

Symulacja współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną

Wraz ze zwiększeniem prędkości jazdy pociągów wzrastają wymagania w zakresie dostawy mocy i energii elektrycznej do pojazdów trakcyjnych [14, 19]. Dostawa ta następuje za pośrednictwem przemieszczającego się styku odbieraka prądu z przewodem jezdnym sieci trakcyjnej.

Aby zapewnić niezakłócony dopływ mocy i energii do pojazdu trakcyjnego, dąży się do utrzymania stałej wartości siły nacisku odbieraka prądu na sieć trakcyjną, co szczególnie w przypadku dużych prędkości jazdy staje się sprawą skomplikowaną. Optymalizacja parametrów układu odbierak–sieć wymaga więc prowadzenia badań i szczegółowych analiz.

Dla ekonomicznej eksploatacji linii zelektryfikowanych w doborze parametrów konieczne staje się również uwzględnienie kosztów życia sieci (LCC) i wymagań w zakresie niezawodności, dyspozycyjności i bezpieczeństwa (RAMS) opisanych normą [6].

Rozwój metod i technik badawczych umożliwia dziś stosowanie daleko idących analiz, z uwzględnieniem parametrów dynamicznych sieci trakcyjnej, między innymi prędkości rozchodzenia się fal w sieci i wpływu fal odbitych, wpływu mas skupionych i sztywności układu zawieszenia oraz parametrów dynamicznych odbieraka – na warunki odbioru prądu z sieci trakcyjnej.

Opis matematyczny przebiegu współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną następuje zasadniczo drogą nieliniowych równań ruchu. Dokładność symulacji, oprócz dokładności zamodelowania systemu, wymaga właściwego doboru numerycznych metod obliczeniowych.

Układ zawieszenia sieci i parametry mechaniczne

Wyznaczane parametry sieci dla dużych prędkości jazdy uwzględniają warunki dynamicznej współpracy sieć trakcyjna/odbierak prądu, w założeniu głównego kryterium jakim jest stabilność siły styku między przewodem jezdym a nakładkami stykowymi odbieraka prądu. Wartość tej siły moż-

liwa jest do obliczeń w badaniach symulacyjnych, przy czym określana jest wartość średnia i odchylenie standardowe, jak też wartości maksymalne i minimalne. Jako graniczne przyjmowane są wartości, które mogą być dopuszczone w warunkach eksploatacji.

Dążeniem jest uzyskanie stabilnej wartości siły styku niezależnie od prędkości jazdy oraz uzyskanie ograniczonego zakresu odchylenia standardowego tej siły, przyjmowanego zwykle jako nie większego niż 20%.

Do uzyskania trajektorii toru współpracy odbierak/sieć o możliwie płaskim przebiegu (o małej amplitudzie), elastyczność układu zawieszenia sieci wzdłuż przęsła podwieszenia powinna być możliwie wyrównana. Zostało zdefiniowane, że dążeniem powinno być uzyskanie dla warunków dużych prędkości jazdy nierównomierności elastyczności w przęśle podwieszenia sieci $\leq 10\%$.

Sieć trakcyjna wraz z odbierakiem prądu przedstawia układ drgający o stosunkowo małym tłumieniu drgań. Pod wpływem siły oddziaływania odbieraka przemieszczającego się z przęsła do przęsła przewody sieci trakcyjnej zostają wprowadzone w drgania o wymuszonej częstotliwości.

Przy niewielkich prędkościach jazdy częstotliwość wymuszeń jest zwykle znacznie mniejsza od częstotliwości drgań własnych sieci. Wynikiem tego amplitudy drgań są nieznaczne. W miarę zwiększenia prędkości jazdy rośnie wpływ dynamicznego oddziaływania odbieraka, a ponadto ulega zwiększeniu częstotliwość drgań wymuszonych. W przypadku, gdy częstotliwość wymuszeń zrówna się z częstotliwością drgań własnych sieci wystąpi zjawisko rezonansu, amplitudy drgań osiągną wówczas wartość maksymalną.

