

O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej pojazdów szynowych (6)

Niniejsza praca kontynuuje cykl artykułów ujmujących nowe podejście do określenia skrajni kinematycznej. Przedstawiono w niej zagadnienie doboru luzów bezpieczeństwa występujących pomiędzy zarysem skrajni kinematycznej a zarysem skrajni budowli. Dodatkowo ujęto w niej problemy techniczne zapotrzebowania na miejsce odbieraka prądu pojazdów trakcyjnych.

CZĘŚĆ VI

ZASTOSOWANIE RACHUNKU PRAWDOPODOBIENSTWA DO OCENY WIELKOŚCI LUZÓW BEZPIECZEŃSTWA POMIĘDZY SKRAJNIĄ BUDOWLI ORAZ SKRAJNIĄ KINEMATYCZNĄ POJAZDÓW.

1. Wprowadzenie.

Niniejsza praca jest kontynuacją prac [2,3,4,5,6] wykonanych w ramach projektu KBN nr 9 T12C 021 16 pt "Nowa koncepcja skrajni kinematycznej pojazdów szynowych." Procesy bezpiecznego prowadzenia pociągów wymagają koordynacji pracy wielu służb kolejowych oraz współpracujących z koleją. Jednym z ważniejszych problemów wymagających takich uzgodnień jest zapewnienie luzów bezpieczeństwa między taborem i obiektami stałymi. Służby budowlane kładące tory kolejowe i stawiające obiekty przytorowe muszą ściśle współpracować z producentami taboru kolejowego, szczególnie w zakresie zapewnienia skrajni taboru oraz ich wzajemnych relacji [1,7,8,9,10,12,16]. Znajduje to potwierdzenie we wzorach na zwiężenia wewnętrzne " E_i " i zwiężenia zewnętrzne " E_a ".

Służba budowlana jest zobowiązana przy projektowaniu urządzeń stałych do uwzględniania następujących wielkości, które wpływają na maksymalne przemieszczenie pojazdów:

- wystawiań " S_i " w stronę wewnętrzną oraz " S_a " w stronę zewnętrzną łuku toru, których wielkość jest zależna od promienia łuku toru " R ", prześwitu toru " l " oraz wysokości " h " rozpatrywanego punktu skrajni ponad główką szyny (tabela 2),
- dodatków na pochylenia pojazdu wynikające z nadmiaru lub niedostateczności przechyłki przewyższającej 0,05 m,
- luzów bezpieczeństwa, które uwzględniają:
 - tolerancje wykonawcze toru i przesunięcia w trakcie eksploatacji (pomiędzy dwoma naprawami okresowymi),
 - ugięcie sprężyste szyn toru pod wpływem nacisku obrzeży kół pojazdu,
 - drgania toru wynikające z dynamicznego oddziaływania pojazdu,
 - błędy przechyłki, w stosunku do wartości żądanej na łuku powodujące dodatkowe przesunięcia pojazdu wywołane tzw "oddziaływaniem geometrycznym" oraz oddziaływaniem dynamicznym,

- niesymetrię kątową wynoszącą 1° wynikającą z budowy pojazdu i z niesymetrii regulacji usprężynowania oraz z przesunięcia lub niesymetrii ładunku,
- dodatkowe przemieszczenia pojazdu, wynikające z pochylenia pojazdu spowodowane oddziaływaniem wiatru.

Jak wynika z doświadczeń zebranych przez różne zarządy kolejowe wpływ poszczególnych czynników jest trudny do oszacowania a przebieg ich ma charakter stochastyczny. Ustalenie luzów bezpieczeństwa w oparciu o zebrane wyniki jest ważnym zagadnieniem, które ma istotny wpływ na bezpieczeństwo kursującego taboru.

Należy zwrócić uwagę, że przepisy międzynarodowe nie narzucają zarysu skrajni budowli, a jedynie formułują wytyczne do jego ustalenia. Na rysunku 1 przedstawiono zarys skrajni kinematycznej na tle skrajni budowli PKP wg [15]. Analizując wpływ poszczególnych czynników można stwierdzić, że niektóre z nich, pomimo ich losowego charakteru, można oszacować na drodze analitycznej, np dodatkowe pochylenie pojazdu spowodowane oddziaływaniem wiatru.

2. Wyznaczenie przesunięcia poprzecznego pudła pojazdu wynikającego z oddziaływania wiatru.

Kąt wychylenia punktu zarysu pudła znajdującego się na wysokości " h ", spowodowanego wiatrem, można obliczyć korzystając ze zmodyfikowanej zależności (13) wg [4]:

$$\eta_w = \frac{W \cdot (h_w - h_c)}{c_k - Q_r \cdot (h_0 - h_c)} \quad (1)$$

gdzie:

- W - siła wiatru [daN],
- h_w - wysokość środka geometrycznego powierzchni bocznej pudła pojazdu [m],
- h_c - wysokość bieguna przechyłania [m],
- h_0 - wysokość środka ciężkości pojazdu [m],
- Q_r - ciężar usprężynowany pudła pojazdu [m],
- c_k - sztywność usprężynowania na kołowanie [daN/m].

Przekształcając odpowiednio wzór (15) wg [4] na współczynnik pochylania "s" otrzymuje się następujący wzór na sztywność usprężynowania na kołysanie " c_k ":

