



**Paweł Grzegorz
Dąbkowski**



**Sławomir
Dylewski**

Ustalenie rzeczywistej prędkości tramwaju na podstawie wartości zarejestrowanych przez rejestrator ATM

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie różnic pomiędzy prędkościami tramwaju zapisanymi w rejestratorze pojazdu a zmierzonymi urządzeniem pomiarowym i wprowadzenia propozycji zastosowania współczynnika korekcyjnego w celu ustalenia rzeczywistej prędkości tramwaju. W czasie eksperymentu realizowanego do jednej z opiniowanych spraw stwierdzono różnice pomiędzy wartościami prędkości zapisanymi w rejestratorze ATM i zmierzonymi urządzeniem VBOX Sport. Zauważono również, że już w rejestratorze zapisane są cztery prędkości, których wartości nie są takie same. W artykule przedstawiono źródła tych prędkości i obliczono współczynnik, który posłużył do odtworzenia rzeczywistych prędkości i przyspieszeń zarejestrowanych w czasie rzeczywistego zdarzenia.

Słowa kluczowe

Prędkość, przyspieszenie, tramwaj, VBOX Sport, rejestrator ATM-RPS4.

Otrzymano 12 września 2023 r., zatwierdzono do druku 11 listopada 2023 r.

DOI 10.4467/15053520PnD.23.009.18667

1. Wstęp

W literaturze dotyczącej rekonstrukcji wypadków drogowych istnieje szereg publikacji na temat ruchu pojazdów szynowych, m.in. dotyczących badań i analizy wymuszeń kinematycznych drgań tramwajów [11, 12], monitorowania

Dr inż. Paweł Grzegorz Dąbkowski, Department of Control Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague, ORCID 0000-0003-2751-8486, **mgr inż. Sławomir Dylewski**, Biuro Ekspertyz Wypadków Drogowych i Techniki Motoryzacyjnej IMPACT w Toruniu, ORCID 0000-0002-6305-2882.

stanu technicznego toru tramwajowego [8], czy hamowania [7, 15, 16, 19, 20]¹. Problem przyspieszania tramwaju, jak też innych pojazdów szynowych, nie został tak szeroko rozpoznany i omówiony². Jest on zresztą znacznie bardziej złożony i zależny w dużym stopniu od wartości współczynnika tarcia pomiędzy kołami pojazdu a szynami, techniki jazdy motorniczego oraz bezpieczeństwa pasażerów. Przyspieszenie maksymalne tramwaju w normalnych warunkach ruchu nie powinno przekraczać wartości 1,5–1,8 m/s² [21]. Dopuszczalne wartości przyspieszenia dla tramwajów i trolejbusów zostały opisane przez normę [17].

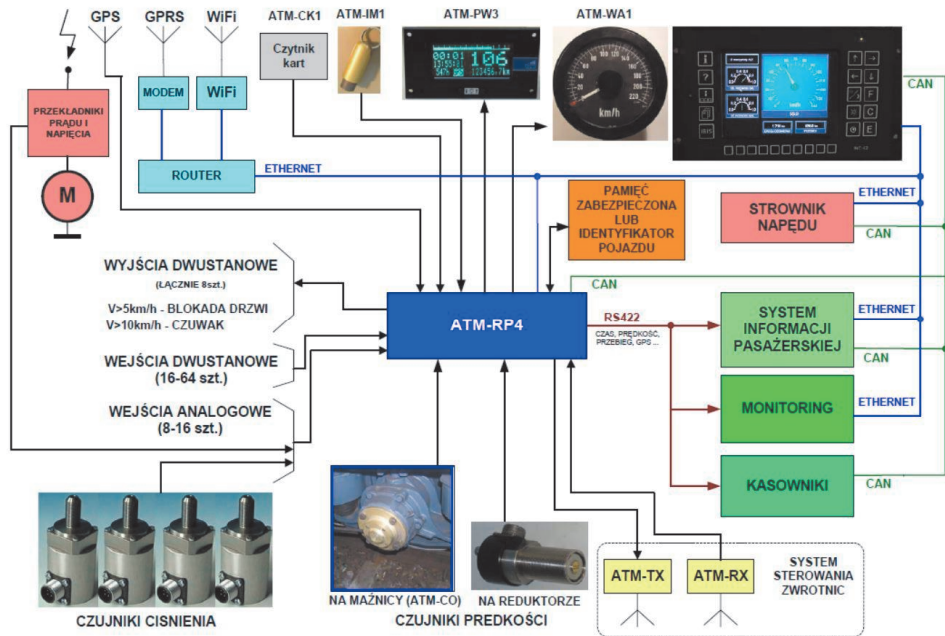
Pomiary dynamiki ruchu tramwaju zostały przeprowadzone na potrzeby rekonstrukcji wypadku, w którym osoba znajdująca się w tramwaju PESA 121 NbT Swing [13, 14] przewróciła się podczas jego przyspieszania. W analizowanej sprawie jedynym dowodem rzeczowym był monitoring z zapisem audio pochodzący tylko z jednej kamery z wnętrza tramwaju. Założeniem autorów było przeprowadzenie eksperymentu rzeczoznawczego z zakresu badania dynamiki jazdy w celu ustalenia maksymalnego przyspieszenia oraz wyznaczenia korelacji między przyspieszeniem a wychyleniem nastawnika prędkości tramwaju, a także zweryfikowania prędkości zapisanych przez zamontowany w tramwaju rejestrator ATM. Do badań porównawczych wykorzystano urządzenie pomiarowe VBOX Sport, którego dokładność do tego typu badań była wystarczająca [5] i udowodniona [3]. W czasie badań okazało się, że istnieją różnice między wartościami zapisanymi przez rejestrator a zmierzonymi, które mogą mieć wpływ na obliczanie przyspieszeń albo opóźnień (ujemnych przyspieszeń) pojazdu.

