

KRZYSZTOF KARWOWSKI, MIROSŁAW MIZAN, JACEK SKIBICKI,
PRZEMYSŁAW PAZDRO*

BADANIA EKSPERYMENTALNE PRZY WYKORZYSTANIU UKŁADU MONITORINGU DYNAMICZNEGO ODDZIAŁYWANIA ODBIERAKA PRĄDU NA SIEĆ TRAKCYJNĄ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF CURRENT COLLECTOR DYNAMIC INFLUENCE FOR OVERHEAD CONTACT LINE USING FIELD TEST STAND

Streszczenie

Opracowany układ monitoringu parametrów technicznych odbieraków prądu ma na celu wykrycie uszkodzonych lub źle wyregulowanych odbieraków w pojazdach znajdujących się w warunkach ruchowych na linii kolejowej. Ocenę stanu technicznego oparto na pomiarze i analizie uniesienia dynamicznego przewodów sieci jezdnej w momencie przejścia odbieraka pojazdu przez punkt pomiarowy. Omówiono zasadę działania stanowiska monitoringu, jego skalowanie oraz kryteria oceny wyników pomiarów. Przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów dla odbieraków o poprawnych parametrach i odbieraków nieprawidłowo wyregulowanych. Praktyczne zastosowanie prezentowanego systemu monitorowania umożliwia zwiększenie bezpieczeństwa w ruchu kolejowym i obniżenia kosztów eksploatacji.

Słowa kluczowe: trakcja elektryczna, monitoring techniczny, odbieraki prądu

Abstract

In this paper the test results of monitoring system for dynamic influence between current collectors and overhead contact line in service conditions are presented. The system is based on the measure of contact wire vertical movements during the train passes the sensor location. The procedure of system scaling is also described and the criteria of result evaluation which comply the train speed are discussed. The exemplary results of trains with proper and wrong adjustments of current collectors static force are compared. The test results proved that about ten percent of all current collectors registered by the system have the static force value too large devoted from the standard value. It may lead to the rapid wear of current collector slipper or contact wire and – in specific conditions – even to the failure and traffic breakdown. Therefore the practical application of presented monitoring system would increase the railway system safety and reduce the exploitation cost.

Keywords: electric traction, technical monitoring, current collectors

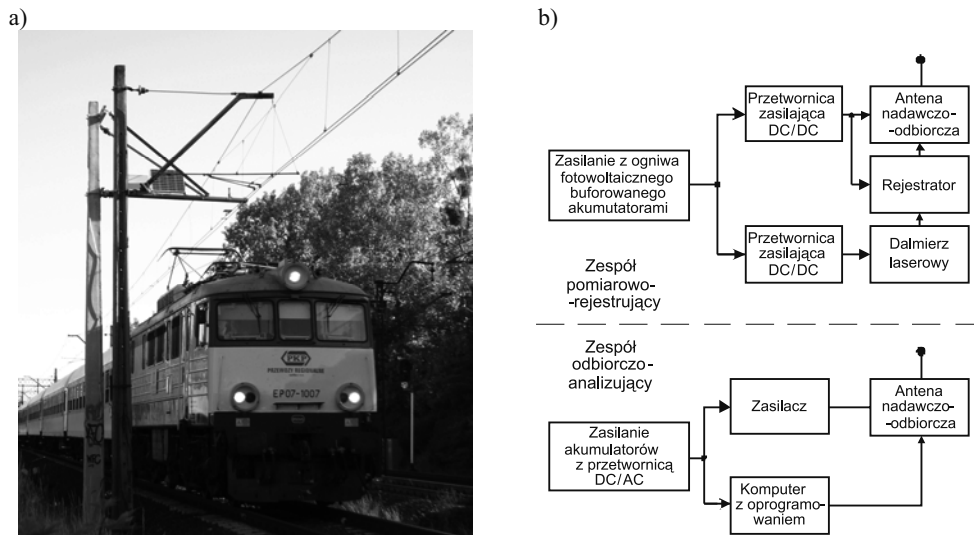
* Dr hab. inż. Krzysztof Karwowski, prof. PG, dr inż. Jacek Skibicki, prof. dr hab. inż. Przemysław Pazdro, Dr inż. Mirosław Mizan, Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska.

