamulec roboczy – służący do zmniejszania prędkości tramwaju i zatrzymania go w sposób niezawodny, szybki i skuteczny, niezależnie od prędkości i obciążenia oraz od kąta wzniesienia lub spadku torów, z możliwością regulacji intensywności hamowania;
- hamulec awaryjny – służący do zatrzymania tramwaju w razie awarii hamulca roboczego; hamulec ten powinien wykorzystywać hamowanie niezależne od przyczepności między kołem i szyną;
- hamulec postojowy mechaniczny – służący do unieruchomienia tramwaju podczas postoju; dopuszcza się zastąpienie tego hamulca innym urządzeniem pozwalającym na trwałe i niezawodne unieruchomienie tramwaju po jego zatrzymaniu; hamulec ten powinien być tak skonstruowany, aby niemożliwe było jego samoczynne zwolnienie oraz powinien mieć wyraźne oznakowanie kierunku uruchamiania w przypadku napędu ręcznego;
- hamulec bezpieczeństwa – służący do zatrzymywania tramwaju przez pasażera w razie zagrożenia bezpieczeństwa,

- hamulec nagły – służący do zatrzymywania tramwaju z największym możliwym do uzyskania opóźnieniem hamowania w sytuacji wystąpienia zagrożenia [4].

W wagonach tramwajowych wyprodukowanych po 1 lipca 2011 r. hamulce działające na zasadzie wykorzystania przyczepności między kołem i szyną powinny być uzupełnione urządzeniem umożliwiającym poprawienie współczynnika tej przyczepności.

Pomiar opóźnienia hamowania tramwaju hamulcem roboczym, awaryjnym, nagłym i bezpieczeństwa powinien być dokonywany z zachowaniem następujących warunków:

1. Badania skuteczności hamowania dokonuje się poprzez pomiar drogi hamowania nieobciążonego tramwaju z ustalonej prędkości 30 km/h na wyznaczonym odcinku toru.
2. Wartość opóźnienia hamowania wylicza się, wychodząc z prędkości rozpoczęcia hamowania i drogi hamowania przy założeniu ruchu jednostajnie opóźnionego.
3. Dopuszcza się badanie skuteczności hamowania w drodze pomiaru opóźnienia hamowania.
4. Badania można przeprowadzić tylko na odcinku torów, na którym nie wystąpi zagrożenie bezpieczeństwa ruchu.
5. Odcinek toru, na którym prowadzone są pomiary, powinien być prosty i poziomy, a szyny czyste i suche.
6. Tramwaj jest nieobciążony.
7. Pomiary należy dokonywać przy prędkości początkowej ok. 30 km/h według wskazań prędkościomierza wagonu.

Skuteczność hamowania uznaje się za wystarczającą, jeśli:

1. Zmierzona długość drogi hamowania jest mniejsza lub co najmniej równa wartościom podanym w tabeli poniżej – przy czym droga hamowania zespołu tramwajowego złożonego z wagonu silnikowego i wagonów doczepnych biernych może być dłuższa nie więcej niż 20% w stosunku do wartości podanych w tabeli, a w przypadku zespołu tramwajowego złożonego z wagonów wyprodukowanych w różnych przedziałach czasowych z poniższej tabeli dopuszcza się, aby wagon nowszy w takim zespole miał parametry hamowania takie, jakich wymaga się dla wagonu starszego.
2. Obliczona na podstawie pomiaru drogi lub zmierzona wartość opóźnienia hamowania jest większa lub co najmniej równa wartościom podanym w tabeli 1 [5].

Tabela 1

Wskaźniki skuteczności hamowania

Braking performance indicators

	Wagon wyprodukowany	Rodzaj hamowania	Droga hamowania (m)	Opóźnienie hamowania (m/s ²)
1	Do 31.12.1963	Nagłe	17,3	2,0
		Robocze lub awaryjne	43,4	0,8
2	Po 31.12.1963	Nagłe	17,3	2,0
		Robocze lub awaryjne	31,5	1,1
		Bezpieczeństwa	34,7	1,0

	Wagon wyprodukowany	Rodzaj hamowania	Droga hamowania (m)	Opóźnienie hamowania (m/s ²)
3	Po 01.01.2000	Nagłe	13,3	2,6
		Robocze lub awaryjne	28,9	1,2
		Bezpieczeństwa	23,1	1,5
4	Po 01.01. 2002	Nagłe	12,4	2,8
		Robocze lub awaryjne	26,7	1,3
		bezpieczeństwa	23,1	1,5
5	Po 01.01.2005	Nagłe	11,5	3,0
		Robocze lub awaryjne	24,8	1,4
		Bezpieczeństwa	19,3	1,8

Źródło (tab. 1–8): opracowanie własne

Przebieg badań

Cel pracy

Celem pracy było przeprowadzenie badań opóźnienia hamowania tramwaju 120 NaG zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia na torach suchych oraz dla potrzeb rekonstrukcji przebiegu zdarzeń drogowych na torach mokrych, przedstawienie wyników badań oraz wyników badań z rejestratora ATM.

Warunki przeprowadzonych badań

Badania przeprowadzono na prostych, poziomych odcinkach torów w miejscowości Gdańsk w porze nocnej, w miejscach, w których nie występowało zagrożenie bezpieczeństwa ruchu, przy udziale nadzoru ruchu tego miasta. Badania przeprowadzone na torach mokrych odbyły się na tych samych odcinkach, na których wykonano badania na torach suchych.

Badany tramwaj 120 NaG

Do badań użyto pięcioczołowego tramwaju typu 120 Na wyprodukowanego w roku 2011 przez firmę PESA Bydgoszcz SA. Tramwaj wyprodukowany z przeznaczeniem dla Gdańska ma jako ostatnią literę w nazwie „G”, zatem cała jego nazwa robocza to 120 NaG, natomiast nazwa marketingowa tego tramwaju to „Swing”. Pojazd ma dwa wózki napędne i jeden wózek toczny.

Tabela 2

Podstawowe dane techniczne tramwaju 120 NaG użytego w badaniach

Basic technical data of 120 NaG tram

Prędkość eksploatacyjna		70 km/h
Długość całkowita		30120 mm
Szerokość		2350 mm
Wysokość	Bez odbieraka	3400 mm
	Z odbierakiem złożonym	3750 mm
Wysokość podłogi nad główką szyny		350 mm
Rozstaw osi na wózkach		1800 mm
Napięcie zasilania		600 V DC



Ryc. 1. Tramwaj 120 NaG uczestniczący w badaniach

Fig. 1. 120 NaG tram being tested

Źródło (ryc. 1–48): autor

Specyfika kierowania tramwajem 120 NaG

Kabina motorniczego tramwaju typu 120 NaG została zaprojektowana tak, aby tworzyła tzw. klatkę bezpieczeństwa, zapewniając motorniczemu zwiększoną ochronę w przypadku zdarzenia drogowego. Klatka motorniczego wyposażona jest w klimatyzację oraz w pulpit z centralnym terminalem wielofunkcyjnym. Motorniczy przed rozpoczęciem jazdy tramwajem dokonuje wyboru czuwaka. Ma on dyspozycji dwa czuwaki. Pierwszy czuwak usytuowany jest na panelu podłogowym – jako pedał roboczy – i obsługiwany jest lewą nogą motorniczego. Drugi czuwak znajduje się po lewej stronie siedziska motorniczego w dźwigni nastawnika – załączony jest po docięnięciu dźwigni do podłoża. Z uwagi na mechanizm działania obu czuwaków najczęściej wybieranym czuwakiem jest czuwak usytuowany na panelu podłogowym.

Po wyborze czuwaka motorniczy rozpoczyna jazdę za pomocą dźwigni nastawnika. Nastawnik to urządzenie

elektryczne, którego zadaniem jest zapewnienie prawidłowego rozruchu i hamowania tramwajów. W tramwaju 120 NaG nastawnik znajduje się po lewej stronie siedziska motorniczego. Ruch dźwigni nastawnika w kierunku przodu tramwaju powoduje nadawanie prędkości tramwaju, natomiast ruch dźwigni nastawnika do tyłu powoduje hamowanie – jest to tzw. hamowanie robocze. Natomiast przesunięcie nastawnika do tyłu do skrajnej pozycji spowoduje zainicjowanie hamowania nagłego.

Motorniczy, chcąc zwiększyć skuteczność hamowania, może to zrobić na kilka sposobów. Jednym z nich w sytuacji, gdy konieczne jest zwiększenie skuteczności hamowania tramwaju 120 NaG, jest posypanie szyn torów piaskiem z piasecznicy. Do tego celu w kabinie motorniczego na panelu podłogowym znajduje się nożny włącznik piasecznicy – skrajny z prawej strony.

W momencie zwolnienia czuwaka przez motorniczego (np. w wyniku zasłabnięcia motorniczego) następuje hamowanie bezpieczeństwa tramwaju.



Ryc. 2. Umiejscowienie czuwaka w kabinie motorniczego tramwaju 120 NaG
Figs. 2. Location of dead-man's handle in the 120 NaG tram driver cabin



Ryc. 3. Umiejscowienie dźwigni nastawnika w kabinie motorniczego tramwaju 120 NaG
Fig. 3. Location of lever adjuster in the 120 NaG tram driver cabin



Ryc. 4. Umiejscowienie włącznika piasecznicy w kabinie motorniczego tramwaju 120 NaG
Fig. 4. Location of riffle switch in 120 NaG tram driver cabin

Hamowanie awaryjne tramwaju nastąpi, gdy motorniczycy włączy tzw. grzybek znajdujący się na pulpicie po jego prawej stronie. Hamowanie to nazywa się hamowaniem AHP, czyli Awaryjnym Hamowaniem Pojazdu.

Hamowanie nagłe w tym tramwaju włączane jest przez motorniczego za pomocą dźwigni nastawnika przez ściągnięcie jej maksymalnie w kierunku do tyłu. W trakcie ściągania dźwigni nastawnika do tyłu motorniczy doskonale zdaje sobie sprawę, iż nastąpiło już włączenie hamowania nagłego, bowiem w trakcie cofania tej dźwigni czuje on przełamanie pewnego oporu sygnalizującego to włączenie.

W tramwaju typu 120 NaG istnieje jeszcze jeden hamulec bezpieczeństwa. Jest to hamulec bezpieczeństwa umiejscowiony wewnątrz przedziału pasażerskiego. Jego uruchomienie również rozpocznie proces hamowania.



Ryc. 5. Umieszczenie „grzybka” AHP w kabinie motorniczego tramwaju 120 NaG

Fig. 5. Location of AHP switch in the 120 NaG tram driver cabin

Rodzaje systemów hamowania tramwaju 120 NaG

Badany pojazd wyposażony jest w system hamulcowy składający się z niezależnych od siebie układów:

- hamulec elektrodynamiczny (hamulec ED),
- hamulec elektrohydrauliczny (hamulec EH),
- magnetyczny hamulec szynowy (hamulec MG).

W każdym z wózków napędnych tramwaju 120 NaG przewidziano po dwa pasywne, elastycznie zawieszone zaciski hamulcowe. Natomiast w wózku tocznym – po cztery pasywne, elastycznie zawieszone zaciski hamulcowe.

Hamulce elektrohydrauliczne we wszystkich trzech wózkach sterowane są przez jedną centralną jednostkę sterującą, która znajduje się w członie A pojazdu. Agregaty hydrauliczne sterują ciśnieniem w układach hydraulicznych hamowania wózka. Na wózkach napędowych i tocznych wraz ze zmniejszającym się ciśnieniem rośnie siła hamowania i przeciwnie.

Sterowana mikroprocesorowo jednostka KBGM-H zawiera komponenty elektroniczne służące sterowaniu hamulcem oraz uwzględnia również tzw. przeciwoślizg.

Jednostka sterująca przetwarza wszystkie sygnały wejściowe na zadaną wartość hamowania, która z kolei przez przetwornik analogowy zostaje przekształcona w odpowiednią wartość ciśnienia w zaciskach hamulcowych. Ponadto jednostka ta jest odpowiedzialna za pozostałe funkcje, takie jak: ograniczenie szarpnięcia, hamulec postojowy oraz korekcja masy. Zintegrowany system przeciwoślizgu wysterowuje siłę w zaciskach (poprzez zadawanie ciśnienia) przy niewystarczającej przyczepności na styku koło/szyna i dzięki temu umożliwia osiągnięcie optymalnych dróg hamowania we wszystkich wózkach. Pozwala to na uniknięcie zjawiska blokowania się kół i tym samym powstania płaskich miejsc na powierzchni tocznej koła.

