

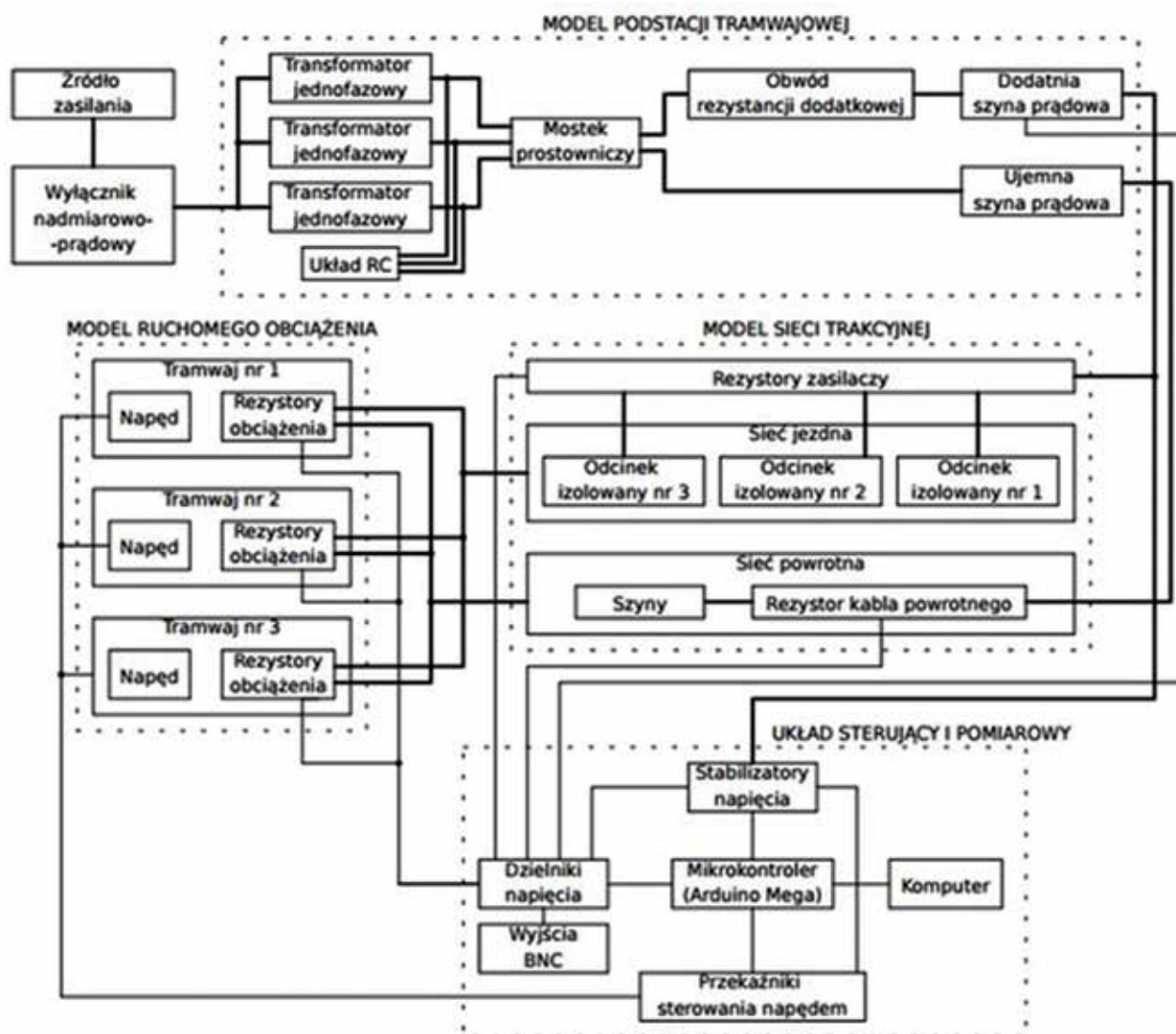
Martyna Gunia, Maciej Kozik, Janusz Prusak, Bartosz Woszczyzna

