

Krzysztof Karwowski, Mirosław Mizan, Marian Ochal, Kazimierz Woźniak

Analiza wyników monitoringu odbieraków prądu w warunkach eksploatacyjnych na linii kolejowej

W celu oceny stanu technicznego odbieraków prądu prowadzone jest ich monitorowanie podczas przejazdu pociągu przez stanowisko kontrolne na linii kolejowej. Stanowisko monitoringu rejestruje uniesienie przewodów jezdnych wywołane oddziaływaniem odbieraka, prędkość pojazdu i jego dane identyfikacyjne. Na podstawie pomiarów i kryteriów oceny następuje klasyfikacja stanu technicznego odbieraków. Przeprowadzono weryfikację wyników monitoringu. Podano zestawienie statystyczne prowadzonych pomiarów.

W trakcji elektrycznej zasadnicze znaczenie ma system odbioru prądu z sieci jezdnej przez poruszające się pojazdy. Wynika to z szeroko rozumianego bezpieczeństwa, jakości odbioru prądu i z tym związanej niezawodności eksploatacyjnej. W celu zapewnienia prawidłowego działania systemu obowiązują odpowiednie przepisy, np. *Instrukcja utrzymania sieci trakcyjnej (let-2e)* oraz *Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności (TSI)*. W szczególności należy dokonywać pomiarów współpracy sieci jezdnej i pantografu poprzez pomiar uniesienia przewodu jezdnych pod konstrukcjami wsporczymi podczas przejazdu pantografu pociągu [8].

Pomimo wdrożenia urządzeń i systemów do diagnostyki sieci jezdnej – np. system DST [1], jak i do badania odbieraków prądu w zakładach taboru [2, 3], należy wziąć pod uwagę fakt, że uszkodzenia odbieraków prądu powstają po wyjeździe lokomotywy lub zespołu trakcyjnego na trasę. Ponadto po otwarciu rynku transportowego, na liniach PLK pojawiły się pojazdy różnych przewoźników. W interesie właściciela infrastruktury leży więc wprowadzenie systemu kontroli stanu technicznego odbieraków na linii. Budowy i wdrożenia takiego systemu podjął się zespół z Katedry Inżynierii Elektrycznej Transportu Politechniki Gdańskiej wraz z Biurem Energetyki PKP Polskich Linii Kolejowych. Przy projektowaniu stanowiska monitoringu odbieraków prądu (MOP) wykorzystano doświadczenia zebrane podczas realizacji wcześniejszego projektu [3].

Należy podkreślić, że monitoring odbieraków prądu jest stosowany również w wielu innych zarządach kolejowych [4–7]. W jednej z najnowszych publikacji [7] prezentowane jest urządzenie kolei szwajcarskich. Urządzenie pomiarowe jest wprawdzie inne, ale efekt jest taki sam, jak na stanowisku MOP.

Stanowisko monitoringu odbieraków prądu

Zasada monitoringu stanu technicznego odbieraków prądu polega na pomiarze uniesienia przewodów jezdnych podczas przejazdu pociągu [3]. Na podstawie zmierzonej wartości maksymalnego uniesienia przewodów i prędkości pojazdu oszacowuje się warto-

ści siły statycznej danego odbieraka. Wyznaczenie siły statycznej umożliwia łatwe skontrolowanie odbieraka podczas przeglądów technicznych w zakładach taboru.

Kryterium oceny stanu technicznego odbieraków sprowadza wynik obliczonej siły nacisku statycznego do danego przedziału o 10% odchyleniu od wartości nominalnej siły statycznej. Przejścia te nazwano alarmami o następujących symbolach:

- Alarm 0, oznacza to poprawną regulację odbieraka;
- Alarm 1, należy zwrócić uwagę na wyniki ponownych rejestracji na stanowisku;
- Alarm 2, wskazana jest kontrola nastaw odbieraka w zakładach taboru;
- Alarm 3, należy jak najszybciej dokonać kontroli i regulacji odbieraka.

Rosnący poziom alarmu oznacza większe odchylenie siły od wartości znamionowej. Do oznaczeń wprowadzono dodatkowo literę wskazującą kierunek odchylenia: G – oznacza odchylenie w górę, D – wskazuje odchylenie w dół, np. alarm 3D wskazuje na najniższe wartości siły. Poziomy alarmów wyznaczane są automatycznie przez program komputerowy. Operator ma podgląd fotografii pojazdu, co umożliwia jego identyfikację.