Każdy z wózków tramwaju 120 NaG wyposażony jest w dwa magnetyczne hamulce szynowe. Hamulce te są dodatkowymi hamulcami pojazdu, niezależnymi od działania siły tarcia kół. Siła, z którą elementy hamujące trą o szynę, jest wytwarzana elektromagnetycznie [6].

Tryby pracy systemów hamowania tramwaju 120 NaG

W tramwaju 120 NaG systemy hamowania realizują sześć podstawowych trybów hamowania oraz tryby awaryjne.

Hamowanie robocze – wykorzystuje hamulce elektrodynamiczne wspomagane przez układ hamulca mechanicznego tarczowego, natomiast w końcowej fazie hamowania dodatkowo zwolnione zostają zaciski pasywne hamulca mechanicznego tarczowego na wózkach, których zadaniem jest ostateczne unieruchomienie wagonu. Ten tryb hamowania sterowany jest liniowo z zadajnika, przy czym standardowo hamowanie pojazdu powyżej prędkości 35 km/h realizowane jest wyłącznie z wykorzystaniem hamulca ED.

Hamowanie nagłe – uruchamiane jest przez umieszczenie przez motorniczego zadajnika w skrajnej pozycji do tyłu. W tym trybie hamowania aktywne są wszystkie typy hamulców: hamulec ED, hamulec EH na obydwu wózkach oraz hamulec MG.

Hamowanie bezpieczeństwa – stanowi tryb hamowania realizowany przez działające jednocześnie układy elektromagnetycznych hamulców szynowych oraz hamulców mechanicznych tarczowych. Tryb ten przeznaczony jest do zatrzymania wagonu przez pasażerów w przypadku zagrożenia bezpieczeństwa oraz wdrożenia w przypadku zwolnienia przez motorniczego przycisku czuwaka.

Hamowanie awaryjne – wdrażane jest w przypadku użycia przycisku Awaryjnego Hamowania Pojazdu. Realizowane przez działające jednocześnie układy elektromagnetycznych hamulców szynowych oraz hamulców mechanicznych tarczowych. Następnym użyciu tego trybu jest odłączenie pojazdu od napięcia trakcyjnego oraz wyłączenie falowników trakcyjnych. Tryb hamowania bez udziału systemu przeciwoślizgowego służy do awaryjnego

zatrzymania pojazdu przy awarii hamulca roboczego bądź magistrali CAN (główna magistrala komunikacyjna tramwaju). Jest on realizowany za pomocą hamulca EH. W przypadku awarii magistrali CAN jest on uruchamiany automatycznie.

Hamulec parkingowy – uruchamiany jest za pomocą zacisków pasywnych zainstalowanych we wszystkich wózkach. Działają one na zasadzie hamulca sprężynowego, możliwego do zluźnienia przez podanie ciśnienia. Ten tryb hamowania uruchamiany jest w sytuacji, w której wyłączony jest sterownik hamulca.

Hamulec postojowy – włączany jest za pomocą wszystkich dostępnych zacisków hamulca EH, podczas postoju, np. na przystanku. Ten tryb hamowania jest uruchamiany, gdy pojazd osiągnie prędkość, przy której uruchamia się hamulec postojowy.

Zastępcze hamowanie awaryjne przez zawór bezpieczeństwa odbywa się niezależnie od elektroniki sterującej systemem hamulca. Uruchamiane jest za pomocą przycisku znajdującego się w kabinie motorniczego.

Zastępcze hamowanie nagłe 1 przy 50% awarii hamulca ED to tryb hamowania nagłego uruchamiany przy awarii jednego z hamulców ED; brak hamulca siły ED na jednym z wózków jest nadrabiany przez wykorzystanie hamulca EH.

Zastępcze hamowanie nagłe 2 przy 100% awarii hamulca ED to tryb hamowania aktywowany przez skrajne położenie zadajnika motorniczego podczas całkowitej awarii hamulca ED bądź magistrali CAN. Ten tryb hamowania wykorzystuje hamulce EH i MG.

Zjazd awaryjny przy awarii CAN bądź 100% awarii hamulca ED to tryb aktywowany za pomocą przełącznika znajdującego się w kabinie motorniczego. Po włączeniu tego trybu hamulec EH sterowany jest 7-stopniowo i przez 3 sygnały. Podczas jazdy w tym trybie prędkość jest automatycznie ograniczona do 30 km/h. W tym trybie hamowania należy poprosić pasażerów o opuszczenie pojazdu na najbliższym przystanku [6].

Zastosowane w badaniach urządzenia służące do określenia opóźnienia hamowania

Opóźnieniomierz ZEPWN CL 170

Do badań użyto opóźnieniomierza firmy ZEPWN typu CL 170. Jest to przenośny przyrząd do badania skuteczności hamowania przez pomiar opóźnienia hamowania. W opóźnieniomierzu tym zastosowano pomiar rzeczywistego przyspieszenia w dwóch prostopadłych do siebie osiach leżących w płaszczyźnie symetrii wzdłużnej pojazdu. Dzięki temu specjalny algorytm przeliczający wyniki pomiarów umożliwia eliminację wpływu zmiany kąta pochylenia pojazdu w stosunku do poziomu (efekt „nurkowania”) na wynik końcowy [7].



Ryc. 6. Opóźnieniomierz ZEPWN typu CL 170
Fig. 6. CL 170 type ZEPWN decelerometer

Wyniki pomiarów opóźnienia hamowania w tym opóźnieniomierzu są rejestrowane jednocześnie podczas procesu hamowania i po przetworzeniu zapisywane w nielotnej pamięci przyrządu. Następnie wyniki pomiarów mogą być pokazane na wyświetlaczu LCD opóźnieniomierza lub przetransmitowane przez łącze RS232 do komputera PC w celu wizualizacji oraz wydruku. Urządzenie wycechowane jest w $[m/s^2]$ w odniesieniu do opóźnienia hamowania oraz w $[s]$ – sekundach w odniesieniu do czasu. Urządzenie ma zakres pomiarów $\pm 15 m/s^2$ przy błędzie pomiarów $< \pm 0,1 m/s^2$. Opóźnieniomierz jest zgodny z deklaracją zgodności z normą PN/EN 45014.

Opóźnieniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04

Do badań zastosowano również opóźnieniomierz firmy MOTOMETER, typ Prüf Nr 04.



Ryc. 7. Opóźnieniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04
Fig. 7. Prüf Nr 04 type MOTOMETER decelerometer

W opóźnieniomierzu MOTOMETER zapis uzyskiwanych wyników pomiarów dokonywany jest na specjalnie do tego celu przeznaczonych kartach w postaci wykresu wartości opóźnienia hamowania w funkcji czasu. Urządzenie to wycechowane jest w $[m/s^2]$ w odniesieniu do opóźnienia hamowania oraz w $[s]$ w odniesieniu do czasu.

Rejestrator danych ATM

W badaniach wykorzystano także rejestrator danych ATM. Urządzenie to służy do zbierania i przechowywania danych mających wpływ na bezpieczne działanie pojazdu kolejowego. Odczytane z pamięci rejestratora dane i parametry udostępnione przez serwisanta są wykorzystywane przy rekonstrukcji zdarzeń drogowych z udziałem pojazdów szynowych. Rejestrator ATM w przypadku wagonów tramwajowych zapisuje najważniejsze informacje odnośnie do bezpieczeństwa, takie jak prędkość tramwaju, przebyta droga, stan napędu, użycie sygnałów ostrzegawczych, użycie przycisku czuwaka, „grzybek” ATM oraz hamowanie nagłe. Dane przekazywane są zainteresowanej stronie przez serwisanta ATM w formie wykresów.

Założenia do metody badawczej

Badanie opóźnienia hamowania przeprowadzono, wzorując się na zasadach przeprowadzania badania skuteczności hamulców tramwaju zawartych w załączniku nr 2 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, oraz stosując się do instrukcji obsługi opóźnieniomierza MOTOMETER i ZEPWN CL 170, tj. z zachowaniem następujących warunków:

1. Badanie przeprowadzono w godzinach nocnych na wydzielonych odcinkach torów w mieście Gdańsk, tak aby nie spowodowało to zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego (np. przez nagłe zahamowanie pojazdu) przy obecności nadzoru ruchu miasta Gdańsk.

2. Do badań użyto tramwaju pięcioczołowego firmy PESA Bydgoszcz SA typu 120 NaG.
3. Dostarczony do badań tramwaj był sprawny technicznie. Odcinki toru, na których prowadzone były pomiary, były poziome, proste i suche.
4. Tramwaj obciążony był tylko masą motorniczego i osób dokonujących pomiarów.
5. Hamowanie inicjowano przy użyciu czuwaka, „grzybka” AHP oraz nastawnika jazdy.
6. Pomiaru dokonywano przy prędkości początkowej ok. 30 km/h według wskazań prędkościomierza wagonu.
7. Temperatura powietrza wynosiła $+17^{\circ}C$.

Ponadto na potrzeby rekonstrukcji przebiegu zdarzeń drogowych z udziałem wagonów tramwajowych typu 120 Na wykonano pomiar dla wymuszonego hamowania nagłego na torach mokrych.

Wyniki badań

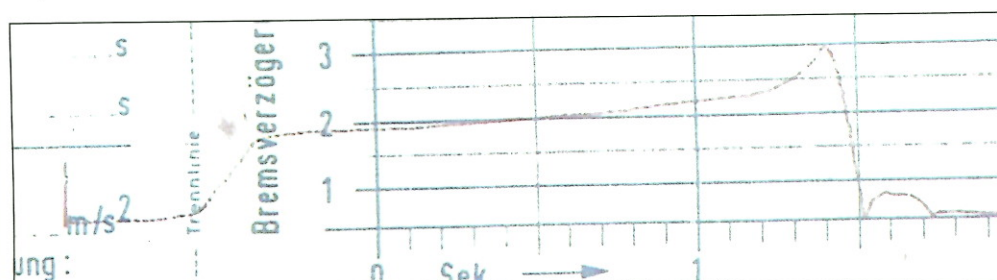
W trakcie badań wyniki pomiarów z opóźnieniomierza MOTOMETER zapisywane były na specjalnie do tego przeznaczonych kartach, natomiast pomiary opóźnieniomierza ZEPWN typu CL 170 zapisywane były w nietłonej pamięci przyrządu i po przetransmitowaniu przez łącze RS232 przesyłane do komputera PC. Dane z rejestratora ATM po wspólnej analizie zostały udostępnione przez firmę PESA Bydgoszcz SA.

Wykonano trzy próby badania opóźnienia hamowania awaryjnego zainicjowanego za pomocą czuwaka.

Opóźnieniomierz MOTOMETER zarejestrował na kartach wartości opóźnienia hamowania w postaci wykresów – ryc. 8–10.

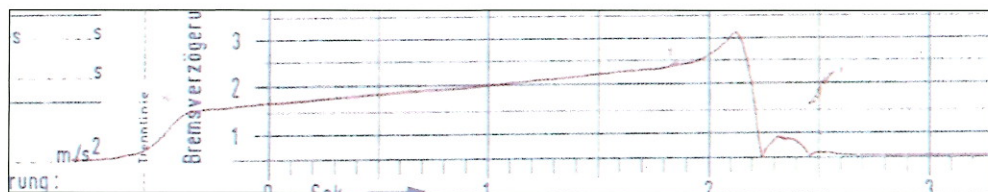
Po odczytaniu z kart uzyskanych wartości opóźnienia hamowania ustalono ich wartości maksymalne i średnie. Ponadto na podstawie średnich opóźnień hamowania, jakie uzyskano dla każdej z prób dla hamowania awaryjnego zainicjowanego z czuwaka, wyliczono ich wartości uśrednione.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki maksymalnych i uśrednionych opóźnień hamowania uzyskanych w trakcie badań oraz wyliczoną wartość średnią uśrednionych wartości opóźnienia hamowania.