2. Rejestrator ATM – możliwości konfiguracji systemu i rejestracji parametrów

Rejestratory ATM-RPS4 to rodzina urządzeń dostosowywana do specyficznych wymagań danego pojazdu. W typowych konfiguracjach występuje: blok zbierania i przetwarzania informacji ATM-RP4, pulpit wyświetlający prędkości ATM-PW3 (cyfrowy) lub monitor PIXY, czujniki ciśnień w układzie hamulcowym, antena GPS. Opcjonalnie system może być wyposażony w osobny analogowy wskaźnik prędkości, czytnik kart zbliżeniowych czy dodatkowy moduł transmisji danych GPRS i WiFi [1]. Na ryc. 1 przedstawiono przykładową konfigurację środowiska systemu ATM-RPS w pojeździe, która może być konfigurowana przez firmę ATM na potrzeby indywidualnego rozwiązania.

¹ W literaturze [18] wartość ujemnego przyspieszenia (opóźnienia) do 1,5 m/s² występuje jako *wartość dozwolona*. W badaniach przeprowadzonych i przedstawionych w [4] ponad 95% uczestników badania opowiedziało się za oczekiwaniem od kierujących autobusami komunikacji miejskiej, aby w czasie normalnego ruchu drogowego hamowali z opóźnieniem nie większym niż 1,5 m/s².

² Jedną z nielicznych publikacji jest opracowanie P. Fundowicza, zajmujące się zagadnieniem czasu narastania przyspieszenia pojazdów [9].



Ryc. 1. Przykładowa konfiguracja środowiska systemu ATM-RPS w pojeździe [1].

Wartości odczytane z rejestratora tramwaju ATM (częstotliwość zapisu próbek wynosi 1Hz) wykazują aż cztery różne prędkości:

- a) dwie pochodzące od dwóch czujników, oznaczonych w programie umożliwiającym odczyt z karty pamięci rejestratora jako „Prędkość pojazdu z czujnika nr 1” i „Prędkość pojazdu z czujnika nr 2”,
- b) jedna oznaczona jako „Prędkość pojazdu, rejestrator”,
- c) kolejna oznaczona jako „Prędkość z GPS, rejestrator”.

W czasie badań stwierdzono, że podczas jazdy tramwaju z prędkością ok. 40 km/h wartości prędkości uzyskane w podpunktach a) i b) były mniejsze o ok. 5 km/h od wartości z podpunktu c).

Podkreślić należy, że istnieje także możliwość odczytania wartości prędkości z rejestratora tramwaju ATM z częstotliwością zapisu próbek, która wynosi 16 Hz. Odczyt wartości z taką częstotliwością nie jest jednak domyślny w programie odczytującym, dlatego w czasie zabezpieczania danych pomiarowych z rejestratora ATM należy określić częstotliwość zapisu danych. W przeciwnym razie zostaną zapisane wartości z częstotliwością domyślną programu odczytującego, tj. 1 Hz.

System ATM-RPS4 może nieznacznie różnić się konfiguracją w różnych modelach pojazdów, dlatego też w celu poznania szczegółowej konfiguracji należy uzyskać informacje od producenta.

W tramwaju trójczłonowym, niskopodłogowym 121NbT typu Swing produkcji firmy PESA Bydgoszcz, w celu uzyskania niezawodności pomiaru prędkości

zostały zamontowane na maźnicy (łożysku głównym) dwa niezależne (w każdym wózku jezdnym) czujniki pomiaru prędkości „Prędkość pojazdu z czujnika 1” i „Prędkość pojazdu z czujnika 2”. Pomiar prędkości z tych czujników są porównywane i większa z nich jest kopiowana do parametru „Prędkość pojazdu, rejestrator”. Aktualna wartość tej prędkości jest zapisywana w rejestratorze z częstotliwością 16 Hz.

„Prędkość z GPS” jest rejestrowana z częstotliwością 2 Hz, przy wykorzystaniu systemów GPS i GLONASS. Przy stałej prędkości poruszania się pojazdu (i prawidłowo wprowadzonych średnicach kół) prędkość GPS powinna być zbliżona do oznaczonej jako „Prędkość pojazdu, rejestrator”. Przy dynamicznej zmianie prędkości pojazdu GPS nie nadąża za zmianami prędkości z czujników i przy rozpędzaniu się prędkość GPS jest zawsze nieco mniejsza, a przy hamowaniu odwrotnie, co zaobserwować można na ryc. 7 i 12.

W przypadku odczytu parametrów z systemu niezbędnym jest zachowanie stosownej procedury. Aby w pliku (*.xls pojawiły się wszystkie próbki (np. dla częstotliwości prędkości wynikowej 16 Hz) należy:

- uruchomić wizualizację numeryczną w programie FDS³,
- wybrać interesujące parametry,
- wybrać opcję „wszystkie próbki”⁴,
- wyeksportować dane do pliku *.xls.

Obliczanie prędkości pojazdu z czujników jest realizowane przez zliczanie obrotów osi, dlatego niezwykle ważna jest wprowadzona do programu prawidłowa średnica koła.

3. Badania

3.1. Cel badań

Podstawowym celem badań było uzyskanie informacji o dynamice konkretnego pojazdu szynowego podczas swobodnej jazdy miejskiej, a także w warunkach granicznych, w szczególności podczas wykonywania manewru ruszania z miejsca. Informacje te stanowiły podstawę do ustalenia przyspieszeń, jakie osiąga dany model tramwaju w przypadku maksymalnego wychylenia nastawnika jazdy, a także do badania korelacji między parametrami dynamiki a informacjami zarejestrowanymi przez system monitoringu tramwaju.

