

Roman KONIECZNY

Instytut Transportu
Politechnika Śląska

WSPÓŁPRACA DYNAMICZNA ODBIERAKA PRĄDU Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ W REJONIE SZKÓD GÓRNICZYCH

Streszczenie. W artykule omówiono wpływ deformacji terenu spowodowanej szkocami górnictwami na zmianę charakterystyk parametrów sieci trakcyjnej. Sklasyfikowano zasadnicze typy deformacji oraz zaprezentowano wyniki symulacji komputerowej ilustrujące wpływ niektórych typów deformacji na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną.

1. Wprowadzenie

Jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną charakteryzują dwa podstawowe przebiegi:

- siły stykowej pomiędzy ślizgaczem odbieraka a przewodem jezdny sieci trakcyjnej,
- przemieszczenia pionowego punktu styku ślizgacza odbieraka i przewodu jezdny sieci trakcyjnej.

Zbyt duże wartości siły stykowej powodują niepotrzebny wzrost zużycia materiałów stykowych na skutek zwiększonego tarcia poziomego. Natomiast zbyt małe mogą doprowadzić do oderwań odbieraka od sieci, co jest jeszcze bardziej niekorzystne, gdyż powoduje zakłócenia w zasilaniu pojazdu trakcyjnego, nadtapianie przewodów jezdnych oraz zakłócenia radioelektryczne. Zbyt duże amplitudy przemieszczeń pionowych punktu styku mogą z kolei doprowadzić do zerwania sieci trakcyjnej.

Najczęściej stosowane kryteria oceny jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną są następujące:

- wskaźnik ekonomiczny,
- współczynnik zmienności siły stykowej,
- składowa zmienna siły stykowej,
- odchylenie średniokwadratowe siły stykowej,
- zakres pionowych przemieszczeń punktu styku,
- uniesienie drutu jezdny w wybranym punkcie,
- współczynnik utraty styku,

- kryterium SNCF,
- kryterium J.

Powyższe kryteria omówiono szczegółowo w pracy [4].

Najbardziej uniwersalne oraz wygodne w stosowaniu jest kryterium J, zaproponowane w następującej postaci:

$$J = \left| \frac{F_{kmax}}{F_{st}} - 1 \right| + \left| \frac{F_{kmin}}{F_{st}} - 1 \right| + \frac{100}{L} (|y_{max}| + |y_{min}|) \quad (1)$$

gdzie:

- $F_{k max}$, $F_{k min}$ - wartość maksymalna i minimalna siły stykowej w wybranym przęśle zawieszenia,
- y_{max} , y_{min} - wartość maksymalna i minimalna przemieszczenia pionowego punktu styku w wybranym przęśle zawieszenia,
- L - długość przęśla zawieszenia sieci trakcyjnej,
- F_{st} - siła statyczna odbieraka prądu.

Jakość współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną jest tym lepsza, im mniejsza jest wartość współczynnika J. Największa odnotowana wartość tego współczynnika nie powinna przekraczać 1,5 dla dowolnego przęśla sieci trakcyjnej, na którym jest rozpatrywany ruch drgający [4].

Dynamiczne własności sieci trakcyjnej, bez względu na rodzaj konstrukcji, są scharakteryzowane przez następujący zbiór parametrów:

$$Q_B = \{k_B, m_B, W_B, b_B, \omega_B, L_B, p, f, V_p\} \quad (2)$$

gdzie:

- k_p - sztywność w kierunku pionowym,
- m_B - masa zastępcza (zredukowana do punktu styku z odbierakiem),
- W_B - siła tarcia suchego,
- b_B - współczynnik tarcia lepkiego,
- ω_B - częstość drgań własnych,
- L - długość przęśla zawieszenia,
- p - pochylenie drutu jezdźnego,
- f - zwis wstępny drutu jezdźnego,
- V_p - prędkość propagacji fali.

Dynamiczne własności odbieraka prądu, bez względu na rodzaj konstrukcji, są scharakteryzowane przez następujący zbiór parametrów:

$$Q_O = \{m_{O1}, m_r, b_{O1}, b_r, W_{O1}, W_r, P_{O1}, P_{Or}, k_{O1}, P_{st}\} \quad (3)$$

gdzie:

- m_{sl} - masa ślizgacza odbieraka,
- m_r - masa układu ramowego odbieraka (zredukowana do poziomu wozła),
- b_{sl} - współczynnik tarcia lepszego układu zawieszania ślizgacza,
- b_r - współczynnik tarcia lepszego układu ramowego,
- W_{sl} - siła tarcia suchego w układzie zawieszania ślizgacza,
- W_r - siła tarcia suchego w układzie ramowym,
- F_{as} - składowa aerodynamiczna naporu powietrza działająca na ślizgacz,
- F_{ar} - składowa aerodynamiczna naporu powietrza działająca na układ ramowy,
- k_{sl} - sztywność odepniętowania ślizgacza,
- F_{st} - siła statyczna odbieraka.

Niektóre elementy zbiorów Q_B i Q_C składają się z podzbiorów parametrów. Dotyczy to głównie: sztywności sieci, masy zastępczej, częstości drgań własnych, parametrów tarcia oraz składowych aerodynamicznych.

Oprócz zbiorów Q_B i Q_C , należy wyróżnić zbiór Q_d , tzw. "czynników dodatkowych". Przez "czynniki dodatkowe" rozumiano grupę zjawisk towarzyszących współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną, nie uwzględnionych w zbiorach Q_B i Q_C .