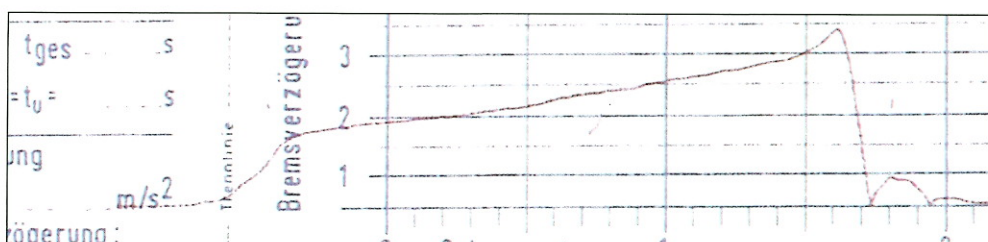
Ryc. 8. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie awaryjne inicjowane z czuwaka dla próby 1

Fig. 8. Deceleration values recorded by Prüf Nr 04 type MOTOMETER decelerometer – dead-man's handle initiated emergency braking for test 1



Ryc. 9. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie awaryjne inicjowane z czuwaka dla próby 2

Fig. 9. Deceleration values recorded by Prüf Nr 04 type MOTOMETER decelerometer – dead-man's handle initiated emergency braking for test 2



Ryc. 10. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie awaryjne inicjowane z czuwaka dla próby 3

Fig. 10. Deceleration values recorded by Prüf Nr 04 type MOTOMETER decelerometer – dead-man's handle initiated emergency braking for test 3

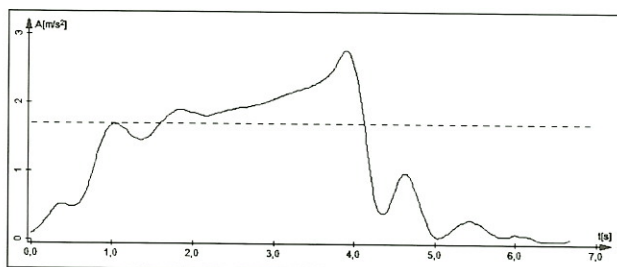
Tabela 3

Wyniki uzyskanych maksymalnych i uśrednionych opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG za pomocą opóźniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04

Results of obtained maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram with Prüf Nr 04 type MOTOMETER decelerometer

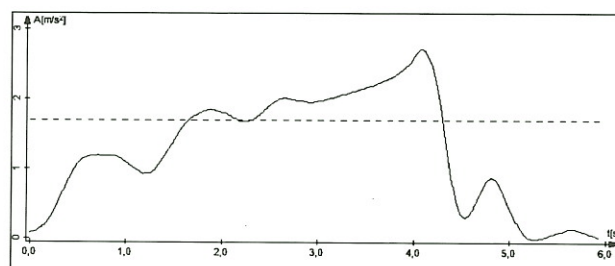
Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	3,0	2,2
2	3,3	2,2
3	3,4	2,4
Wartość średnia wartości uśrednionych		2,3

Natomiast opóźniomierz ZEPWN CL 170 zarejestrował dane, które po wprowadzeniu do oprogramowania producenta dla komputera PC dały następujące wyniki w postaci wykresów:



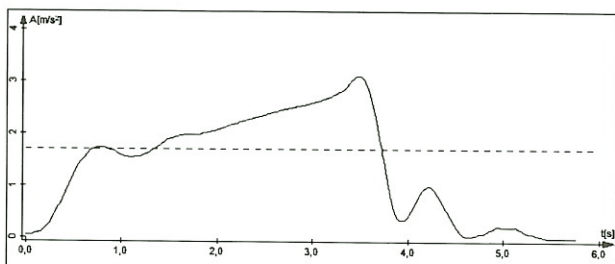
Ryc. 11. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – hamowanie awaryjne inicjowane z czuwaka dla próby 1

Fig. 11. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – dead-man's handle initiated emergency braking for test 1



Ryc. 12. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – hamowanie awaryjne inicjowane z czuwaka dla próby 2

Fig. 12. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – dead-man's handle initiated emergency braking for test 2



Ryc. 13. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – hamowanie awaryjne inicjowane z czuwaka dla próby 3

Fig. 13. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – dead-man's handle initiated emergency braking for test 3

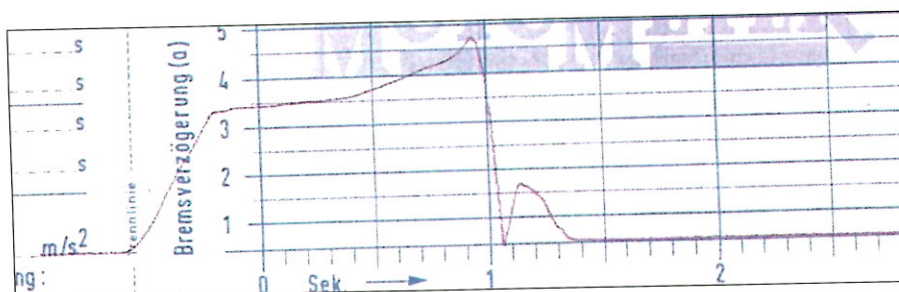
**Wyniki uzyskanych maksymalnych i średnich opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG
za pomocą opóźnieńmierza ZEPWN CL 170**

*Results of obtained maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram
with ZEPWN type CL 170 decelerometers*

Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	2,7	2,2
2	2,7	2,1
3	3,4	2,1
Wartość średnia wartości uśrednionych		2,1

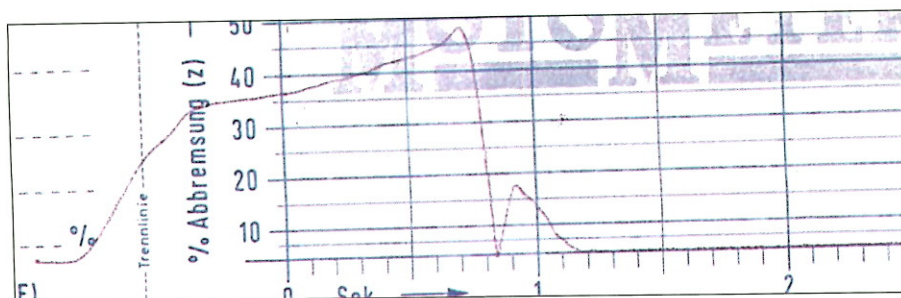
Następnie wykonano trzy próby badania opóźnienia hamowania nagłego zainicjowanego z nastawnika jazdy.

Opóźnieńmierz MOTOMETER zarejestrował na kartach wartości opóźnienia hamowania w postaci wykresów:



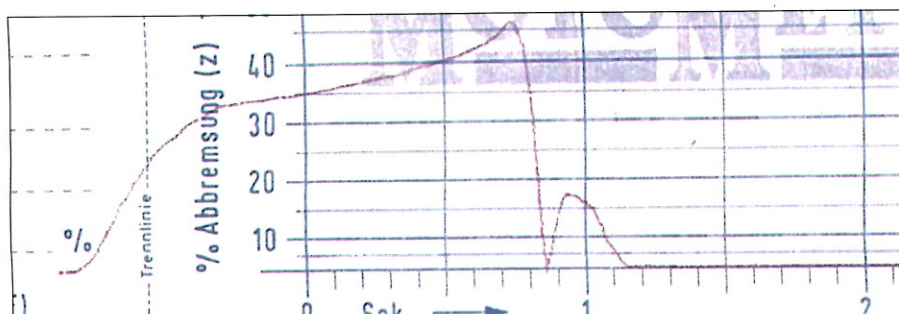
Ryc. 14. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 1

Fig. 14. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 1



Ryc. 15. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 2

Fig. 15. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 2



Ryc. 16. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 3

Fig. 16. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 3

Tabela 5

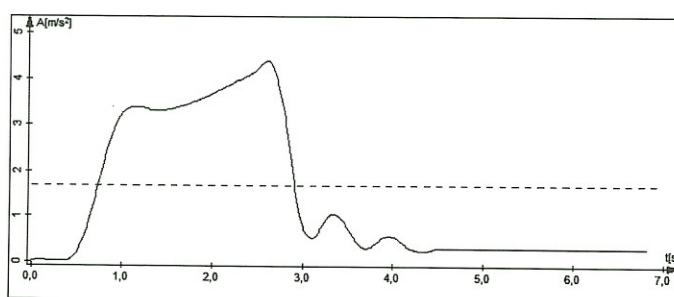
**Wyniki uzyskanych maksymalnych i średnich opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG
za pomocą opóźniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04**

*Results of obtained maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram
with MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometers*

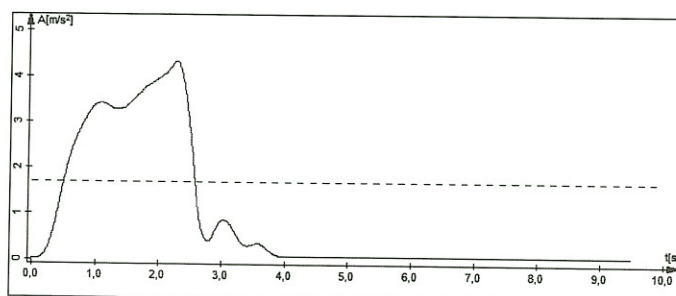
Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	4,7	3,9
2	4,8	4,0
3	4,7	3,7
Wartość średnia wartości uśrednionych		3,9

Natomiast opóźniomierz ZEPWN CL 170 zarejestrował dane, które po wprowadzeniu do oprogramowania

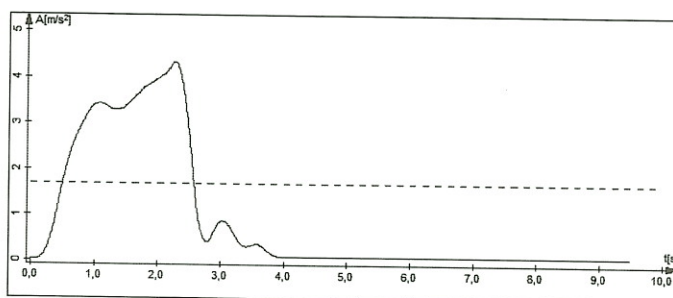
producenta dla komputera C dały następujące wyniki w postaci wykresów:



Ryc. 17. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 1
Fig. 17. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 1



Ryc. 18. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 2
Fig. 18. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 2



Ryc. 19. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 3
Fig. 19. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 3

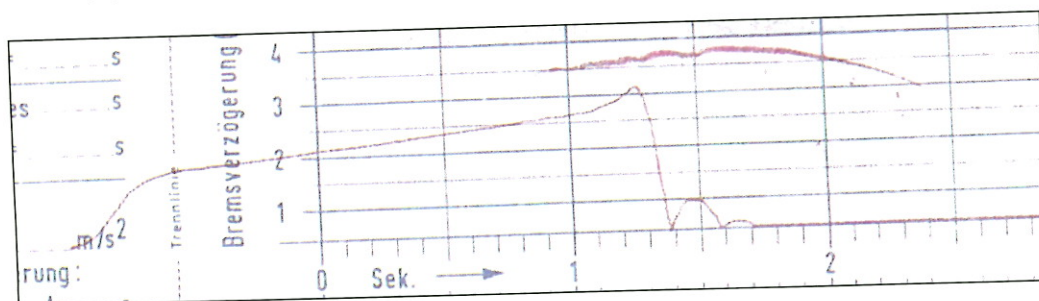
**Wyniki uzyskanych maksymalnych i średnich opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG
za pomocą opóźnieńmierza ZEPWN CL 170**

*Results of obtained maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram
with ZEPWN, type CL 170 decelerometers*

Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	4,3	3,5
2	4,3	3,7
3	4,1	3,7
Wartość średnia wartości uśrednionych		3,6

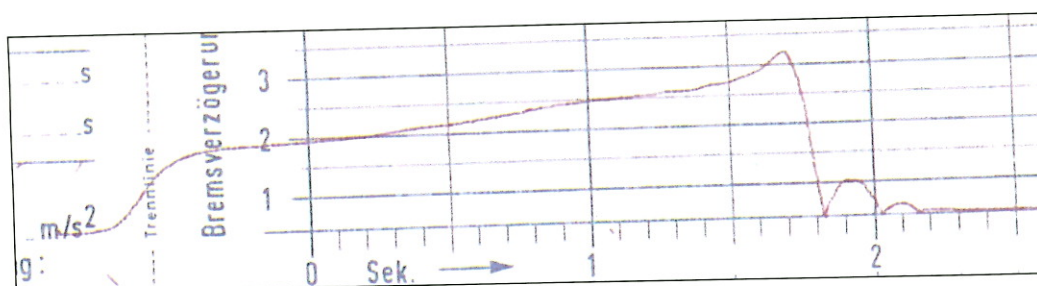
Następnie wykonano trzy próby badania opóźnienia awaryjnego hamowania pojazdu zainicjowanego z tzw. grzybka.