3.2. Czas, miejsce i warunki badań

Badania zostały wykonane w dniu 19 września 2019 r. w Toruniu, w dobrych warunkach atmosferycznych. Podstawowym kryterium w wyborze miejsca do

³ System FDS jest przeznaczony do odczytu i analizy danych. <https://www.atmavio.pl/lotnictwo/fds-oprogramowanie-do-analizy-danych-z-lotu/> (26.07.2021 r).

⁴ Po wybraniu opcji „wszystkie próbki” uzyskujemy częstotliwość zapisu 16 Hz.

przeprowadzenia badań była możliwość swobodnego przejazdu tramwaju w warunkach miejskich.

3.3. Urządzenia pomiarowe

W badaniach użyto zabudowany w tramwaju rejestrator ATM-RPS4TU (ryc. 2) firmy ATM PP sp. z o.o., posiadający wbudowany GPS, modem Wi-Fi, obsługę sieci CAN MVB i Ethernet oraz złącza RS422 i USB [6]. Do weryfikacji wykorzystywano urządzenie pomiarowe firmy Racelogic – VBOX Sport, które spełnia wymagania do pomiaru parametrów dynamiki podłużnej pojazdów [3], rejestrując dane z częstotliwością 20 Hz.



Ryc. 2. Rejestrator parametrów ATM-RPS4TU firmy ATM PP sp. z o.o. [6].

3.4. Przebieg badań

W trakcie badań łącznie przejechano tramwajem ok. 10 km z różnymi prędkościami i przyspieszeniami. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki dla dwóch prób:

- 1) ruszanie z maksymalnym przyspieszeniem oraz hamowanie nagle,
- 2) ruszenie z miejsca oraz hamowanie robocze (łagodne).

W czasie wszystkich prób rejestrowano sygnały wideo i dźwiękowe z kamer tramwaju oraz wartości prędkości rejestrowane w rejestratorze jazdy. W celu niezależnej weryfikacji parametrów ruchu zainstalowano w członie C (tylnym) urządzenie pomiarowe VBOX Sport.

3.5. Obiekt badań

Obiektem badań był tramwaj trójczłonowy, niskopodłogowy 121NbT typu Swing (ryc. 3) produkcji firmy „PESA Bydgoszcz” [13]. Tramwaje tego typu są eksploatowane w Bułgarii (Sofia), Polsce (Bydgoszcz, Gdańsk, Łódź, Szczecin, Toruń i Warszawa), Rumunii (Kluż-Napoka), Rosji (Kaliningrad) i na Węgrzech (Segedyn) [16].

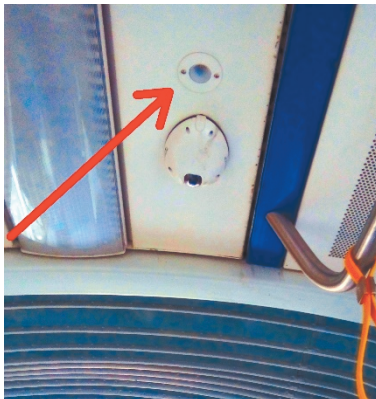


Ryc. 3. Tramwaj trzyczłonowy, niskopodłogowy typu Swing [13].

Tramwaj Swing wyposażony jest w kamery rejestrujące obraz oraz przy wybranych kamerach sygnał audio z wnętrza kabiny motorniczego i wnętrza tramwaju. Podgląd z kamer możliwy jest na panelu motorniczego. Znajdują się tam także informacje odnośnie czasu postoju oraz kolejności przystanków (tzw. informacje pasażerskie). Podczas eksperymentu zarejestrowano nagrania z kamer znajdujących się w następujących miejscach:

- 1) w kabinie motorniczego (skierowana na panel oraz motorniczego, z rejestracją sygnału audio),
- 2) na przodzie tramwaju,
- 3) z tyłu tramwaju,
- 4) z lewej strony tramwaju,
- 5) z prawej strony tramwaju,
- 6) we wnętrzu tramwaju (cztery kamery, oznaczone KW01 – KW04, z których jedna (KW3) z rejestracją sygnału audio).

Na ryc. 4 przedstawiono zdjęcie kamery KW03 oraz mikrofonu, który rejestruje sygnał audio z wnętrza tramwaju.



Ryc. 4. Zdjęcie kamery KW03 oraz znajdującego się obok niej mikrofonu rejestrującego sygnały akustyczne z wnętrza pojazdu (wskazany czerwoną strzałką).

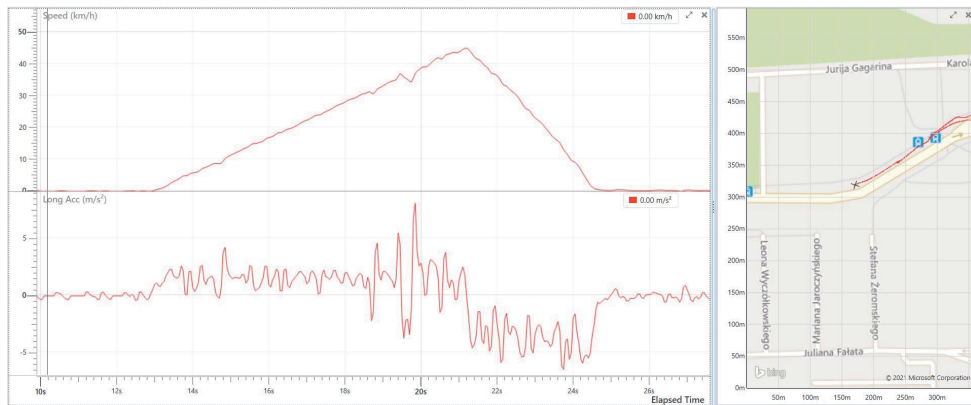
4. Opracowanie wyników badań

Podczas badań eksperymentalnych dynamiki pojazdu, poproszono motorniczego o jazdę tramwajem z różną dynamiką, zarówno w zakresie przyspieszania, jak i hamowania. Poniżej przedstawiono wybrane dwie próby.