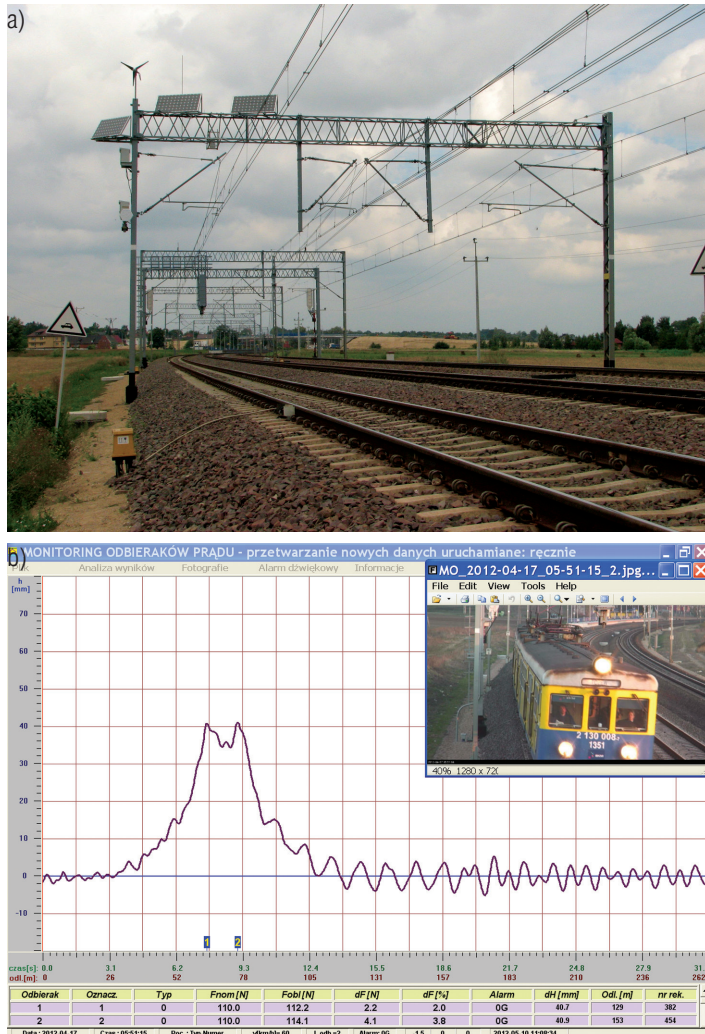
Stanowisko zainstalowano na konstrukcji bramkowej linii kolejowej (rys. 1) z bezprzewodową transmisją danych, także z dostępem poprzez sieć Internet. Budowę stanowiska MOP, jego oprogramowanie i wybrane wyniki pomiarów, szerzej przedstawiono w artykule: Jarzębowski L., Judek S., Karwowski K., Mizan M.: *Stanowisko monitoringu odbieraków prądu na linii kolejowej*.

Oprogramowanie stanowiska MOP zawiera program pomiarowy oraz przetwarzający zarejestrowane dane. Przykładowy ekran programu przetwarzającego przedstawiono na rysunku 1b. Program ten może być zainstalowany na dowolnym komputerze i pobierać pliki danych z serwera za pośrednictwem sieci Internet. Przetwarzanie w trybie automatycznym ułatwia pracę operatora weryfikującego wyniki rejestracji. Możliwe jest generowanie raportów podsumowujących stany alarmów.

Przykładowe wyniki rejestracji

Przebieg uniesienia przewodów jezdnych zależy od wielu czynników, w tym od różnych stosowanych przez przewoźników zestawień składu pociągu w sensie liczby uniesionych odbieraków i odległości między nimi. Każdy podniesiony odbierak w pociągu wywołuje odpowiednie uniesienie przewodów jezdnych – w przebiegu uniesienia przewodu widoczne są wyraźnie zaznaczone maksima lokalne.

Typowe przebiegi uniesienia przewodów jezdnych dla sieci typu 2C120-2C-3 w miejscu zainstalowania stanowiska MOP dla różnych sytuacji ruchowych przedstawiono na rysunku 2. Na rysunkach 2a–2c pokazano przebiegi uniesienia przewodów odpo-