$$c_k = Q_r'' \cdot (h_0 - h_c) \cdot \left(\frac{1}{s} + 1 \right) \quad (2)$$

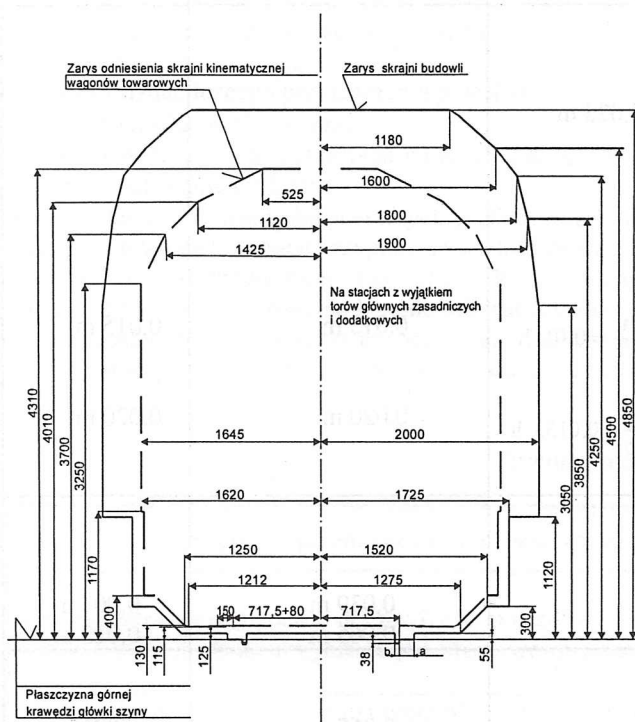
W związku z powyższym przesunięcie poprzeczne punktu pojazdu na wysokości "h" spowodowane wiatrem wynosi:

$$\begin{aligned} s_w = \eta_w \cdot (h - h_c) &= \frac{W \cdot (h_w - h_c)}{c_k - Q_r'' \cdot (h_0 - h_c)} \cdot (h - h_c) = \\ &= \frac{W \cdot (h_w - h_c)}{Q_r'' \cdot (h_0 - h_c) \cdot \left(\frac{1}{s} + 1 \right) - Q_r'' \cdot (h_0 - h_c)} \cdot (h - h_c) \end{aligned} \quad (3)$$

Stąd ostatecznie otrzymuje się zależność następującej postaci:

$$s_w = \frac{W \cdot (h_w - h_c) \cdot s}{Q_r'' \cdot (h_0 - h_c)} \cdot (h - h_c) \quad (4)$$

Przesunięcie poprzeczne można wyliczyć zakładając ekstremalne warunki wynikające z ciśnienia wiatrów burzowych wynoszącego $p_w = 50 \text{ daN/m}^2$.



Rys 1 Skrajnia kinematyczna na tle skrajni budowli wg [15]

Jak widać z rys 1 odstęp pomiędzy skrajnią kinematyczną a skrajnią budowli osiąga małe wartości na wysokości $h=1,120 \text{ m}$. Przyjmując, że przez łuk o promieniu $R=250 \text{ m}$, posiadający przechyłkę $D=150 \text{ mm}$, przejeżdża pojazd o współczynniku pochylania $s=0,4$ i biegunie przechylania

$h_c = 0,5 \text{ m}$, luz bezpieczeństwa przy wykorzystaniu wzoru wg [11] przedstawia się następująco:

$$L = 1,720 - \left[1,620 + 0,2533 \cdot (D - 0,05) \cdot (h - h_c) + \left(\frac{3,75}{R} + \frac{1 - 1,435}{2} \right) \right] \quad (5)$$

Po wstawieniu danych liczbowych otrzymuje się:

$$\begin{aligned} L &= 1,720 - \left[1,620 + 0,2533 \cdot (D - 0,05) \cdot (1,12 - 0,5) + \frac{3,75}{250} + \frac{1,465 - 1,435}{2} \right] = \\ &= 0,054 \text{ m} \end{aligned} \quad (6)$$

Wielkości tego luzu można ocenić przyjmując dane zawarte w tabeli 1. Dane te są zebrane na podstawie obowiązujących przepisów [10, 11]. Korzystając ze wzoru (4) można wyznaczyć orientacyjne przemieszczenia poprzeczne pojazdu spowodowane oddziaływaniem wiatru. Przemieszczenia te wyznaczono dla pojazdu trakcyjnego (lokomotywa spalinowa) oraz dla wagonu towarowego czteroosiowego typu 418V (wagon samowyładowczy) na wózkach standardowych typu "Y25Css". Biorąc pod uwagę następujące dane:

$$Q_r'' = 60000 \text{ kG} = 58860 \text{ daN}$$

$$s = 0,375,$$

$$h_w = 2,5 \text{ m},$$

$$h_c = 0,85 \text{ m},$$

$$h_0 = 1,9 \text{ m},$$

$$F = 57,6 \text{ m}^2$$

otrzymuje się przemieszczenie poprzeczne pudła lokomotywy na wysokości $h = 1,12 \text{ m}$ wynikające z działania wiatru o naporze jednostkowym $p_w = 50 \text{ daN/m}^2$:

$$s_w = \frac{50 \cdot 57,6 \cdot (2,5 - 0,85) \cdot 0,375}{58860 \cdot (1,9 - 0,85)} \cdot (1,12 - 0,85) = 0,0077 \text{ m} \quad (7)$$

Przyjmując dla drugiego przypadku następujące dane:

$$Q_r'' = 73200 \text{ daN},$$

$$s = 0,08514,$$

$$h_w = 2,007 \text{ m},$$

$$h_0 = 1,9 \text{ m},$$

$$h_c = 0,449 \text{ m},$$

$$h_0 = 2,573 \text{ m},$$

$$F = 26,3 \text{ m}^2$$

otrzymuje się przemieszczenie poprzeczne pudła wagonu na wysokości $h = 1,12 \text{ m}$ wynikające z działania wiatru o naporze jednostkowym $p_w = 50 \text{ daN/m}^2$:

$$\begin{aligned} s_w &= \frac{50 \cdot 26,3 \cdot (2,007 - 0,449) \cdot 0,0824}{73200 \cdot (2,573 - 0,449)} \cdot (1,12 - 0,449) = \\ &= 0,000719 \text{ m} \end{aligned} \quad (8)$$

Dla wagonu towarowego otrzymano znacznie mniejsze wartości przemieszczeń wynikających z działania wiatru. Jak wynika z wytycznych zawartych w przepisach [10] każdy zarząd kolejowy ma możliwość ustalenia i wprowadzenia

dotatku do luzów bezpieczeństwa w przypadku, gdy uważa go za niezbędny, który może zmieniać się w zależności od linii, biorąc za podstawę jej szczególne warunki. Wartość tego dodatku powinna wynikać z ewentualnego kursowania specjalnych pociągów, z zapasu dla umożliwienia wzrostu prędkości kursujących pojazdów jak również z dominującej na danej linii intensywności wiatrów bocznych. Z uwagi na to, że ten dodatek nie ma charakteru obligatoryjnego i zależy od uznania poszczególnych zarządów kolejowych, nie ma żadnych wytycznych w przepisach dotyczących wielkości tego dodatku [10].