Czynniki dodatkowe mogą być przedstawione za pomocą następującego zbioru:

$$Q_d = \{ F_{ed}, F_{ov}, F_{wt}, F_{roz}, F_{usz}, F_e, F_{sz}, \dots \} \quad (4)$$

gdzie:

- F_{ed} - składnik uwzględniający zjawiska elektrodynamiczne,
- F_{ov} - składnik uwzględniający odbicie falowe,
- F_{wt} - składnik uwzględniający działanie wiatru,
- F_{roz} - składnik uwzględniający rozregulowanie parametrów sieci trakcyjnej lub odbieraka prądu,
- F_{usz} - składnik uwzględniający częściowe uszkodzenia sieci trakcyjnej lub odbieraka prądu,
- F_e - składnik uwzględniający drgania pudła pojazdu trakcyjnego,
- F_{sz} - składnik uwzględniający przypadki szczególne.

W wypadku analizy współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną, w warunkach deformacji terenu spowodowanej szkodami górniczymi, ważna jest identyfikacja charakterystyk parametrów wchodzących w skład zbiorów Q_B i Q_d . Do zbioru Q_C można przyjmować parametry odbieraka AKP-4E, znane z katalogów oraz danych literaturowych, gdyż jest to praktycznie jedyny stosowany na PKP odbierak prądu.

Charakterystyki parametrów sieci trakcyjnych, stosowanych na PKP, podano w pracy [3].

Jak wykazały obliczenia przedstawiłone w artykule [5], ze składników zbioru Q_{Σ} , największy wpływ na jakość współpracy odbieraka prądu z siecią mają: parametr k_{Σ} - charakterystyka sztywności sieci trakcyjnej oraz parametr f - zwis wstępny drutu jezdneho.

2. Wpływ deformacji terenu na zmianę charakterystyk parametrów sieci trakcyjnej

Deformacja terenu spowodowana eksploatacją górnictw jest przyczyną powstawania dwóch typów deformacji - istotnych dla prawidłowej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną - a mianowicie:

- deformacji sieci trakcyjnej,
- deformacji toru.

Szkody górnictw powodują w sieci trakcyjnej: rozregulowanie wieszakowania, pochylenia szupów, pęknięcia izolatorów itp., dla toru natomiast - powodują tzw. "pofałowanie" mające wpływ na drgania pudła pojazdu trakcyjnego.

Oddziaływanie eksploatacji górnictw na sieć trakcyjną nie jest do tej pory dostatecznie zbadane i wyjaśnione. Zagadnienie to wymaga wieloaspektowych studiów i pomiarów, rozłożonych w czasie na przeciąg kilku do kilkunastu lat. W obecnym stanie wiedzy należy przyjąć, że na zmianę charakterystyk parametrów sieci trakcyjnej na pewno będą miały wpływ następujące czynniki: pochylenie słupa, rozregulowanie wieszaków oraz zmiana wysokości zawieszenia sieci w stosunku do toru. O ile rozregulowanie czy zerwanie wieszaków należy uznać za sytuację awaryjną szybko usuwaną przez ekipy naprawcze, o tyle pochylenie słupów oraz zmiany wysokości zawieszenia sieci w stosunku do toru mogą mieć konsekwencje daleko większe.

Pochylenie słupa przelotowego może mieć wpływ głównie na wywianie sieci oraz na ewentualne pojawienie się zwisów przewodów jezdnych. Dużo groźniejsze następstwa może mieć pochylenie słupa kotowego i związane z tym zablokowanie ciężarów naprężających w prowadnicach, co jest podstawową przyczyną zmiany charakterystyki sztywności sieci trakcyjnej.

Zmiana naciągów przewodów ma również wpływ na zmianę następujących parametrów sieci trakcyjnej: zwisu, tłumienia drgań, częstości drgań własnych oraz prędkości propagacji fali.

Sztywność pojedynczej sieci łańcuchowej (np. C95-2C) może być określona następującą zależnością podstawową:

$$k_{\Sigma}(x) = \frac{L \cdot (T + N)}{x \cdot (L - x)} \quad (5)$$

gdzie:

x - droga,

- L - długość pręśła zawieszenia,
 T - naciąg liny nośnej,
 N - naciąg drutów jezdnych.

Zakładając, że na skutek deformacji terenu nastąpi zmiana długości pręśła zawieszenia oraz zmiana naciągów przewodów, wzór powyższy ulegnie następującemu przekształceniu:

$$k_s^*(x) = \frac{(L + \Delta L) \cdot [(T + \Delta T) + (N - \Delta N)]}{x [(L + \Delta L) - x]} \quad (6)$$

gdzie:

- ΔL - zmiana długości pręśła zawieszenia,
 $\Delta T, \Delta N$ - zmiany naciągów przewodów: liny nośnej i drutów jezdnych.

Zakładając niekłę osiadania, dla której maksymalne końcowe obniżenie terenu w_{\max} wyniesie 2 m oraz promień zasięgu wpływów górniczych $r = 700$ m, dla $L = 70$ m ΔL wyniesie 0,644 m [6], co jest wielkością pomijalną dla ewentualnej korekcji charakterystyki sztywności. Można zatem napisać:

$$k_s^*(x) = \frac{L [(T - \Delta T) + (N - \Delta N)]}{x(L - x)} \quad (7)$$

Analogicznie dla częstości drgań własnych można napisać [3]:

$$\omega_s^* = 2\pi \frac{\alpha}{L} \sqrt{\frac{(T - \Delta T) + (N - \Delta N)}{m_j}} \quad (8)$$

gdzie:

- α - współczynnik konstrukcyjny sieci,
 m_j - masa jednostkowa sieci.

Do obliczeń symulacyjnych współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną stosowany jest wzór:

$$k_B(x) = \bar{k}_B (1 + \varepsilon_k \cos \frac{2\pi}{L} x) \quad (9)$$

gdzie:

$$\bar{k}_B = 0,5 (k_{B\max} + k_{B\min}) \quad (10)$$

$$\varepsilon_k = \frac{k_{B\max} - k_{B\min}}{k_{B\max} + k_{B\min}} \quad (11)$$

Zakładając, że na skutek blokady ciężarów $k_{smax}^* - k_{smax}$ (pod słupami), natomiast w środku przebiega:

$$k_{smin}^* = \frac{(T - \Delta T) + (N - \Delta N)}{0,25 L} \rightarrow \epsilon_k^* = \frac{k_{smax} - k_{smin}^*}{k_{smax} + k_{smin}^*}$$

oraz

$$\bar{k}_s^* = 0,5 (k_{smax} + k_{smin}^*),$$

można stwierdzić, że ze wzrostem ΔT i ΔN , jakość współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną będzie pogarszać się [1].