# Zmienność napięcia na odbieraku tramwaju – badania z wykorzystaniem modelu laboratoryjnego

W artykule przedstawiono laboratoryjny model podstacji trakcyjnej prądu stałego (DC) oraz jej obszaru zasilania. Zastosowano układ połączeń charakterystyczny dla trakcji tramwajowej. Obciążenie podstacji wywoływane jest przez modele ruchomych obciążeń trakcyjnych (ROT), czyli „tramwajów”. Pomiary napięć i prądów na podstacji i w sieci trakcyjnej, a także przemieszczanie się ROT, są realizowane pod kontrolą układu mikroprocesorowego oraz oprogramowania komputerowego. Zamieszczono przykładowe wyniki kilku pomiarów napięć na odbieraku ROT dla różnych połączeń sieci trakcyjnej. Sformułowano uwagi dotyczące budowy kolejnych modeli układów zasilania trakcji elektrycznej DC.

Przeprowadzanie pomiarów napięć i prądów w układzie zasilania pojazdów tramwajowych, jak i w samych pojazdach, jest złożonym zagadnieniem. Wymaga ono znacznego zaangażowania, m.in. organizacyjnego i technicznego, żeby uzyskać zamierzone wyniki. Należy mieć również na uwadze, że te wyniki, jakkolwiek bardzo cenne, mają dość często charakter punktowy. Nie ma na przykład możliwości sprawdzenia wpływu odległości między przystankami na wybraną wielkość, np. zakres zmienności napięcia na odbieraku tramwaju czy też zmian w konfiguracji zasilania sieci trakcyjnej. Być może byłyby to częściowo możliwe w przypadku posiadania specjalistycznego poligonu doświadczalnego, jaki ma Instytut Kolejnictwa w Żmigrodzie-Węglewie. Kolejną istotną kwestią byłyby problemy finansowe związane z budową,

**Słowa kluczowe:** sieć trakcyjna, odbierak, układ zasilania.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego



**Rys. 2.** Widok ogólny zrealizowanej makiety, gdzie: A – panel złączający stanowisko, B – panel sterowania rezystancją dodatkową podstacji, C – odłącznik sieciowy i sekcyny, D – panel wyprowadzeń pomiarowych

eksploatacją i utrzymaniem takiego obiektu. Poza tym istniejące poligony doświadczalne (np. należący do firmy Siemens w Wegberg-Wildenrath w Niemczech) są przystosowane do badania taboru, a nie układów zasilania w szerszym zakresie.

Być może pewnym ułatwieniem dla wstępnej oceny np. zakresu zmienności napięcia na pantografie (tu) tramwaju byłyby pomiary na laboratoryjnym modelu, który odwzorowuje fragment układu zasilania, jak i pojazdy trakcyjne. Poniżej przedstawiono budowę prototypowego stanowiska laboratoryjnego oraz wybrane wyniki pomiarowe.

### Budowa modelu laboratoryjnego

Model laboratoryjny składa się z trzech elementów funkcjonalnych stanowiących odwzorowanie układu rzeczywistego, czyli podstacji trakcyjnej, sieci trakcyjnej jezdnej i powrotnej oraz ruchomych obciążeń trakcyjnych (ROT), czyli „tramwajów”. Stanowisko (makieta) jest wyposażone również w specjalistyczne obwody pozwalające mierzyć prądy i napięcia w wybranych (interesujących) punktach obwodów elektrycznych. Praca całego stanowiska odbywa się pod nadzorem komputera.

Na rys. 1 pokazano blokowy schemat stanowiska laboratoryjnego odwzorowującego obszar zasilania jednej tramwajowej podstacji trakcyjnej o długości ok. 1,5 km. W makiety przewidziano, że obszar ten składa się z trzech równych odcinków zasilania. Linia jest dwutorowa. Napięcie zasilania sieci trakcyjnej wynosi ok. 25 V.