3. Zasady wyznaczania luzów bezpieczeństwa

Jak wynika z [10,11] obliczenia maksymalnych przemieszczeń dokonuje się w oparciu o założenie, że jeśli zjawiska wywołujące obrót pudła zachodzą dookoła tej samej osi co pochylenie quasistatyczne, to ich skutki można utożsamiać z nadmiarem lub niedostatecznością przechyłki zmieniając zastosowanie wzoru:

$$S_q = \frac{0,4}{1,5} \cdot (E \text{ lub } J - 0,05)_{>0} (h - 0,5)_{>0} \quad (9)$$

Tabela 1.

Dane do oceny luzu bezpieczeństwa przez służbę budowlaną przy ustalaniu skrajni budowli

Dopuszczalne wartości przemieszczeń lub odkształceń eksploatowanego toru	Przemieszczenia (niezależnie od zewnętrznej lub wewnętrznej strony łuku toru)	Wielkość błędu przechyłki do dodania ze wzoru: $\frac{0,4}{1,5} \cdot (E \text{ lub } J - 0,05)_{>0} \cdot (h - 0,5)_{>0}$ gdzie: E lub J odpowiednio niedostateczność lub nadmiar przechyłki	
		od strony zew. łuku oraz proste odcinki toru	od strony wew. łuku
	1	2	3
A. Dopuszczalne wartości przemieszczeń i odkształceń eksploatowanego toru: a) przemieszczenia poprzeczne toru w stosunku do jego normalnego położenia w okresie pomiędzy naprawami, b) skutek błędu przechyłki w zależności od wysokości "h" w stosunku do jej wartości teoretycznej (w przypadku łuku) lub do poziomu w przekroju poprzecznym (w przypadku odcinków prostych) wynoszący: 1) $\pm 0,015$ m (dla $v > 80$ km/h) skutek geometryczny skutek dynamiczny 2) $\pm 0,020$ m (dla $v \leq 80$ km/h) skutek geometryczny skutek dynamiczny	0,025 m $0,015 \cdot \frac{h}{1,5} = 0,01 \cdot h$ $0,020 \cdot \frac{h}{1,5} = 0,0133 \cdot h$	0,015 m 0,020 m	0,015 m 0,020 m
B. Drgania wynikające z wzajemnego oddziaływania dynamicznego toru i taboru oraz zależne od stanu utrzymania toru (stan geometryczny a) Tory, których stan jest dobry b) Inne tory		0,039 m 0,065 m	0,007 m 0,013 m
C. Asymetria sięgająca 1° wynikająca z nierównomiernie rozłożonego obciążenia, niesymetrii własnej oraz z tolerancji usprężynowania		0,065 m	0,065 m

gdzie: E - nadmiar przechyłki,
J - niedostateczność przechyłki,
s=0,4 (wartość współczynnika pochylenia),
h=0,5 m (wysokość bieguna przechylenia).

Przy pominięciu wpływu wysokości wzór ten można przekształcić w następujący związek:

$$\delta = \arctg \frac{0,4 \cdot (E \text{ lub } J - 0,05)}{1,5} \quad (10)$$

Po podstawieniu odpowiednich zależności z tabeli 1 zamiast E lub J-0,05 można stwierdzić, że:

- skutek dynamicznego przekroczenia przechyłki ok. 0,007 m odpowiada kątowi $0,1^\circ$,

- skutek dynamicznego przekroczenia przechyłki ok. 0,013 m odpowiada kątowi 0,2°.
- skutek dynamicznego przekroczenia przechyłki ok. 0,020 m odpowiada kątowi 0,3°.
- skutek dynamicznego przekroczenia przechyłki ok. 0,039 m odpowiada kątowi 0,6°.
- skutek dynamicznego przekroczenia przechyłki ok. 0,065 m odpowiada kątowi 1,0°.

Sumę przemieszczeń quasistatycznych i przemieszczeń wynikających z tabeli 1, zamieszczonych w kolumnach 1 i 3, można stosować tylko wtedy, gdy przewyższają one odpowiednią wartość odnoszącą się do toru prostego. W przeciwnym przypadku należy przyjąć wartości odpowiadające sytuacji przemieszczenia się pojazdu na torze prostym. Wartości tych przemieszczeń są zamieszczone w tabeli 1 w kolumnie 2. Zgodnie z komentarzem znajdującym się w przepisach [10] wartość przemieszczenia 0,065 m, odpowiadająca 1-stopniowej niesymetrii, obejmuje odpowiednio:

- niesymetrię wynikającą z nierównomiernego rozłożenia obciążenia oraz,
- niesymetrię wynikającą z przyjętej tolerancji regulacji (np. usprężynowania) i niesymetrii własnej pojazdu.

Okazuje się, że wartość 0,065 m jest rozłożona na dwie niezależne wartości przyporządkowane obu wymienionym przyczynom niesymetrii, które wynoszą odpowiednio 0,050 m i 0,015 m.

Po wstawieniu obydwu wartości do wzoru (10) zamiast E lub $J-0,05$ można stwierdzić, że:

- skutek dynamicznego przekroczenia przechyłki 0,050 m odpowiada kątowi 0,76° oraz
- skutek dynamicznego przekroczenia przechyłki 0,015 m odpowiada kątowi 0,229°.

Jak wynika z [10] wielkości niektórych przemieszczeń wymienionych w tabeli 1 mogą przyjmować wartość zerową lub mniejszą od przedstawionych. Taki przypadek ma miejsce wtedy, gdy tor jest położony na betonie lub jest zabudowany w ten sposób, że przemieszczenia poprzeczne lub przekroczenia przechyłki są praktycznie wyeliminowane. Ten sam

przypadek ma miejsce wtedy, gdy dwa tory są połączone pomiędzy sobą, co wyklucza wzajemne przesunięcia poprzeczne.