4.1. Próba 1 – dynamiczna zmiana prędkości (ruszenie maksymalne z miejsca oraz hamowanie nagle – nastawnik w maksymalnych pozycjach pracy)

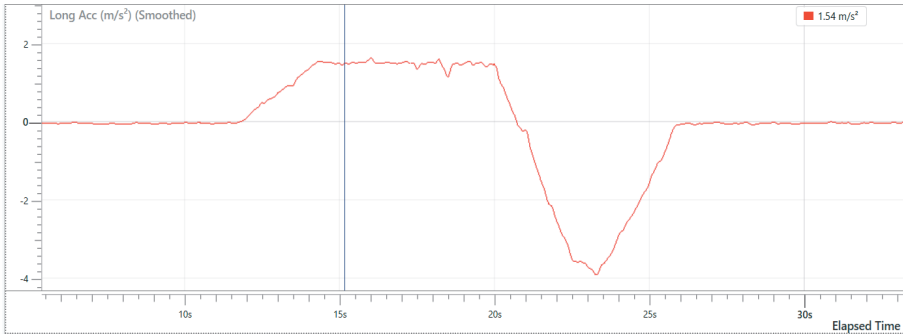
Wartości zarejestrowane przez VBOX Sport

Na ryc. 5 przedstawiono wartości prędkości i przyspieszenia zarejestrowane urządzeniem VBOX Sport. Wartość maksymalnej prędkości wynosiła ok. 45 km/h.



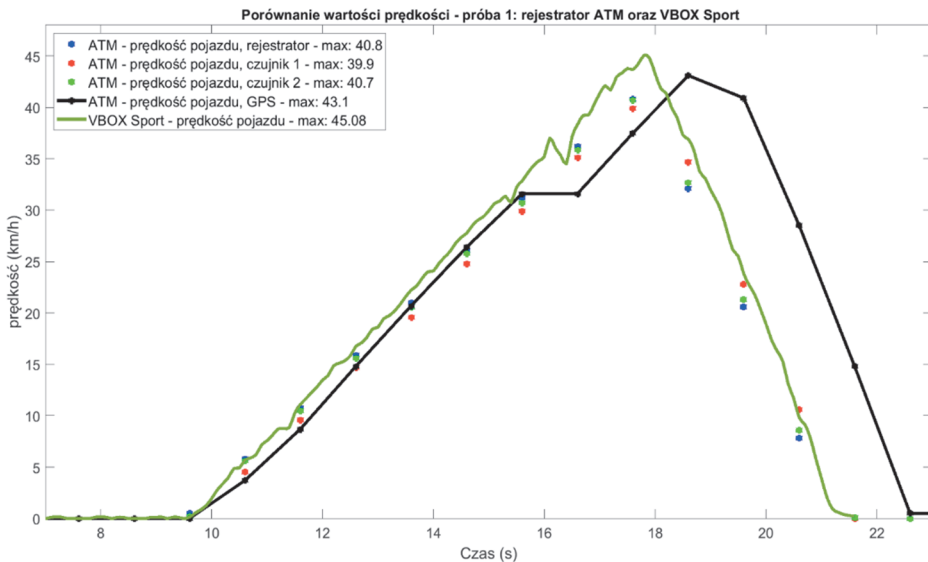
Ryc. 5. Wykresy wartości prędkości i przyspieszenia z próby 1. Po prawej stronie położenia tramwaju uzyskane z urządzenia VBOX Sport i nałożone na mapę z Google Maps automatycznie zaimportowaną przez program.

Na ryc. 6 przedstawiono wartości przyspieszenia/ujemnego przyspieszenia (opóźnienia hamowania) zarejestrowane podczas próby 1. Podczas manewru przyspieszania z maksymalnym wychyleniem nastawnika, zarejestrowane wartości przyspieszenia były na poziomie ok. $1,5 \text{ m/s}^2$, najmniejsze zarejestrowane ujemne przyspieszenie (opóźnienie hamowania) wynosiło dla hamowania nagłego ok. $3,9 \text{ m/s}^2$. Średnie pełne opóźnienie hamowania (MFDD) w przypadku hamowania z prędkości ok. 45 km/h, wyznaczone na podstawie danych pomiarowych z urządzenia VBOX Sport, wynosiło $3,7 \text{ m/s}^2$.



Ryc. 6. Wykres wartości przyspieszenia z próby 1 po wygładzeniu w programie VBOX Test Suite funkcją Smoothed na poziomie 20.