1. Wstęp

W Zakładzie Trakcji Elektrycznej Politechniki Gdańskiej opracowano układ służący do miejscowego pomiaru oddziaływania odbieraków na sieć trakcyjną. Pomiar jest realizowany w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych na linii kolejowej o dużym natężeniu ruchu, w odpowiednio wybranym miejscu, w którym pociągi poruszają się ze znaczną prędkością, zaś profil toru i stan torowiska minimalizują wpływ ruchów pudła lokomotywy na wyniki. Podczas przejazdu pociągu rejestrowane są zmiany uniesienia przewodu jezdniego pod wpływem siły wywieranej przez odbierak. Ich analiza ma na celu wykrycie uszkodzonych lub źle wyregulowanych odbieraków w pojazdach znajdujących się już w ruchu. W referacie pt. „Technika pomiarowa dla monitoringu dynamicznego oddziaływania odbieraka prądu w warunkach eksploatacyjnych” opisano przyjętą metodykę pomiarów, konstrukcję stanowiska i procedury analizy wyników [1]. Niniejszy referat zawiera przykładowe wyniki przeprowadzonych badań, ich analizę oraz wypływające z nich wnioski.

2. Metodyka badań

Urządzenie monitoringu zostało zainstalowane na dodatkowym słupie wsporczym, posadowionym w pobliżu punktu podwieszenia sieci. Na rys. 1a przedstawiono widok stanowiska wraz z przejeżdżającym pociągiem. Urządzenia pomiarowo-rejestrujące są zasilane z zestawu akumulatorów ładowanych baterią słoneczną. W skład układu pomiarowego wchodzi: dalmierz



Rys. 1. Układ pomiarowo-rejestrujący: a) widok układu wraz z pociągiem przejeżdżającym przez stanowisko pomiarowe; b) poglądowy schemat blokowy

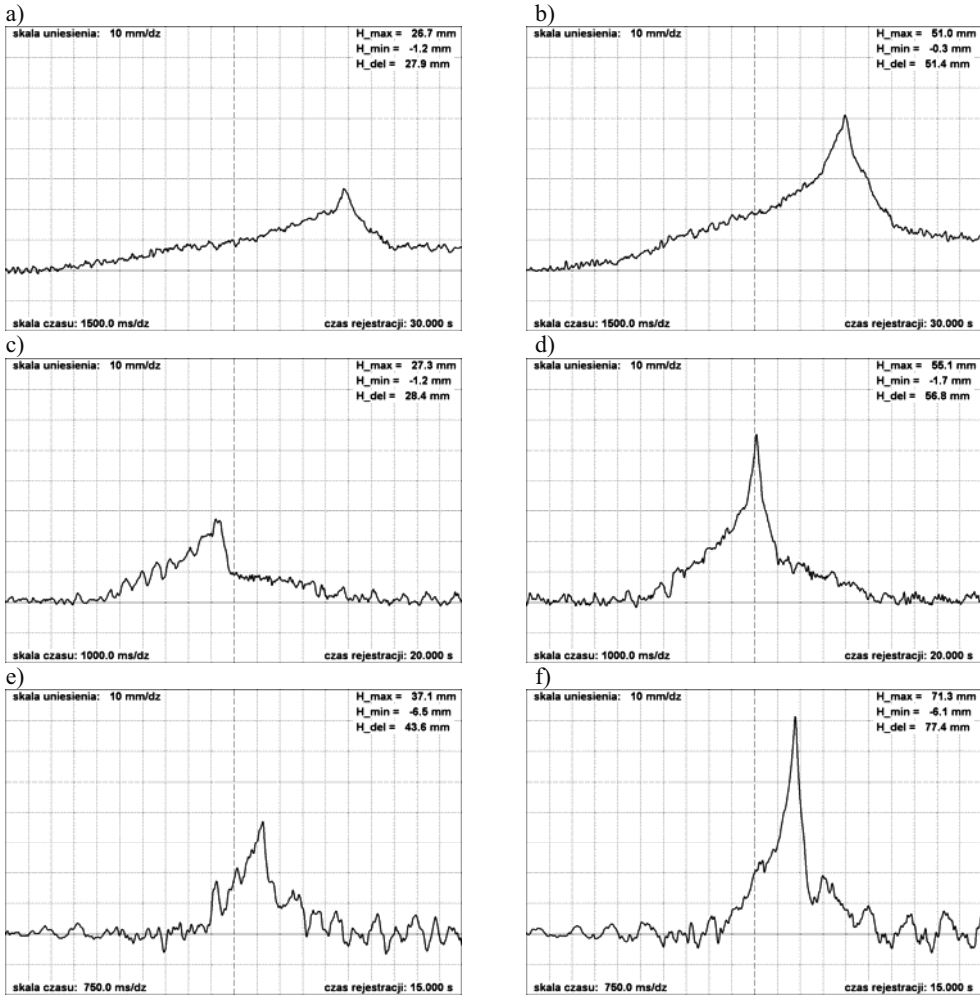
Fig. 1. Measurement – recording system: a) the train passing through measuring position; b) block diagram