Najniekorzystniejsze położenie, przy uwzględnieniu różnych przypadków, jest przedstawione za pomocą poniższych wzorów:

- dla prędkości $v > 80$ km/h i dla torów o dobrym stanie utrzymania:

$$\lambda_1 = 0,025 + 0,01 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} [E \text{ lub } J - 0,05 + 0,015 + (0,007^{(1)} \text{ lub } 0,039^{(2)}) + 0,065] [h - 0,5]_0 \quad (11)$$

- dla prędkości $v > 80$ km/h i dla torów o gorszym stanie utrzymania:

$$\lambda_2 = 0,025 + 0,01 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} [E \text{ lub } J - 0,05 + 0,015 + (0,013^{(1)} \text{ lub } 0,065^{(2)}) + 0,065] [h - 0,5]_0 \quad (12)$$

- dla prędkości $v \leq 80$ km/h:

$$\lambda_3 = 0,025 + 0,0133 \cdot h + \frac{0,4}{1,5} [E \text{ lub } J - 0,05 + 0,020 + (0,013^{(1)} \text{ lub } 0,065^{(2)} + 0,065)] [h - 0,5]_0 \quad (13)$$

gdzie: ⁽¹⁾ - wartości obowiązują od strony wewnętrznej łuku toru, natomiast

⁽²⁾ - wartości obowiązują od strony zewnętrznej łuku toru i dla toru prostego.

Korzystając ze wzorów (11), (12) i (13) można wyliczyć nominalne przemieszczenia poprzeczne λ_1, λ_2 i λ_3 dla wysokości $h = 1,120$ m, przyjmując E lub $J - 0,05 = 0$. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Przemieszczenia poprzeczne toru

Określenie przemieszczenia poprzecznego	Wartości nominalne	Założenia
Przemieszczenia poprzeczne dla prędkości pojazdów $v > 80$ km/h i dla torów o dobrym stanie utrzymania (od strony wewnętrznej łuku)	$\lambda_1 = 0,0505 \text{ m}$	$E \text{ lub } J - 0,05 = 0$ $h = 1,120 \text{ m}$ $h_c = 0,5 \text{ m}$
Przemieszczenia poprzeczne dla prędkości pojazdów $v > 80$ km/h i dla torów o dobrym stanie utrzymania (od strony zewnętrznej łuku i dla toru prostego)	$\lambda_1 = 0,0558 \text{ m}$	jw
Przemieszczenia poprzeczne dla prędkości pojazdów $v > 80$ km/h i dla torów o gorszym stanie utrzymania (od strony wewnętrznej łuku)	$\lambda_2 = 0,0515 \text{ m}$	jw
Przemieszczenia poprzeczne dla prędkości pojazdów $v > 80$ km/h i dla torów o gorszym stanie utrzymania (od strony zewnętrznej łuku i dla toru prostego)	$\lambda_2 = 0,0601 \text{ m}$	jw
Przemieszczenia poprzeczne dla prędkości pojazdów $v \leq 80$ km/h (od strony wewnętrznej łuku)	$\lambda_3 = 0,0560 \text{ m}$	jw
Wartości nominalne przemieszczeń poprzecznych dla prędkości pojazdów $v \leq 80$ km/h (od strony zewnętrznej łuku i dla toru prostego)	$\lambda_3 = 0,0646 \text{ m}$	jw

Z tabeli 2 wynika, że niektóre przeliczone wartości w sposób nominalny tzn λ_1, λ_2 i λ_3 są większe aniżeli wyliczony odstęp 54 mm pomiędzy skrajnią budowli i skrajnią kinematyczną na wysokości $h = 1,120$ m.

W związku z tym istnieje obawa, że w/w luzy bezpieczeństwa nie są w stanie uchronić od kolizji przy przemieszczaniach poprzecznych wynikających z działania wiatrów burzowych. Zaistniałą sytuację pogarszałby fakt, że zgodnie z obligatoryjnym zapisem w [15] dopuszcza się na wysokości $h \geq 1,12$ mdła skrajni budowli typu A, półszerokość 1700 mm dla wysokich peronów i innych urządzeń stałych wybudowanych przed wprowadzaniem omawianej skrajni.

W tym przypadku dopuszczalny luz bezpieczeństwa wyniósłby zaledwie 0,034 m na podstawie wzoru (5). Z dotychczasowych doświadczeń poszczególnych zarządów kolejowych wynika, że występowanie wszystkich w/w przemieszczeń jednocześnie jest mało prawdopodobne. Poglądy te mają uzasadnienie w obowiązujących przepisach [10,11]. Można zgodzić się co do tego, że trudno jest oszacować prawdopodobieństwo występowania wszystkich przemieszczeń poprzecznych jednocześnie, nie znaczy to, że zagadnienia tego nie da się rozwiązać analitycznie korzystając z probabilistyki, która jest użyteczna w rozwiązywaniu wielu zagadnień technicznych w obszarze transportu kolejowego. Obecnie niektóre zarządy kolejowe rozwiązują problem luzów bezpieczeństwa dwoma metodami:

- metoda I- polega na przyjęciu założenia, że skutki geometryczne i dynamiczne, wynikające z błędu przechyłki i nierówności toru z jednej strony i drgania z drugiej strony, nie sumują się, w związku z czym brana jest pod uwagę tylko większa z dwóch wartości przemieszczeń,
- metoda II- polega na założeniu wzajemnej korelacji przemieszczeń i odkształceń toru z drganiami i uwzględnieniu tego, poprzez zastąpienie wartości wymienionych w tabeli 2, tzn A, B, C oraz D przez jeden ogólny zapas (luz) bezpieczeństwa.

4. Probabilistyczna koncepcja luzu bezpieczeństwa.

Z przedstawionego stanu zagadnień wynika, że służby budowlane w celu racjonalnego usytuowania urządzeń stałych mogą posłużyć się rachunkiem prawdopodobieństwa przy ustaleniu niezbędnych luzów bezpieczeństwa.