Opóźnieńmierz MOTOMETER zarejestrował na kartach wartości opóźnienia hamowania w postaci wykresów:



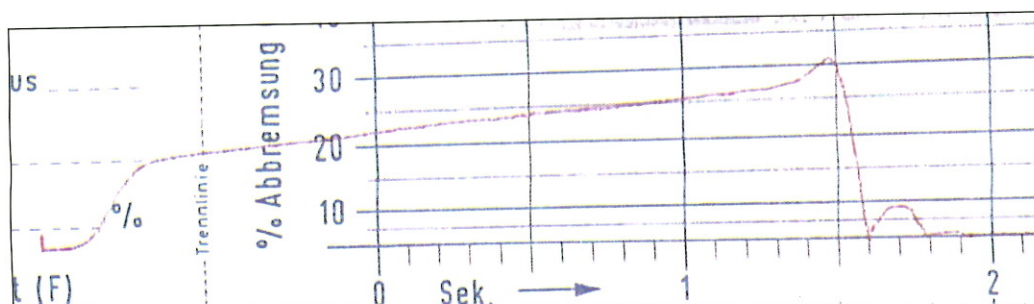
Ryc. 20. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – awaryjne hamowanie pojazdu inicjowane z tzw. grzybka dla próby 1

Fig. 20. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER, type Prüf Nr 04 decelerometer – AHP switch initiated emergency braking for test 1



Ryc. 21. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – awaryjne hamowanie pojazdu inicjowane z tzw. grzybka dla próby 2

Fig. 21. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER, type Prüf Nr 04 decelerometer – AHP switch initiated emergency braking for test 2



Ryc. 22. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – awaryjne hamowanie pojazdu inicjowane z tzw. grzybka dla próby 3

Fig. 22. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER, type Prüf Nr 04 decelerometer – AHP switch initiated emergency braking for test 3

Tabela 7

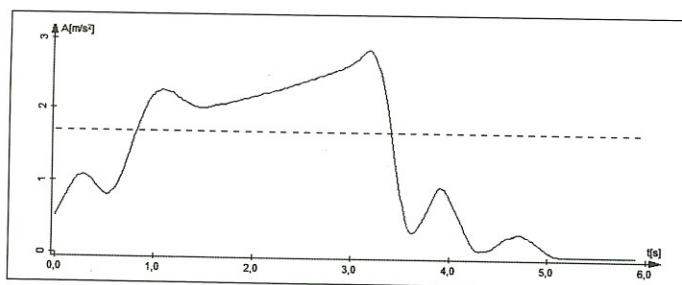
**Wyniki uzyskanych maksymalnych i średnich opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG
za pomocą opóźniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04**

*Results of obtained maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram
with MOTOMETER, type Prüf Nr 04 decelerometer*

Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	3,2	2,4
2	3,2	2,4
3	3,1	2,4
Wartość średnia wartości uśrednionych		2,4

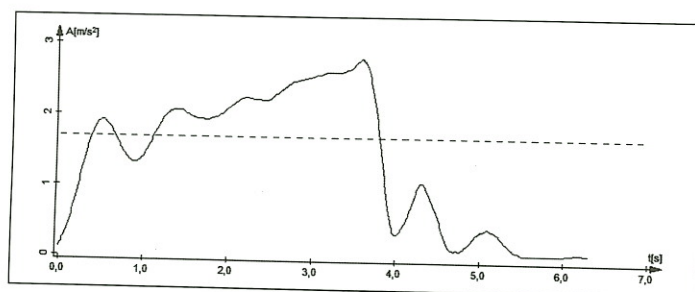
Natomiast opóźniomierz ZEPWN CL 170 zarejestrował dane, które po wprowadzeniu do oprogramowania

producenta dla komputera PC, dały następujące wyniki w postaci wykresów:



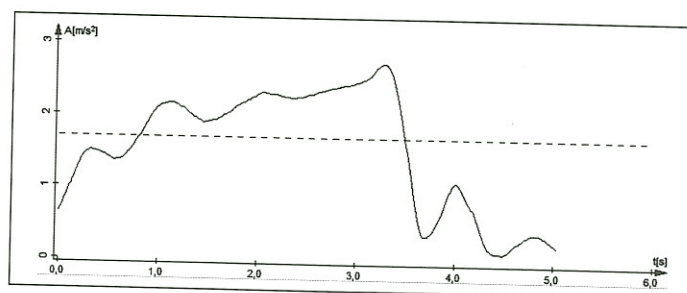
Ryc. 23. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – awaryjne hamowanie pojazdu inicjowane z tzw. grzybka dla próby 1

Fig. 23. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – AHP switch initiated emergency braking for test 1



Ryc. 24. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – awaryjne hamowanie pojazdu inicjowane z nastawnika tzw. grzybka dla próby 2

Fig. 24. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – AHP switch initiated emergency braking for test 2



Ryc. 25. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 – awaryjne hamowanie pojazdu inicjowane z tzw. grzybka dla próby 3

Fig. 25. Braking deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer – AHP switch initiated emergency braking for test 3

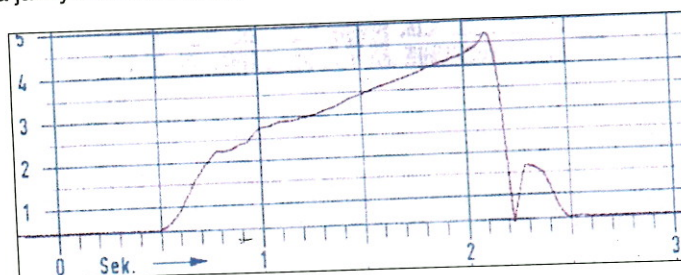
**Wyniki uzyskanych maksymalnych i średnich opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG
za pomocą opóźnieńmierza ZEPWN CL 170**

*Results of obtained maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram
with ZEPWN type CL 170 decelerometers*

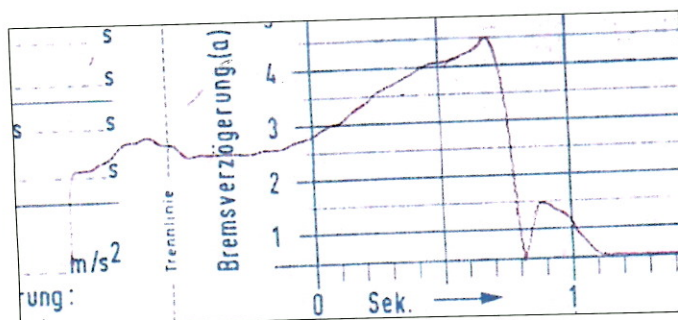
Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	2,8	2,3
2	2,8	2,1
3	2,7	2,3
Wartość średnia wartości uśrednionych		2,2

Dla potrzeb rekonstrukcji przebiegu zdarzeń drogowych z udziałem wagonów tramwajowych typu 120 NaG wykonano trzy próby badania opóźnienia hamowania nagłego zainicjowanego z nastawnika jazdy na torach mokrych.

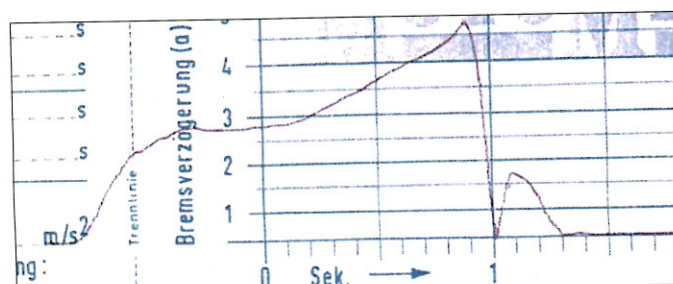
Opóźnieńmierz MOTOMETER zarejestrował na kartach wartości opóźnienia hamowania w postaci wykresów:



Ryc. 26. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 1 – tory mokre
Fig. 26. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 1 – wet tracks



Ryc. 27. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 2 – tory mokre
Fig. 27. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 2 – wet tracks



Ryc. 28. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 3 – tory mokre
Fig. 28. Braking deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 3 – wet tracks

Tabela 9

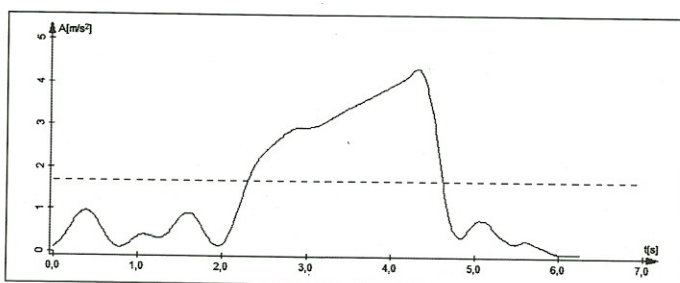
Wyniki maksymalnych i średnich opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG uzyskane za pomocą opóźnieńmiarza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04.

Results of obtained maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram with MOTOMETER type Prüf Nr 04

Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	4,7	3,4
2	4,7	3,7
3	4,5	3,3
Wartość średnia wartości uśrednionych		3,5

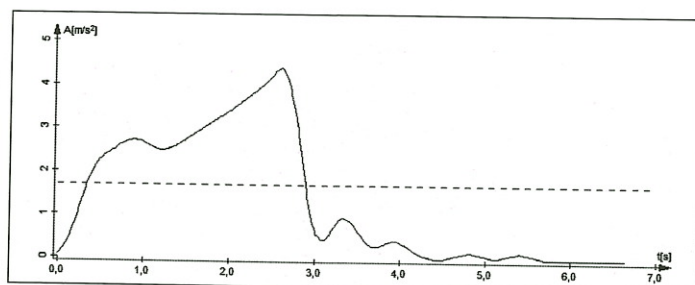
Natomiast opóźnieńmiarza ZEPWN CL 170 zarejestrował dane, które po wprowadzeniu do oprogramowania

producenta dla komputera PC, dały następujące wyniki w postaci wykresów:



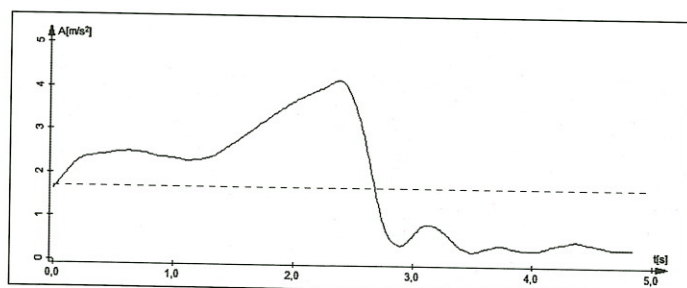
Ryc. 29. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmiarza ZEPWN CL 170 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 1 – tory mokre

Fig. 29. Braking deceleration values recorded by ZEPWN CL 170 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 1 – wet tracks



Ryc. 30. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmiarza ZEPWN CL 170 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 2 – tory mokre

Fig. 30. Braking deceleration values recorded by ZEPWN CL 170 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 2 – wet tracks



Ryc. 31. Wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźnieńmiarza ZEPWN CL 170 – hamowanie nagłe inicjowane z nastawnika jazdy dla próby 3 – tory mokre

Fig. 31. Braking deceleration values recorded by ZEPWN CL 170 decelerometer – drive controller initiated emergency braking for test 3 – wet tracks

Wyniki maksymalnych i średnich opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG uzyskane za pomocą opóźnieńmiernika ZEPWN CL 170

Results obtained for maximum and average braking decelerations of 120 NaG tram with ZEPWN type CL 170 decelerometers

Próba	Wartość maksymalna	Wartość uśredniona
1	4,3	3,3
2	4,3	3,2
3	4,1	2,9
Wartość średnia wartości uśrednionych		3,1

Ponadto dla hamowania nagłego na torach mokrych przeprowadzono analizę danych z rejestratora ATM. Jak już wspomniano dane przekazywane zainteresowanej stronie przez serwisanta ATM są w formie wykresów. Zatem wspólnie z Kontrolerem Technicznym Pojazdów Szynowych PESA Bydgoszcz SA z rejestratora ATM wygenerowano dane niezbędne do analizy drogi hamowania, opóźnień hamowania oraz czasu narastania hamowania dla trybu hamowania nagłego.