laserowy wraz z płytką refleksyjną, rejestrator cyfrowy, antena bezprzewodowej transmisji danych oraz zasilacze. Poglądowy schemat blokowy układu przedstawiono na rys. 1b. Komputer sterujący pomiarami i analizujący wyniki wraz z punktem dostępowym sieci bezprzewodowej – anteną nadawczo-odbiorczą zapewniającą łączność z układem pomiarowym na słupie sieci – mogą być umieszczone w budynku podstacji lub w dowolnym miejscu zapewniającym uzyskanie niezakłóconej transmisji danych. Ze względu na duży zasięg anten oraz możliwość użycia komputera typu notebook do sterowania i odbioru danych, stanowisko sterująco-analizujące ma także charakter mobilny. Program obsługujący pomiary umożliwia rejestrację danych dla bardzo długich przedziałów czasu. Aby ułatwić proces analizy wyników i identyfikacji pojazdów, wybierano „ręcznie” wycinki plików danych odpowiadające przejazdowi pojazdu przez stanowisko monitorujące. Przetwarzanie wyników pomiarów zrealizowano za pomocą specjalnie utworzonego programu do ich analizy.

3. Badania wstępne i określenie kryteriów oceny

Badania wstępne urządzenia pomiarowo-rejestrującego wykonano na modelu laboratoryjnym [2], następnie przeprowadzono badania, które miały na celu weryfikację przyjętych założeń projektu w warunkach rzeczywistej sieci trakcyjnej i taboru. Ponadto konieczne było uzyskanie wartości odniesienia dla przemieszczenia przewodu w funkcji siły nacisku statycznego odbieraka i prędkości pojazdu. Badania przeprowadzono, wykonując serie przejazdów lokomotywą o odpowiednio wyregulowanych odbierakach, każdy o innej, ściśle określonej wartości siły nacisku statycznego odbieraka – odpowiednio 80 N oraz 130 N. Dla każdego odbieraka przeprowadzono przejazdy przez stanowisko z różnymi prędkościami, tj. w zakresie od 10 do 100 km/h. Na rysunkach 2a i 2b przedstawiono wyniki, przetworzone za pomocą utworzonego do ich analizy programu, uzyskane dla obydwu odbieraków w warunkach quasi-statycznych, tzn. dla prędkości ok. 10 km/h; widoczny jest silny wpływ nacisku odbieraka na względne uniesienie przewodu. Rysunki 2c-f obrazują wpływ prędkości jazdy, wywołującej dodatkową składową aerodynamiczną siłę na wartość uniesienia przewodu. Przejazdy przeprowadzono z prędkościami 50 i 100 km/h.

Przeprowadzone badania skalujące pozwoliły na określenie zależności maksymalnego uniesienia przewodu jezdnego (względem położenia spoczynkowego – bez docisku odbieraka pojazdu) od prędkości i statycznej siły nacisku. Wykresy przedstawiono na rys. 3. Krzywa 1 odpowiada wyznaczonemu empirycznie wykresowi dla siły 80 N, krzywa 3 – dla siły 130 N. Dodatkowo aproksymacyjnie wyznaczono charakterystykę odpowiadającą statycznej sile nacisku równej 100 N – krzywa 2, sile 70 N – krzywa 1a (linia przerywana) oraz sile 110 N – krzywa 2a (linia przerywana). Wyznaczenie dodatkowych linii wynika z normatywnych sił nacisku statycznego dla stosowanych powszechnie w taborze PKP odbieraków AKP-4E i 5ZL [3, 4] oraz oczekiwanego poziomu błęd pomiaru, wynikającego ze zmiennych warunków, np. dodatkowych ruchów przewodu wywołanych wiatrem, niewielkich drgań słupa pomiarowego i konstrukcji wysięgnika z czujnikiem pomiarowym.