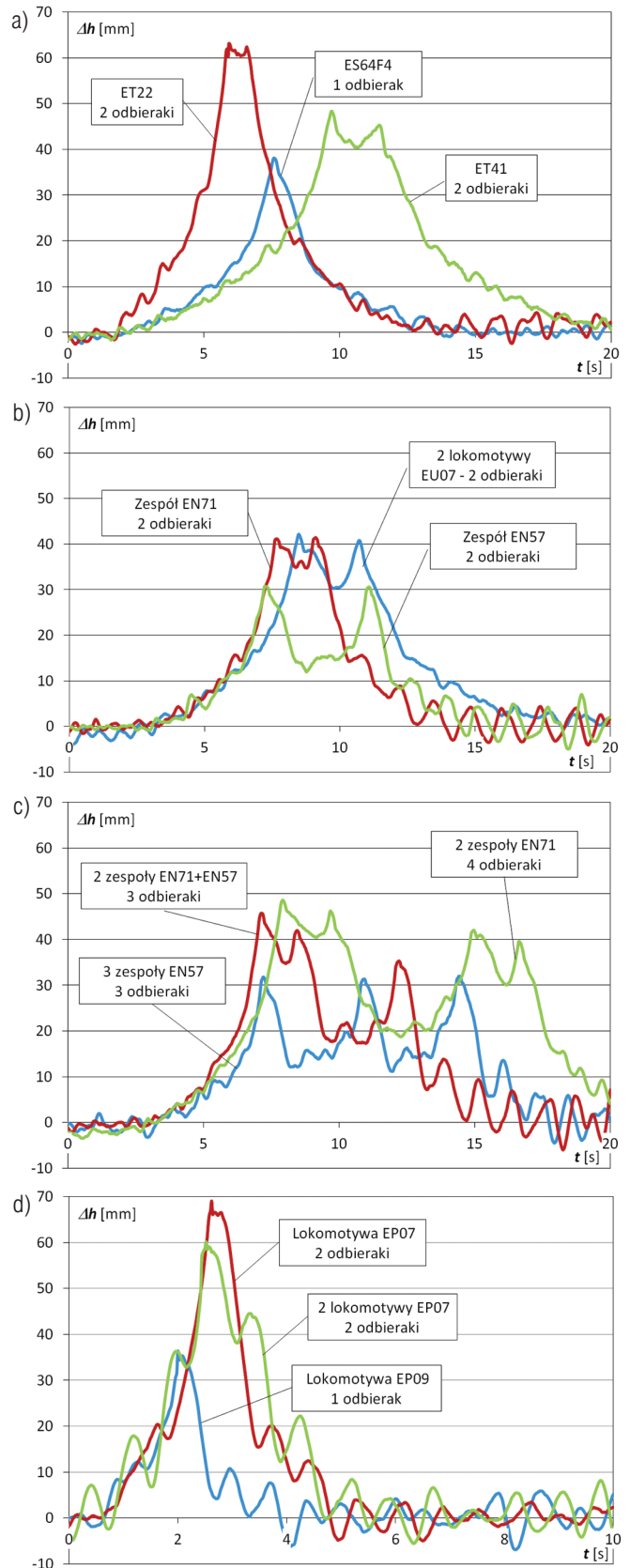
Rys. 1. Stanowisko monitoringu

a) widok stanowiska MOP zainstalowanego na konstrukcji bramkowej; b) ekspozycja przebiegu uniesienia przewodu oraz fotografia przejeżdżającego pojazdu z dwoma uniesionymi odbierakami realizowana w oprogramowaniu monitoringu

wiednio dla lokomotyw i zespołów trakcyjnych dla prędkości przejazdów v do 60 km/h, a na rysunku 2d – przy znacznie większych prędkościach.

Dla pociągów z jednym uniesionym odbierakiem oprogramowanie poprawnie szacuje wartość siły nacisku statycznego niezależnie od jego prędkości.

W przypadku, gdy podniesione odbieraki pojazdu są w stosunkowo niewielkiej odległości od siebie – np. w trójce ukrotnionej lokomotyw EU/EP07, ET22, jak również w lokomotywach dwuczłonowych ET41 i zespołach trakcyjnych EN71 mieści się ona w przedziale 16–32 m – w przebiegu uniesienia przewodu widoczne są dwa wyraźnie zaznaczone maksima. Jednak bliskość drugiego odbieraka wywołuje kumulowanie się ich oddziaływania, zatem maksymalne uniesienie przewodów jezdnych w momencie przejścia każdego z odbieraków przez punkt pomiaru jest nieco wyższe, niż w przypadku tylko jednego uniesionego odbieraka (rys. 2a). Program analizy wyników uwzględnia ten efekt przy szacowaniu sił nacisku statycznego dla każdego z uniesionych odbieraków. Na podstawie obserwacji eksploatacyjnych stwierdzono, że w przypadku prędkości pociągu do ok. 70 km/h daje to relatywnie dobre wyniki.