W celu ustalenia prawdopodobnego luzu bezpieczeństwa można przyjąć zmienną T_1 , która spełnia zasady normalnego rozkładu częstości zdarzeń (prawo Gaussa) i której rozkład częstości zdarzeń w odniesieniu do $t_1 = 0$ jest symetryczny. Dalej można założyć, że jeśli na osi odciętych wybierze się odchylenie standardowe σ_1 , to wartość t_1 zmiennej T_1 posiada następujące prawdopodobieństwo:

$$P(t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t_1^2}{2}} \quad (14)$$

Jeżeli większa liczba zmiennych losowo $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ podlega prawu rozkładu normalnego, to każda liniowa funkcja tych zmiennych stosuje się również do prawa rozkładu normalnego.

Jeżeli założyć, że U jest funkcją wynikową tych zmiennych wg następującego związku:

$$U = T_1 + T_2 + \dots + T_n \quad (15)$$

i jeśli $T_1, \dots, T_n$ mają symetryczny rozkład częstości zdarzeń w odniesieniu do wartości zerowej, to funkcja U podlega prawom rozkładu normalnego ze średnią wartością 0 i odchyleniem standardowym:

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} \quad (16)$$

Wówczas wartości $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ zmiennych $T_1, T_2, \dots, T_n$, które mają to samo prawdopodobieństwo dają odpowiednio:

$$\frac{t_1}{\sigma_1} = \frac{t_2}{\sigma_2} = \frac{t_n}{\sigma_n}$$

$$\text{przy czym } P(t_1) = P(t_2) = \dots = P(t_n) = P(t) \quad (17)$$

Wartość u z U , przy której $P(u) = P(t)$ wynosi odpowiednio:

$$u = k \cdot \sigma_u = \sqrt{k^2 \cdot \sigma_1^2 + k^2 \cdot \sigma_2^2 + \dots + k^2 \cdot \sigma_n^2} = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2} \quad (18)$$

To oznacza, że jeśli rozważa się więcej niezależnych zmiennych losowych $T_1, T_2, \dots, T_n$, których wartości $t_1, t_2, \dots, t_n$ mają to samo przekroczone prawdopodobieństwo, to wartość wynikowa $U = T_1 + T_2 + \dots + T_n$, przy której $P(u) = P(t)$ wynosi odpowiednio:

$$u = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2} \quad (19)$$

Jeśli przyjmie się dwie grupy niezależnych losowo zmiennych $(T_1, T_2, \dots, T_n)$ oraz $(T'_1, T'_2, \dots, T'_n)$, których wartości $t_1 = t'_1, t_2 = t'_2, \dots, t_n = t'_n$ mają to samo przekroczone prawdopodobieństwo $P(t)$ wówczas wartość wynikowa zmiennej niezależnej U wynosi odpowiednio:

$$U = (T_1 + T_2 + \dots + T_n) + (T'_1 + T'_2 + \dots + T'_n) \quad (20)$$

przy której:

$$u = \sqrt{(t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2) + (t_1'^2 + t_2'^2 + \dots + t_n'^2)} \quad (21)$$

albo:

$$u = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2} \cdot \sqrt{2} \quad (22)$$

Korzystając z przesłanek teoretycznych można przejść do wyznaczenia luzów bezpieczeństwa na drodze statystycznej.

Jeśli przyjmie się następujące oznaczenia:

- T_1 - przesunięcia boczne toru pomiędzy dwoma okresami naprawczymi,
- T_2 - błąd przechyłki (oddziaływania geometryczne i dynamiczne),
- T_3 - drgania (za wyjątkiem drgań spowodowanych błędem przechyłki),

T_4 - niesymetria budowy i regulacji pojazdu,

T_5 - niesymetria usytuowania ładunku,

to można ustalić efektywny luz bezpieczeństwa, bazując na przykładowych wartościach granicznych podanych dla wysokości $h=3,205$ m ponad główką szyny przy prędkości $v>80$ km/h po stronie zewnętrznej łuku o dobrym stanie utrzymania.

Stąd poszczególne parametry przyjmują następujące wartości:

$$t_1 = 0,025 \text{ m},$$

$$t_2 = 0,01 \cdot 3,250 + 0,015 \cdot \frac{4}{15} \cdot (3,250 - 0,5) = 0,0435 \text{ m}$$

(działanie błędów przechyłki 15 mm),

$$t_3 = 0,039 \cdot \frac{4}{15} \cdot (3,250 - 0,5) = 0,0286 \text{ m}$$

(działanie kąta drgań wynoszącego $0,6^\circ$),

$$t_4 + t_5 = 0,065 \cdot \frac{4}{15} \cdot (3,250 - 0,5) = 0,0476 \text{ m}$$

(gdzie przyjęto $t_4 = 0,0076$ m i $t_5 = 0,040$ m).

W wyniku sumowania algebraicznego powyższych czynników otrzymuje się $\sum_{i=1}^5 t_i = 0,1447$ m. Pomimo, że wartości

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 są podane jako wartości maksymalne nie można wykluczyć, że mogą one w praktyce występować, a co więcej mogą być w ekstremalnych przypadkach przekroczone. Można więc przyjąć, że przekroczenie wszystkich wartości o 20% jest prawdopodobne, albo inaczej przekroczenie U tych samych wartości mogłoby wystąpić przy równie małym prawdopodobieństwie:

$$u = 1,2 \sqrt{0,025^2 + 0,0435^2 + 0,0286^2 + 0,0076^2 + 0,040^2} = 0,085 \text{ m} \quad (23)$$

Analizując powyższe wyniki tj. $\sum_{i=1}^5 t_i, \sqrt{\sum_{i=1}^5 t_i^2}$ można założyć, że:

$$k = \frac{1,2 \sqrt{\sum_{i=1}^5 t_i^2}}{\sum_{i=1}^5 t_i} = \frac{0,085}{0,1447} = 0,587 \quad (24)$$