Orientacyjne zmiany tłumienia drgań sieci spowodowane tarciem suchym i lepkiem na skutek zmian naprężenia przewodów oraz zmiany pochylenia drutów jezycznych - można określić na podstawie danych liczbowych podanych w artykule [3].

3. Wpływ niektórych typów deformacji na jakość współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną

Dla celów symulacji komputerowej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną w rejonach objętych wpływem szkód górniczych, poszczególne deformacje sklasyfikowano następująco [1]:

- DS - deformacja sieci trakcyjnej,
- DT - deformacja toru.

Wśród szeregu deformacji sieci trakcyjnej wyodrębniono najczęściej występujące i podzielono je na następujące typy:

- DS1 - deformacja polegająca na zmianie charakterystyki sztywności sieci trakcyjnej w stosunku do charakterystyki nominalnej;
- DS2 - deformacja polegająca na zmianie pochylenia drutu jezycznego w przesłone zawieszenia;
- DS3 - deformacja polegająca na pojawieniu się zwisów drutu jezycznego (w sieciach trakcyjnych na PKP nie stosowane są zwisy wstępne przewodów jezycznych).

Wśród deformacji toru wyodrębniono następujące typy:

- DT1 - deformacji polegające na tzw. "falowaniu" toru na odcinku jednego przesłone zawieszenia;
- DT2 - deformacja polegająca na zmianie pochylenia toru.

Liczba możliwych do przeprowadzenia wariantów obliczeniowych jest bardzo duża. Wynika to z faktu, że oprócz 6 podstawowych kombinacji DS + DT, należy wziąć w obliczeniach pod uwagę różne sytuacje:

- w przypadku zmian charakterystyki sztywności: różne wartości \bar{k}_s , \bar{c}_k i l_s
- w przypadku zmiany pochylenia drutu jezdnego: pochylenie dodatnie i ujemne, różne wartości tych pochyleń;
- w przypadku pojawiania się zwisów: zwisy dodatnie i ujemne, różne kształty zwisów, różne wartości strzałek zwisów (f).

Podobne uwagi dotyczą deformacji toru. Ponadto należałoby rozpatrzyć różne typy sieci trakcyjnych oraz odbieraków prądu, a symulację przeprowadzić dla różnych prędkości jazdy.

Poniżej podano kilka wariantów obliczeniowych dla najbardziej typowych sytuacji. Do obliczeń przyjęto sieć trakcyjną (na bazie C120-2C) o następujących parametrach: $N = 2x7180 \text{ N}$, $T = 13700 \text{ N}$, $L = 72 \text{ m}$, $k_{s \text{ max}} = 5450 \text{ N/m}$, $k_{s \text{ min}} = 1560 \text{ N/m}$, $\bar{k}_s = 3505 \text{ N/m}$, $\bar{c}_k = 0.577$, $f_s = 0.648 \text{ Hz}$, $m_j = 2.85 \text{ kg/m}$ [5]; oraz odbieraka prądu (na bazie AKP-4E) o następujących parametrach: $k_{s1} = 4785 \text{ N/m}$, $m_{s1} = 12.2 \text{ kg}$, $m_r = 21.6 \text{ kg}$, $F_{st} = 80 \text{ N}$, $k_a = 0.03 \text{ N}_s^2 \text{ m}^{-2}$, $\varphi_{as} = 0.7$, $\varphi_{ar} = 0.3$, $W_{s1} = 10 \text{ N}$, $W_r = 10 \text{ N}$, $b_{s1} = b_r = 0$ [5]; do obliczeń przyjęto następujące wartości parametrów tłumienia drgań sieci: $b_s = \bar{b}_s = 30 \text{ Ns/m}$, $W_s = \bar{W}_s = 30 \text{ N}$; oraz drgania lokomotywy: $y_{em} = 0.02 \text{ m}$, $\omega_e = 8 \text{ s}^{-1}$.

Obliczenia symulacyjne wykonano przy użyciu komputera IBM-370/145 w systemie CSMP-360 w oparciu o model matematyczny ST1+OP2 opisany m.in. w artykule [5].

Obserwowano przebiegi na odcinku 3 pręseł zawieszenia. Przedmiotem analizy były wyniki z pręseła ostatniego. Symulację wykonywano przy zerowych warunkach początkowych, tzn. odbierak prądu oraz sieć trakcyjna w chwili $t = 0$ (dla $x = 0$) nie wykonywały żadnych ruchów drgających. Symulację przeprowadzono dla stałej prędkości jazdy. Wykonano 9 wariantów obliczeniowych, rejestrując ponad 110 przebiegów symulacyjnych.

Tabela 1

W a r i a n t o b l i c z e n i o w y n r 1
WSPÓŁPRACA ODBIERAKA PRĄDU Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ W WARUNKACH BEZ DEFORMACJI

PRĘDKOŚĆ [km/h]	y_{max} [cm]	y_{min} [cm]	$F_{k \text{ max}}$ [N]	$F_{k \text{ min}}$ [N]	J
10	5.8	0.7	100.4	60.9	0.58
20	5.6	0.8	96.7	65.4	0.48
30	5.9	0.9	100.2	61.8	0.57
40	5.9	0.9	103.6	63.6	0.59
50	5.9	0.9	106.6	65.9	0.60
60	6.3	1.1	109.0	68.1	0.61
70	6.5	0.9	112.2	69.6	0.63
80	6.6	1.0	122.2	70.5	0.75
90	7.0	1.1	123.5	69.1	0.79
100	7.4	1.0	134.0	68.5	0.93

Wariant obliczeniowy nr 1

Obliczenia przeprowadzono dla testowego układu odbierak - sieć w zakresie prędkości jazdy 10 - 100 km/h zakładając, że sieć trakcyjna oraz tor są idealnie utrzymane. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1. Jak widać, w całym zakresie prędkości jazdy, jakość współpracy dynamicznej odbieraka z siecią trakcyjną jest dobra (współczynnik jakości J nie przekracza wartości 1, przy dopuszczalnym 1.5).