Rys. 2. Typowe przebiegi uniesienia przewodów jezdnych dla różnej liczby podniesionych odbieraków i różnych typów pojazdów

a) dla lokomotyw przy $v < 60$ km/h; b) dla lokomotyw i zespołów trakcyjnych z dwoma odbierakami, $v < 60$ km/h; c) dla zespołów z trzema i czterema odbierakami, $v < 60$ km/h; d) dla lokomotyw przy prędkościach przejazdu powyżej 110 km/h w rozszerzonej skali czasu

W przypadku pociągów o większej liczbie aktywnych odbieraków w niewielkiej odległości od siebie, wyniki – szczególnie dla drugiego odbieraka w składzie – stają się mniej miarodajne (rys. 2d – 2 lokomotywy EP07). Wskutek ograniczeń przyjętej metody superpozycji i większej amplitudy drgań przewodów ocena drugiego odbieraka w składzie nie powinna być brana pod uwagę [7]. Dla pociągów zestawionych z dwóch lub trzech zespołów trakcyjnych EN57, gdzie odległości między odbierakami przekraczają 60 m, to zjawisko ma charakter ograniczony, stąd wyniki można uznać za poprawne.

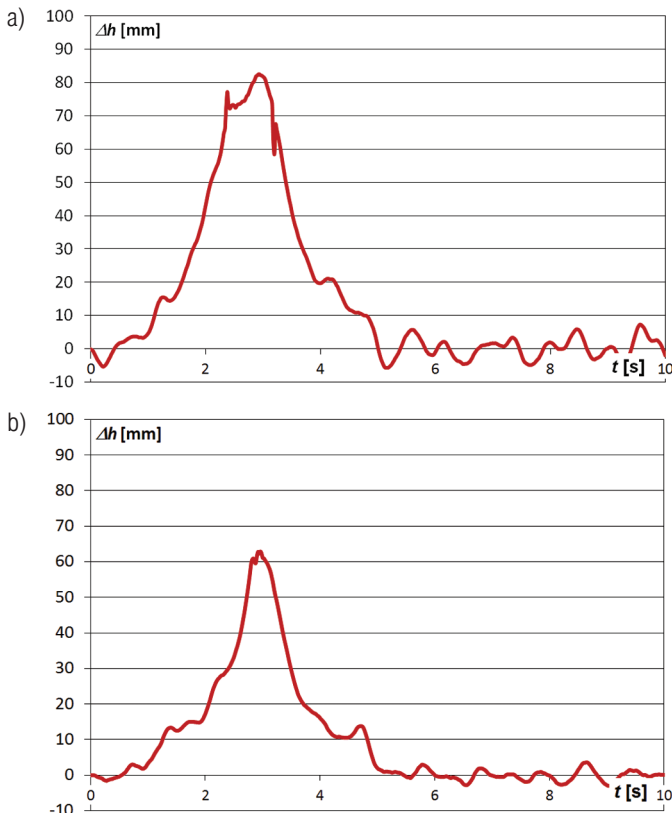
Sporadycznie spotykane są przejazdy jednoczłonowych lokomotyw z obydwooma uniesionymi odbierakami – odległość między nimi wynosi niekiedy zaledwie kilka metrów. W tych przypad-

przedstawiono dwa przykłady wystąpienia takich sytuacji; w trakcie dotychczasowej eksploatacji stanowiska podobne przypadki rejestrowano wielokrotnie.

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe przebiegi wskazujące na bardzo dobry (Alarm 0D) i bardzo zły stan regulacji siły nacisku odbieraka – ustawienie za niskie (Alarm 3D) i za wysokie (Alarm 3G). Wartość maksymalna uniesienia przewodów jest miarodajnym wskaźnikiem oceny siły nacisku odbieraka.

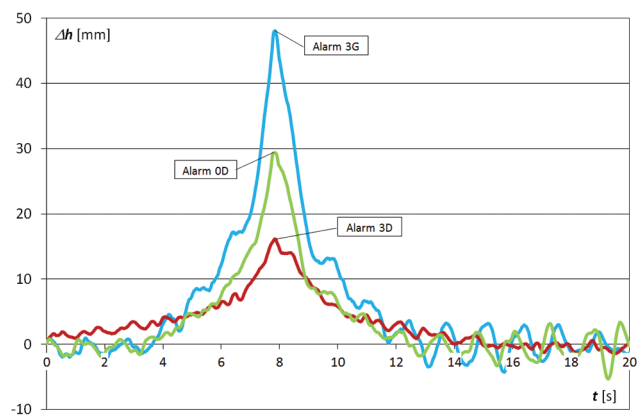
Weryfikacja wiarygodności wyników monitoringu