Patrząc na schemat, można zauważyć, że podstacja trakcyjna składa się z jednego zespołu prostownikowego. Aby możliwie wiernie odwzorować stan rzeczywisty, skojarzono 3 jednofazowe transformatory oraz zastosowano prostownik mostkowy trójfazowy, a więc uzyskano układ 6-pulsowy.

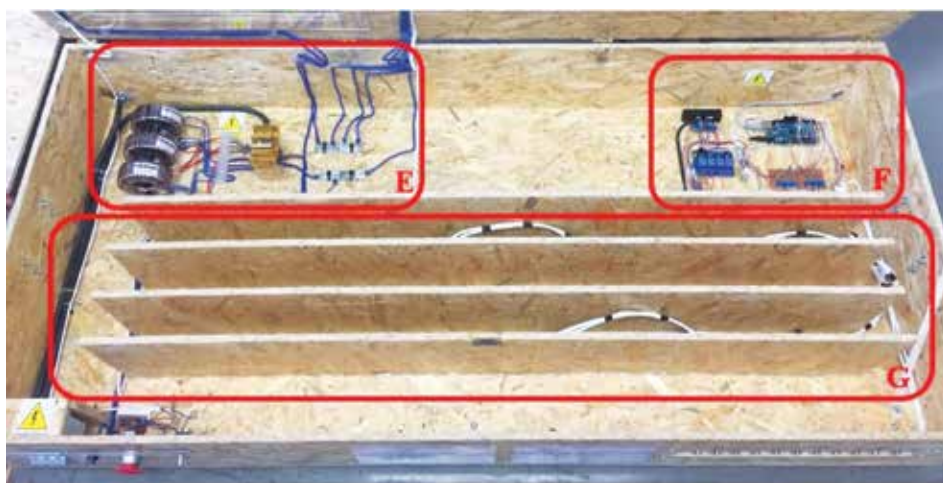
### Przykładowe wyniki pomiarów

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów dotyczące wahań (zmian) napięcia na odbieraku (pantografie) referencyjnego „tramwaju” ROT dla przypadków technicznie możliwych do zrealizowania dla opisanej powyżej makiety.

W artykule zwrócono uwagę na tę kwestię z dwóch powodów. Po pierwsze zakres zmian napięcia na odbieraku jest istotnym parametrem charakteryzującym jakość układu zasilania [2, 9, 8].

Przeprowadzone badania (pomiary, symulacje) [1, 4] pokazują, że nie zawsze jest dobrze w tym względzie. Po drugie zaprezentowane poniżej wyniki nie będą zaskoczeniem dla specjalistów zajmujących się jakością pracy układów zasilania trakcji elektrycznej DC. Jest to więc istotne potwierdzenie tego, że prezentowany model poprawnie odwzorowuje stan rzeczywisty. Kontynuując myśl, można spodziewać się, że inne wyniki uzyskiwane na tej makiety są (będą), w określonym zakresie pomiarów, też wiarygodne.

Na rys. 4 przedstawiono zmierzone i zarejestrowane przebiegi czasowe napięć na odbierakach tramwajów, przy czym rysunek „a” dotyczy rzeczywistego tramwaju.



**Rys. 3.** Widok wnętrza zrealizowanej makiety, gdzie: E – podstacja trakcyjna, F – układ kontrolno-pomiarowy, G – kanały techniczne z przewodami sterowniczo-pomiarowymi

Zauważalne jest optyczne podobieństwo obu powyższych przebiegów. Wyraźnie widoczne są chwile przemieszczania się pantografów pod izolatorami sekcyjnymi. Z oczywistych powodów bardzo różne są bezwzględne poziomy napięć na obu odbierakach.

Na rys. 5 przedstawiono zmierzone napięcia na odbieraku modelu tramwaju dla przejazdu jednego tramwaju z ciągłym obciążeniem rozruchowym dla przypadków: typowej długości odcinków izolowanych oraz wydłużonych odcinków izolowanych (poprzez zwarcie izolatorów sekcyjnych). Przedstawiono wyniki dla 160 próbek pomiarowych.