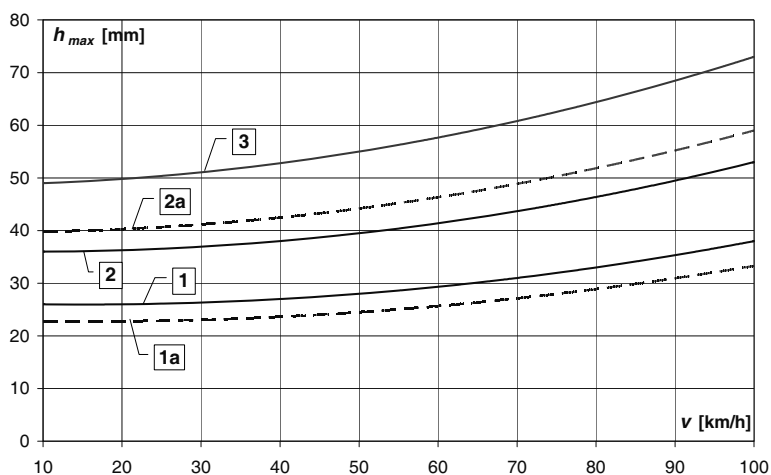


Rys. 2. Przebiegi uniesienia przewodu przy przejeździe lokomotywy z różnymi prędkościami v i siłą nacisku statycznego odbieraka F_{st} : a) $v = 10$ km/h, $F_{st} = 80$ N; b) $v = 10$ km/h, $F_{st} = 130$ N; c) $v = 50$ km/h, $F_{st} = 80$ N; d) $v = 50$ km/h, $F_{st} = 130$ N; e) $v = 100$ km/h, $F_{st} = 80$ N; f) $v = 100$ km/h, $F_{st} = 130$ N

Fig. 2. Waveform of contact wire displacement during locomotive pass with different velocities v and static contact force of current collector F_{st} : a) $v = 10$ km/h, $F_{st} = 80$ N; b) $v = 10$ km/h, $F_{st} = 130$ N; c) $v = 50$ km/h, $F_{st} = 80$ N; d) $v = 50$ km/h, $F_{st} = 130$ N; e) $v = 100$ km/h, $F_{st} = 80$ N; f) $v = 100$ km/h, $F_{st} = 130$ N

Należy uwzględnić także fakt, iż sam przejazd pojazdu z uniesionym odbierakiem pobudza sieć do drgań o częstotliwości rzędu 0,7–0,8 Hz. Kolejnym czynnikiem mogącym zwiększać błąd pomiaru są ruchy pudła pojazdu, oddziałujące za pośrednictwem odbieraka na sieć. Wskutek tych zjawisk w miejscu umieszczenia czujnika, w którym względne prze-

mieszczenie przewodu jezdnego jest wielkością stanowiącą kryterium oceny, odbierak może znajdować się względem pudła pojazdu w ruchu wznoszącym lub opadającym. Powoduje to, że również siły tarcia w węzle konstrukcyjnym odbieraka mogą wpływać na chwilową wartość nacisku odbieraka na sieć. Nominalna średnia siła nacisku dla podanych odbieraków AKP-4E i 5ZL wynosi 90 N z tolerancją ± 5 N lub ± 3 N, zaś dopuszczalna podwójna siła tarcia 25 N lub 20 N. Można zatem przyjąć w uproszczeniu, że dla odbieraka AKP-4E statyczna siła nacisku na sieć – przy dopuszczeniu maksymalnych odchyień od wartości nominalnej – może zawierać się w zakresie od 72,5 N do 107,5 N. Ze względu na wspomniane dodatkowe czynniki zakłóceniewe, pasmo, w którym na wykresie winny mieścić się zmierzone wartości dla poprawnie wyregulowanych odbieraków, nieznacznie poszerzono, co daje w efekcie strefę pomiędzy liniami 1a oraz 2a. Odbieraki, dla których współrzędne pomiaru nie mieszczą się w poszerzonej strefie wartości dozwolonych, winny być rejestrowane jako elementy wymagające pilnego i dokładnego sprawdzenia w lokomotywni. W przypadku gdy przekroczenie jest znaczne, należałoby podjąć działania w trybie natychmiastowym, zmierzające do wyłączenia niesprawnego odbieraka. Bardziej ostre kryterium dla odbieraka 5ZL, nie uwzględniające możliwych odchyień dla wartości średniej nacisku statycznego, prowadzi do strefy pomiędzy liniami 1 i 2.



Rys. 3. Wykres zależności maksymalnego względnego uniesienia przewodu h_{max} od prędkości v dla różnych wartości nacisku statycznego odbieraka; zależności zmierzone: 1 – dla 80 N, 3 – dla 130 N; wyznaczone aproksymacyjnie: 1a – dla 70 N, 2 – dla 100 N, 2a – dla 110 N