Głównym kryterium oceny przydatności systemu MOP jest potwierdzenie wiarygodności generowanych wyników oceny odbieraków. Jest to istotne z uwagi na prototypowy charakter stanowi-



Rys. 3. Przebieg uniesienia przewodów jezdnych wraz z fotografią wskazującą uniesione odbieraki: a) zespół 2 lokomotyw typu EU07 z trzema uniesionymi odbierakami i $v = 120$ km/h; b) lokomotywa typu EP07 z obydwooma uniesionymi odbierakami i $v = 106$ km/h

kach, szczególnie przy dużej prędkości przejazdu, dwa wyróżnione maksima w przebiegu uniesienia przewodów często w ogóle nie występują, stąd niezależna ocena każdego z odbieraków nie jest możliwa – należy raczej opierać się na sumarycznym uniesieniu przewodu i oceniać zespół obydwu odbieraków jako jeden element (rys. 2d – lokomotywa EP07/2 odbieraki). Ocena odbieraków w takiej sytuacji musi być podjęta przez operatora i wymaga pewnego doświadczenia. Należy podkreślić, że jazda lokomotywy z dużą prędkością i obydwooma podniesionymi odbierakami, których wzajemna odległość jest względnie mała, są niezalecane. Zgodnie z normą [8], na sieciach DC 3 kV odległość między sąsiednimi uniesionymi odbierakami nie powinna być mniejsza niż 8 m. System MOP pozwala w łatwy sposób wykryć takie przypadki – ponieważ uniesienie przewodu jest znacznie większe, niż przy pojedynczym odbieraku, program analizy wyników generuje wówczas alarm wyższego poziomu, tj. 3G lub 2G. Na rysunku 3



Rys. 4. Przykładowe przebiegi uniesienia przewodu Δh przy skrajnie różnych ustawieniach siły statycznej odbieraka F
Alarm 0D ($\Delta h = 30$ mm, $F = 109$ N); Alarm 3D ($\Delta h = 17$ mm, $F = 66$ N); Alarm 3G ($\Delta h = 48$ mm, $F = 140$ N)

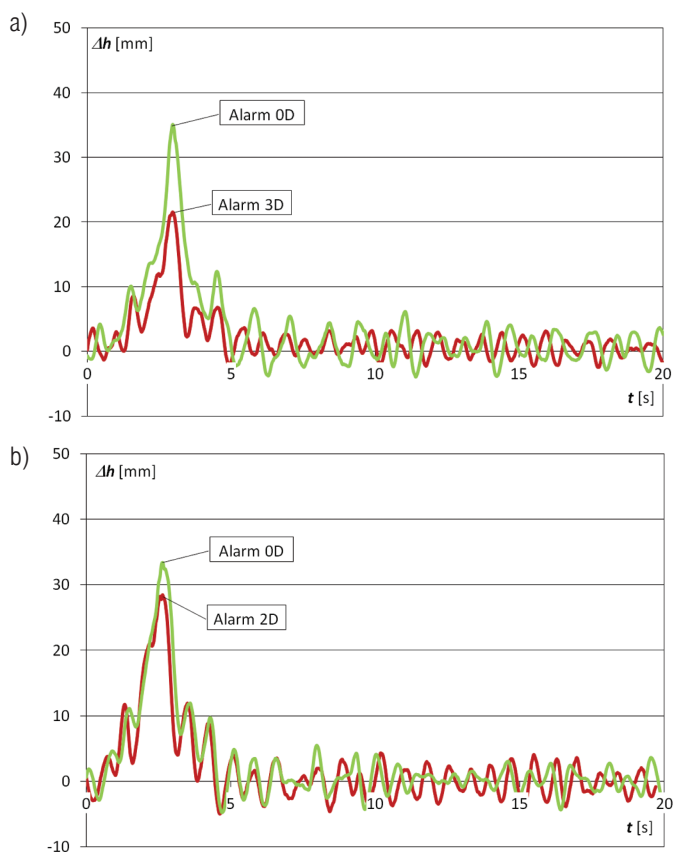
ska, jak również ze względu na to, że przy przyjętym sposobie wyznaczania oddziaływania odbieraka na sieć możliwy jest wpływ innych czynników na wyniki. Można tu wymienić dynamiczne oddziaływanie układu sieć-odbierak podczas przejazdu pociągu, wpływ warunków atmosferycznych oraz ograniczoną dokładność empirycznie dobranych współczynników w algorytmach przetwarzania danych pomiarowych, uwzględniających wpływ prędkości pojazdu i liczbę uniesionych odbieraków.