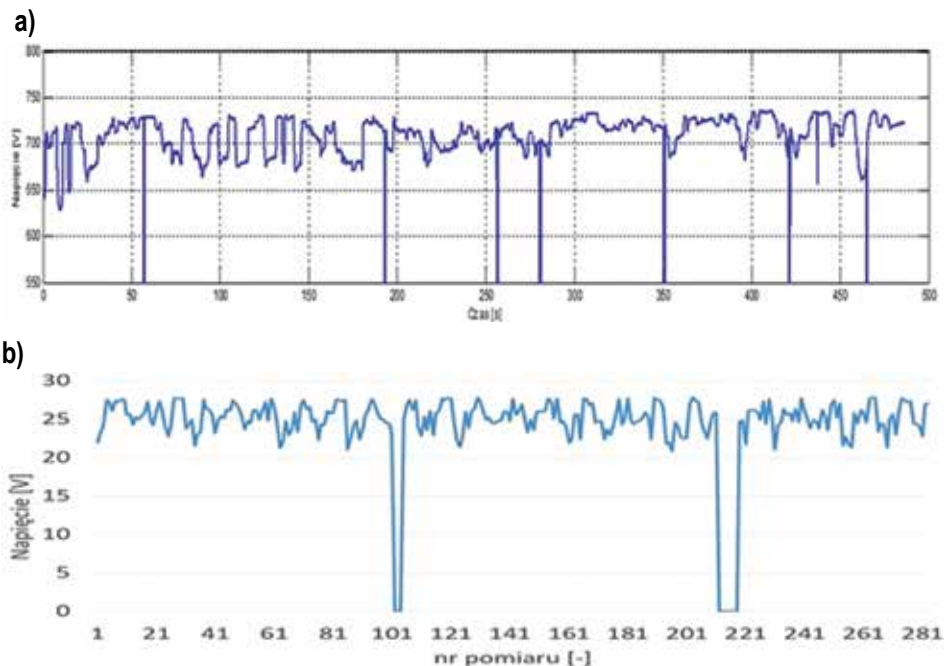
Na rys. 6 przedstawiono zmierzone napięcia na odbieraku modelu tramwaju dla przejazdu trzech tramwajów z ciągłym obciążeniem rozruchowym dla przypadków: zasilania jednostronnego oraz quasi-dwustronnego. Przedstawiono wyniki dla 160 próbek pomiarowych.

Na rys. 7 przedstawiono procentową wartość średnią napięcia na pantografie wybranego tramwaju dla różnych przypadków konfiguracji stanowiska (sieci, zasilania, obciążenia). Jako wartość odniesienia równą 100% przyjęto średnią wartość napięcia dla klasycznej konfiguracji zasilania trakcji tramwajowej, tj. zasilanie jednostronne przy otwartych odłącznikach sekcyjnych, przy obciążeniu sieci jednym tramwajem.