Drgania rozprzestrzeniają się w przewodzie jezdym z prędkością rozchodzenia się fali, przy czym amplitudy tych drgań narastają stromo wraz ze wzrostem prędkości jazdy. W miejscach zakłóceń takich, jak zaciski wieszaków, ramiona odciążowe, dochodzi do powstawania fal odbitych.

Prędkość c rozchodzenia się mechanicznej fali w przewodzie jezdym stanowi więc ważne dynamiczne kryterium dla sieci, ponieważ składnik dynamiczny oddziaływania jest tym większy, im bardziej prędkość jazdy zbliża się do prędkości rozchodzenia się fali poprzecznej w przewodzie jezdym.

Na sposób reagowania sieci przy zadanej prędkości jazdy wskazuje współczynnik Dopplera wyznaczany z zależności:

$$\alpha = \frac{c - v}{c + v} \quad (1)$$

gdzie:

v – prędkość jazdy [m/s],

$$c = \sqrt{\frac{F_p}{m_p}} \quad (2)$$

gdzie:

F_p – siła naciągu przewodu jezdnego [N],

m_p – masa liniowa przewodu jezdnego [kg/m].

Współczynnik Dopplera osiąga wartość 0, gdy prędkość jazdy osiąga wartość rozchodzenia się fali w przewodzie jezdym.

Dynamiczne zachowanie się sieci charakteryzuje współczynnik odbicia, który można wyliczyć z zależności:

$$r = \frac{\sqrt{F_l \cdot m_l}}{\sqrt{F_l \cdot m_l} + \sqrt{F_p \cdot m_p}} \quad (3)$$

gdzie:

m_l – masa liniowa liny nośnej [kg/m],

F_l – siła naciągu liny nośnej [N].

Stosunek r/α – stosunek współczynnika odbicia do współczynnika Dopplera jest określany jako współczynnik wzmocnienia:

$$\gamma = \frac{r}{\alpha} \quad (4)$$

Zależności (1) i (4) pozwalają rozeznąć w sposób rozstrzygający, które parametry sieci mają wpływ na wyliczone wielkości. Wynika z nich, że dla obniżenia dynamicznej reakcji sieci, współczynnik Dopplera powinien być zwiększony, co może być osiągnięte jedynie przez zwiększenie prędkości rozchodzenia się fali poprzecznej w przewodzie jezdnym. To z kolei może być osiągnięte tylko przez zwiększenie siły naciągu przewodu, jednakże nie przez zwiększenie naciągu wraz z jednoczesnym zwiększeniem przekroju przewodu.

Dla warunków dużych prędkości jazdy dąży się do osiągnięcia:

$$\alpha > 0,15 \quad (5)$$

gdyż tylko wtedy v i c różnią się od siebie w sposób widoczny, oraz

$$\gamma = 2,5 \text{ do } 3,0 \quad (6)$$

Wobec tego wyliczony stąd współczynnik odbicia wynosi:

$$r = 0,37 \text{ do } 0,45 \quad (7)$$

W tym współczynniku zawarte są wielkości sił naciągu liny nośnej i przewodu jezdny. Zwiększenie tych sił polepsza wszystkie znamionowe parametry sieci. To może wpływać na polepszenie warunków współpracy odbierak – sieć trakcyjna.

W literaturze można spotkać bardzo liczne i różnorodne modele sieci. Szczegółowe rozeznanie pozwala przyjąć [21] model sieci dla matematycznych obliczeń, przedstawiony na rysunku 1. Składa się on z szeregu mas dyskretnych, które między sobą są połączone przez bezmasowe naciągnięte struny. Jeśli w obliczeniach symulacyjnych wybierze się odpowiednio mały przedział czasowy, wówczas można przyjąć, że przyspieszenie każdego punktu masowego, niezależnie w jakiej fazie znajduje się symulacja, jest zależne jedy-

nie od względnego przemieszczenia obu sąsiadujących mas. Wówczas do określenia prędkości i przemieszczeń mas punktowych mogą być zastosowane zwykłe techniki integracji.

Parametry konstrukcyjne odbieraka prądu

Niedoskonała współpraca odbieraka prądu z siecią trakcyjną stanowiła jedną z barier uniemożliwiających zwiększenie prędkości jazdy pociągów. Dlatego też wiele ośrodków badawczych skupiło swoją uwagę na analizie przyczyn i badaniu wpływu poszczególnych elementów odbieraka na wynik współpracy.