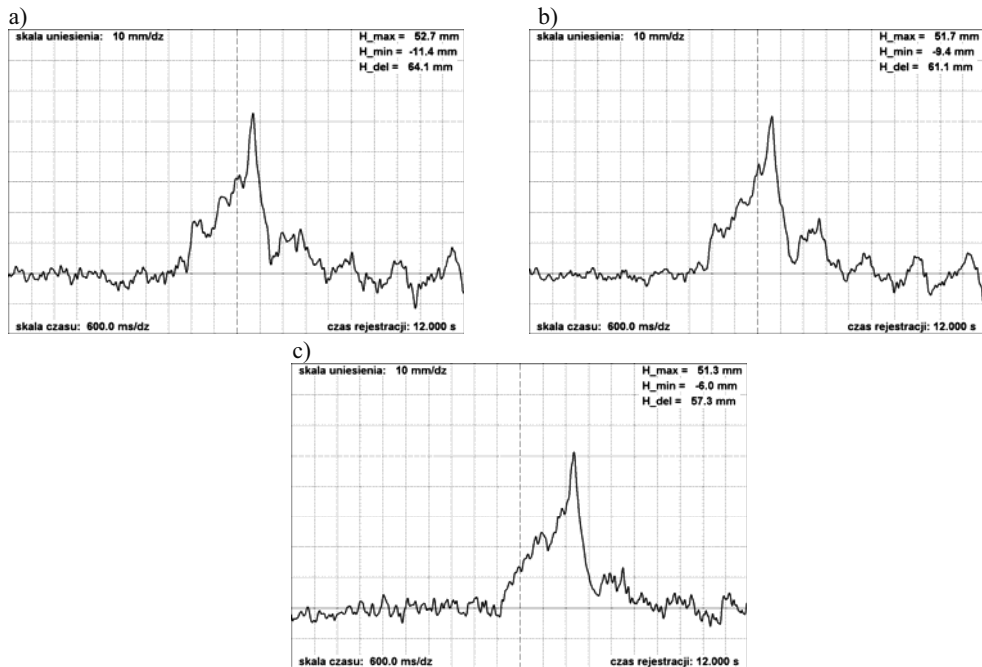
Fig. 3. The graph of the maximum relative displacement of contact wire h_{max} in relation to velocity v for different values of current collector static contact force; measuring dependences: 1 – for 80 N, 3 – for 130 N; determine by approximation: 1a – for 70 N, 2 – for 100 N, 2a – for 110 N

Do praktycznego wykorzystania wyników pomiarów istotna jest ich powtarzalność. Podczas prób skalujących prowadzono po kilka przejazdów w tych samych warunkach, uzyskując rozbieżności maksymalnego uniesienia mieszczące się w zakresie 3 mm. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe przebiegi uzyskane podczas badań w normalnym ruchu kolejowym dla tej samej lokomotywy z tym samym odbierakiem, prowadzącej pociąg pasa-

żerski w trzech kolejnych dniach – różnica maksymalnego uniesienia wynosi ok. 2 mm. Również w przypadku kilku innych zarejestrowanych w krótkim odstępie czasu lokomotyw stwierdzono różnice wyniku nie przekraczające 4 mm, co jest błędem nieistotnym z punktu widzenia głównego celu stanowiska, tj. wykrywania znacznych odstępstw od właściwych nastaw odbieraka.

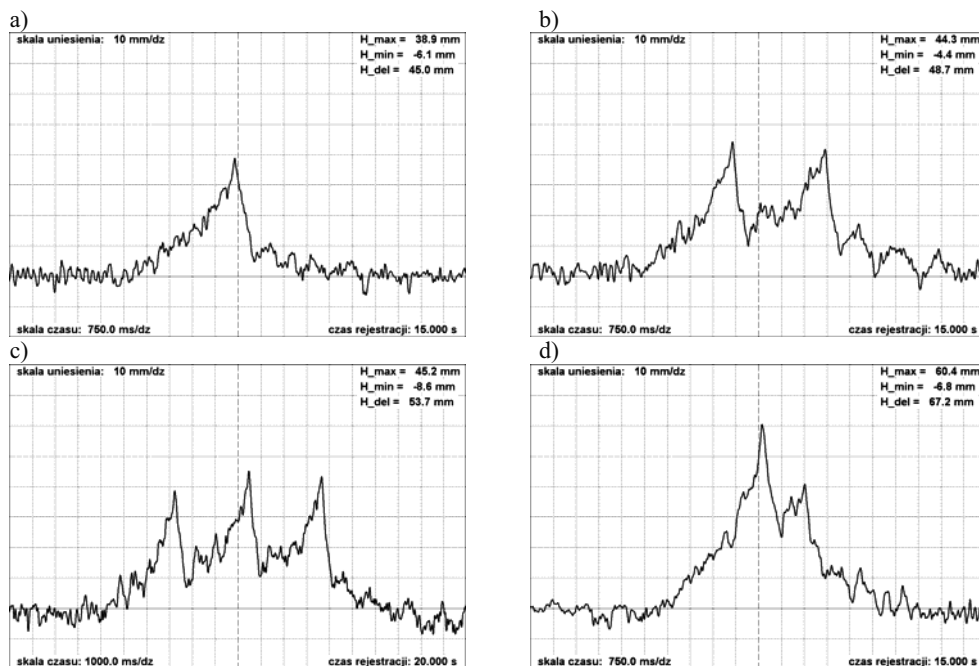
4. Przykładowe wyniki badań w ruchu liniowym