Wariant obliczeniowy nr 2

Obliczenia przeprowadzono dla deformacji typu DS1, zakładając zmianę charakterystyki sztywności sieci trakcyjnej spowodowaną zmianą naciągu przewodów. Zarejestrowano 4 przebiegi symulacyjne dla prędkości jazdy $V = 60$ km/h, dla następujących sytuacji:

- 1) naciągi nominalne, współczynnik nierównomierności $\epsilon_k = 0.577$, średnia sztywność w przęśle zawieszania $\bar{k}_B = 3505$ N/m;
- 2) zmniejszenie naciągów przewodów o 10%, $\epsilon_k^* = 0.590$, $\bar{k}_B^* = 3426$ N/m;
- 3) zmniejszenie naciągów o 25%, $\epsilon_k^* = 0.647$, $\bar{k}_B^* = 3310$ N/m;
- 4) zmniejszenie naciągów o 50% $\epsilon_k^* = 0.750$, $\bar{k}_B^* = 3114$ N/m.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń, których wyniki zestawiono w tabeli 2, można stwierdzić że: zmiana naciągów przewodów ma niekorzystny wpływ na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Dla rozważanej prędkości jazdy, jakość współpracy jest zadowalająca, pod warunkiem że nie występują deformacje innego typu.

Tabela 2

W a r i a n t o b l i c z e n i o w y n r 2
W P Ł Y W Z M I A N Y C H A R A K T E R Y S T Y K I S Z T Y W N O Ś C I S I E C I N A J A K O Ś Ą W S P Ó Ł P R A C Y D Y N A M I C Z N E J O D B I E R A K A P R Á D U Z S I E C I Á D L A $V = 60$ km/h

R O Z R E G U L O W A N I E N A C I Á G U

- 1) $\Delta T = 0\%$, $\Delta N = 0\%$, $\epsilon_k = 0.577$, $k_B = 3505$ N/m
- 2) $\Delta T = -10\%$, $\Delta N = -10\%$, $\epsilon_k = 0.590$, $\bar{k}_B = 3426$ N/m
- 3) $\Delta T = -25\%$, $\Delta N = -25\%$, $\epsilon_k = 0.647$, $\bar{k}_B = 3310$ N/m
- 4) $\Delta T = -50\%$, $\Delta N = -50\%$, $\epsilon_k = 0.750$, $\bar{k}_B = 3114$ N/m

Lp.	y_{\max} [cm]	y_{\min} [cm]	$F_k \max$ [N]	$F_k \min$ [N]	J
1	6.3	1.1	109.1	68.1	0.61
2	6.6	1.0	109.2	68.5	0.61
3	7.8	1.0	109.9	69.1	0.63
4	10.7	1.1	113.6	61.5	0.81

Wariant obliczeniowy nr 3

Obliczenia przeprowadzono dla deformacji typu DS2, zakładając że zmiany pochylenia drutu jezdnego zawarte są w przedziale: $-6 \div +6$ promila. Wyniki obliczeń symulacyjnych dla 6 sytuacji zestawiono w tabeli 3. Jak widać, ujemne pochylenie drutu jezdnego mają większy wpływ dla rozważanego przypadku na jakość współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną, niż pochylenia dodatnie. Dla rozważanej prędkości jazdy jakość współpracy odbieraka z siecią jest zadowalająca dla wszystkich badanych pochyżeń.

Tabela 3

W a r i a n t o b l i c z e n i o w y n r 3

W P L Y W Z M I A N Y P O C H Y L E N I A D R U T U J E Z D N E G O N A J A K O Ś Ć W S P Ó L P R A C Y D Y N A M I C Z N E J
O D B I E R A K A P R Á D U Z S I E C I Ą D L A $V = 60$ km/h

PARAMETR p [°/oo]	y_{max} [cm]	y_{min} [cm]	F_k max [N]	F_k min [N]	J
-6	8.6	1.2	124.6	72.2	0.79
-4	7.9	1.2	116.8	74.4	0.65
-2	7.1	1.2	109.9	71.7	0.59
2	5.5	1.0	107.5	70.4	0.55
4	4.9	0.8	105.8	69.5	0.53
6	4.4	0.7	103.8	66.7	0.53

Tabela 4

W a r i a n t o b l i c z e n i o w y n r 4

W P L Y W Z M I A N Y Z W I S U D R U T U J E Z D N E G O N A J A K O Ś Ć W S P Ó L P R A C Y D Y N A M I C Z N E J O D B I E -
R A K A P R Á D U Z S I E C I Ą D L A $V = 60$ km/h

PARAMETR f [cm]	y_{max} [cm]	y_{min} [cm]	F_k max [N]	F_k min [N]	J
-20	12.3	-3.0	139.8	18.6	1.72
-15	10.4	-1.8	132.3	28.7	1.46
-10	8.9	-0.1	122.3	43.8	1.1
-5	7.6	0.9	114.4	60.6	0.78
5	5.2	1.0	110.1	67.5	0.61
10	5.5	0.3	115.9	65.6	0.7
15	6.5	-0.4	141.2	58.9	1.12
20	7.8	-0.6	160.6	51.3	1.48

Wariant obliczeniowy nr 4

Obliczenia przeprowadzone dla deformacji typu DS3. Zwisy przewodów jezdnych sieci trakcyjnej na terenach objętych uszkodzami górnymi spowodowane są na skutek pochylenie szupów i blokady ciężarów.