Weryfikacja wybranych wyników z systemu MOP prowadzona jest przez cały dotychczasowy okres eksploatacji stanowiska. Polega ona na porównaniu wyników z systemu MOP z pomiarami wykonywanymi „ręcznie” w zakładach taboru.

W okresie uruchamiania systemu przeprowadzono porównanie wyników szacowania siły statycznej, pochodzących ze stanowiska MOP, i wyników pomiarów wykonywanych metodami tradycyjnymi dla kilkunastu lokomotyw. W przypadku sprawnych odbieraków różnica między średnią zmierzoną siłą statyczną a siłą wyznaczoną przez system MOP mieściła się w przedziale ± 10 N. W większości przypadków błąd bezwzględny nie przekroczył granicy 5 N, co świadczy o poprawnym działaniu urządzeń stanowiska i o poprawności przyjętych metod analizy wyników.

Podczas eksploatacji stanowiska wykrywano przypadki niewłaściwej siły nacisku odbieraka. Pomiar przez służby techniczne przewoźnika potwierdzał prawidłowość automatycznej oceny odbieraka. Na rysunku 5 przedstawiono wybrane przykłady takich interwencyjnych kontroli.

W przypadku lokomotywy o wynikach, jak na rysunku 5a, system MOP wyznaczył wartość siły statycznej $F = 61$ N (Alarm 3D).



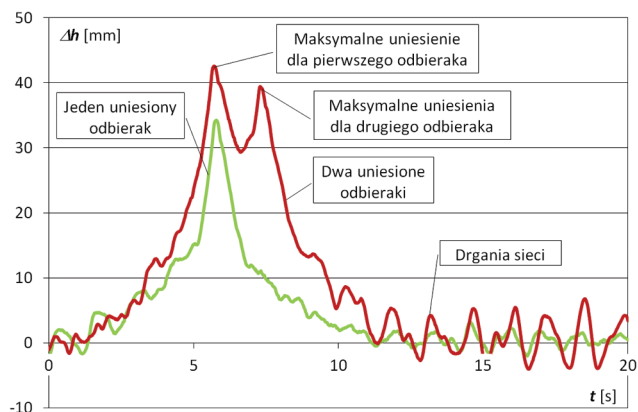
Rys. 5. Przykładowe potwierdzone przypadki prawidłowego wykrycia złej regulacji lub uszkodzenia odbieraków

a) przed (Alarm 3D) i po regulacji odbieraków (Alarm 0D); b) przed (Alarm 2D) i po wymianie odbieraków (Alarm 0D)

3D). Służby techniczne przewoźnika stwierdziły znacznie obniżoną wartość na poziomie ok. 68 N; wartość wyregulowano do poziomu ok. 105 N. Ponowna rejestracja w systemie MOP wykazała siłę $F = 103$ N. W przypadku innej lokomotywy (rys. 5b) obliczono wartość siły statycznej $F = 85$ N (Alarm 2D). Ponieważ regulacja okazała się niemożliwa, wymieniono odbierak, którego nacisk wyregulowano do poziomu ok. 105 N. Ponowna rejestracja w systemie MOP wykazała siłę $F = 102$ N.

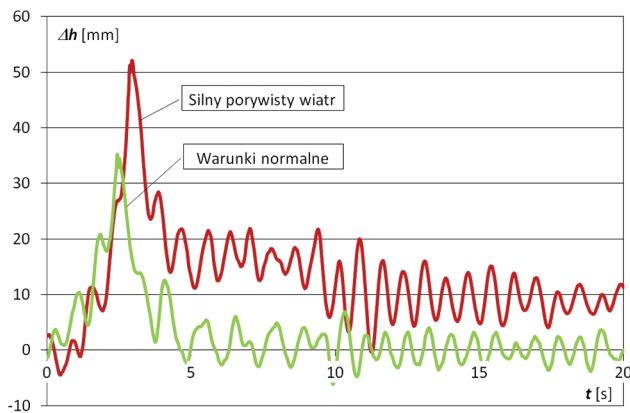
Pociągi prowadzone przez dwie lokomotywy charakteryzują się uniesieniem przewodów związanym z kumulowaniem się oddziaływania dwóch lub większej liczby odbieraków. Program analizy wyników uwzględnia ten efekt przy szacowaniu siły nacisku statycznego dla każdego z uniesionych odbieraków. Na rysunku 6 przedstawiono przebiegi uniesienia przewodu dla tej samej lokomotywy z tym samym podniesionym odbierakiem, zarejestrowane w niewielkich odstępach czasu w przypadku jazdy w trakcji ukrotnionej i przejeździe samodzielnym. Uzyskano tu różnice obliczonej siły dla tego samego odbieraka rzędu kilku niutonów. Należy jednak przyznać, że przy prędkościach jazdy powyżej 100 km/h, przy kilku uniesionych odbierakach w małej wzajemnej odległości powstają silniejsze oddziaływania, które wpływają na oszacowanie siły drugiego i kolejnych odbieraków (wyniki dla nich nie powinny być brane pod uwagę), ale w pewnym stopniu także mogą wpływać na oszacowanie siły pierwszego odbieraka w składzie pociągu – przy porównywaniu wyników dla takich przypadków zdarzały się sporadycznie różnice przekraczające nawet 10 N. W przypadku odległości między odbierakami przekraczających 60 m, np. dla zespołów EN57, takich błędnych szacunków nie obserwowano.