W kolejnym etapie badań prowadzono regularnie pomiary oddziaływań odbieraków na sieć dla pojazdów trakcyjnych obsługujących normalny ruch rozkładowy. Poniżej przedstawiono najbardziej charakterystyczne wyniki. Ponieważ prędkość wpływa na uniesienie przewodu, jest więc istotna dla oceny wyniku. Była ona szacowana na podstawie analizy przebiegu zmian uniesienia przewodu w czasie. Porównując wyniki tego sposobu określenia prędkości z rzeczywistą prędkością mierzoną podczas jazd skalujących, można stwierdzić, że błąd metody nie przekracza 8 km/h. Prędkość większości rejestrowanych przejazdów zawierała się w granicach od 75 km/h do 105 km/h, a jedynie dla nielicznych pociągów towarowych była niższa.



Rys. 4. Przebiegi uniesienia przewodu przy przejeździe pociągu pasażerskiego prowadzonego tą samą lokomotywą serii ET22 z tym samym uniesionym odbierakiem, w normalnym ruchu liniowym z prędkością ok. 100 km/h: a) pierwszy pomiar, b) drugi pomiar, c) trzeci pomiar

Fig. 4. Waveform of contact wire displacement during passenger train pass pull by locomotive type ET22 (the same unit) with the same active current collector, in normal exploitation with speed about 100 km/h: a) first measurement, b) second measurement, c) third measurement



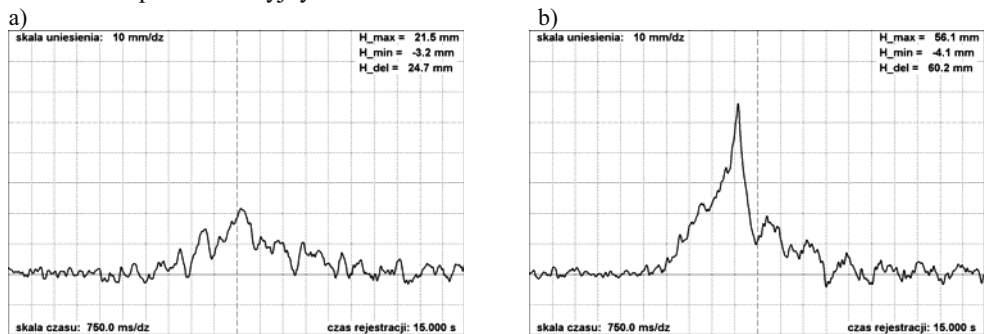
Rys. 5. Typowe przebiegi uniesienia przewodu przy prawidłowo wyregulowanych odbierakach dla pociągów: a) towarowego prowadzonego przez lokomotywę serii 181 o prędkości ok. 65 km/h; b) złożonego z dwóch zespołów trakcyjnych EN57 o prędkości ok. 75 km/h; c) złożonego z trzech zespołów trakcyjnych EN57 o prędkości ok. 70 km/h; d) towarowego prowadzonego przez lokomotywę dwuczłonową serii ET40 o prędkości ok. 70 km/h

Fig. 5. Typical waveform of contact wire displacement for correct adjusted current collectors: a) freight train pull by locomotive 181 type with speed about 65 km/h, b) passenger train contains double three car unit EN57 with speed about 75 km/h, c) passenger train contains triple three car unit EN57 with speed about 70 km/h, d) freight train pull by double unit loco type ET40 with speed about 70 km/h

Rysunek 5 przedstawia najbardziej typowe przebiegi uniesienia przewodu z poprawnie wyregulowaną siłą nacisku odbieraków podczas przejazdu pociągów. Dla lokomotywy z jednym uniesionym odbierakiem (rys. 5a) ocena jego oddziaływania na przewód jezdny może być zrealizowana bezpośrednio w oparciu o wyznaczone w procesie skalowania strefy dozwolone dla współrzędnych wyniku (por. rys. 3). W przypadku pociągu złożonego z zespołów trakcyjnych EN57 (rys. 5b-c) kryteria te będą nadal poprawne, gdyż w obszarze przęsła zawieszenia sieci, na którym umieszczono układ pomiaru uniesienia przewodu, znajduje się zawsze tylko jeden aktywny odbierak. Wpływ na wartość innych odbieraków w składzie pociągu, znajdujących się w dużej odległości od czujnika, poza sąsiadującymi z miejscem pomiaru punktami podwieszenia, jest minimalny również dzięki usztywniającemu działaniu tychże punktów podwieszenia. Wniosek taki potwierdzają uzyskane wyniki badań. Dla lokomotywy dwuczłonowej z dwoma uniesionymi odbierakami znajdującymi się w niewielkiej odległości od siebie (rys. 5d) uzyskuje się większe uniesienie przewodu przy przejeździe przez punkt pomiarowy pierwszego odbieraka. Drugi odbierak znajduje się