Wyniki obliczeń symulacyjnych dla sytuacji zestawiono w tabeli 4. Jak widać, duże ujemne zwisy mają bardziej niekorzystny wpływ na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną, niż zwisy dodatnie. Dla rozważanej prędkości jazdy, sytuacja gdzie strzałka zwisu $f = -20$ cm jest już niedopuszczalna ze względu na prawidłową współpracę odbieraka z siecią. Przy większych drganiach pudła lokomotywy oraz przy deformacjach innego typu - mogą wystąpić oderwania ślizgacza odbieraka od drutu jezdnych i związane z tym zakłócenia w zasilaniu pojazdu trakcyjnego, zakłócenia radioelektryczne, oraz wypalanie przewodów jezdnych. Przy dużych zwisach dodatnich nadmierny wzrost wartości ekstremalnej siły stykowej ($F_{k \max}$) spowodować może niepotrzebne zużycie materiałów stykowych na skutek zwiększonego tarcia poziomego. Sytuacja pogarsza się przy większych prędkościach jazdy.

Wariant obliczeniowy nr 5

Obliczenia przeprowadzono dla deformacji typu DT1, charakteryzującej się tzw. "falowaniem" toru. Rozpatrywano "falowanie" na odcinku 1 przęsła zwieszania, przy prędkości jazdy $V = 60$ km/h, dla 6 zagłębień toru (g_t) - rozumianych tutaj analogicznie jak strzałka zwisu sieci trakcyjnej w deformacji typu DS3. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 5. Jak widać, tego typu deformacja, której okres wynosił $1/3 L$, dla rozważanej prędkości jazdy nie ma istotnego wpływu na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną.

Wariant obliczeniowy nr 6

Obliczenia wykonano dla deformacji typu DT2, charakteryzującej się pochyleniem toru na skutek deformacji terenu. Pochylenie toru (p_t) wyrażone w promilach - rozumiano tutaj analogicznie jak pochylenie drutu jezdnych dla deformacji typu DS2.

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 6. Jak widać, dla rozważanej prędkości jazdy $V = 60$ km/h, pochylenie toru dla rozpatrywanych 6 sytuacji nie ma istotnego wpływu na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną.

W obliczeniach symulacyjnych dla wariantów 5 i 6 przyjęto założenie, że drgania spowodowane deformacją toru przenoszą się bezpośrednio na pudło pojazdu trakcyjnego.

(Rozważenie wpływu rodzaju zawieszania pudła pojazdu trakcyjnego na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną - wykracza poza zakres niniejszego artykułu).

Tabela 5

Wariant obliczeniowy nr 5
 WPŁYW "FALOWANIA" TORU NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
 Z SIECIĄ DLA $V = 60 \text{ km/h}$

PARAMETR	y_{\max}	y_{\min}	$F_k \max$	$F_k \min$	J
ε_t [cm]	[cm]	[cm]	[N]	[N]	
-30	6.5	1.2	105.9	72.4	0.52
-20	6.4	1.3	104.5	70.5	0.53
-10	6.3	1.3	103.1	71.1	0.50
10	6.5	1.4	104.6	67.6	0.57
20	6.6	1.2	106.1	66.1	0.60
30	6.6	1.4	106.9	65.2	0.63

Tabela 6

Wariant obliczeniowy nr 6
 WPŁYW POCHYLENIA TORU NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
 Z SIECIĄ DLA $V = 60 \text{ km/h}$

PARAMETR	y_{\max}	y_{\min}	$F_k \max$	$F_k \min$	J
p_t [°/∞∞]	[cm]	[cm]	[N]	[N]	
-6	6.0	1.1	90.1	67.2	0.38
-4	6.1	1.2	102.1	67.7	0.53
-2	6.2	1.3	102.2	68.4	0.51
2	6.5	1.3	106.5	74.1	0.51
4	6.6	1.4	108.1	78.3	0.48
6	6.6	1.5	109.3	78.4	0.49

Jak wykazały obserwacje sieci trakcyjnej oraz torów na terenach objętych wpływem eksploatacji górniczej - występujące deformacje sieci trakcyjnej wykazują bardziej złożony charakter, niż to przedstawiono w prostych wariantach: 2-6. Występują deformacje złożone, będące kombinacjami deformacji prostych np. DS1 + DS3 + DT2. Ponadto na skutek złego stanu torów występują drgania pudła lokomotywy o amplitudach większych niż 2cm. Powyższe czynniki mogą spowodować znaczne pogorszenie jakości współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną i związaną z tym konieczność ograniczenia prędkości jazdy.

Wariant obliczeniowy nr 7

Obliczenia przeprowadzono dla deformacji typu DS2 + DS3 dla 4 sytuacji - w zakresie prędkości jazdy 10 - 100 km/h. W wariancie tym, jak i w następnych, przyjęto $y_{em} = 0,07$ m. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 7 - 10.

W a r i a n t 7a

Dla wariantu obliczeniowego przyjęto:

- pochylenie drutu jezdnego: $6^{\circ}/\infty$;
- strzałka zwisu: 20 cm.

Wyniki obliczeń ilustruje tabela 7. Dopuszczalna prędkość jazdy V_{dop} - przy której jakość współpracy dynamicznej odbieraka z siecią trakcyjną jest jeszcze zadowalająca wynosi 45 km/h. Powyżej prędkości 60 km/h występują oderwania ślizgacza odbieraka od drutu jezdnego.

W a r i a n t 7b

Do obliczeń przyjęto:

- pochylenie drutu jezdnego: $p = -6^{\circ}/\infty$;
- strzałka zwisu: $f = 20$ cm.

Wyniki obliczeń ilustruje tabela 8. Dopuszczalna prędkość jazdy V_{dop} wynosi 55 km/h. Powyżej prędkości 70 km/h występują oderwania ślizgacza odbieraka od drutu jezdnego sieci trakcyjnej.