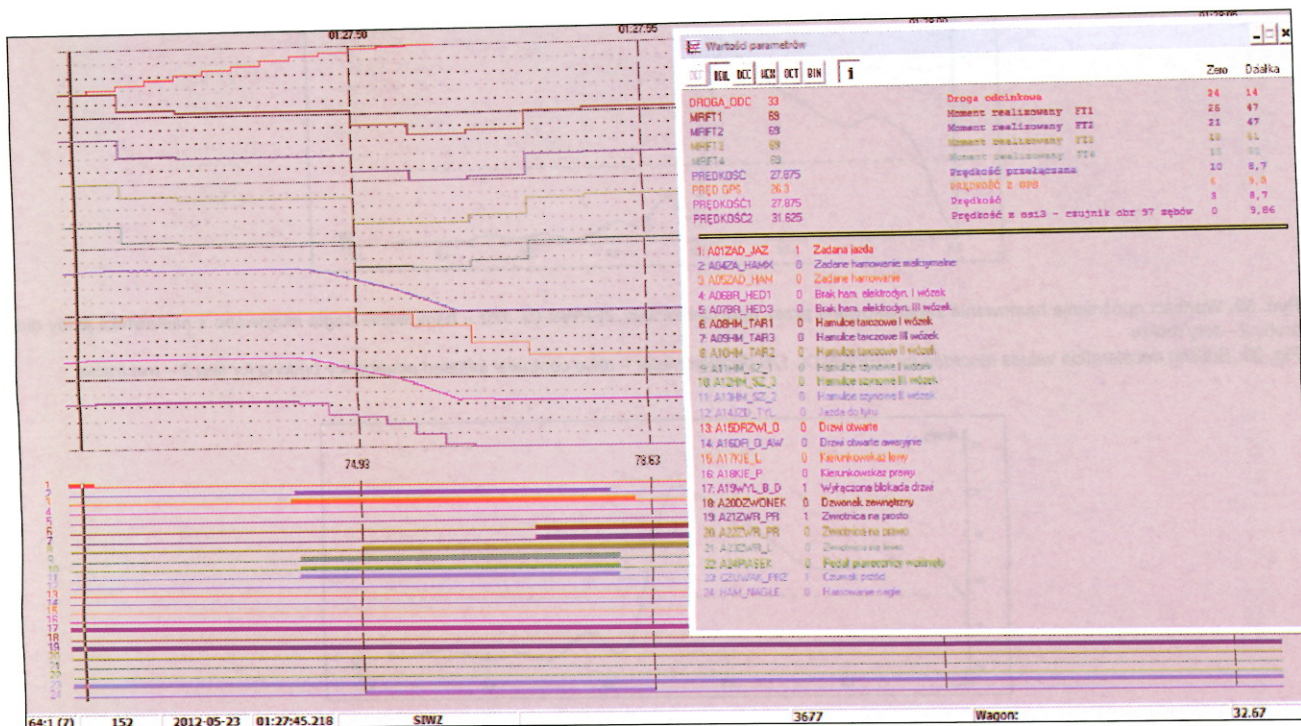
Na wykresie – ryc. 32 poniżej przedstawiono jazdę do przodu z prędkością 30 km/h.

Następnie motorniczy przełącza nastawnik jazdy w pozycję hamowania. O godz.1:27:48,812 został zarejestrowany 3. sygnał cyfrowy: ZAD_HAM

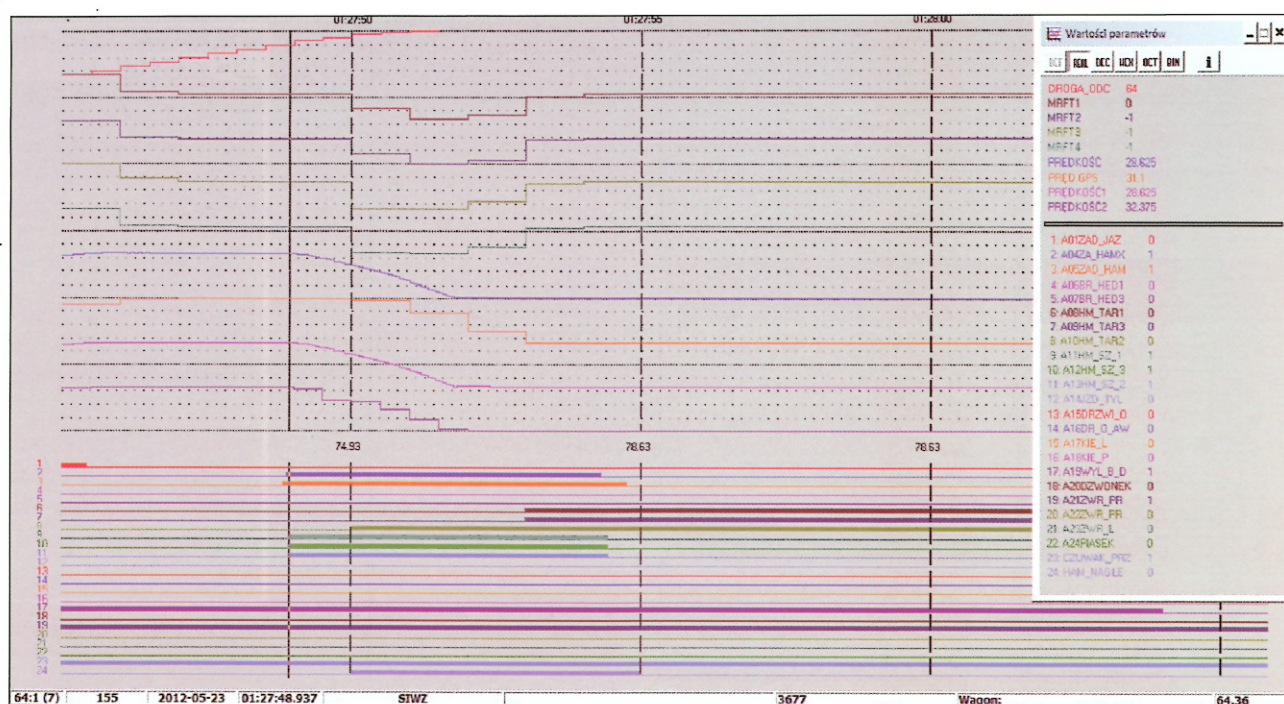
Motorniczy przełącza zadajnik na pozycję maksymalną. O godz.1:27:48,875 pojawia się dodatkowo sygnał 2-cyfrowy ZA_HAMX, czyli zadanie hamowania maksymalnego.

Załączenie się wszystkich hamulców szynowych. Pojawiają się sygnały cyfrowe 9,10,11 rejestrujące to zdarzenie godz.1:27:48,937.

Następnie rejestruje się sygnał załączenia hamulca tarczowego wózka 3 – sygnał cyfrowy 8 oraz sygnał informujący, iż zostało użyte hamowanie nagłe, sygnał cyfrowy 24. Dodatkowo rejestrowane są momenty realizowane falowników w wartościach ujemnych MRFT1-MRFT4, co informuje o uruchomieniu hamulca elektrodynamicznego o godz. 1:27:50.

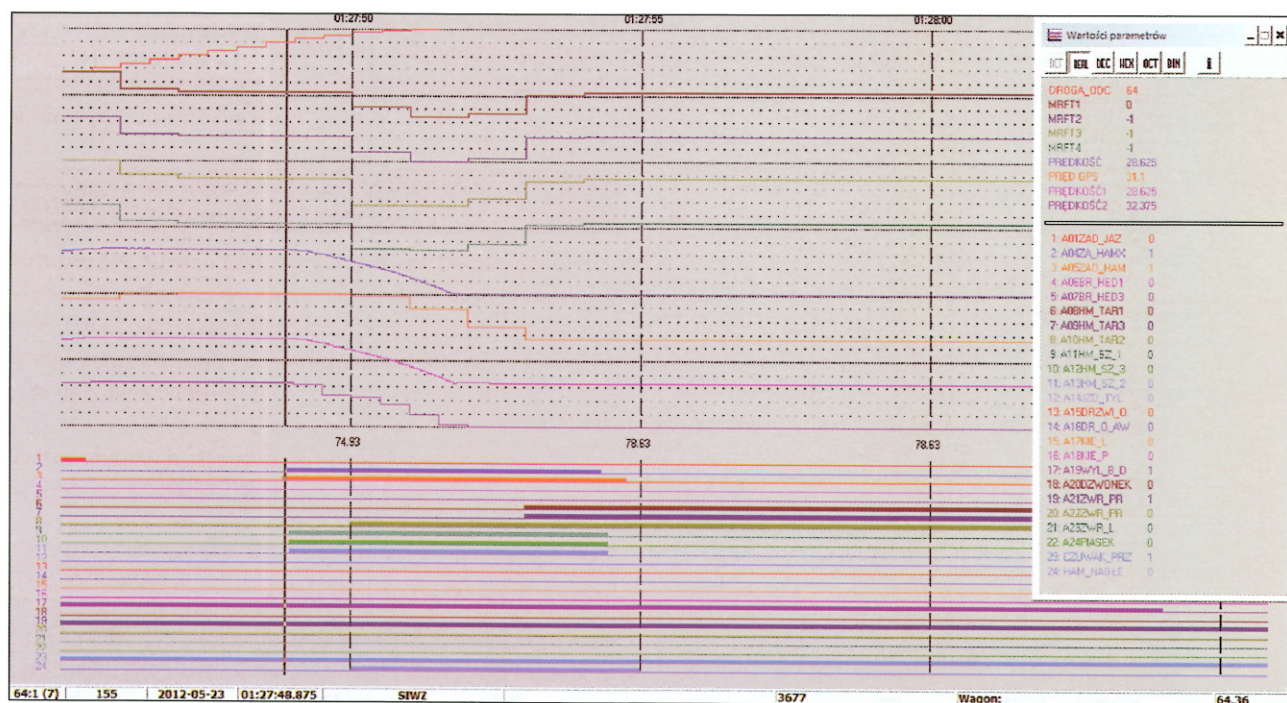


Ryc. 32. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG
Fig. 32. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)



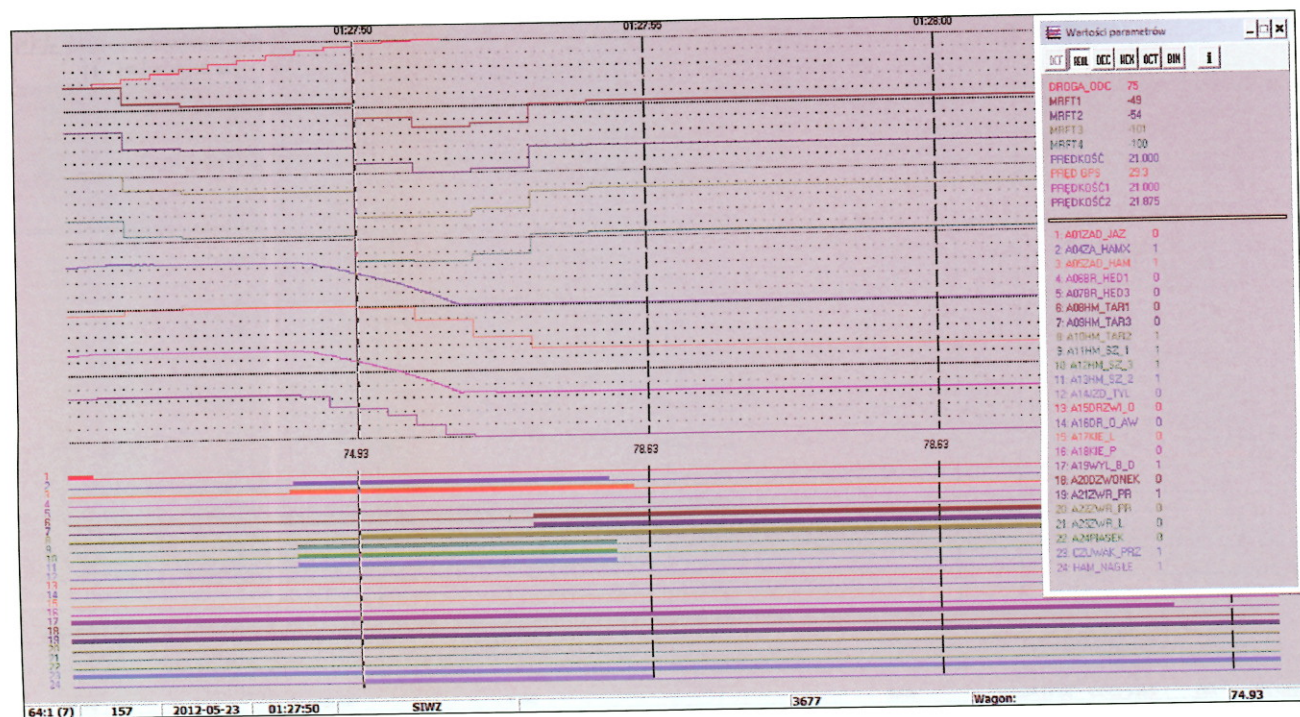
Ryc. 33. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG