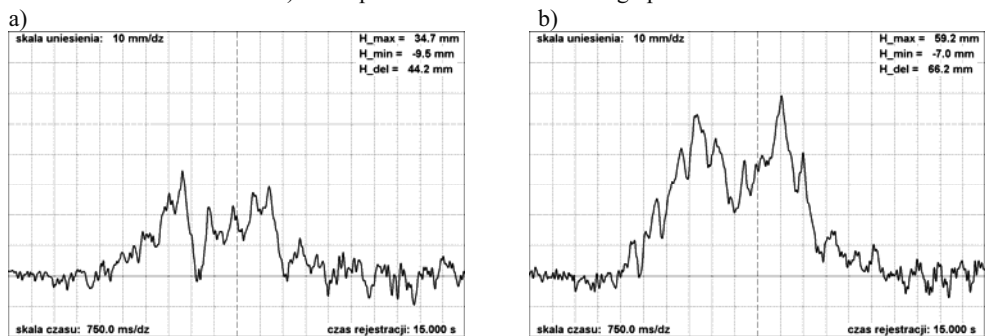
wówczas na tym samym prześle zawieszenia, zatem ich oddziaływanie się sumuje i następuje zwiększone wypieranie sieci trakcyjnej. Umieszczenie stanowiska sprawia, że w momencie, gdy drugi odbierak znajduje się pod punktem pomiarowym, pierwszy jest już na sąsiednim prześle zawieszenia, zatem wpływ jego oddziaływania jest znacznie zmniejszony. Dotyczy to wszystkich pojazdów, w których odległość między aktywnymi odbierakami jest mniejsza niż długość prześła zawieszenia, w tym także lokomotyw pracujących w trakcji ukrotnionej. Do miarodajnej oceny odbieraków w takich pojazdach należałoby przeprowadzić badania empiryczne, pozwalające określić odpowiednie współczynniki korekcyjne.

Na rys. 6 przedstawiono przebiegi uzyskane dla lokomotyw, wskazujące wyraźnie na złą regulację odbieraka, na rys. 7 natomiast analogiczne przypadki dla pociągu złożonego z dwóch zespołów trakcyjnych.



Rys. 6. Przebiegi uniesienia przewodu jezdnego przy źle wyregulowanych odbierakach dla pociągów pasażerskich prowadzonych przez lokomotywę serii EP07: a) o prędkości ok. 75 km/h – zbyt mały nacisk; b) o prędkości ok. 85 km/h – zbyt duży nacisk

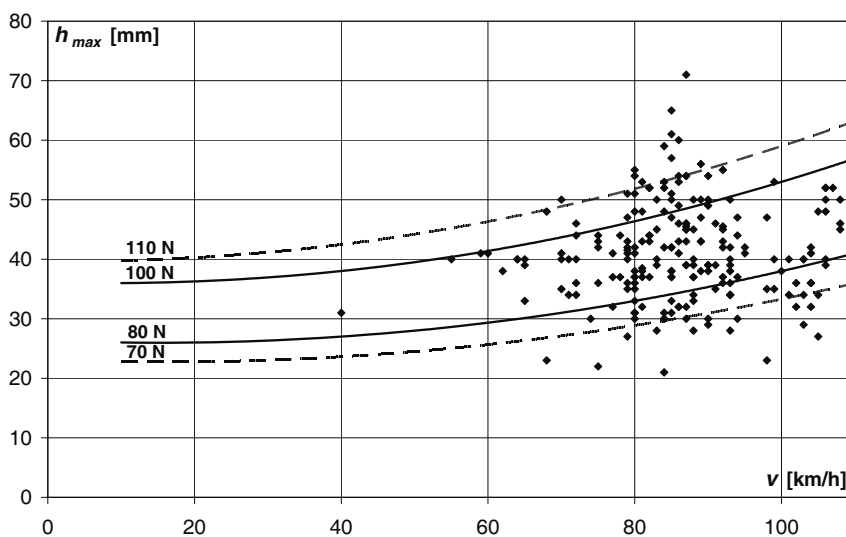
Fig. 6. Waveform of contact wire displacement for improperly adjusted current collectors for passenger trains pull by locomotive type EU07: a) with speed about 75 km/h – too low pressure, b) with speed about 85 km/h – to high pressure



Rys. 7. Przebiegi uniesienia przewodu jezdnego przy źle wyregulowanych odbierakach dla pociągów złożonych z 2 zespołów trakcyjnych EN57 o prędkości ok. 85km/h: a) zbyt mały nacisk – zwłaszcza drugiego odbieraka; b) zbyt duży nacisk