Nie udało się jednakże wypracować rozwiązania standardowego, ujednoliconej konstrukcji odbieraka w skali Europy. Wiąże się to ze stosowaniem bardzo różnych rozwiązań układów i parametrów sieci trakcyjnej w różnych zarządach kolejowych. Wynikają one nie tylko z zastosowanych różnych systemów zasilania trakcji, lecz także z różnorodnego podejścia do rozwiązań sieci trakcyjnej.

W zakresie konstrukcji odbieraków prądu główne zmiany w stosunku do dawnych rozwiązań bazują na tym, że poprzednie rozwiązania przewidywały zawieszenie sieci trakcyjnej na zmiennej wysokości od 4,80 m do 6,20 m i wynikały z konieczności podwyższenia zawieszenia sieci na przejazdach drogowo-kolejowych i obniżenia sieci w przypadku przejazdu pod wiaduktami i w tunelach. Ponieważ w warunkach dużych prędkości jazdy nie są stosowane przejazdy drogowo/kolejowe w poziomie szyn, jak i ze względu na opory aerodynamiczne w tunelach przekroje tuneli zostały powiększone, stało się możliwe przyjęcie nowych założeń dla poziomu zawieszenia sieci trakcyjnej.

W przypadku odbieraka prądu stało się przez to możliwe zmniejszenie wymiarów ramy odbieraka, a więc jego masy, co miało niebagatelny wpływ na warunki dynamicznej jego współpracy z siecią trakcyjną w warunkach dużych prędkości jazdy.

W zakresie wielkości odsuwów przewodów sieci trakcyjnej od osi toru (zygzakowanie sieci) zostało przyjęte zmniejszenie wielkości odsuwów do ± 20 cm w stosunku do dawnych rozwiązań ± 30 cm na prostej i ± 40 cm na łuku. To umożliwiło zmniejszenie szerokości ślizgacza, a przez to również obniżenie jego masy, co było głównym zaleceniem uzyskanym z badań układu sieć-odbierak w warunkach dynamicznych.

Pewne uzyskane ujednolicenie w zakresie odbieraka prądu w skali Europy dotyczy wyłącznie, i to z ograniczeniami, kształtu ślizgacza odbieraka prądu [18]. Zastosowanie nowego kształtu dotyczyć może jednak przypadków nowo budowanych linii kolejowych i ważniejszych przebudowywanych linii w Europie.



Rys. 1. Model sieci trakcyjnej

W konsekwencji kształt i forma ślizgacza europejskiego przedstawia się jak na rysunku 2.

Geometria odbieraka prądu z elementami o różnej formie przekroju, różnorodnej średnicy, uwzględniając kierunek opływu głównego strumienia powietrza, w warunkach jazdy wywołuje zawirowania, których oddziaływanie może wpływać na niestabilny obraz drgań odbieraka prądu. Dotyczy to zwłaszcza ślizgacza odbieraka prądu. Ważne jest więc, aby częstotliwość drgań własnych ślizgacza nie zbiegała się z częstotliwością zawirowań powstałych za będącym w ruchu odbierakiem prądu.

Wręcz ze zwiększaniem prędkości jazdy zwiększają się siły oporu powietrza. Ponieważ sam ślizgacz wytwarza około 40–50% oporu przepływu, przez to zwiększa się moment zginający górnej części ramy odbieraka. Te duże siły oporu mają znaczący wpływ na pionową składową siły nacisku odbieraka.

Dla utrzymania stabilnej siły nacisku odbieraka na przewód jezdny, zachowanie się aerodynamiczne odbieraka może mieć istotne znaczenie. Badania wykazały, że odbierak prądu powinien charakteryzować się:

- małym oporem powietrza w stanie jazdy,
- wytwarzana turbulencja nie powinna mieć wpływu na pogorszenie jakości współpracy sieć/odbierak, biorąc pod uwagę częstotliwość drgań własnych ślizgacza i przewodu jezdnych.

Uzyskanie polepszenia jakości współpracy odbierak–sieć jest ponadto uwarunkowane możliwością zmniejszenia masy części ruchomej odbieraka.

Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na masę odbieraka jest zakres jego pracy, wyznaczony przez poziom wysokości zawieszenia sieci trakcyjnej. Im większy jest zakres pracy odbieraka, tym dłuższe są ramiona układu ruchomego, a więc tym większa jest masa części ruchomej oddziałującej na sieć trakcyjną. Dla warunków dużych prędkości jazdy, na liniach szybkiego ruchu stosuje się więc zawieszenie sieci o różnicach wysokości zawieszenia, nie większych niż 200–500 mm. Umożliwia to skonstruowanie odbieraków o małym zakresie pracy, a więc o małej masie części ruchomej.

Od wielkości masy odbieraka zależy charakterystyka dynamiczna, która obrazuje zależności amplitudy wymuszonych przemieszczeń odbieraka od częstotliwości tych wymuszeń. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa przedstawia zależność nadążności ruchów odbieraka prądu (utrzymywania styczności z przewodem jezdny) za zmianami wywołanymi drganiami przewodów sieci o określonej amplitudzie i częstotliwości.

W badaniach symulacyjnych masa odbieraka działająca na sieć – masa zredukowana odbieraka, sprowadzana jest do punktu materialnego styku ślizgacza z przewodem jezdny.

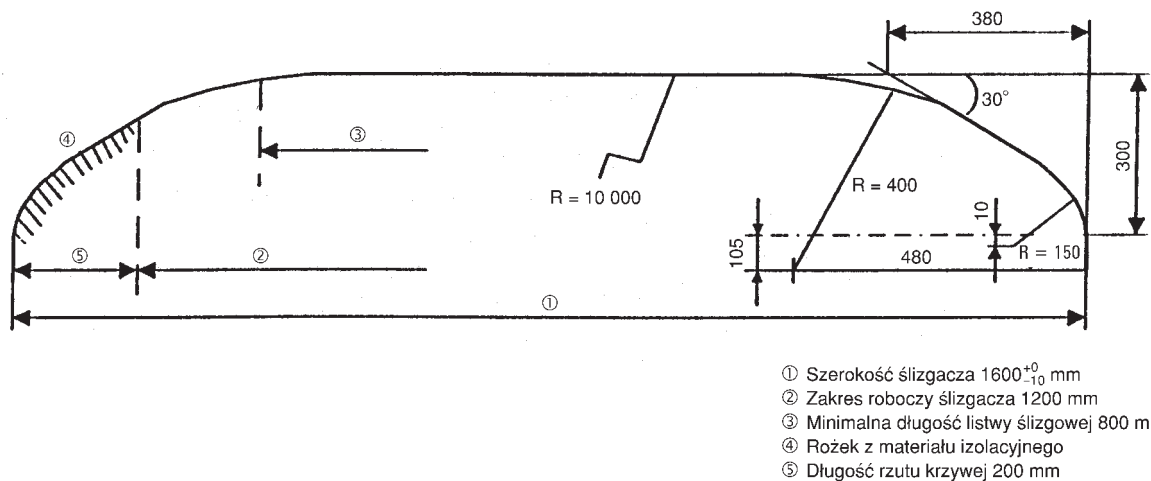
Przeprowadzone badania [20, 21] umożliwiły znalezienie kompromisu między wymaganiami utrzymaniowymi w odniesieniu do grubości nakładek stykowych, wymaganiami wytrzymałości mechanicznej ślizgacza a wymaganiami w zakresie dopuszczalnej obciążalności prądowej ślizgacza. Przy tym jednak stało się konieczne zachowanie warunku w zakresie możliwie małej masy ślizgacza.

Rozstrzygającą rolę na dynamikę ślizgacza odgrywają punkty podwieszenia sieci do konstrukcji wsporczych ze względu na dużą masę skupioną w sieci trakcyjnej, spowodowaną masą ramion odciągowych przyłączonych do przewodów jezdnych. Ponadto w tych punktach następuje zmiana kierunku siły poprzecznej oddziałującej na listwy ślizgowe odbieraka.