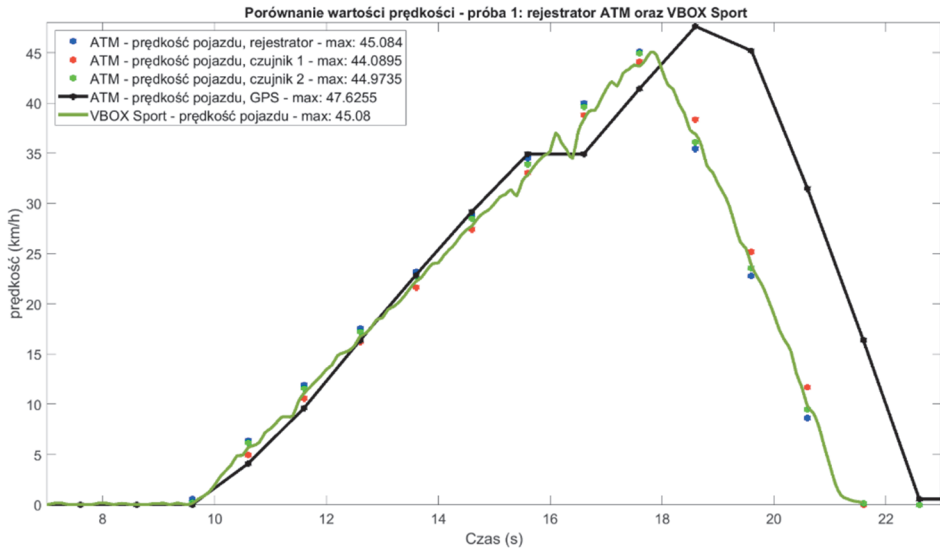
Różnice odczytu wyników z rejestratorów ATM i VBOX Sport



Ryc. 7. Wykresy wartości prędkości i przyspieszenia z próby 1 zarejestrowane rejestratorem ATM z częstotliwością próbkowania 1 Hz oraz urządzeniem pomiarowym VBOX Sport z częstotliwością próbkowania 20 Hz.

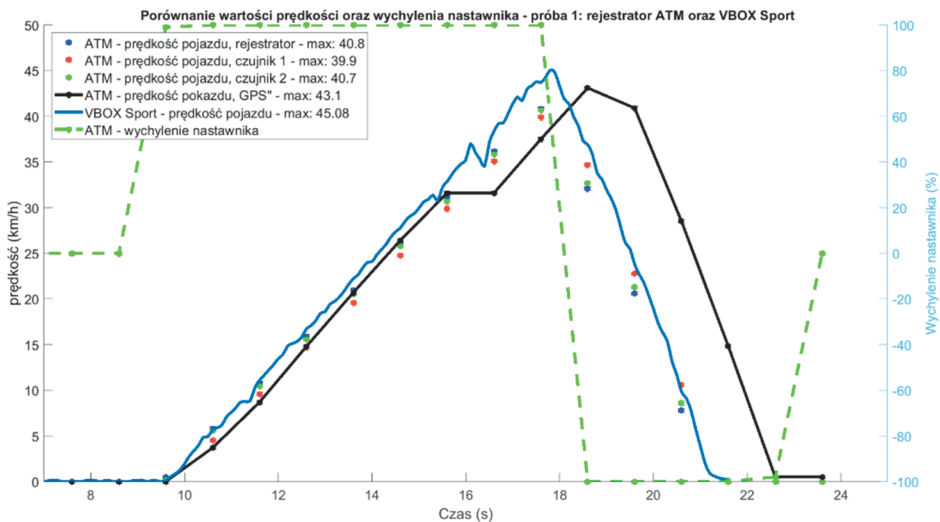
Porównując przebieg prędkości uzyskany z urządzenia VBOX Sport z prędkościami zarejestrowanymi rejestratorem ATM (ryc. 7) można stwierdzić, że najbardziej zbliżone do siebie są wartości prędkości oznaczone jako „rejestrator” oraz „czujnik 1” i „czujnik 2”, a wartości GPS z rejestratora odbiegają od nich znacznie bardziej. Różnica ta może być spowodowana innym algorytmem obliczania prędkości przy użyciu sygnału GPS. W związku z powyższym przyjęto zasadę przekalowania wartości prędkości pojazdu rejestratora ATM do prędkości pojazdu uzy-

skanych z urządzenia pomiarowego VBOX Sport. W tym celu wykorzystano wartości maksymalne tj. zapisaną w rejestratorze i urządzeniu VBOX Sport i otrzymano współczynnik równy 1,105 (ryc. 8).



Ryc. 8. Wartości prędkości z próby 1 zarejestrowane rejestratorem ATM z częstotliwością próbkowania 1 Hz po pomnożeniu przez stałą 1,105, oraz wykres wartości prędkości zarejestrowanych urządzeniem VBOX Sport z częstotliwością próbkowania 20 Hz.

Korelacja wartości prędkości z wychyleniem nastawnika tramwaju



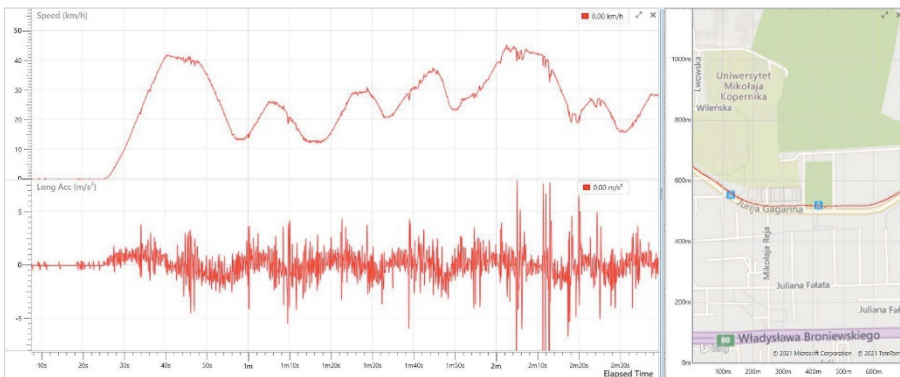
Ryc. 9. Wykresy wartości prędkości i wychylenia nastawnika jazdy tramwaju z próby 1.