Fig. 7. Waveform of contact wire displacement for improperly adjusted current collectors for passenger trains contains double three car unit EN57 with speed about 85 km/h: a) to low pressure – specially of second current collector, b) to high pressure

Aby ocenić praktyczne znaczenie zaproponowanej metody monitoringu oddziaływania dynamicznego odbieraków na sieć, dokonano próby statystycznego ujęcia otrzymanych dotychczas wyników. Na rys. 8 przedstawiono zbiorczo uzyskane wartości dla zarejestrowanych ok. 200 odbieraków, przy czym każdy wynik jest reprezentowany na wykresie jako punkt, którego współrzędne odpowiadają wartości prędkości ruchu i zmierzonego maksymalnego uniesienia przewodu jezdnego. Punkty te naniesiono na wyznaczony wcześniej obszar wartości normatywnych (por. rys. 3). Przyjmując poszerzony zakres pasma dozwolonego, ograniczony liniami przerywanymi, uzyskano ok. 10% udział wyników nie mieszczących się w tej strefie; ze względu na identyczne rezultaty dla niektórych pomiarów, wybrane punkty na rys. 8 odpowiadają wynikom dla kilku różnych odbieraków. Na rysunku nie uwzględniono wyników dla lokomotyw dwuczłonowych, które winny być oceniane według zmodyfikowanych kryteriów.



Rys. 8. Zestawienie wyników uzyskane dla pociągów w ruchu liniowym – na tle linii wyznaczających zakres wartości dopuszczalnych punktowo oznaczono współrzędne wyników; linie ciągłe ograniczają obszar o zastrzonych kryteriach oceny (zakres siły od 80 N do 100 N), a linie przerywane ograniczają obszar, poza którym wynik pomiaru nie powinien się znaleźć, niezależnie od chwilowych warunków pracy i typu odbieraka (zakres siły od 70 N do 110 N)

Fig. 8. Summary of the monitoring results findings for normal traffic trains – points shows results coordinates, lines marks acceptable values – continuous lines limits the area of more restricted criteria (force between 80 N and 100 N), broken lines limits the area of less restricted criteria (force between 70 N and 110 N), it should be no results below 70 N line and above 110 N line.

Należy jednak podkreślić, że wyznaczenie w pełni wiarygodnego kryterium oceny oddziaływania odbieraka na sieć w prezentowanym układzie wymaga przeprowadzenia długiej serii badań. Wyniki uzyskane za pomocą stanowiska byłyby weryfikowane poprzez porównanie z wynikami pomiarów wykonanych innymi metodami, a następnie opracowane statystycznie. Tego typu prace są już obecnie prowadzone.

5. Wnioski

Jak wynika z przedstawionego na rys. 8 sumarycznego wyniku dotychczasowych badań, niewłaściwa regulacja odbieraków jest zjawiskiem często występującym w eksploatacji. W niektórych przypadkach uzyskano wynik, wskazujący na znaczne odstępstwo rzeczywistej siły nacisku od wartości nominalnych, co może potencjalnie prowadzić do złej współpracy odbieraka z siecią. Skutkuje to przyspieszonym zużyciem ślizgacza i przewodu, a może nawet doprowadzić do awarii podczas jazdy. Opracowane stanowisko umożliwia wykrycie pojazdu z niesprawnym odbierakiem prądu. Ewentualne wdrożenie systemu umożliwiłoby zwiększenie poziomu bezpieczeństwa w ruchu kolejowym i obniżenie kosztów eksploatacji taboru i sieci trakcyjnej. Układ pomiarowy w wersji użytkowej powinien być dodatkowo wyposażony w niezawodny system wykrywania, pomiaru prędkości oraz identyfikacji pojazdu, np. przez system identyfikatorów chipowych. Wraz z zastosowaniem bardziej wydajnego źródła zasilania pozwoliłyby na całkowicie automatyczną i niemal bezobsługową pracę systemu w trybie ciągłym.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy.

Literatura

- [1] Karwowski K., Mizan M., Skibicki J., Pazdro P., *Technika pomiarowa dla monitoringu dynamicznego oddziaływania odbieraka prądu w warunkach eksploatacyjnych*, Konferencja Semtrak'2008.
- [2] Pazdro P., Karwowski K., Mizan M., Skibicki J., *Koncepcja monitoringu dynamicznego oddziaływania odbieraka prądu w warunkach eksploatacyjnych*, TTS 1-2/2008.
- [3] *Dokumentacja technologiczna systemu utrzymania. Lokomotywa elektryczna typu 4E, 303E i 102E; serii EU06, EU07, EP07 i EP08*, PKP CARGO S.A. 2002.
- [4] Polska Norma PN-K-91001:1997, *Elektryczne pojazdy trakcyjne – Odbieraki prądu – Wymagania i metody badań*.