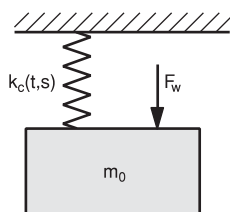
Współpraca odbieraka prądu z siecią trakcyjną

Jeśli weźmie się pod uwagę pomierzony w warunkach dynamicznych przebieg siły występującej na styku odbieraka prądu z siecią trakcyjną, to można wówczas siłę styku interpretować jako stochastycznie zakłócającą. W [20] zostało potwierdzone, że siłę styku można przedstawić w postaci rozkładu normalnego. Zgodnie wówczas z regułą Gaussa wszystkie praktycznie oczekiwane wartości siły styku znajdują się w przedziale, który opisać można przez 3-krotne odchylenie standardowe w stosunku do wartości średniej.

W modelu sieci i odbieraka prądu oddziaływanie sieci przedstawiane jest jako miejscowa zmieniająca się sztywność sprężyny $k_c(t, s)$, jak na rysunku 3, łącznie ze stocha-



Rys. 2. Kształt ślizgacza według [18]



Rys. 3. Model oddziaływania punktowego sieci na odbierak prądu

stycznym zakłóceniem F_w . Model taki opisuje rzeczywiste stany dla siły styku, ponieważ zakłócenia siły styku są wynikiem łącznie wpływu sieci z jej drganiami własnymi oraz znacznymi zakłóceniami działającymi na ślizgacz. Zakłócenia te są w pewnej części dominujące.

W warunkach eksploatacji oba rozpatrywane układy sieć-odbierak, których charakterystyki (masy, sztywności, tłumienie i częstotliwości drgań własnych) są różne, współpracują ze sobą poprzez siłę styku F . Wielkości fizyczne, które umożliwiają opis i ocenę dynamicznego zachowania się układu sieć-odbierak, wynikają z własności fizycznych składników i wzajemnych oddziaływań.

Ocena jakości styku wymaga poznania przebiegu ruchów pionowych i poziomych odbieraka prądu, wielkości siły styku, występowania przerw stykowych oraz wielkości uniesienia przewodu jezdnego pod działaniem sił wyporu.

Ogólnie można wyrazić, że jakość styku jest akceptowalna, gdy siła styku nie jest mniejsza od wartości, przy której może pojawić się zjawisko przerw stykowych, i nie większa, przy której zużycie na ścieranie przewodu jezdnego i nakładki stykowych przekroczyłoby wartości oczekiwane. Istotnym jednak kryterium z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu jest zakres uniesienia przewodu jezdnego w punkcie jego podwieszenia do konstrukcji wsporczej. Przekroczenie granicznej wartości mogłoby spowodować uszkodzenie sieci i odbieraka prądu.

W nowych rozwiązaniach sieci ponadto wymaganiem jest, aby trwałość przewodu jezdnego była zwiększona do 2 mln przejazdów odbieraka prądu. Stąd przyjęte zostało, że siła nacisku (wartość średnia) w warunkach eksploatacji w pełnym zakresie prędkości jazdy nie powinna przekraczać 120 N, odchylenie standardowe zaś nie powinno być większe niż 20%.

Aby spełnić to wymaganie, konieczne stało się zoptymalizowanie parametrów konstrukcyjnych sieci i odbieraka na drodze badań symulacyjnych, potwierdzone wynikami badań w warunkach rzeczywistych z zastosowaniem najnowocześniejszych metod pomiarowych.

Siła styku występująca między odbierakiem prądu a siecią trakcyjną składa się z następujących komponentów:

$$F = F_o \pm F_r + F_{aero} \pm F_{dyn}$$

gdzie:

F_o – siła statycznego wyporu odbieraka,

F_r – siła, która przeciwdziała ruchowi odbieraka (tłumienie przez tarcie lub tłumienie viskozowe),

F_{aero} – siła wynikowa, która składa się z sumy sił składnikowych działających na różne części odbieraka przez strumień powietrza,

F_{dyn} – dynamiczna siła zmienna, która powstaje w wyniku współpracy obu drgających układów odbierak-sieć.