Stąd można wnioskować, że przyjęcie 60% wartości algebraicznej dla obliczenia odstępów bezpieczeństwa pomiędzy torami wydaje się być uzasadnione. Warto zauważyć, że procentowe różnice są znacznie mniejsze jeżeli jedno z przesunięć jest równe zero. Jako uwagi uzupełniające można dodać, że wartości drgań t_3 wynikają z pomiarów, które zostały zrealizowane w roku 1969 przez ORE-SVA C9 [11]. Drgania spowodowane przez dynamiczne wzajemne oddziaływanie toru i pojazdu obejmują te drgania, które są wywołane przez błąd przechyłki i częściowo już są zawarte w przesunięciu T_2 . Podana najwyższa wartość jest zatem praw-

dopodobnie większa niż otrzymana z właściwych drgań (a więc nie wywołana przez błąd przechyłki). Jeżeli rozważyć wartości t_4 i t_5 , to prawdopodobieństwo tego, że może być przekroczona wartość odpowiadająca kątowi niesymetrii wynoszącemu 1° mogłaby przyjąć służba budowlana jako równe zero, gdyż i tak producent pojazdu jest zobowiązany uwzględniać przekroczenie ww wartości kąta niesymetrii. Powyższe rozważania nie uwzględniają następujących przypadków szczególnych lub zjawisk:

- stan spoczynku pociągu po stronie wewnętrznej łuku toru powinien być włączony w obliczenia jako zdarzenie pewne,
- spotkanie pociągu jadącego z najwyższą prędkością z pojazdem w stanie spoczynku w bliskim miejscu przedstawia zdarzenie o małym prawdopodobieństwie,
- prawdopodobieństwo zdarzenia, że istnieją największe wystawiania S_a lub S_i zmniejsza się ze zwiększeniem promienia łuku toru przyjmując jako promień zasadniczy (bazowy) $R=250$ m. Te uwagi sygnalizują zapas rozpatrywanego bezpieczeństwa w zależności od rozpatrywanych odcinków toru (promień łuku toru, występowanie sygnalizacji zatrzymującej). Uwagi te potwierdzają małe prawdopodobieństwo przekroczenia o 20% przyjętych wartości granicznych wynikających ze starań o bezpieczeństwo.

5. Zagadnienie zapotrzebowania przestrzennego dla odbieraków prądu pojazdów trakcyjnych.

Kolejnym problemem jaki pojawił się przy rozwiązywaniu skrajni kinematycznej oraz przy rozmieszczeniu urządzeń stałych było usytuowanie odbieraków prądu (pantografów) pojazdów trakcyjnych. Zarys odniesienia skrajni kinematycznej dla wahaczy odbieraków prądu, wprowadzonych do eksploatacji międzynarodowej, jako podstawa dla obliczeń linii granicznej dla urządzeń stałych, jest przedstawiony na rys 2. Zarys ten wprowadzono jako obligatoryjny do przepisów obejmujących koleje zrzeszone w UIC [10,13]. Problem ten był rozważany na obradach Podkomitetu UIC "Skrajnia" w Paryżu w lutym 1959 roku. Założenia jakie poczyniono w celu ustalenia zarysu odniesienia polegały na przyjęciu danych wynikających z cech większości ówczesnie kursujących pojazdów, a mianowicie $q+w \leq 0,0375$ m oraz $s \leq 0,225$.

Następnie w oparciu o powyższe założenia stwierdzono, że:

- przesunięcie pantografu (odbieraka prądu) pod wpływem różnych czynników (wężykowanie pojazdu, drgania własne odbieraka prądu, błędy budowy, regulacji i mimośrodowości obciążenia itp.) oraz nadmiaru i niedostateczności przechyłki E lub $J \leq 0,066$ m przyjmuje następujące wartości:
 - a) nie przekracza nigdy $0,110$ m dla wysokości $h \leq 5,0$ m,
 - b) nie przekracza nigdy $0,170$ m dla wysokości $h = 6.50$ m.

Wobec powyższego po obu stronach położenia środkowego w torze, dla zarysu skrajni, można zapisać zależność zgodną z geometrią zarysu przedstawioną na rys 2:

$$e_{po} = e_{p\mu} + 0,04 \cdot (h - h_{\mu}) \quad (25)$$

W celu określenia skrajni elementów urządzeń stałych będących na dachu pojazdów, kursujących na liniach zelektryfikowanych i skonstruowanych zgodnie z obowiązującymi przepisami należy dodać do wymiarów półszerokości zarysu odniesienia podanego na rys 2 następujące wartości:

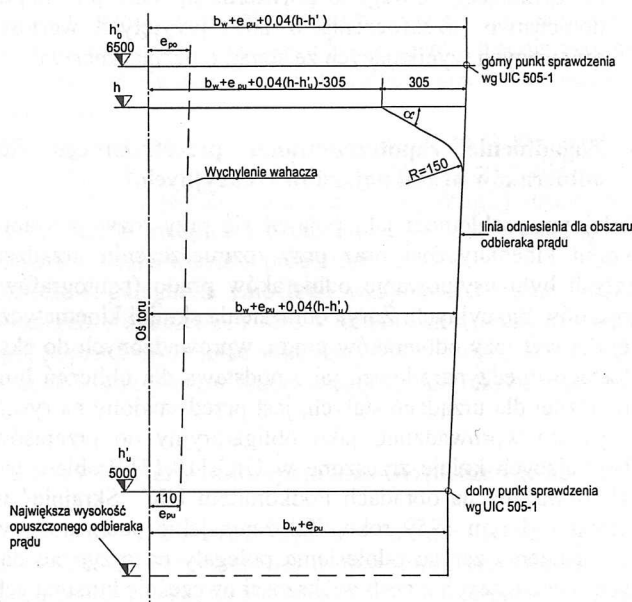
- poszerzenie wynikające z wchodzenia pojazdów w łuk oraz z szerokości toru. Poszerzenie to od strony wewnętrznej i zewnętrznej łuku toru o promieniu R wyraża się identycznym wzorem wg ustaleń [10,11]:

$$S = \frac{2,5}{R} + \frac{1-1,435}{2} \quad (26)$$

- dodatek związany z pochyleniem poprzecznym quasistatycznym dla tych odcinków toru, gdzie nadmiar E lub niedostateczność przechyłki I przekraczają 0,066 m i wynoszący:

$$0,15 \cdot (E \text{ lub } J - 0,066)_{>0} \cdot (h - 0,5)$$

przy czym $\frac{s}{l} = \frac{0,225}{1,5} = 0,15$ (27)



Rys 2 Skrajnia kinematyczna dla wahacza odbieraka prądu pojazdów trakcyjnych wprowadzonych do eksploatacji międzynarodowej wg [10].

