

Prof. dr .hab. inż. Włodzimierz Gąsowski
Politechnika Poznańska i
Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Pojazdów Szynowych w Poznaniu
Mgr inż. Marek Sobaś
Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Pojazdów Szynowych w Poznaniu

O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej pojazdów szynowych (1)

Niniejsza praca rozpoczyna cykl artykułów, w których będzie przedstawione nowe podejście do określania skrajni kinematycznej pojazdów szynowych, mającej większe wymiary od dotychczas obowiązującej, zapewniającej bezpieczeństwo jazdy pociągów.

W pierwszej części pracy przedstawiono rozwój skrajni pojazdów szynowych od konferencji w Bernie w 1913 roku, na której uchwalono tzw. skrajnię Jedności Technicznej. Przeanalizowano podstawowe założenia skrajni statycznej oraz skrajni kinematycznej w świetle dotychczas obowiązujących przepisów międzynarodowych, zaproponowano rozważenie możliwości zastosowania koncepcji probabilistycznej w obliczeniach skrajni kinematycznej, która przyniosłaby pewne efekty konstrukcyjne oraz ekonomiczne w przewozach współczesnymi pojazdami szynowymi.

Część I

ROZWÓJ SKRAJNI POJAZDÓW SZYNOWYCH

1. Wprowadzenie

Rozwój transportu kolejowego, a zwłaszcza jego wyjście poza granice poszczególnych państw, spowodował już w XIX wieku konieczność wydania przepisów ustalających wielkość przestrzeni wzdłuż toru kolejowego, w której bezpiecznie mogłyby poruszać się pociągi.

Przekrój poprzeczny tego „tunelu powietrznego” w którym powinny zmieścić się różnorodne pojazdy kolejowe nazywano skrajnią taboru.

Oprócz skrajni taboru ustalono również skrajnię budowli, nieco większą od skrajni taboru, którą nie powinna przekraczać żadna część budynków oraz innych obiektów znajdujących się w pobliżu toru.

Skrajnia jest specyficznym pojęciem przypisanym ruchowi pojazdów szynowych i nie jest używana w takim znaczeniu w innych środkach transportu. Jej stały rozwój jest wynikiem kompromisu pomiędzy działami technicznymi odpowiadającymi za prawidłowe zaprojektowanie i utrzymanie infrastruktury kolejowej (określanych w przepisach jako służby budowlane) oraz działami konstruującymi pojazdy szynowe.

W takim ujęciu za bezpieczeństwo kursujących pojazdów odpowiadają dwa niezależne, ale współpracujące ze sobą piony techniczne, w pierwszym etapie reprezentowane przez konstruktorów infrastruktury kolejowej oraz konstruktorów pojazdów szynowych.

Konstruktorzy obydwu pionów technicznych podczas projektowania kierują się określonymi przepisami, opracowanymi oddzielnie dla każdego z działów. Przepisy te formułują wytyczne do projektowania, w formie wzorów matematycznych, dopuszczalnych zarysów i innych wytycznych, tak aby wymiary gabarytowe zaprojektowanego tzw. urządzenia stałego należącego do infrastruktury kolejowej oraz pojazdu szynowego nie mogły wejść w kolizję stwarzając zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu. W celu zaprojektowania urządzenia stałego należącego do infrastruktury kolejowej pion techniczny zajmujący się tym zagadnieniem są obowiązane posługiwać się stosownym zarysem odniesienia czyli skrajnią budowli. Doskonałe i niezwykle precyzyjne sformułowanie obowiązujących przepisów, pozwala konstruktorom obydwu pionów na samodzielne, niezależne od siebie projektowanie. Jest to wynikiem wcześniejszych spotkań i ustaleń pomiędzy przedstawicielami obydwu pionów technicznych, w wyniku których powstały przepisy w postaci kart (Międzynarodowego Związku Kolejowego) obowiązujących wszystkie kraje członkowskie. Wraz z rozwojem taboru kolejowego polegającym na zwiększeniu prędkości, masy i wymiarów przewożonych ładunków, zwiększeniu komfortu jazdy, realizowanym poprzez coraz większe usprężynowanie, problem skrajni nabiera szczególnego znaczenia.