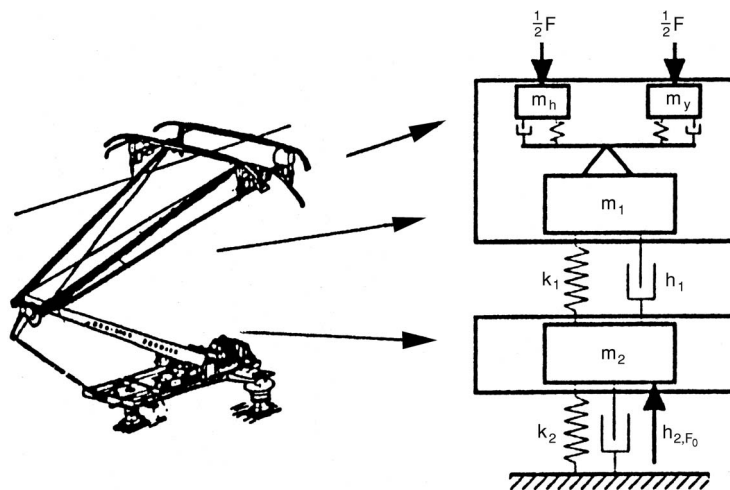
Rachunek symulacyjny umożliwia, przez uwzględnienie różnych konstrukcyjnych danych lub parametrów układu, optymalizację zachowania się układu według zadanych kryteriów. W tym ujęciu może być systematycznie badane, jak zmienia się przebieg siły styku, gdy zwiększone zostaną siły naciągu w przewodach sieci, zmniejszona zostanie odległość między konstrukcjami zawieszenia sieci trakcyjnej lub gdy zwiększy się liczbę wieszaków, czy też wprowadzi się zwis wstępny przewodu jezdnego. Z drugiej zaś strony przez zmianę konstrukcji odbieraka prądu jest możliwe wpływanie na zmianę jego oddziaływania dynamicznego i polepszenie współpracy z siecią trakcyjną.

Ponieważ sieć trakcyjna wraz z odbierakiem prądu stanowi układ drgający, którego komponentów nie można oceniać niezależnie od siebie, mogą być z pomocą numerycznego rachunku symulacyjnego stosunkowo niewielkim kosztem dokonywane ulepszenia konstrukcji sieci i odbieraka prądu oraz ustalane kierunki celowych zmian.

Jeśli ma się do czynienia z już istniejącą siecią trakcyjną, zmiany mogą dotyczyć głównie odbieraka prądu.

Na rysunku 4 przedstawiono model odbieraka prądu, w skład którego wchodzi: rama dolna, rama górna i ślizgacz, na którym zamocowane są dwie listwy ślizgowe. Zastępczy model mechaniczny zawiera cztery efektywne masy ruchome, które reprezentują wymienione części składowe i które połączone są ze sobą poprzez siły usprężynowania i tłumienia. Masy efektywne, sprężyny i tłumiki dopasowywane są do rzeczywistego zachowania się odbieraka w warunkach dynamicznych.

Dla warunków dużych prędkości jazdy, często przedstawiony model ulega dalszemu rozbudowaniu, w zakresie oddziaływania na odbierak większej liczby sił zewnętrznych. Wówczas otrzymuje się dla równań ruchu układ z ośmioma



Rys. 4. Model odbieraka prądu

stopniami swobody. Cztery stopnie swobody umożliwiają opis ruchów translacyjnych ramy, ślizgacza i listew ślizgowych, pozostałe cztery stopnie swobody są konieczne do opisanie ruchów rotacyjnych listew ślizgowych, elastycznej górnej ramy i ślizgacza. Konieczne staje się również uwzględnienie własności nieliniowych tłumienia ramy i usprężynowania listew ślizgowych. Aerodynamiczne siły działające na dyskretne masy wyrazić można przez uwzględnienie sił dodatkowych.

W badaniach konieczne jest również uwzględnienie wpływu drgań pojazdu trakcyjnego.

Wyniki badań umożliwiają uzyskanie w funkcji prędkości jazdy następujących przebiegów:

a: $F_m(N)$ – średniej wartości siły nacisku w warunkach określonej prędkości jazdy,

b: $\sigma(N)$ – odchylenia standardowego siły F_m ,

c: $u^*(\%)$ – maksymalnego uniesienia przewodu jezdnego w punkcie podwieszenia, wyrażonego w procentach.