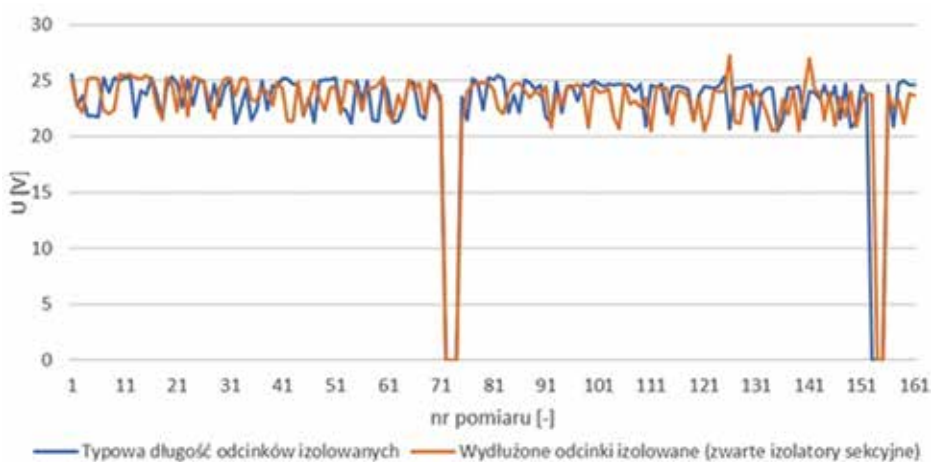
## Zakończenie

Zaprezentowane stanowisko laboratoryjne (makieta) oraz przedstawione wyniki pomiarów mają, na obecnym etapie, w szczególności wartość dydaktyczną (edukacyjną) ze względu na wyrazistą poglądowość budowy układu zasilania, jak i sposób pomiarów występujących w nim zjawisk. Światowe firmy zajmujące się transportem lotniczym, jak i kolejowym, część procesów szkoleniowych dla pilotów czy maszynistów realizują z wykorzystaniem urządzeń treningowych – symulatorów (makiety kokpitów). Zastosowanie tych pomocniczych obiektów ewidentnie obniża koszty szkoleń oraz pozwala zachować bezpieczeństwo przewozów wymienionymi środkami transportu. Nie ma co do tego faktu wątpliwości.

Omówiona powyżej makieta ma charakter prototypowy. Została ona zbudowana w oparciu o pomysł, któ-



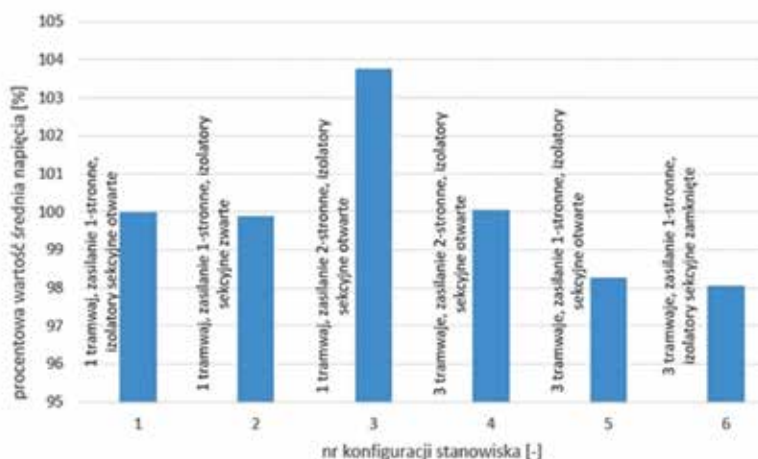
Rys. 4. Przebiegi czasowe napięć na odbierakach tramwajów: a) tramwaj rzeczywisty, b) ROT na makiiecie (model)



Rys. 5. Napięcie na pantografie dla różnych długości odcinków izolowanych



Rys. 6. Napięcie na pantografie dla różnych typów zasilania



Rys. 7. Procentowa wartość średnia napięcia dla różnych konfiguracji stanowiska

ry zaanonsowano w pierwszej części artykułu. Powstanie tego stanowiska było możliwe również dzięki entuzjazmowi i zaangażowaniu zespołu związanego z jego budową. Czas robocizny to 350 godz., koszty zakupu materiałów to 2 tys. zł. Pomimo że wykorzystane środki finansowe były bardzo skromne, a czas realizacji mocno ograniczony, możliwości pomiarowe do celów dydaktycznych, a nawet częściowo badawczych, są szersze niż to pokazano, ale ze względu na ograniczenia edytorskie nie zostały zaprezentowane.

Prowadzone pomiary na stanowisku laboratoryjnym (makięcie) pozwalają również zorientować się w mankamentach zbudowanego modelu. Jest to jednak typowa sytuacja w przypadku prototypów.

Odpowiednio zaprojektowane i zrealizowane modele układów zasilania mogą być przydatne m.in. przy ocenie propozycji zmian mogących prowadzić do ograniczenia straty mocy (energii) w tych układach, a także efektów ekologicznych ich zastosowania [3, 7, 5, 6]. Dodatkowo, w przypadku rzeczników patentowych czy też osób mających podejmować decyzje dotyczące np. kontynuacji tej tematyki, fizyczna postać proponowanego rozwiązania technicznego jest bardziej ceniona i przekonująca niż tylko modele symulacyjne.