4.2. Próba 2 – mniej dynamiczna zmiana prędkości (ruszenie z miejsca oraz hamowanie robocze – łagodne wraz z ruchem tramwaju w ruchu miejskim)

W analizie drugiej próby przyjęto wartość współczynnika skalowania ustaloną w pierwszej próbie. Zabieg ten miał na celu weryfikację jego wartości przy różnych warunkach dynamiki pojazdu, a także zbadanie niezmienniczości podczas jazdy tramwajem w dłuższym czasie.

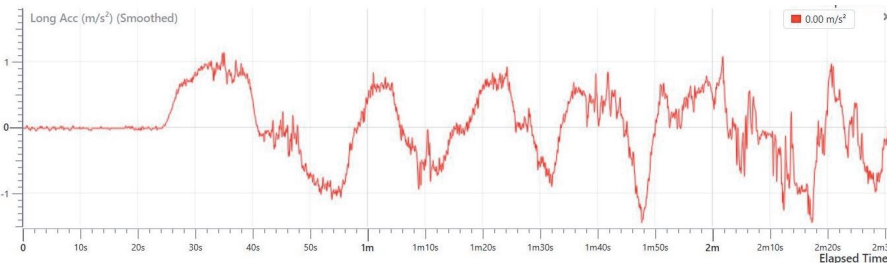
Wartości zarejestrowane przez VBOX Sport

Na ryc. 10 przedstawiono wartości prędkości i przyspieszenia zarejestrowane urządzeniem VBOX Sport. Wartość maksymalnej prędkości wynosiła ok. 42 km/h.

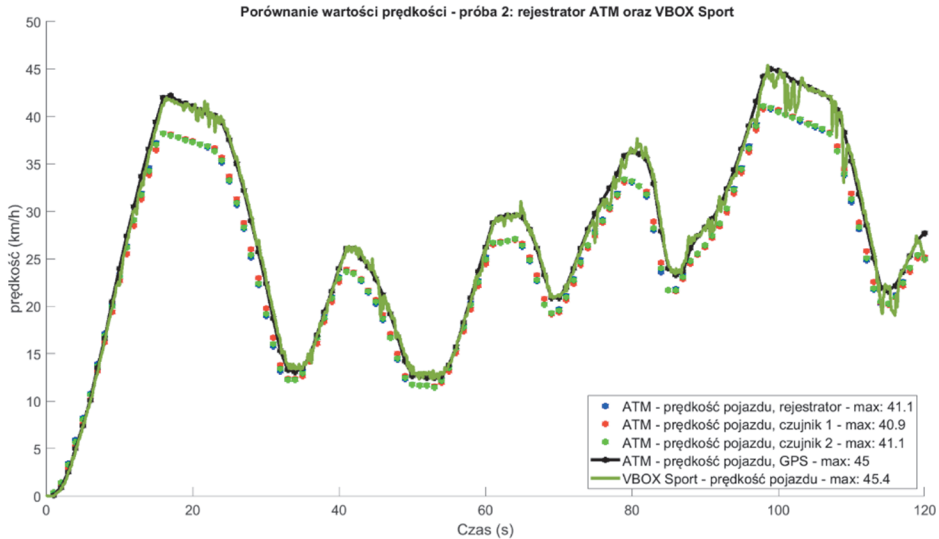


Ryc. 10. Wykresy wartości prędkości i przyspieszenia z drugiej próby zarejestrowane z częstotliwością próbkowania 20 Hz. Po prawej położenia z urządzenia VBOX Sport.

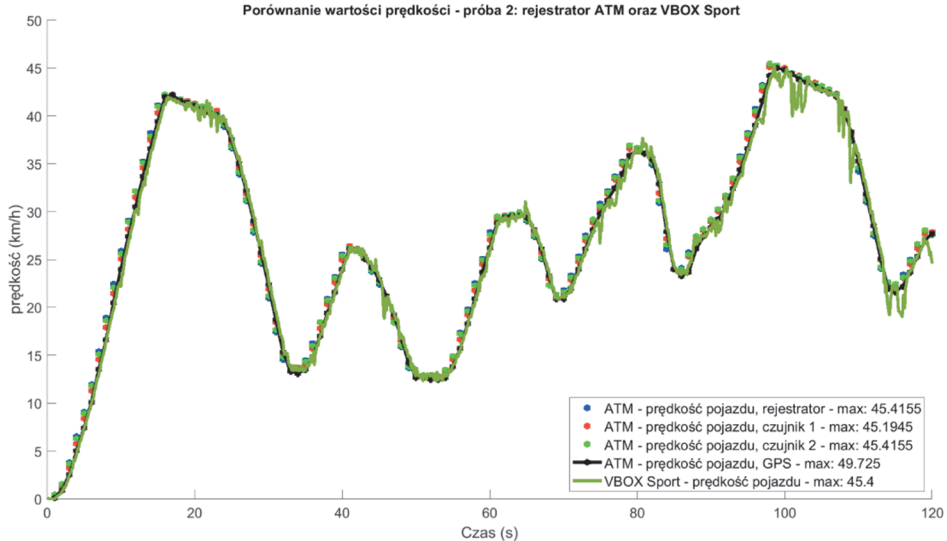
Na ryc. 11 przedstawiono wartości przyspieszenia/ujemnego przyspieszenia (opóźnienia hamowania) zarejestrowane podczas niniejszej próby. Należy zauważyć, iż wartość przyspieszenia nie przekraczała ok. 1 m/s². Najniższe zarejestrowane ujemne przyspieszenie podczas hamowania roboczego wynosiło ok. 1,3 m/s².