Warunkami ograniczającymi są tu:

– uniesienie przewodu jezdnego u , które nie powinno przekraczać wartości dopuszczalnej, przyjętej jako 100%

$$u < 100\%$$

– minimalna wartość siły styku, która nie powinna być niższa od wartości założonej K

$$F_m - 3\sigma \geq K,$$

przy czym zakłada się, że otrzymane w wyniku symulacji wartości siły pionowej w warunkach oddziaływania dynamicznego odbieraka na sieć trakcyjną zawierają się w zakresie:

$$(F_m + 3\sigma), (F_m - 3\sigma).$$

W konsekwencji uzyskane wyniki umożliwiają określenie granicznej prędkości jazdy dla przyjętych parametrów sieci i odbieraka prądu.

Należy zauważyć, że uzyskanie możliwie dużych wartości dla prędkości granicznej oznacza równocześnie tym większą gwarancję osiągnięcia ograniczonego uniesienia przewodu jezdnego w warunkach dynamicznych. Będzie to oznaczać wzrost bezpieczeństwa w zakresie możliwości wystąpienia uszkodzeń sieci trakcyjnej.

Trzeba się jednakże liczyć z tym, że zwiększenie sił naciągu w przewodach wymagać będzie stosowanie materiałów o zmodyfikowanym składzie chemicznym. Zwiększenie sił naciągu w przewodach jezdnych spowoduje też zwiększenie naprężeń w ramionach odciągowych sieci, elementach związanych ze stosowanym odsuwem przewodów jezdnych w stosunku do osi toru.

Dodatkowym argumentem, wskazującym na celowość zwiększenia naciągów przewodów, jest możliwość uzyskania wyrównania elastyczności sieci wzdłuż przęsła podwieszenia.

Podsumowanie

W badaniach symulacyjnych, po odpowiednim zamodelowaniu sieci i odbieraka prądu, osiągnięte przebiegi w warunkach współpracy odbierak–sieć dają podstawę do dokonania oceny wpływu poszczególnych parametrów sieci i odbieraka na wynik końcowy. Często jednak możliwości zmian dotyczyć będą wyłącznie odbieraka prądu.

W tym przypadku jako główne wyniki analizy brane są pod uwagę uzyskane w badaniach przyrosty dodatnie i ujemne siły styku w funkcji prędkości. Wskazują one na wpływ doboru masy odbieraka prądu, sztywności usprężynowania lub też w przypadku przyrostu wyłącznie dodatniego na niewłaściwy dobór kształtu konstrukcji elementów odbieraka, powodujący nadmierny wzrost sił aerodynamicznych. Rozeznanie wpływu poszczególnych elementów odbieraka prądu wymaga więc szczegółowej analizy. W warunkach symulacji komputerowej jest to możliwe przez wprowadzenie zmian parametrów w zamodelowanych układach.

Wyniki badań symulacyjnych pozwalają przewidywać zachowanie się sieci i odbieraka prądu w warunkach współpracy przy różnych prędkościach jazdy. Pozwalają też ustalić dopuszczalną granicę tej prędkości w założeniu, że nie zostaną przekroczone wartości graniczne, jak też określić warunki kompatybilności technicznej odbieraków dla przypadków sieci trakcyjnej o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych. □

Literatura

- [1] Bauer K., Kiessling F., Seifert R.: *Einfluss der Konstruktionsparameter auf die Befahrung einer Oberleitung für hohe Geschwindigkeiten – Theorie und Versuch*. Elektrische Bahnen 10/1989.
- [2] Becker K., König A.: *Hochgeschwindigkeitsfahrleitung – Ein Thema für die Forschung*. ETR Eisenbahntechnische Rundschau 1-2/1995.
- [3] Behrends D., Brodkorb A.: *Oberleitungen und Stromabnehmer im europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz*. Elektrische Bahnen 10/1999.
- [4] Brodkorb A., Semrau M.: *Simulationsmodell des Systems Oberleitungskettenwerk und Stromabnehmer*. Elektrische Bahnen 4/1993.
- [5] Daffos J., Gardou M.: *Les études récentes de pantographes á la SNCF*. Revue Generale des Chemins de Fer 10/1986.
- [6] EN 50126 Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).
- [7] EN 50206-1 Rolling stock. Part 1. Pantographs for main line vehicles - Characteristics and tests, 1995.
- [8] Harprecht W., Kiessling F.: *„406,9 km/h“ – Weltrekord auf der Schiene – Energieübertragung bei der Rekordfahrt des IEC der DB*. Elektrische Bahnen 9/1988.
- [9] König A., Resch U.: *Numerische Simulation des Systems Stromabnehmer/Oberleitungskettenwerk*. Der Eisenbahningenieur 3/1995.