Rozwój, wymuszony wzrastającymi potrzebami rynkowymi powoduje coraz większy nacisk konstruktorów pojazdów, aby jak najpełniej wykorzystać przestrzeń geometryczną w którą powinien wpisać się pojazd. Postulat aby nowe konstrukcje posiadały coraz większy zarys odniesienia skrajni jest coraz śmielej formułowany. Znalazł on już swoje zastosowanie geometryczne. Powoduje to kosztowną budowę nowych tras kolejowych lub przebudowę już istniejących. Wywołuje to obok wzrostu kosztów dodatkowe problemy związane z zakłóceniami w bieżącym ruchu towarowym lub pasażerskim. Rozwiązaniem problematyki pełniejszego wykorzystania przestrzeni geometrycznej według dotychczasowego stanu jest utrzymanie w miarę możliwości obecnie obowiązującego zarysu skrajni kinematycznej pojazdu szynowego, którego nie może przekroczyć żaden punkt projektowanej konstrukcji w wyniku jednoczesnego złożenia się wszystkich najbardziej skrajnych przemieszczeń geometrycznych oraz dynamicznych. Logiczną konsekwencją utrzymania zarysu skrajni kinematycznej byłoby również utrzymanie skrajni budowli. Każde przemieszczenie geometryczne (wynikające z wpisywania się pojazdu szynowego w łuk) oraz przemieszczenie dynamiczne traktuje się w myśl obowiązujących przepisów jako ekstremalne oraz przemieszczenie dynamiczne traktuje się w myśl tradycyjnych przepisów jako ekstremalne oraz zakłada się, że ekstremalne przemieszczenia występują jednocześnie. Tak więc twórcy obecnie obowiązującej skrajni kinematycznej założyli, że bezpieczeństwo eksploatowanego pojazdu jest w pełni zagwarantowane tylko wtedy, gdy w obliczeniach uwzględnia się najgorszy hipotetyczny przypadek.

Wstępne analizy przeprowadzone przez autorów sugerują, że w wielu nowoprojektowanych pojazdach – zwłaszcza

w wagonach towarowych – można wyeliminować jednoczesne wystąpienie wszystkich krańcowo niekorzystnych przemieszczeń. Świadome, racjonalne działanie w tym zakresie umożliwiłoby zwiększenie gabarytów wagonów i lepsze wykorzystanie ładowności.

Prowadzi to do zwiększenia efektywności przewozu ładunków. Tak więc dotychczasowe traktowanie skrajni kinematycznej proponuje się zastąpić nową koncepcją polegającą na zastosowaniu rachunku prawdopodobieństwa.

Istota tej koncepcji polega na określeniu przemieszczenia geometrycznego oraz przemieszczenia dynamicznego jako zjawiska losowego. Wykorzystuje się tutaj zasadniczą formułę rachunku prawdopodobieństwa, że prawdopodobieństwo sumy zjawisk losowych jest równe sumie prawdopodobieństw wg definicji podanej przez Kołmogorowa [1]:

$$P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_n) \quad (1)$$

Próba takiego podejścia do zagadnienia tzw. luzów bezpieczeństwa występujących pomiędzy skrajnią budowli oraz skrajnią kinematyczną jest zasygnalizowana w [2]. Nie kontynuowano zagadnienia tak dalece, aby taki sposób podejścia był uwzględniony we wzorach na zwężenia zewnętrzne oraz zwężenia wewnętrzne względem zarysu skrajni taboru.

2. Geneza skrajni pojazdów szynowych.

Skrajnia statyczna.

Skrajnia jako pojęcie mające charakter międzynarodowy, w postaci skodyfikowanej normy technicznej, obligatoryjnej dla krajów będącymi członkami organizacji o nazwie „Jedność Techniczna”, powstała w 1913 roku. Tzw. skrajnia Jedności Technicznej powstała w wyniku kilkudziesięciu lat pracy komisji przedstawicielskich krajów członkowskich. Za początek tych prac nad tym zagadnieniem przyjmuje się rok 1882 [3,4 i 5].

W tym roku z inicjatywy rządu szwajcarskiego zorganizowano pierwszą konferencję w Bernie z udziałem delegatów rządów państw europejskich w celu zawarcia układu w sprawie norm technicznych umożliwiających wzajemne używanie wagonów w ruchu międzynarodowym [5].

W 1932 roku powstał Międzynarodowy Związek Kolejowy „UIC” (Union Internationale des Chemins de Fer), który w dalszym okresie zajął się sprawami skrajni Jedności Technicznej.

Wraz z rozwojem konstrukcji taboru kolejowego pojawiły się żądania poszerzenia skrajni Jedności Technicznej, która nie uwzględniała zjawisk dynamicznych związanych z ruchem pojazdów szynowych i w rzeczy samej była skrajnią statyczną.