Fig. 33. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)

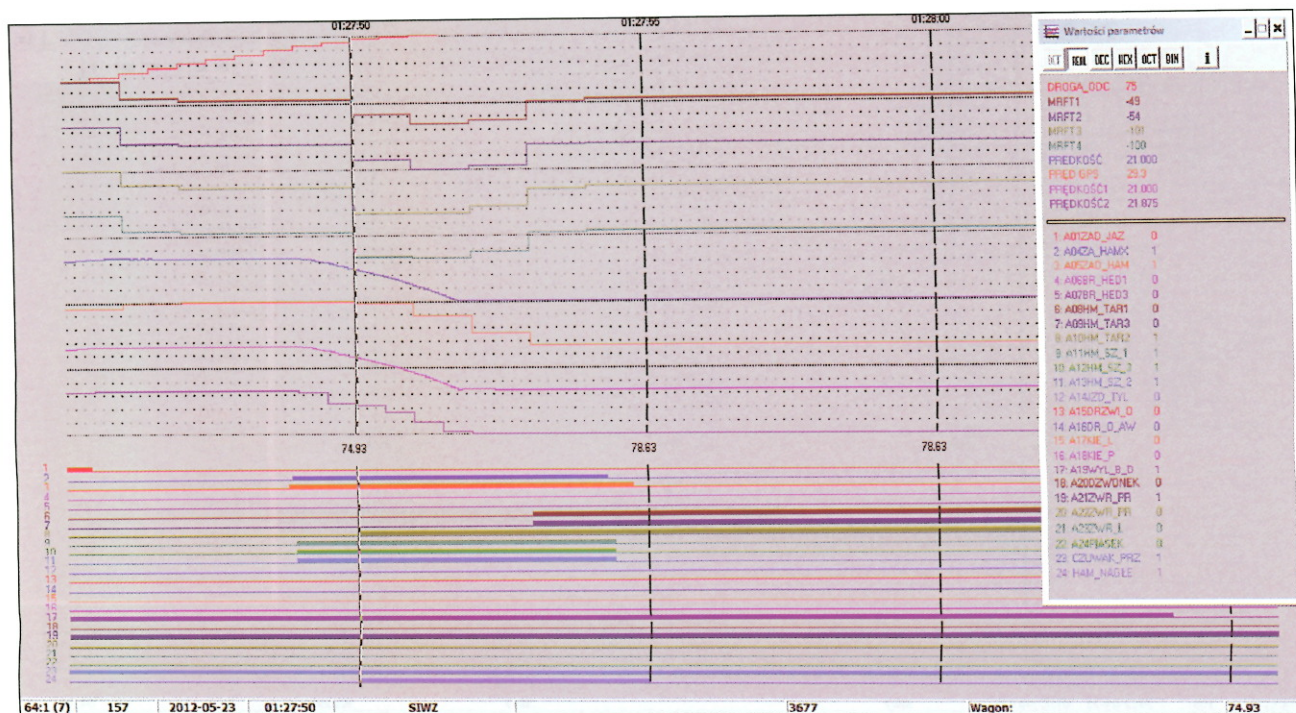


Ryc. 34. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG

Fig. 34. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)



Ryc. 35. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG
 Fig. 35. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)



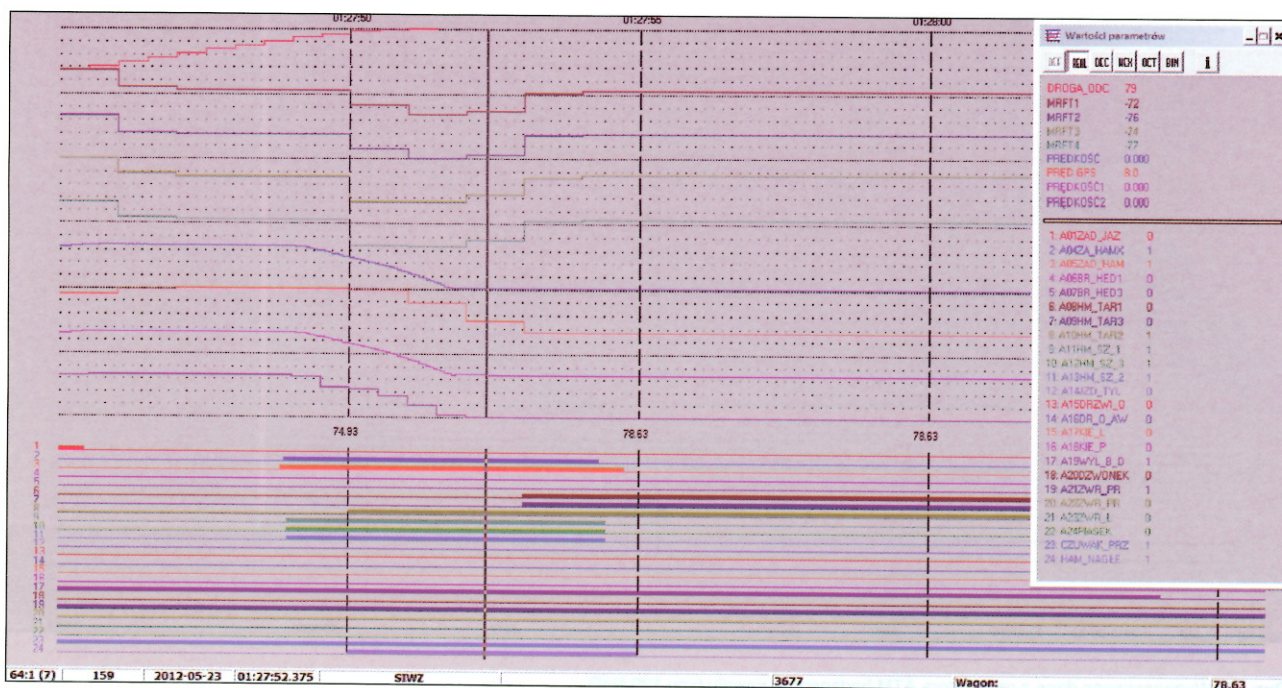
Ryc. 36. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG
 Fig. 36. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)

Pełne zatrzymanie pojazdu następuje o godz. 1:27:52,375 przy prędkości 0 km/h. Momenty realizowane przez falowniki zwiększają się.

Następuje wdrożenie hamowania postojowego – rejestrowane są dodatkowo sygnały cyfrowe 5 i 6 odpowiedzialne za 2 pozostałe hamulce tarczowe, wartości

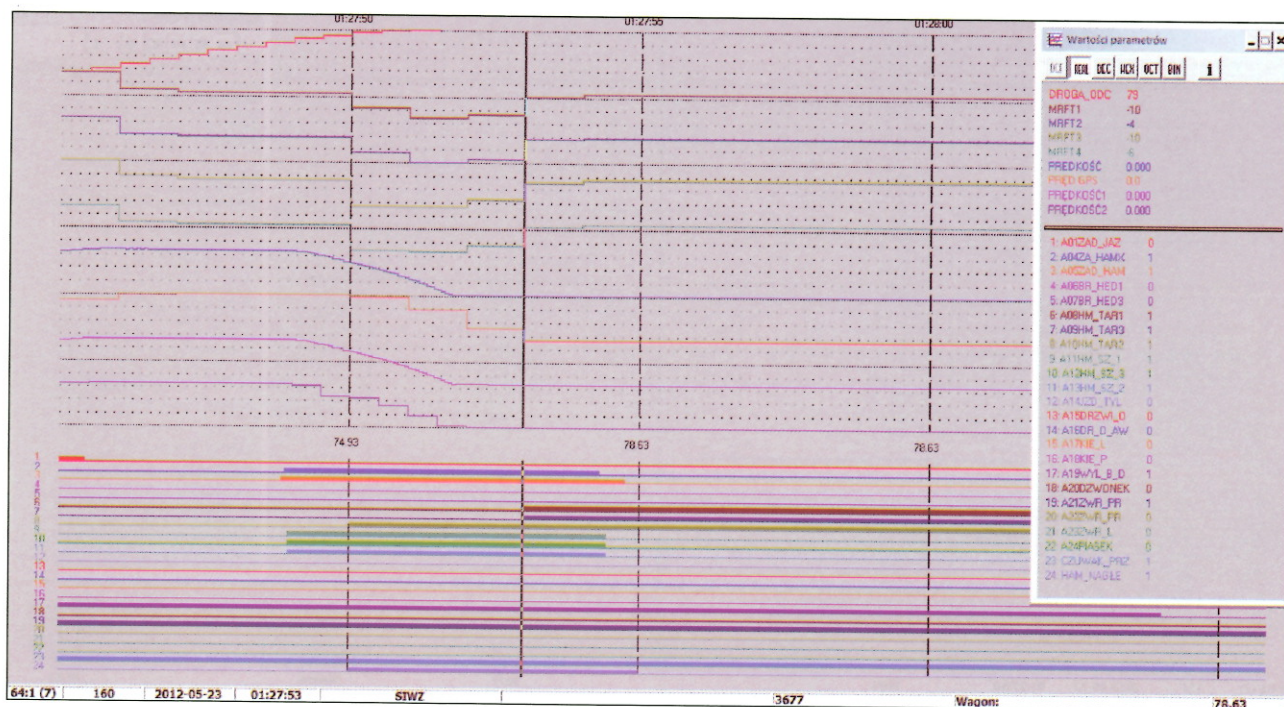
realizowane przez falowniki wskazują brak hamowania elektrodynamicznego.

Rozpoczęcie hamowania przez motorniczego nastąpiło o 1:27:48,812, natomiast całkowite zatrzymanie pojazdu o godz. 1:27:52,375 co daje całkowity czas zatrzymania pojazdu 3,563 sek.