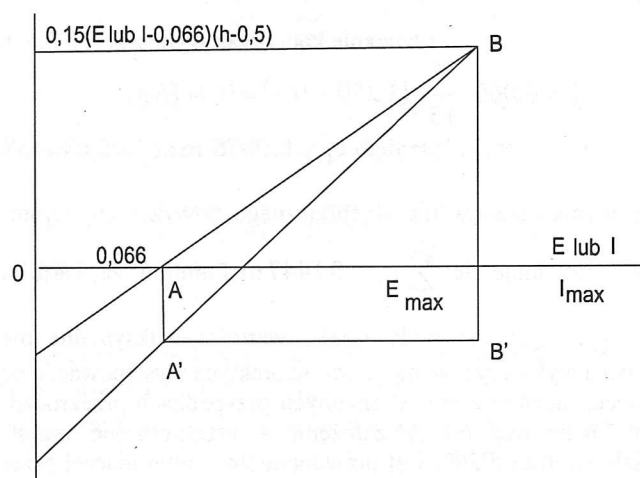
dodatek na izolację, który jest zależny od wewnętrznej przepisów poszczególnych kolei, od napięcia, prądu trakcji oraz dopuszczalnych tolerancji ułożenia i utrzymania toru i stałych obiektów trakcji elektrycznej. Skutki ewentualnych nadmiernych drgań można pominąć w związku z przewidzianym dużym dodatkiem na izolację. W tym przypadku dodatek na izolację można traktować jako luz bezpieczeństwa.

Można stwierdzić, że wymiary położenia urządzeń stałych, znajdujących się pod napięciem (sieć trakcyjna, przewody zasilające itp.) wynikają z zarysu odniesienia przedstawionego na rys 2 (przy uwzględnieniu wszystkich w/w czynników) i zależą od sposobu zamocowania tych urządzeń oraz od dodatku na izolację dla poszczególnych kolei. Osobnego

omówienia wymaga jeszcze problem pantografów o współczynniku pochylenia $s > 0,225$. Zagadnienie to postanowiono rozwiązać następująco: jeśli przyjmie się za podstawę powiększenie wymiaru szerokości dla pojazdów o współczynniku pochylenia $s > 0,225$, to dodatkowe zwężenie powinno być tak określone, aby przy największym nadmiarze lub niedostateczności przechyłki (odpowiednio E_M lub J_M) pojazdy nie wykazywały większego zapotrzebowania przestrzeni niż pojazdy bazowe. Przy ustaleniu wartości dodatkowego zwężenia posłużono się rys 3.

Jak wynika z poniższego rysunku dodatkowe zwężenie określone odcinkiem AA' można określić z następującej zależności:

$$AA' = BB' - \frac{0,225}{1,5} \cdot (E_M \text{ lub } J_M - 0,066) \cdot (h - 0,5) \quad (28)$$



Rys 3. Dodatkowe zwężenie pantografów trakcyjnych pojazdów szynowych o współczynniku pochylenia $s > 0,225$.

Wstawiając do wzoru (26) zależność

$$BB' = s \cdot \frac{E_M - J_M - 0,066}{1,5} \cdot (h - 0,5) \text{ otrzymuje się:}$$

$$AA' = \frac{s - 0,225}{1,5} \cdot (E_M \text{ lub } J_M - 0,066) \cdot (h - 0,5) \quad (29)$$

Jeśli podstawimy tutaj typową wartość $J_M = 0,200$ m oraz $h = 6,5$ m (gdzie J_M jest zalecaną wartością przechyłki zgodną z [11] to wówczas otrzymuje się następującą zależność:

$$AA' = 6 \cdot \frac{s - 0,225}{1,5} \cdot (0,200 - 0,066) = \frac{8}{15} \cdot (s - 0,225) \quad (30)$$

Z przedstawionego toku rozumowania wynika, że dodatkowe zwężenia związane z usytuowaniem pantografu na pojazdach trakcyjnych o współczynniku pochylenia $s > 0,225$ musi uwzględniać konstruktor pojazdu natomiast nie uwzględnia tego służba budowlana w formie zryczałtowanych poszerzeń lub luzów bezpieczeństwa.

6. Wnioski

W dotychczasowych rozważaniach dla ustalenia największych dopuszczalnych wymiarów przekrojów poprzecznych pojazdów używano określenia "skrajnia kinematyczna pojazdu" (skrajnia dla kinematycznego zapotrzebowania przestrzeni) natomiast dla określenia wielkości luzów bezpieczeństwa posłużono się określeniem "skrajni kinematycznej budowli". Przy rozpatrywaniu luzów bezpieczeństwa jest bardziej widoczne, że "skrajnia kinematyczna pojazdu" i "skrajnia kinematyczna budowli" dotyczą w istocie rzeczy tego samego pojęcia. Różnicy nie można rozpatrywać w aspekcie geometrycznym, ponieważ jeśli luzy bezpieczeństwa wynoszą zero wówczas obydwa zarysy pokrywają się. W literaturze można spotkać pojęcie tzw skrajni wspólnej, która jest skrajnią kinematyczną (graniczną) budowli i występuje w przypadku szczególnym, jeżeli nie ma luzu bezpieczeństwa między tymi skrajniami. Różnica pomiędzy obydwoa określeniami zależy od celu do jakiego są one używane. Określeniem skrajni kinematycznej pojazdu posługuje się konstruktor obliczając maksymalne wymiary przekroju poprzecznego pudła pojazdu, natomiast pojęciem "skrajni kinematycznej budowli" posługują się:

- służby budowlane danego zarządu kolejowego, aby mogły skontrolować swoją skrajnię budowli na liniach, po których kursują pojazdy,
- konstruktorzy budowli i urządzeń stałych, aby mogli je zlokalizować w miejscach umożliwiających bezpieczną eksploatację.