Skrajnia ta spełniała następujące warunki:

- wagon nie może przekraczać, stojąc w środku na prostym torze, skrajni ustalonej przez Jedność Techniczną; linia ta jest oznaczona jako skrajnia dla wagonów IT,
- kiedy nieruchomy wagon znajduje się w najbardziej niekorzystnym położeniu w torze o promieniu łuku 250 m i

szerokości toru 1,465 m; wystawanie poza wyżej oznaczoną linię ograniczającą nie może przekroczyć wartości umownej „k” (przy czym $k = 0,025$ m dla dolnych części i $k = 0,075$ m dla części, które leżą powyżej główki szyny),

- przy wyżej wymienionych wymiarach mogą być konieczne dodatkowe ograniczenia, a mianowicie: wagon znajdujący się na torze o promieniu łuku 150 m i szerokości toru 1,465 m nie może zajmować więcej przestrzeni niż wagony, które są zdefiniowane przez pewne cechy charakterystyczne.

Skrajnia Jedności Technicznej z roku 1913, wraz z następnymi wydaniem w postaci ustalonej w 1933 roku skrajni tranzytowej na Konferencji Berneńskiej, zatwierdzonej w 1938 roku, dotyczyła zasadniczo wagonów. Lokomotywy (w przeważającej liczbie parowe) nie brały udziału w ruchu międzynarodowym za wyjątkiem ruchu będącego przedmiotem bilateralnych uzgodnień (np. ruch w strefie przygranicznej). Zarys skrajni Jedności Technicznej jest przedstawiony na rys 1.

Skrajnia Jedności Technicznej na długi okres czasu zdominowała krajowy i międzynarodowy ruch wagonów. Niektóre przyjęte w niej pojęcia są aktualne do dzisiaj i przeszły do już „zreformowanych i zaktualizowanych” przepisów w prawie niezmienionej formie.

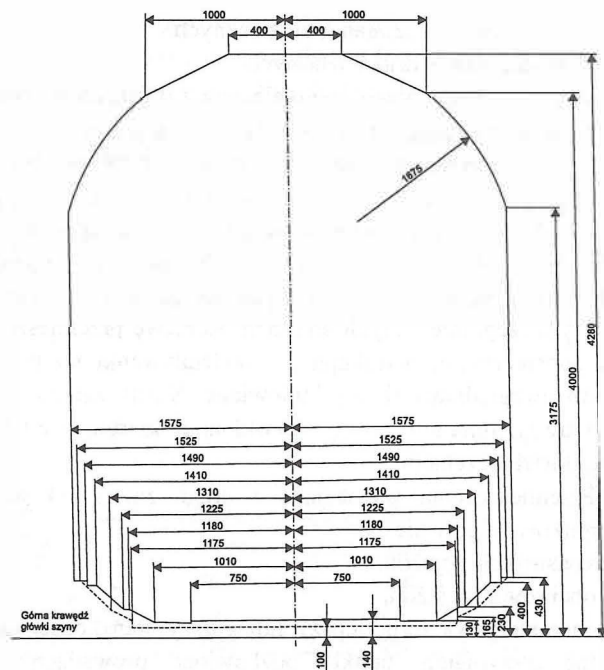
Skrajnia statyczna (w ujęciu Jedności Technicznej) normalnotorowego pojazdu szynowego jest to zarys figury leżącej w płaszczyźnie prostopadłej do osi toru, której pozioma leży w płaszczyźnie górnych krawędzi główek szyn.

Jest ona określona wymiarowo dla toru prostego, a dodatkowo poszerzona o ustalone wartości dla łuków o promieniach $R=150$ m do $R=250$ m.

Skrajnia statyczna obejmuje w dotychczasowej praktyce krajowej:

- skrajnię wagonów dla ruchu wewnętrznego,
- skrajnię wagonów dla ruchu międzynarodowego (skrajnia Jedności Technicznej),
- skrajnię pojazdów dla ruchu wewnętrznego,
- skrajnię ujednoliconych lokomotyw spalinowych dla ruchu międzynarodowego.

Nowe tendencje w projektowaniu pojazdów trakcji spalinowej, elektrycznej (konieczność rozmieszczenia urządzeń elektrycznych i mechanicznych w dolnych częściach pojazdu) jak również zwiększenie prędkości jazdy oraz zastosowanie coraz bardziej elastycznych („miększych”) zawiesznień było już w oczywistym konflikcie ze skrajnią Jedności Technicznej. Zarządy kolejowe (zwłaszcza w Europie Zachodniej) zgłaszały coraz liczniejsze przypadki kolizji kursujących pojazdów szynowych z urządzeniami stałymi, których usytuowanie było zgodne z ówczesnie obowiązującymi przepisami. Rewizja skrajni budowli okazała się w tym przypadku trudna do ujęcia w formie czytelnych przepisów, ponieważ przy wypadkach kolizji nie stwierdzono żadnych podstaw technicznych, aby można było zarzucić błąd służbom budowlanym. Problem ten rozwiązano tworząc pojęcie skrajni kinematycznej.