W oparciu o zdobyte doświadczenia opracowywane są koncepcje budowy kolejnych modeli układów zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego (DC), a także symulatorów obciążeń występujących w tych układach. Celem tych działań jest możliwość uzyskiwania wysokiego stopnia odzwierciedlenia stanów rzeczywistych. Związane jest to np. z koncepcją uwzględniania różnych odległości międzyprzystankowych, co nie wydaje się trudne, ale również charakterystyk trakcyjnych poruszających się pojazdów (ROT), jak i profili pionowych i poziomych rzeczywistych torowisk, dla których będą przeprowadzane badania laboratoryjne.

## Bibliografia:

1. Chrabąszcz I., Potempa M., Prusak J., *Zmienność napięcia na odbieraku tramwaju – analiza wybranych przypadków metodą symulacji*, „Technika Transportu Szynowego” 2013, nr 1.
2. Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik S., *Trakcja elektryczna prądu stałego. Układy zasilania, Podręcznik INPE dla elektryków*, zeszyt nr 27, Kraków–Bełchatów 2009.

3. Chrabąszcz I., Prusak J., Stecyk M., *Rozkład obciążeń zasilaczy sieci trakcyjnej tramwajowej przy zmianie konfiguracji zasilania*, „Technika Transportu Szynowego” 2015, nr 9.
4. Czuchra W., Kobielski A., Prusak J., *Zmienność napięcia w tramwajowej sieci trakcyjnej – próba oceny metodą statystyczną*, Materiały drukowane XI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej z zakresu Trakcji Elektrycznej „SEMTRAK” 2004, 21–23 października 2004, Kraków–Zakopane.
5. Drapik S., Markowski P., Prusak J., Woszczyzna B., *Analiza obciążeń zespołów prostownikowych przed i po wystąpieniu przeciążenia na przykładzie wybranej tramwajowej podstacji trakcyjnej*, „Technika Transportu Szynowego” 2015, nr 12.
6. Drapik S., Markowski P., Prusak J., Woszczyzna B., *Tramwajowe podstacje trakcyjne – wybrane problemy bezpieczeństwa ekologicznego w świetle oceny ich obciążeń*, „Logistyka” 2015, nr 4.
7. Jagiełło A. S., Chrabąszcz I., Drapik S., Dudzik M., Kobielski A., Prusak J., *System do aktywnej regulacji obciążenia zespołów prostownikowych kolejowej podstacji trakcyjnej. Sposób aktywnej regulacji obciążenia zespołów prostownikowych kolejowej podstacji trakcyjnej*, Rozwiązanie zarejestrowane w Urzędzie Patentowym RP pod numerem P.511511, objęte ochroną prawną od dnia 10.03.2015 r.
8. Międzynarodowy Związek Kolei (UIC), Karta nr 600: Trakcja elektryczna z górnym przewodem jezdny.
9. Polska Norma PN-EN 50163, 2006: Zastosowania kolejowe – Napięcia zasilania systemów trakcyjnych.

## Autorzy:

inż. **Martyna Gunia** – studentka; Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki; Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej

inż. **Maciej Kozik** – stażysta; Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki; Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej; Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem

dr inż. **Janusz Prusak** – adiunkt; Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki; Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej; Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem

mgr inż. **Bartosz Woszczyzna** – asystent; Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki; Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej; Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem

## Voltage variability on the streetcar collector – Research using a laboratory model

The article presents a laboratory model of DC traction substation (DC) and its supply area. A connection system characteristic for tram traction was used. Substation load is caused by models of mobile traction loads e.g. Trams. Measurements of voltages and currents on the substation and in the traction network and the movement of mobile traction loads are carried out under the control of a microprocessor system and computer software. There are exemplary results of several voltage measurements on the collector of mobile traction loads for various traction network connections. Formulated the following comments on the construction of models of electric traction power supply systems DC.

**Key words:** traction network, streetcar collector, power supply.