Tabela 7

W a r i a n t o b l i c z e n i o w y n r 7/a
WPŁYW DEFORMACJI SIECI NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ

POCHYLENIE DRUTU JEZDNEGO: $p = 6^{\circ}/\infty$
STRZAŁKA ZWISU: $f = 20$ cm

PRĘDKOŚĆ v [km/h]	y_{max} [cm]	y_{min} [cm]	F_k max [N]	F_k min [N]	J
10	5.6	-0.2	114.5	48.9	0.90
20	5.3	-0.2	112.0	41.9	0.95
30	5.7	-0.2	113.9	41.2	0.99
40	5.6	-1.0	139.6	36.6	1.26
50	8.5	-1.2	135.7	14.6	1.64
60	7.7	-2.2	163.1	38.1	1.70

Tabela 8

Wariant obliczeniowy nr 7/b
 WPŁYW DEFORMACJI SIECI NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
 Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ

POCHYLENIE DRUTU JEZDNEGO: $p = -6^{\circ}/\infty$
 STRZAŁKA ZWISU: $f = 20$ cm

PRĘDKOŚĆ V [km/h]	y_{\max} [cm]	y_{\min} [cm]	$F_{k \max}$ [N]	$F_{k \min}$ [N]	J
10	6.3	-0.1	118.2	50.1	0.94
20	6.7	-0.1	118.4	50.1	0.94
30	7.6	0.2	121.6	45.1	1.06
40	6.6	-0.4	132.7	38.6	1.27
50	8.8	-0.8	134.1	41.8	1.88
60	8.5	-1.3	156.7	22.1	1.81
70	11.0	-2.8	176.7	10.5	2.26

Tabela 9

Wariant obliczeniowy nr 7/c
 WPŁYW DEFORMACJI SIECI NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
 Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ

POCHYLENIE DRUTU JEZDNEGO: $p = 6^{\circ}/\infty$
 STRZAŁKA ZWISU: $f = -20$ cm

PRĘDKOŚĆ V = [km/h]	y_{\max} [cm]	y_{\min} [cm]	$F_{k \max}$ [N]	$F_{k \min}$ [N]	J
10	6.0	-0.2	109.6	48.1	0.85
20	5.4	-0.2	108.9	43.6	0.89
30	6.5	-1.1	113.1	34.2	1.09
40	7.5	-2.4	126.8	44.1	1.17
50	7.5	-1.9	143.9	10.2	1.80
60	12.8	-4.0	146.7	23.1	1.77

Wariant 7c

Do obliczeń przyjęto:

- pochylenie drutu jezdnego: $p = 6^{\circ}/\infty$;
- strzałka zwisu: $f = -20$ cm.

Wyniki obliczeń ilustruje tabela 9. Dopuszczalna prędkość jazdy dla tej sytuacji wynosi 45 km/h. Powyżej prędkości 60 km/h występują oderwania ślizgacza od drutu jezdnego.

Tabela 10

W a r i a n t o b l i c z e n i o w y n r 7/d
 WPŁYW DEFORMACJI SIECI NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
 Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ

POCHYLENIE DRUTU JEZDNEGO: $p = -6^{\circ}/\infty$
 STRZAŁKA ZWISU: $f = -20$ cm

PRĘDKOŚĆ V [km/h]	y_{\max} [cm]	y_{\min} [cm]	$F_k \max$ [N]	$F_k \min$ [N]	J
10	6.6	-0.1	118.1	50.2	0.94
20	6.6	0.0	118.7	45.2	1.01
30	8.6	-0.4	117.3	40.9	1.08
40	9.9	-1.5	120.0	45.6	1.08
50	10.1	-1.8	129.3	26.1	1.45
60	13.3	-2.1	157.9	20.4	1.93

W a r i a n t 7d

Do obliczeń przyjęto:

- pochylenie drutu jezdnego: $p = -6^{\circ}/\infty$;
- strzałka zwisu: $f = -20$ cm.

Wyniki obliczeń ilustruje tabela 10. Dopuszczalna prędkość jazdy dla tej sytuacji wynosi 55 km/h. Powyżej prędkości 60 km/h występują oderwania ślizgacza odbieraka od drutu jezdnego.

Wariant obliczeniowy nr 6

Obliczenia przeprowadzono dla deformacji typu DS2 + DS3 + DS1 dla dwóch sytuacji, w zakresie prędkości jazdy 10 - 100 km/h. W obliczeniach założono zmniejszenie naciągu przewodów: $-\Delta T$, $-\Delta N$ równe 50% ($\epsilon_k^* = 0.750$, $\bar{k}_g^* = 3114$ N/m). Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 11 i 12.

W a r i a n t 8a

- pochylenie drutu jezdnego: $p = 6^{\circ}/\infty$;
- strzałka zwisu: $f = -20$ cm.

Wyniki obliczeń ilustruje tabela 11. Dopuszczalna prędkość jazdy dla tej sytuacji wynosi 45 km/h. Powyżej prędkości 50 km/h następuje gwałtowne pogorszenie jakości współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Występują oderwania ślizgacza od drutu jezdnego ($F_k \min = 0$ w kilku miejscach przecięcia zawieszenia), ponadto wartości ekstremalne $F_k \max$ dla prędkości powyżej 70 km/h sięgają wartości kilkuset niutonów. Jazda dla takiej sytuacji w rzeczywistych warunkach groziłaby zerwaniem sieci, gdyż amplitudy drgań osiągałyby wartości rzędu 50 cm.

W a r i a n t 8b

Do obliczeń przyjęto:

- pochylenie drutu jezdnego: $p = -6^{\circ}/\text{oo}$;
- strzałka zwisu: $f = -20 \text{ cm}$.