Ryc. 11. Wykres wartości przyspieszenia z drugiej próby po wygładzeniu w programie VBOX Test Suite funkcją Smoothed na poziomie 20.

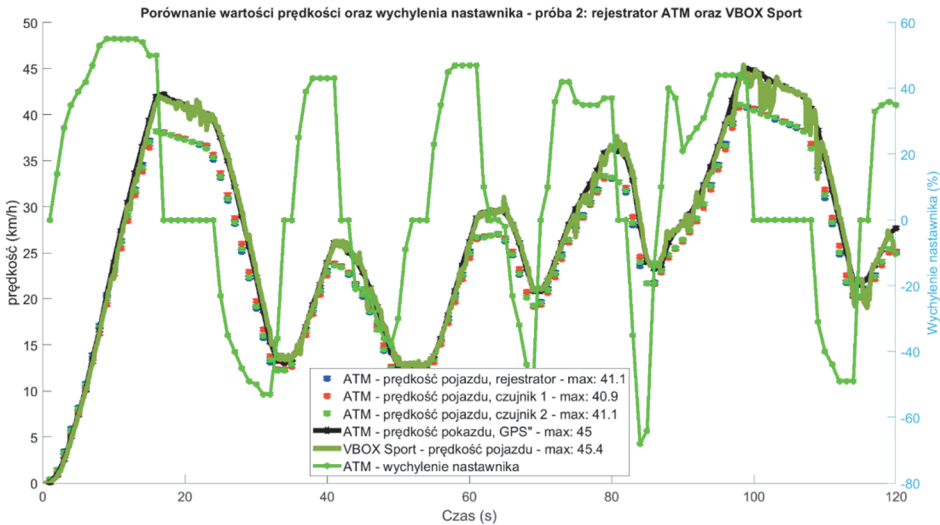
Różnice odczytu wyników z rejestratorów ATM i VBOX Sport

Ryc. 12. Wykresy wartości prędkości z drugiej próby zarejestrowane rejestratorem ATM z częstotliwością próbkowania 1 Hz oraz urządzeniem pomiarowym VBOX Sport z częstotliwością próbkowania 20 Hz.



Ryc. 13. Wykresy wartości prędkości z drugiej próby zarejestrowane rejestratorem ATM z częstotliwością próbkowania 1 Hz oraz VBOX Sport z częstotliwością próbkowania 20 Hz. Przeskalowaniu wartości prędkości o stałą 1,105 poddano „Prędkość pojazdu, rejestrator”, „Prędkość pojazdu z czujnika 1”, „Prędkość pojazdu z czujnika 2”. Przeskalowaniu nie poddano wartości prędkości z rejestratora ATM „Prędkość z GPS” z powodu poprawnej korelacji z wartościami prędkości z rejestratora VBOX Sport.

Korelacja wartości prędkości z wychyleniem nastawnika tramwaju



Ryc. 14. Wykresy wartości prędkości, przyspieszenia i wychylenia nastawnika jazdy tramwaju z drugiej próby zarejestrowane rejestratorem ATM z częstotliwością próbkowania 1 Hz oraz urządzeniem pomiarowym VBOX Sport z częstotliwością próbkowania 20 Hz.

5. Podsumowanie

Wartości prędkości odczytane z urządzenia pomiarowego VBOX Sport uwiaczniają więcej szczegółów zmian prędkości w porównaniu do rejestratora tramwaju ATM. Przy prędkości tramwaju ok. 40 km/h, wskazania z urządzenia VBOX Sport były większe o ok. 5 km/h od zarejestrowanych przez rejestrator ATM z dwóch czujników oraz wartości oznaczonej jako „Prędkość pojazdu, rejestrator”. W takim przypadku, należy zweryfikować wartość średnicy koła wpisaną do programu obliczającego FDS.

Prędkości z urządzenia VBOX Sport w stosunku do wartości prędkości z GPS tramwaju na dłuższym odcinku czasu są porównywalne (patrz wyniki drugiej próby). Przy jeździe z większą dynamiką wartości prędkości odczytane z GPS obu rejestratorów wykazują różnice (patrz wyniki pierwszej próby).

W naszym przypadku wartości prędkości odczytane z rejestratora ATM i oznaczone jako „Prędkość pojazdu z czujnika nr 1”, „Prędkość pojazdu z czujnika nr 2”, „Prędkość pojazdu, rejestrator”, po przemnożeniu o wartość współczynnika 1,105 wykazują zgodność z przebiegiem wartości prędkości odczytanych z urządzenia VBOX Sport. Wartość współczynnika 1,105 wynika wprost z dopasowania wartości prędkości rejestratora ATM do wartości prędkości zmierzonych urządzeniem pomiarowym VBOX Sport tj.

$$\frac{V_{VBOXSPORT}}{V_{ATM}} = 1,105$$

Wartość współczynnika może być różna dla każdego innego przypadku, gdyż może wynikać np. z niepomierzonej lub błędnie wpisanej średnicy koła. Pamiętać również należy, że poślizgi kół tramwaju, szczególnie w czasie intensywnego hamowania mogą w istotny sposób zaburzać odczyt bieżących spadków prędkości w stosunku do rzeczywistych.

Różnice w odczytach prędkości (zarówno samych wartości jak i częstotliwości próbkowania) ze względu na budowę środowiska systemu ATM-RPS w pojeździe szynowym mogą być znaczące. W niniejszym eksperymencie oraz badanym pojeździe szynowym różnica wskazań prędkości między czujnikami prędkości a odczytem z GPS urządzenia VBOX Sport wynosiła ok. 5 km/h przy prędkości tramwaju ok. 40 km/h oraz ok. 10 km/h przy prędkości ok. 70 km/h.