Ryc. 37. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG

Fig. 37. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)



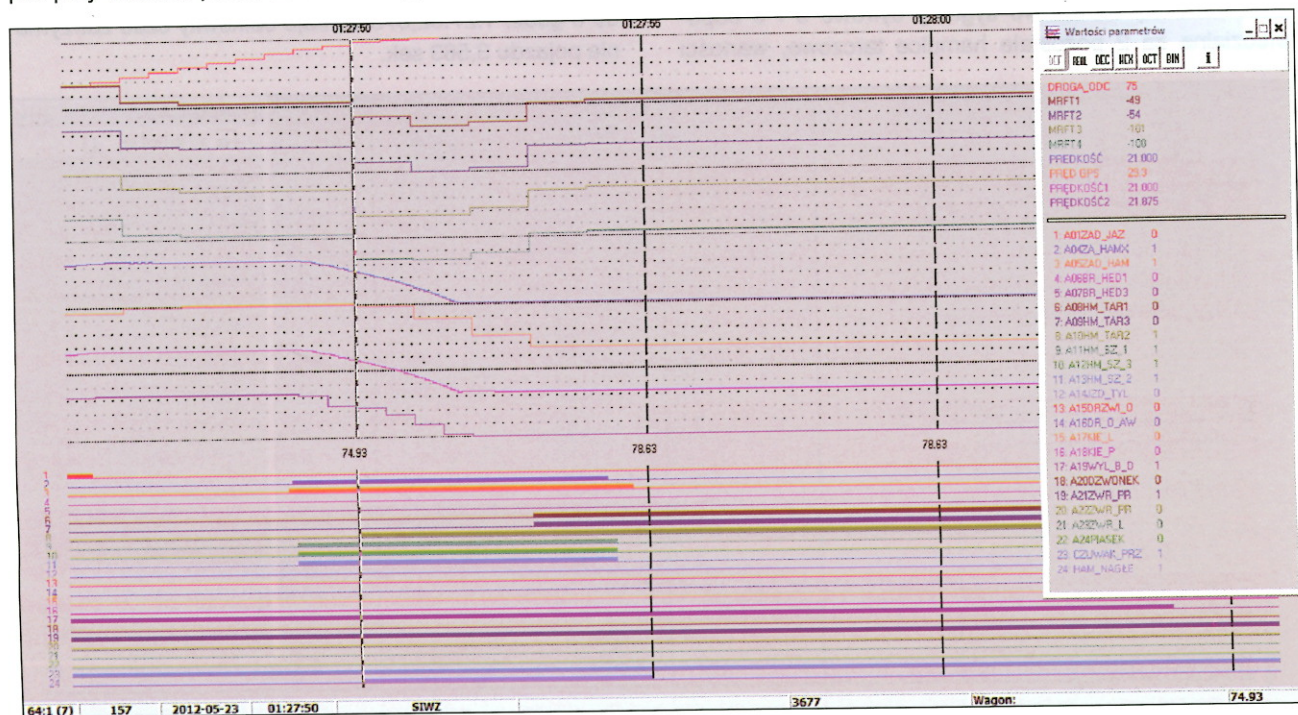
Ryc. 38. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG

Fig. 38. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)

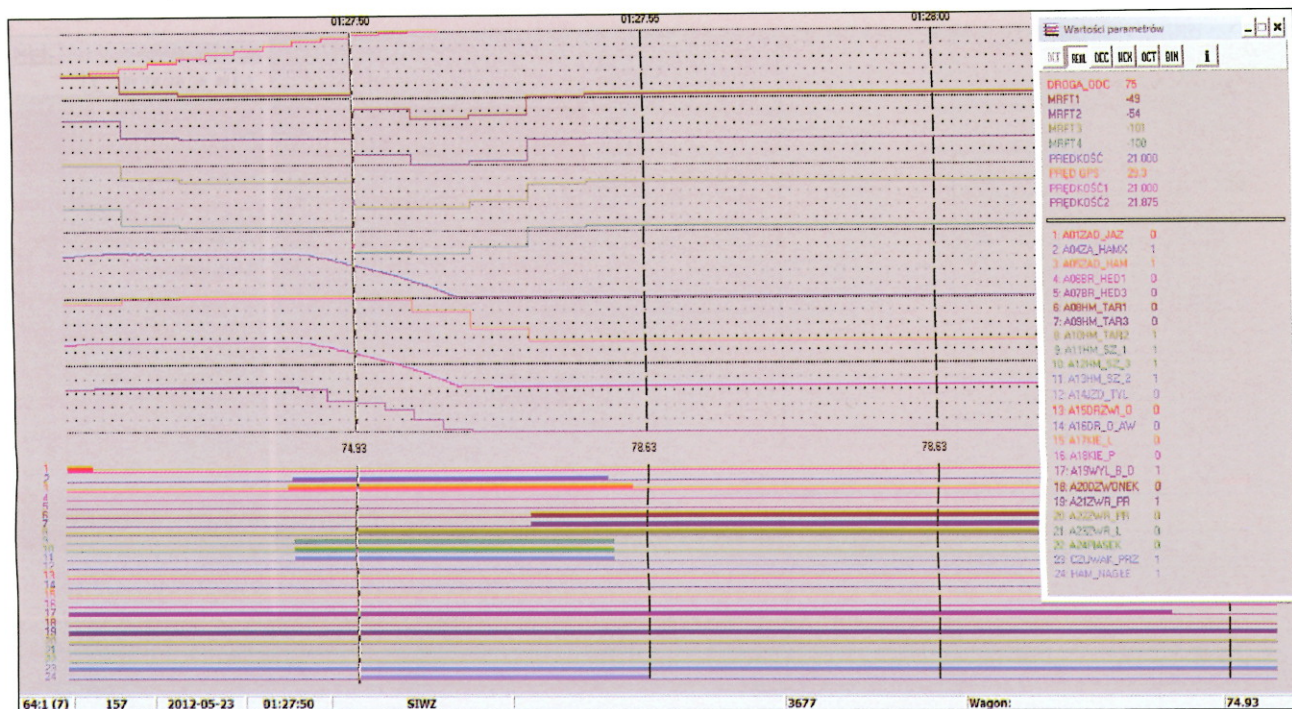
Rejestrator ATM oblicza drogę na podstawie własnych wprowadzonych przeliczników:

1 jednostka = 55 cm. Rozpoczęcie hamowania nastąpiło przy wartości parametru DROGA_ODC2 = 64.

Natomiast pełne zatrzymanie pojazdu przy wartości DROGA_ODC2 = 78



Ryc. 39. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG
Fig. 39. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)



Ryc. 40. Wygenerowane dane z rejestratora ATM badanego tramwaju typu 120 NaG
Fig. 40. Data generated from ATM recorder (120 NaG tram)

Całkowita droga hamowania w trybie hamowania nagłego na torach mokrych wyniosła 14 jednostek. Przy założeniu, iż 1 jednostka = 55 cm droga hamowania wyniosła 7,7 m.

Stąd można wnioskować, iż przy prędkości początkowej 30 km/h średnie opóźnienie hamowania dla hamowania nagłego inicjowanego z nastawnika jazdy na torach mokrych zarejestrowane przez rejestrator danych ATM wyniosło około $4,5 \text{ m/s}^2$.

Dla potrzeb rekonstrukcji zdarzeń drogowych przeanalizowano powyższe dane z rejestratora ATM pod kątem narastania opóźnienia hamowania.

Motorniczy rozpoczął hamowanie o godz. 1:27:48,812. Hamowanie nagłe zainicjował o godz. 1:27:48,872, natomiast działanie magnetycznych hamulców szynowych rozpoczęło się o godz. 1:27:48,937. To bardzo krótki czas zadziałania układu. Jednakże ze specyfiki działania tego układu wynika, iż układ ten niemal w całości sterowany jest elektronicznie. Sygnał przekazywany jest drogą elektroniczną przez dwa sterowniki. Stąd na wykresach oraz wskazaniach czasu pracy przez ATM tak krótki czas zadziałania układu. Można wnioskować, iż po zainicjowaniu jako pierwszy z układów rozpoczyna swoje działanie magnetyczny hamulec szynowy. Czas narastania opóźnienia hamowania tego układu nie jest większy niż 0,1 s.

Analiza wyników badań

W tabelach 3–10 przedstawiono odczytane z wykresów wartości średnich opóźnień hamowania uzyskanych w kolejnych próbach awaryjnego hamowania pojazdu tzw. AHP, hamowania awaryjnego inicjowanego z czuwaka oraz hamowania nagłego zadanego z nastawnika jazdy tramwaju na torach suchych i mokrych. Ponadto w wypadku każdej z prób przedstawiono wyniki średniej wartości opóźnienia hamowania w odniesieniu do rodzaju użytego opóźniomierza, tj. opóźniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 oraz ZEPWN CL 170.

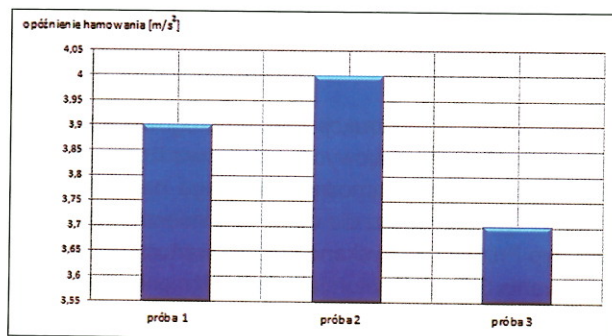
Przeprowadzone badania wykazały, iż w wypadku wszystkich rodzajów zadanych hamowań wyniki średnich wartości opóźnienia hamowania uzyskiwane na opóźniomierzu ZEPWN CL 170 w stosunku do wyników średnich wartości opóźnienia hamowania uzyskiwanych na opóźniomierzu MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 były zaniżone od $0,2 \div 0,6 \text{ m/s}^2$. Oznacza to, że w wypadku wszystkich zadanych rodzajów hamowań średnie wartości uzyskiwanych opóźnień hamowania w trakcie badań nie różniły się między sobą o więcej niż około $\pm 6\%$.

W tym miejscu należy jednak podkreślić, że w poszczególnych próbach badania opóźnień hamowania w poszczególnych opóźniomierzach, tj. w opóźniomierzu MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 oraz ZEPWN CL 170, były w stosunku do siebie zbliżone bez względu na rodzaj zadanego hamowania.

We wszystkich wykonanych próbach średnie wartości opóźnienia hamowania w obu opóźniomierzach były wyższe niż minimalne wartości zadane w załączniku nr 3 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.

W wypadku zadanego hamowania nagłego na torach suchych dla opóźniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,9 \text{ m/s}^2$, co stanowi $0,9 \text{ m/s}^2$ więcej od wartości przewidzianej przepisami, natomiast dla opóźniomierza ZEPWN CL 170 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,6 \text{ m/s}^2$, co stanowi $0,6 \text{ m/s}^2$ więcej od wartości przewidzianej przepisami.

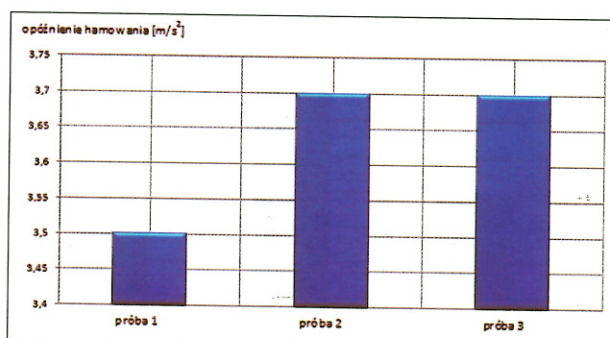
Na ryc. 41 przedstawiono uśrednione wartości opóźnienia hamowania dla hamowania nagłego zainicjowanego z nastawnika jazdy na torach suchych zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04.



Ryc. 41. Uśrednione wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 dla hamowania nagłego na torach suchych

Fig. 41. Average deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer for emergency braking on dry tracks

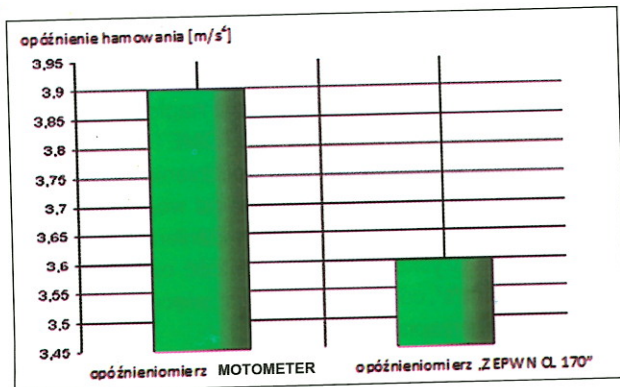
Natomiast na ryc. 42 przedstawiono uśrednione wartości opóźnienia hamowania dla hamowania nagłego zainicjowanego z nastawnika jazdy na torach suchych zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170.



Ryc. 42. Uśrednione wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN, type CL 170 dla hamowania nagłego na torach suchych

Ryc. 42. Average deceleration values recorded by ZEPWN type CL 170 decelerometer for emergency braking on dry tracks

Poniżej przedstawiono uśrednione wartości opóźnienia hamowania dla opóźniomierzy MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 oraz ZEPWN CL 170 na torach suchych.