Dla konstruktora pojazdu pojęcie skrajni jest związane z osią pionową pojazdu, która jest współśrodkowa z torem, natomiast dla służby drogowej oraz konstruktora budowli i urządzeń stałych jest ono związane z osią toru. Takie sformułowanie problemu stanowi płaszczyznę porozumienia pomiędzy konstruktorem pojazdu a służbą budowlaną.

Na podstawie przeprowadzonych analiz można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Badania analityczne skrajni taboru i skrajni budowli wykazały, że niektóre ich dotychczasowe parametry usankcjonowane przepisami są zbyt konserwatywne i bez naruszenia zasad bezpieczeństwa ruchu mogą być zrjonalizowane.
2. Analiza luzów bezpieczeństwa potwierdziła przydatność zastosowania rachunku prawdopodobieństwa w ustalaniu ich wartości.

Przyjęcie zasady dodawania algebraicznego poszczególnych wartości nie znajduje potwierdzenia w praktyce. Nie powinna ona obowiązywać w budowie i usytuowaniu niektórych budowli i urządzeń stałych jak np rampy przeładunkowe lub perony, gdzie konieczny jest kompromis polegający na określeniu bezpiecznej, ale możliwie najmniejszej odległości od toru (od pojazdu znajdującego się na torze). W przypadkach innych urządzeń stałych lub odległości pomiędzy torami zastosowanie probabilistyki daje pewne korzyści. Obszar w przekroju poprzecznym pojazdu jaki zajmuje linia kolejowa lub obiekt kolejowy znacząco wpływa na ekonomikę przewozów. Jeśli obszar ten jest ukształtowany racjonalnie, tzn udaje się zrealizować w mniejszym obszarze transport różnych ładunków w tym wielkogabarytowych to ma to znaczenie komercyjne nie tylko dla właściciela in-

frastruktury kolejowej ale również dla danego obszaru, kraju itp.

Optymalizacja w tym zakresie jest pożądana i można ją sformułować dwójako:

- w zakresie nowobudowanych linii kolejowych, gdzie można wykorzystać wieloletnie doświadczenia konstruktorów pojazdów oraz służb budowlanych; przykładem takiego podejścia może być uwzględnienie w skrajni takiego czynnika jak wiatr. Poszerzenia skrajni budowli związane wychyleniami pojazdu spowodowanymi wiatrem muszą być uwzględnione przez konstruktorów urządzeń i budowli stałych, jeśli dany zarząd kolejowy uzna to za stosowne. Tego czynnika nie powinien uwzględniać konstruktor pojazdu. W świetle przepisów [10,11] ograniczenie gabarytów pojazdu z powodu wiatru powinno być uznane jako błąd. Prowadzi to do uszczuplenia dopuszczalnego zarysu pojazdu ograniczając jego możliwości przewozowe. Przyjmowanie zbyt wygórowanych wartości luzów bezpieczeństwa przyczynia się również do "sztucznego" pomniejszenia zdolności przewozowych trasy kolejowej, w obawie przed kolizją pojazdu z naturalną przeszkodą skrajniową,

- w zakresie istniejących linii kolejowych trzeba by zweryfikować ustalone wcześniej luzy bezpieczeństwa w oparciu o zebrane krajowe doświadczenia eksploatacyjne oraz innych zarządów kolejowych, tak aby sprostać zwiększonym wymaganiom transportowym.

3. Zastosowanie rachunku prawdopodobieństwa w ustalaniu luzów bezpieczeństwa jest przydatne dla konstruktora w procesie określenia zarysu pojazdu.

Literatura

- [1] Etmanowicz A., Poliški J.: Kodowanie linii kolejowych dla potrzeb przewozu przesyłek ponadgabarytowych. *Problemy Kolejnictwa*, nr 117, 1994.
- [2] Gąsowski W., Sobaś M.: O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej (1). *Pojazdy Szynowe*, nr 4 /1999.
- [3] Gąsowski W., Sobaś M.: O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej (3). *Pojazdy Szynowe*, nr 3/2000.
- [4] Gąsowski W., Sobaś M.: O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej (4). *Pojazdy Szynowe*, nr 4/2000
- [5] Gąsowski W., Sobaś M.: O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej (5). *Pojazdy Szynowe*, nr 2/2001
- [6] Sobaś M.: O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej (6). *Pojazdy Szynowe*, nr 5/2001
- [7] Wnuk S.: Praktyczne uwarunkowania ruchu wagonów niskopodłogowych Rollende Landstrasse na sieci PKP na przykładzie linii kolejowej E20. *Materiały Konferencji Międzynarodowej. Przewozy Intermodalne. Technika ruchu kolejowego na zmodernizowanych dla dużych prędkości linii E-20*. Poznań 1995.
- [8] ERRI B12 /DT 135: Allgemein verwendbare Berechnungsmethoden für die Entwicklung neuer Güterwagenbauarten oder neuer Güterwagenderhgestelle.3 Ausgabe, Utrecht 10.1995.

- [9] Karta UIC 502: Przesyłki nadzwyczajne. Postanowienia ogólne dotyczące badań możliwości przewozu oraz realizacji przewozu przesyłek nadzwyczajnych.
- [10] Karta UIC 505-4: Skutki zastosowania skrajni kinematycznej, określonych w kartach 505, na usytuowanie przeszkód w stosunku do toru oraz torów, w stosunku do siebie. 3 wydanie z dnia 01.01.1977
- [11] Karta UIC 505-5: Wspólne podstawowe warunki dla kart 505-1 do 505-4. Komentarz uwzględniający opracowanie i przepisy dotyczące kart. 2-gie wydanie z 1.01.1977, zmiana 1.01.1980.
- [12] Karta UIC 506: Zasady stosowania poszerzonych skrajni typu GA, GB i GC. 1-wsze wydanie z 01.01.1987.
- [13] Karta UIC 608: Warunki jakie powinny spełniać odbieraki prądu pojazdów trakcyjnych w komunikacji międzynarodowej. 2-gie wydanie z 01.07.1989
- [15] PN-69/K-02057: Koleje normalnotorowe. Skrajnie budowl.
- [16] Przepisy o przewozie przesyłek ponadgabarytowych R57.