Czynnikiem istotnie wpływającym na wyniki monitoringu jest silny wiatr. Przy jego prędkościach powyżej 40 km/h pojawiają się nieregularne ruchy sieci, widoczne na wykresach uniesienia także po przejeździe pociągu (rys. 7). W tych przypadkach wyniki obliczenia statycznej siły nacisku odbieraka mogą być obciążone błędami, przekraczającymi w skrajnych przypadkach 20 N. Ze względu na nieregularność tych przemieszczeń – zwłaszcza przy gwałtownych podmuchach wiatru – programowa kompensacja ich wpływu, bez pomiaru prędkości i kierunku wiatru, jest w zasadzie niemożliwa. Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe przebiegi dla lokomotywy, uzyskane w dwóch kolejnych dniach, przy czym pierwszego dnia występował silny porywisty wiatr. Wy-



Rys. 6. Wyniki uzyskane dla lokomotywy z tym samym uniesionym odbierakiem pojedynczo ($v=50$ km/h, $\Delta h=34$ mm, $F=123$ N) i w trakcji ukrotnionej ($v=54$ km/h, $\Delta h=42$ mm, $F=121$ N – dla jednego odbieraka)

nik z tego dnia jest znacznie wyższy niż w dniach, gdy siła wiatru była przeciętna. Operator może łatwo dostrzec dodatkowe zmiany uniesienia przewodów, wynikające z takich podmuchów – z reguły są widoczne na wszystkich rejestrowanych przebiegach; w tym przypadku wyniki te powinny być traktowane jako niepewne.



Rys. 7. Przebiegi uniesienia Δh uzyskane przy silnym porywistym wietrze ($F = 126 \text{ N}$) i w warunkach normalnych ($F = 104 \text{ N}$) przy prędkości lokomotywy 110 km/h w obu przypadkach

Zestawienie statystyczne wyników monitoringu

Dla oceny praktycznego znaczenia stanowiska MOP, dokonano zestawienia statystycznego wyników z jego eksploatacji. Na rysunku 8 przedstawiono procentowy udział odbieraków pod względem obliczonej siły nacisku statycznego należącej do danego przedziału (poziomu alarmu). Dominuje tu tendencja do zwiększania wartości siły (rys. 8b), gdzie odbieraki z siłą nacisku większą od znamionowej (poziomy z literą G) stanowią prawie 70% wszystkich odbieraków. Bardzo istotny jest problem nadal spotykanych przypadków siły zbyt małej. Wartości poniżej 88 N (Alarm 2D) są niewłaściwe, a sporadycznie wykrywane były odbieraki, których siła wynosiła nawet poniżej 77 N (Alarm 3D).

Jak pokazują wyniki statystyczne, świadomość, że stan techniczny jest ciągle kontrolowany, powoduje zwiększenie uwagi służb technicznych podczas przeglądów taboru. Na rysunkach 8a i 8b przedstawiono zestawienie statystyczne wyników monitoringu z ostatniego kwartału 2011 r., tj. z okresu wdrażania i pierwszego miesiąca regularnej eksploatacji stanowiska, a na rysunkach 8c i 8d zestawienie wyników z września 2012 r., tj. trzy kwartały po jego wdrożeniu.