Wyniki obliczeń ilustruje tabela 12. Dopuszczalna prędkość jazdy dla tej sytuacji wynosi również 45 km/h. Powyżej prędkości 50 km/h następuje gwałtowne pogorszenie jakości współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną, analogicznie jak w wariancie 8a.

Przykładowo: dla $V = 50 \text{ km/h}$ $y_{\max} = 19.4 \text{ cm}$, $y_{\min} = -3.4 \text{ cm}$;
 dla $V = 60 \text{ km/h}$ $y_{\max} = 22.7 \text{ cm}$, $y_{\min} = -7.5 \text{ cm}$;
 dla $V = 70 \text{ km/h}$ $y_{\max} = 37.2 \text{ cm}$, $y_{\min} = -19.1 \text{ cm}$.

Kontynuowanie jazdy w takich warunkach groziłoby zerwaniem sieci.

Tabela 11

W a r i a n t obliczeniowy nr 8/a

WPLYW DEFORMACJI SIECI NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ

POCHYLENIE DRUTU JEZDNEGO: $p = 6^{\circ}/\text{oo}$;

ODKSZTAŁCENIE CHARAKTERYSTYKI SZTYWNOŚCI

PRĘDKOŚĆ V [km/h]	y_{\max} [cm]	y_{\min} [cm]	$F_{k \max}$ [N]	$F_{k \min}$ [N]	J
10	10.6	-0.1	113.7	49.5	0.95
20	10.3	-0.1	111.5	44.1	0.98
30	11.7	-1.0	115.7	39.2	1.13
40	11.4	-2.4	118.3	41.8	1.14
50	14.4	-2.0	185.3	22.5	2.26

Tabela 12

W a r i a n t obliczeniowy nr 8/b

WPLYW DEFORMACJI SIECI NA JAKOŚĆ WSPÓŁPRACY DYNAMICZNEJ ODBIERAKA PRĄDU
Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ

POCHYLENIE DRUTU JEZDNEGO: $p = -6^{\circ}/\text{oo}$

STRZAŁKA ZWISU: $f = -20 \text{ cm}$

ODKSZTAŁCENIE CHARAKTERYSTYKI SZTYWNOŚCI

PRĘDKOŚĆ V [km/h]	y_{\max} [cm]	y_{\min} [cm]	$F_{k \max}$ [N]	$F_{k \min}$ [N]	J
10	11.9	0.0	117.4	49.8	1.01
20	12.8	0.2	118.3	45.8	1.08
30	15.1	-0.2	114.6	50.1	1.01
40	16.3	-1.3	121.7	31.9	1.36
50	19.4	-3.4	145.1	10.1	2.00

Wariant obliczeniowy nr 9

Częstym problemem na terenach objętych eksploatacją górnictwem jest konieczność obniżania sieci trakcyjnej pod obiektami inżynierskimi (wiaduktami, kładkami itp.) [7]. Obiekty te osiadają na skutek deformacji terenu, a przebudowa ich jest kosztowna i kłopotliwa. Problemowi temu można częściowo zaradzić, stosując tzw. beznapięciowe przejście pod wiaduktami bez konieczności opuszczania odbieraka prądu. Zagadnienie to jest również istotne tam gdzie dopiero wprowadzana jest elektryfikacja linii kolejowych.

W obliczeniach symulacyjnych [1] przyjęto poprzeczkę izolacyjną (zastępującą drut jezdny pod wiaduktem) zawieszoną na kilku sprężynach. Obliczenia przeprowadzono dla 4 wartości sztywności zastępczej układu sprężyn (k_{gd}). Wyniki obliczeń ilustruje tabela 13. Jak widać, jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną dla rozważanej prędkości jazdy nie jest zbyt zadowalająca, jednakże w warunkach jazdy bezprądowej jest do przyjęcia, gdyż nie zagraża uszkodzeniem elementów sieci oraz odbieraka prądu.

"Wejściu" odbieraka pod poprzeczkę towarzyszy gwałtowne zmniejszenie amplitudy drgań oraz znaczny wzrost siły stykowej. Na całej długości poprzeczki występują oscylacje siły stykowej, które zanikają przy "wyjściu" odbieraka.

Tabela 13

W a r i a n t o b l i c z e n i o w y n r 9
W P Ł Y W I M P U L S U S Z T Y W N O Ś C I N A J A K O Ś Ą W S P Ó Ł P R A C Y D Y N A M I C Z N E J O D B I E R A K A P R Á D U
Z S I E C I Á D L A $V = 100$ km/h

PARAMETR k/k_{gd} [N/m]	y_{max} [cm]	y_{min} [cm]	F_k max [N]	F_k min [N]	J
5000	2.2	-0.3	178.6	26.30	1.93
10000	1.8	-0.2	191.1	15.80	2.21
20000	1.4	0.0	212.9	6.15	2.60
50000	0.7	0.0	234.2	13.30	2.77

Jak wykazują wyniki wstępnych obliczeń symulacyjnych, istnieje możliwość optymalnego doboru wartości sprężyn utrzymujących poprzeczkę oraz ewentualnych tłumików drgań, a także kąta pochylenia przewodów przy "wejściu" i "wyjściu" spod wiaduktu.

Zagadnienie powyższe wymaga osobnego opracowania.