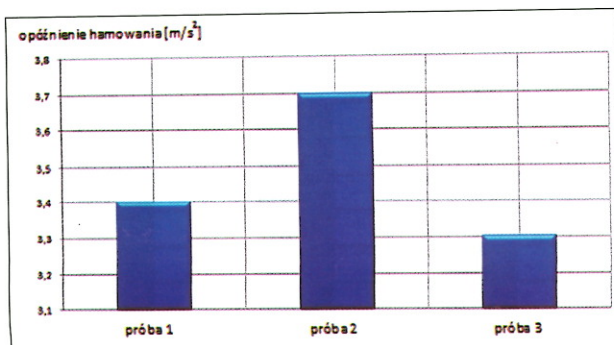


Ryc. 43. Wartość średnia wartości uśrednionych opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 oraz ZEPWN CL 170 dla hamowania nagłego na torach suchych

Fig. 43. Mean values of average deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 and ZEPWN CL 170 decelerometers for emergency braking on dry tracks

Dla potrzeb rekonstrukcji zdarzeń drogowych z udziałem wagonów tramwajowych przeprowadzono również badania opóźnienia hamowania nagłego na torach mokrych. W tym przypadku dla opóźniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,5 \text{ m/s}^2$, natomiast dla opóźniomierza ZEPWN CL 170 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,1 \text{ m/s}^2$.

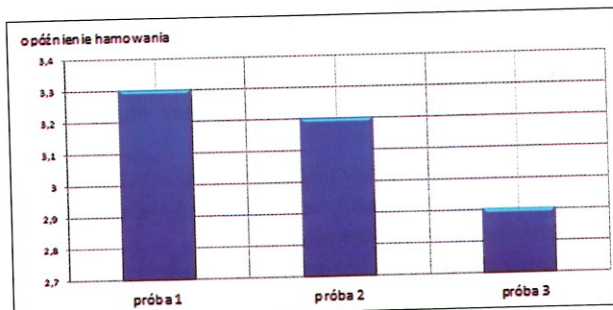
Można zatem stwierdzić, iż wagon tramwajowy typu 120 NaG przy zadanym hamowaniu nagłym na torach mokrych uzyskał wartości średniego opóźnienia hamowania większe niż zadane obowiązującymi przepisami na torach suchych. Poniżej przedstawiono uśrednione wartości opóźnienia hamowania dla hamowania nagłego zainicjowanego z nastawnika jazdy na torach mokrych zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04.



Ryc. 44. Uśrednione wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 dla hamowania nagłego na torach mokrych

Fig. 44. Average deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer for emergency braking on wet tracks

Poniżej przedstawiono uśrednione wartości opóźnienia hamowania dla hamowania nagłego zainicjowanego z nastawnika jazdy na torach mokrych zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN, typ CL 170.

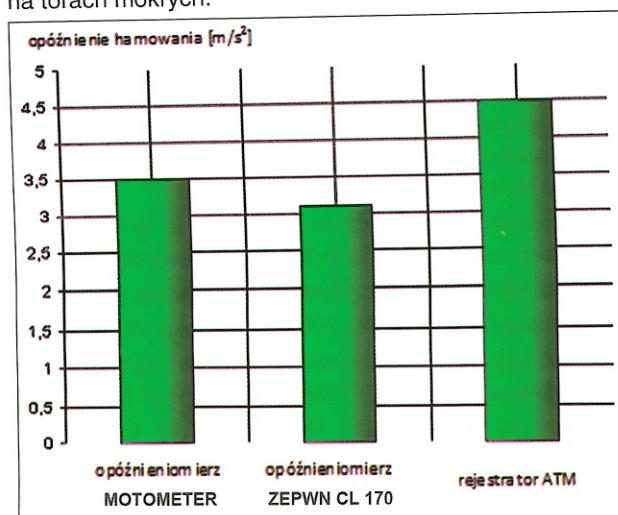


Ryc. 45. Uśrednione wartości opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz ZEPWN CL 170 dla hamowania nagłego na torach mokrych

Fig. 45. Average deceleration values recorded by ZEPWN CL 170 decelerometer for emergency braking on wet tracks

Dla hamowania nagłego na torach mokrych przeprowadzono również analizę danych z rejestratora ATM. Przy prędkości początkowej 30 km/h średnie opóźnienie hamowania dla hamowania nagłego inicjowanego z nastawnika jazdy na torach mokrych zarejestrowane przez rejestrator danych ATM wyniosło około $4,5 \text{ m/s}^2$. Jednakże wartość tę uzyskano przy założeniu przelicznika drogi rejestratora ATM, iż 1 jednostka = 55 cm .

Poniżej przedstawiono uśrednione wartości opóźnienia hamowania dla opóźniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 oraz ZEPWN CL 170, a także uśrednioną wartość opóźnienia hamowania wyznaczoną z danych ATM na torach mokrych.



Ryc. 46. Wartość średnia wartości uśrednionych opóźnienia hamowania zarejestrowane przez opóźniomierz MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 i ZEPWN CL 170 oraz rejestrator ATM dla hamowania nagłego na torach mokrych

Fig. 46. Mean values of average deceleration values recorded by MOTOMETER type Prüf Nr 04 decelerometer and ATM recorder for emergency braking on wet tracks

Ponadto również dla potrzeb rekonstrukcji zdarzeń drogowych przeanalizowano dane z rejestratora ATM tramwaju pod kątem narastania opóźnienia hamowania. Po zainicjowaniu hamowania nagłego jako pierwszy z układów rozpoczyna swoje działanie magnetyczny hamulec szynowy. Można zatem wnioskować, iż czas narastania opóźnienia hamowania tego układu nie jest większy niż 0,1s.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania opóźnienia hamowania tramwaju 120 NaG firmy PESA Bydgoszcz SA pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

Z przeprowadzonych badań wynika, iż uśredniona wartość opóźnień hamowania tramwaju 120 NaG na torach suchych dla opóźnieniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 wynosiła $3,9 \text{ m/s}^2$, natomiast dla opóźnieniomierza ZEPWN CL 170 $3,6 \text{ m/s}^2$.

Dla wszystkich zadanych rodzajów hamowań średnie wartości uzyskiwanych opóźnień hamowania w trakcie badań nie różniły się między sobą o więcej niż około $\pm 6\%$.

Uzyskane wyniki pomiarów były wyższe niż minimalne wartości zadane w załączniku nr 3 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.

W wypadku opóźnienia hamowania nagłego tramwaju na torach mokrych dla opóźnieniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,5 \text{ m/s}^2$, natomiast dla opóźnieniomierza ZEPWN CL 170 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,1 \text{ m/s}^2$.

Tramwaj 120 NaG przy zadanym hamowaniu nagłym na torach mokrych uzyskał wartości średniego opóźnienia hamowania większe niż zadane obowiązującymi przepisami na torach suchych.

Dla hamowania nagłego na torach mokrych przeprowadzono analizę danych z rejestratora ATM. Przy zadanej prędkości początkowej 30 km/h średnie opóźnienie hamowania dla hamowania nagłego inicjowanego z nastawnika jazdy na torach mokrych zarejestrowane przez rejestrator danych ATM wyniosło około $4,5 \text{ m/s}^2$.

Dla potrzeb rekonstrukcji zdarzeń drogowych przeanalizowano dane z rejestratora ATM tramwaju pod kątem narastania opóźnienia hamowania. Po zainicjowaniu hamowania nagłego jako pierwszy z układów rozpoczyna swoje działanie magnetyczny hamulec szynowy. Można wnioskować, iż czas narastania opóźnienia hamowania tego układu nie jest większy niż 0,1s.

Badania wykazały, iż największe wartości opóźnienia hamowania tramwaj 120 NaG uzyskuje w sytuacji, gdy motorniczy zauważy niebezpieczną sytuację na drodze i zareaguje, inicjując hamownię nagłą z nastawnika, tj. przesunie nastawnik do tyłu w jego skrajne położenie.

Biorąc pod uwagę, że przeprowadzono badania wszystkich rodzajów hamowań inicjowanych przez motorniczego tramwaju 120 NaG, można wnioskować, że uzyskane podczas badań wyniki średnich opóźnień hamowania będą mogły być kryterium pomocnym przy ocenie możliwości hamowania tramwaju 120 NaG i przeprowadzaniu rekonstrukcji wypadków lub kolizji drogowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Gołębiowski Z.: Budowa tramwajów i trolejbusów. WSiP, Wrocław 1975.
2. Wiśniewski L.: Budowa modeli kolejowych. Cz V. Tramwaje, metro, koleje podmiejskie. Nasza Księgarnia, Warszawa 1954.
3. Vademecum biegłego sądowego: Wypadki drogowe. Wydanie 2. Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011.
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dziennik Ustaw Nr 65 Poz. 344).
5. Załącznik nr 2 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dziennik Ustaw Nr 65 Poz. 344).
6. Dokumentacja techniczna tramwaju 120 NaG.
7. Instrukcja obsługi opóźnieniomierza CL 170, ZEPWN, Marki 2000.

Streszczenie

Celem pracy było przeprowadzenie badań opóźnienia hamowania tramwaju 120 NaG firmy PESA Bydgoszcz SA zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia na torach suchych oraz dla potrzeb rekonstrukcji przebiegu zdarzeń drogowych na torach mokrych. Dokonano analizy uzyskanych wyników badań za pomocą opóźnieniomierza firmy ZEPWN typu CL 170 oraz opóźnieniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04, a także z rejestratora ATM badanego tramwaju 120 NaG. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż uzyskane wyniki pomiarów były wyższe niż minimalne wartości zadane w rozporządzeniu. Dla przeprowadzonych badań opóźnienia hamowania nagłego tramwaju na torach mokrych dla opóźnieniomierza MOTOMETER, typ Prüf Nr 04 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,5 \text{ m/s}^2$, natomiast dla opóźnieniomierza ZEPWN CL 170 uzyskano średnią wartość opóźnienia hamowania $3,1 \text{ m/s}^2$. Badany tramwaj 120 NaG przy zadanym hamowaniu nagłym na torach mokrych uzyskał wartości średniego opóźnienia hamowania większe niż zadane obowiązującymi przepisami na torach suchych. Dla trybu hamowania nagłego na torach mokrych przy zadanej prędkości początkowej 30 km/h średnie opóźnienie hamowania nagłego inicjowanego z nastawnika jazdy na torach mokrych zarejestrowane przez rejestrator danych ATM wyniosło około $4,5 \text{ m/s}^2$. Ponadto stwierdzono, iż po zainicjowaniu hamowania nagłego jako pierwszy

z układów hamulcowych badanego tramwaju rozpoczyna swoje działanie magnetyczny hamulec szynowy. Można wnioskować, iż czas narastania opóźnienia hamowania tego układu nie jest większy niż 0,1 s.

Słowa kluczowe: wypadki drogowe, opóźnienie hamowania tramwaju, czas narastania opóźnienia hamowania tramwaju

Summary

The aim of this study was to conduct studies of braking deceleration of 120 NaG tram (PESA Bydgoszcz SA) in line with the Decree of the Minister of Infrastructure of 2 March 2011 on technical conditions of trams and trolley buses and the level they are equipped when driving on dry track and for reconstruction of incidents on wet track. The analysis of obtained results with ZEPWN CL 170, MOTOMETER type Prüf No. 04 decelerometers as well as ATM recorder of examined 120 NaG tram was conducted. The outcome of the study demonstrated that

measurement values exceeded the threshold values set out in the Decree. In the analysis of emergency braking on wet track for MOTOMETER Type Prüf No. 04 decelerator, the average value of 3.5 m/s^2 deceleration was obtained, whereas for ZEPWN CL 170 decelerator - an average value of 3.1 m/s^2 . 120 NaG tram when tested for emergency braking on wet tracks, obtained an average deceleration of a higher value than the one envisaged for dry track in the Decree. For emergency braking mode on wet tracks with initial speed of 30 km/h, the average deceleration for emergency braking on wet track, initiated by drive controller and recorded by data logger ATM amounted to approx. 4.5 m/s^2 . Furthermore it was concluded that after initiating emergency braking, a magnetic track brake becomes activated as the first one. It can be concluded that the time of increased braking deceleration is not higher than 0.1 s

Keywords: traffic accidents, tram braking deceleration, tram deceleration breaking increase time