Wyniki badań wskazują, iż zarejestrowane maksymalne przyspieszenie tramwaju PESA 121 NbT Swing wynosi ok. 1,5 m/s².

Należy podkreślić, że odczytane dane dotyczyły domyślnych wartości próbkowania z częstotliwością 1 Hz. Otwartą kwestią pozostaje różnica pomiędzy danymi ATM odczytanymi z częstotliwością 16 Hz, a danymi uzyskanymi z urządzenia VBOX Sport. Problem ten będzie przedmiotem dalszych badań. Biegły analizując odczyty pozyskane w postępowaniu przygotowawczym (np. podczas standardowej procedury pozyskiwania materiału dowodowego – danych z rejestratora ATM) powinien podchodzić do nich krytycznie, mając świadomość, że częstotliwość próbkowania oraz dokładność odczytu mogą być różne.

Bibliografia

1. ATM-RPS. (2011). *Cyfrowy system pomiaru prędkości i rejestracji parametrów przejazdu pojazdów szynowych*.
2. Bogacz, R., Meinke, P. (2006). On evaluation of the train and railway track quality. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechnika Warszawska*, (1/60), 15–20.
3. Ciępka, P., Janczur, R. (2015). Urządzenie VBox Sport w praktyce biegłego i rzeczoznawcy samochodowego, *Paragraf na Drodze*, (4), 63–73.
4. Ciępka, P., Zębała, J., Reza, A. (2017). Bezpieczne zatrzymywanie autobusów komunikacji miejskiej. *Paragraf na Drodze*, numer specjalny.
5. Dane techniczne urządzenia VBox Sport. (b.d.); www.racelogic.co.uk
6. Dokumentacja rejestratora ATM-RPS4TU firmy ATM RPP sp. z o.o. <https://www.atmavio.pl/documents/2014/09/atm-rps4.pdf/>
7. Dychto, R., Pietruszewski, R. (2016). Badania procesu hamowania pojazdu szynowego. *Autobusy. Eksploatacja i testy*, (12), 913–917.
8. Firlik, B., Czechyra, B. (2012). *Symulacyjne podstawy metody monitorowania stanu technicznego toru tramwajowego*. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, (84), 29–39.

9. Fundowicz, P. (2017). Czas narastania przyspieszenia pojazdów przy ruszaniu z miejsca. *Paragraf na Drodze*, numer specjalny, 91–98.
10. Grzesikiewicz, W., Osiecki, J., Piotrowski, J. (1974). *Podstawy dynamiki pojazdów szynowych*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej.
11. Grzyb, A., Czauderna, T. (2009). Badania i analiza wymuszeń kinematycznych drgań tramwajów. *Technika Transportu Szynowego*, 15(9), 64–68.
12. Grzyb, A., Struski, J. (2001). Modelowanie przypadkowych nierówności geometrycznych w dynamice pojazdów lądowych. *Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej*, (28), 141–148.
13. PESA Bydgoszcz. (b.d.). <https://pesa.pl/>
14. Pesa Swing (b.d.). Pobrano 18.08.2021 r. z https://pl.wikipedia.org/wiki/Pesa_Swing
15. Piechowniak, T. (2012). Obliczenia hamulca wózka tramwajowego. *Czasopismo Techniczne. Mechanika*, (14), 223–231.
16. Pieczonek, W. (2013). Opóźnienie hamowania tramwaju typu 120 NaG firmy PESA Bydgoszcz SA. *Problemy kryminalistyki*, 4(282), 33–56.
17. Polski Komitet Normalizacyjny. (1991). *Drgania – Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań oddziałujących na organizm człowieka przez kończyny górne i metody oceny narażenia* (PN-91/N-01353).
18. Powell, J. P., Palacin, R. (2015). Passenger Stability Within Moving Railway Vehicles: Limits on Maximum Longitudinal Acceleration. *Urban Rail Transit*, 1(2), 95–103. <https://doi.org/10.1007/s40864-015-0012-y>
19. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych tramwajów z dnia 2 marca 2011 r. (Dz.U. Nr 65).
20. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie zakresów, warunków, terminów i sposobów przeprowadzenia badań technicznych tramwajów z dnia 28 stycznia 2011 r. (Dz.U. Nr 65).
21. Wierciński, J., Reza, A. (2011). *Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego*. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych.

* * *

Publikacja częściowo opracowana podczas pobytu naukowego finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA) w ramach programu im. M. Bekkera o nr. PPN/BEK/2020/1/00432/DEC/1 (dr inż. Paweł Grzegorz Dąbkowski).

Szczególne podziękowania dla firmy ATM PP Sp. z o.o., a w szczególności dla Pana Dariusza Prądyńskiego, Kierownika Działu Informatyki i Komórki Odczytu Rejestratorów, za udzielenie cennych i wyczerpujących odpowiedzi w zakresie budowy i działania systemu ATM-RPS4.

* * *

Determination of tram's actual speed based on the values verified by the ATM recorder

Abstract

The aim of the article is to present the differences between the tram speeds recorded in the recorder and those measured with a measuring device, and to propose the use of a correlation coefficient to determine the real speed. During the experiment, performed for an expert witness opinion, differences were found between the speed values recorded in the ATM recorder and those measured with the VBOX Sport device. It was also noticed that four speeds of different values had already been recorded in the recorder. The sources of these speeds are presented and the correlation coefficient between the measured and recorded values, which was used to reproduce the actual speeds and accelerations recorded during the real event, is calculated.

Key words

Speed, acceleration, tram, VBOX Sport, ATM-RPS4 recorder.