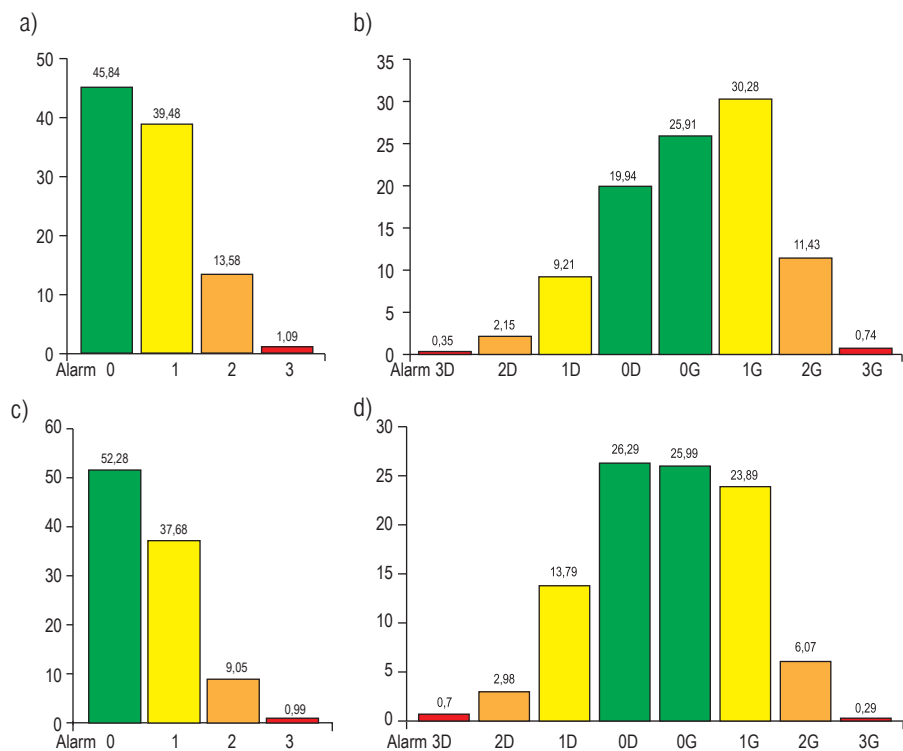
Z porównania wyników z tych dwóch okresów wynika, że udział odbieraków o ponad 20% odchyleniu siły statycznej od wartości zalecanych

(poziomy 2 i 3 alarmu) wyraźnie się zmniejszył. Podstawą obydwu przytoczonych zestawień statystycznych były pomiary około 2000 odbieraków, można je zatem uznać za reprezentatywne.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że przypadki złej regulacji lub niesprawności odbieraków nadal występują w ruchu kolejowym. Jeżeli przyjmiemy ponad 20-procentowe odchylenie siły od wartości normatywnej jako kryterium, kwalifikujące odbierak jako niewłaściwie wyregulowany lub niesprawny (poziomy alarmu 2 i 3), to obecnie około 10% odbieraków w ruchu podlega takiej ocenie, przy czym 1% ma odchylenie ponad 30-procentowe.

Analiza przebiegów uniesienia przewodu jezdnego podczas przejazdu pociągu – zwłaszcza amplituda drgań przewodów jezdnych i szybkość jej tłumienia, wskazuje także na inne wady odbieraków niż niewłaściwa regulacja siły nacisku statycznego. Szczególnie mała amplituda drgań występuje przy przejazdach nowoczesnych lokomotyw, wyposażonych w aktywne odbieraki jednoramienne (rys. 2a – lokomotywa ES64F4). Jednak w niektórych przypadkach amplituda jest znacznie większa – przekracza nawet 10 mm . Świadczy to o złej współpracy odbieraka z siecią, która może być skutkiem niesprawności układu mechanicznego odbieraka. Także uszkodzenia powierzchni nakładki węglowej odbieraka mogą powodować nietypowe zaburzenia w pomiarze uniesienia przewodów.



Rys. 8. Rozkład procentowy wyników wyznaczonej siły statycznej odbieraków

a) podczas pierwszej fazy eksploatacji stanowiska z uwzględnieniem bezwzględnego poziomu odchylenia siły (IV kw. 2011 r.); b) podczas pierwszej fazy eksploatacji stanowiska w ujęciu pełnym – przedziały siły podane narastająco (IV kw. 2011 r.); c) po kilkumiesięcznej eksploatacji stanowiska z uwzględnieniem bezwzględnego poziomu odchylenia siły (wrzesień 2012 r.); d) po kilkumiesięcznej eksploatacji stanowiska w ujęciu pełnym – przedziały siły podane narastająco (wrzesień 2012 r.)

Dokończenie na s. 60 ➤