4. Wnioski dotyczące jakości współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną na terenach objętych eksploatacją górniczą

Na podstawie rozważań oraz wyników przedstawionych w punktach 1 - 3 można sformułować następujące wnioski:

1. Jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną jest w poważnym stopniu uzależniona od deformacji sieci.
2. Deformacje terenu na obszarach objętych eksploatacją górniczą mają wpływ na zmianę charakterystyk następujących parametrów sieci trakcyjnej:
 - sztywności w kierunku pionowym (zmiana współczynnika nierównomierności sztywności oraz sztywności średniej - na skutek zmian naciągów przewodów);
 - pochylenia drutów jezdnych (poprzez osiadanie słupów, a także pochylenia słupów);
 - zwisu wstępnego drutów jezdnych;
 - tłumienia drgań (temat ten wymaga oddzielnego opracowania).
3. Największy wpływ na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną mają pojawiające się zwisy wstępne przewodów.
4. Deformacje toru typu "pochylenie" lub "falowanie" mają niewielki wpływ na jakość współpracy odbieraka z siecią dla rozpatrywanego zakresu prędkości jazdy. Duży natomiast wpływ mają drgania pudła lokomotywy spowodowane złym utrzymaniem torów (temat ten wymaga oddzielnego opracowania).
5. Dla rozważanych wariantów obliczeniowych najwyższa dopuszczalna prędkość jazdy (V_{dop}) ze względu na jakość współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną zawarta jest w przedziale: 45-55 km/h.
6. Określenie prędkości V_{dop} dla poszczególnych lokat jest możliwe dzięki symulacji komputerowej realizowanej w oparciu o zastosowany model matematyczny oraz uzyskane dane poligonowe. (Problem ten wymaga oddzielnego opracowania).
7. Symulacja komputerowa umożliwia efektywne badanie jakości współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną dla dowolnych typów deformacji sieci trakcyjnej, pod warunkiem że określone zostaną droga pomiarową lub analityczną zmiany charakterystyk poszczególnych parametrów układu.
8. Dla zapewnienia prawidłowej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną niezbędna jest okresowa kontrola: naciągów przewodów sieci trakcyjnej, zwisów przewodów, pochylenia przewodów oraz zygzakowania.

9. Poprawa jakości współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną na terenach objętych eksploatacją górnictw jest możliwa przede wszystkim przez właściwą regulację sieci. Możliwe są również dodatkowe zabiegi techniczne np. stosowanie "antyżwisów", tłumików drgań, ograniczników drgań, a także dodatkowych mas skupionych. (Zagadnienie to wymaga oddzielnego opracowania).
10. Poprawa jakości współpracy dynamicznej odbieraka z siecią trakcyjną może być również dokonana drogą modernizacji odbieraka prądu np. poprzez zastosowanie układu autoregulacji.
11. W przypadku osiadania obiektów inżynierskich na terenach objętych eksploatacją górnictw, w celu uniknięcia kosztownej przebudowy, możliwe jest bezprądowe przechodzenie pod wiaduktaami bez konieczności opuszczania odbieraka - dzięki specjalnym rozwiązaniom technicznym, jak np. usprężynowana poprzeczka izolacyjna. (Zagadnienie to wymaga oddzielnego opracowania).
12. W celu systematycznej kontroli stanu sieci trakcyjnej na terenach objętych szkodami górnictw należałoby wykonać okresowe przejazdy wagonem pomiarowym, wyposażonym w odpowiednią aparaturę. Wagon powinien wykonywać następujące pomiary: wysokości zawieszenia sieci, odsuwu od osi toru (zygzakowania), sztywności sieci, czasu przerw stykowych między odbierakiem a siecią, zużycia drutów jezdnych, a także siły stykowej. Dla zautomatyzowania procesu pomiarowego wskazane byłoby zainstalowanie w wagonie pomiarowym mikrokomputera pokładowego, sporządzającego na bieżąco raport z jazdy. Raport zawierałby szczegółowe informacje o miejscach zagrożonych i byłby dokumentem wyjściowym dla służb naprawczych.

Ze względu na wysoki stopień automatyzacji przetwarzania danych, tak wyposażony wagon pomiarowy mógłby być doczepiany do pociągów rozkładowych, nie wymagając ani organizacji specjalnych jazd pomiarowych, ani wyłączenia sieci spod napięcia. (Zagadnienie powyższe również wymaga oddzielnego opracowania).

LITERATURA

- [1] Fidruch Z. i in.: Analiza zachowania się sieci trakcyjnej na stacjach objętych wpływami deformacji górnictw terenów i wnioski. - Opracowanie wykonane dla COBiRTK Warszawa, temat 3115/16. Instytut Transportu Kolejowego Politechniki Śląskiej. Katowice 1982.
- [2] Jasica J., Ranc B.: Sieć trakcyjna PKP na terenach objętych szkodami górnictw - Przegląd Kolejowy Elektryczny 1969, nr 2.
- [3] Konieczny R.: Charakterystyka parametrów sieci trakcyjnej i odbieraka prądu. - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport 1. Gliwice 1983.

- [4] Konieczny R.: Kryteria oceny jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną - Seszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka 76. Gliwice 1982.
- [5] Konieczny R.: Wpływ podstawowych parametrów sieci trakcyjnej i odbieraka prądu na jakość współpracy tych układów - Trakcja i Wagony 1982, nr 5.
- [6] Piątek B.: Oddziaływanie eksploatacji górniczej na kolejową sieć trakcyjną - Trakcja i Wagony 1976, nr 9.
- [7] Sądowski W.: Przejścia siecią trakcyjną pod wiaduktami - Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny - 1968, nr 1.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Przemysław Pazdro

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1984 r.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОКОПРИЕМНИКА И КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ В РАЙОНЕ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ УЩЕРБОВ

Р е з ю м е

В статье обсуждено влияние деформации местности возникающей горнопромышленными ущербами на перемену характеристик параметров контактной подвески.

Склассифицировано основные типы деформации а также представлено результаты компьютерной имитации иллюстрирующие влияние некоторых типов деформации на качество динамического взаимодействия токоприёмника и контактной подвески.

THE DYNAMIC COLLABORATION OF THE CURRENT COLLECTOR AND THE OVERHEAD CONTACT SYSTEM IN THE MINING DAMAGES AREA

S u m m a r y

This paper discusses the influence of the ground deformation caused by the mining damages on the change of the overhead contact system characteristics of parameters. The basic types of deformation illustrating the influence of some types of deformation on the quality of dynamic collaboration of the current collector and the overhead contact system, have been presented.