- [10] Manabe K.: *Periodical Dynamic Stabilities of a Catenary – Pantograph System*. Quarterly Reports RTRI 2/1994.
- [11] Pfizenmaier E., King W.: *Untersuchungen zur aerodynamischen und aeroakustischen Optimierung eines Stromabnehmers für den ICE*. AET Archiv für Eisenbahntechnik (40) 1985.
- [12] Resch U.: *Simulation des dynamischen Verhaltens von Oberleitungen und Stromabnehmern bei hohen Geschwindigkeiten*. Elektrische Bahnen 11/1991.
- [13] Roman Z.: *Potrzeby nowych rozwiązań w zakresie trakcji elektrycznej kolejowej*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Badania modelowe i symulacyjne w trakcji elektrycznej”, Warszawa 18–20.11.1993.
- [14] Roman Z.: *Nowe standardy elektryfikacji linii kolejowych*. Technika Transportu Szynowego 1/1998.
- [15] Roman Z.: *Wymagania i standardy techniczne w nowoczesnych rozwiązaniach trakcji elektrycznej*. XIII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe”, Katowice 7–10.10.1998.
- [16] Sarnes B.: *Qualitätssicherung an Stromabnehmer und Oberleitung*. ETR Eisenbahntechnische Rundschau 3/1999.
- [17] UIC – Kodex 608 VE. Bedingungen für die Stromabnehmer der Triebfahrzeuge im internationalen Verkehr, 1992.
- [18] UIC – Kodex 794 V. Zusammenwirken Stromabnehmer/Oberleitung im europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz, 1996.
- [19] UIC – Kodex 795 V. Minimal installierte Leistung. Streckenkategorien, 1996.
- [20] Wechselwirkung Stromabnehmer/Fahrleitung. European Rail Research Institute ERRI A 186/RP1, 04.1996.
- [21] Wechselwirkung Stromabnehmer/Fahrleitung. European Rail Research Institute ERRI A 186 RP10, 02.1997.

Autorka
prof. dr. hab. inż. Zofia Roman
Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

NAVIGATOR

Konferencje

Logistyka w transporcie szynowym Technika kolejowa w systemach logistycznych

Wrocław, 13–14 września 2001 r

Celem sympozjów jest prezentacja najnowszych rozwiązań organizacyjnych i technicznych w zakresie logistyki w transporcie kolejowym i kombinowanym. Obserwacja doświadczeń innych firm w zakresie nowych technik transportu jest niezbędna. Z tego też względu sięgnęliśmy do doświadczeń firm niemieckich, których przedstawiciele, pod przewodnictwem prof. Otmara Krettka z RWTH Aachen (Niemcy), przygotowali wiele niezwykle interesujących referatów.

Do udziału w obu sympozjach zapraszamy serdecznie wszystkich chętnych, zwłaszcza pracowników kolei i firm stanowiących jej zaplecze, spedytorów korzystających z usług PKP lub z jej infrastruktury oraz przedstawicieli firm consultingowych.

Organizatorzy:

Politechnika Wrocławska
Polskie Towarzystwo Logistyczne Oddział Dolnośląski we Wrocławiu

Informacje

dr hab. inż. Jacek Grajner – prof. Politechniki Wrocławskiej
dr inż. Stanisław Kwaśniewski
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej
ul. Łukasiewicza 7/9
50-371 WROCŁAW
tel./fax (71) 347 79 26
e-mail: grajner@pojazdy.ikem.pwr.wroc.pl
<http://navigator.pwr.wroc.pl>