Rys. 1. Skrajnia Jedności Technicznej

3. Istota i rozwój skrajni kinematycznej.

Skrajnia kinematyczna normalnego pojazdu szynowego jest to zarys figury płaskiej w płaszczyźnie prostopadłej do osi toru, określonej wymiarowo w stosunku do toru prostego, a dodatkowo poszerzonej o ustalone wartości dla łuków o promieniu $R=150$ m i większym oraz dla odcinków toru z określoną przechyłką.

Skrajni tej nie powinna przekraczać żadna część pojazdu szynowego w następujących warunkach:

- gdy pojazd biegnie po torze prostym,
- gdy pojazd stoi nieruchomo w łuku z określoną przechyłką,
- gdy pojazd porusza się w łuku z określoną przechyłką,
- gdy pojazd porusza się w łuku z określoną przechyłką lub bez przechyłki
- we wszystkich wyżej podanych przypadkach przy uwzględnieniu wszystkich możliwych położeniach w torze, przesunięć pionowych będących wynikiem zużycia i określonej w przepisach międzynarodowych, dla danego typu pojazdu, wielkości dodatkowego ugięcia usprężynowania podczas jazdy.

Skrajnia kinematyczna uwzględnia, oprócz geometrii tzw. wystawian pojazdu związanej z położeniem na torze prostym oraz na łuku, również przemieszczenia wynikające ze zjawisk dynamicznych towarzyszących ruchowi pojazdu szynowego w torze. Skrajnia kinematyczna formułuje przepisy dla konstruktorów w jaki sposób należy obliczać i oceniać przemieszczenia dynamiczne pojazdów, zamiast pozostawiać to służbom budowlanym jak to milcząco zakładały przepisy Jedności Technicznej. W szczególności dużego znaczenia nabierają przemieszczenia boczne części położonych bardzo wysoko, które mogą osiągać znaczne wartości, jeżeli pudła pochylają się wskutek nadmiaru lub niedostateczności przechyłki toru w łuku.

Badania przemieszczeń bocznych i wgląd w wyniki zapisów doprowadziły do rozróżnienia dwóch rodzajów przemieszczeń:

- wynikających z działania sił bocznych,
- wynikających z drgań własnych.

W przemieszczeniach wynikających z działania sił bocznych nie uwzględnia się przemieszczenia, które może wynikać z oddziaływania wiatru na pojazd. Przy wichurach burzowych to przemieszczenie może osiągać znaczne wartości. Gdyby to uwzględniano wówczas ruch pociągów powinien być zakazany, zwłaszcza ruch lekkich wagonów trakcyjnych na liniach dwutorowych położonych na wybrzeżach o szczególnie silnych wiatrach. Rezerwę przemieszczenia poprzecznego, wynikającą z oddziaływania na pojazd wiatru uwzględniają służby budowlane. Każdy zarząd kolejowy uwzględnia te rezerwy indywidualnie kierując się własnym doświadczeniem.

Przemieszczenia wynikające z drgań zależą od wielu czynników, a głównie od:

- konstrukcji pojazdu,
- obciążenia pojazdu,
- charakterystyk toru (lepszy lub gorszy stan konserwacji lub utrzymania, punkty pozbawione prowadzenia w zwrotnicach lub w krzyżownicach toru),
- współdziałania ww. czynników, które mogą objawiać się w postaci rezonansów przy pewnych prędkościach.

Pomimo podjętych badań tego dość skomplikowanego zagadnienia nawet przy dzisiejszym stanie wiedzy, drgań tych nie można określić w miarodajny sposób na drodze rachunkowej. Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że w niektórych specyficznych przypadkach, kiedy rezonans został wywołany w sposób celowy (np. podczas prób na liniach kolei francuskich na trasie Douai-Leforest) drgania te osiągnęły dość wysokie wartości [2]. W przypadku wystąpienia nietypowych okoliczności (np. w punktach toru pozbawionych prowadzenia, które powtarzają się regularnie co 10 do 20 m w obszarze dworców kolejowych), kiedy wystąpią drgania rezonansowe powodujące przekroczenie skrajni budowli zaleca się, aby służba budowlana, która to stwierdziła porozumiała się ze służbami odpowiedzialnymi za eksploatację pojazdów szynowych jak również z konstruktorami pojazdów szynowych, aby podjąć odpowiednie przedsięwzięcia np. szczególny nadzór nad tłumikami drgań pojazdów albo zmniejszenie dopuszczalnych prędkości. Ostatecznie zgodzono się, że w normalnych warunkach ruchu amplituda ww. drgań przyjmuje wartości nieznaczne i w związku z tym zdecydowano, aby ich nie uwzględniać w rachunku zwożeń skrajni.

Kolejną sprawą, rozważaną przy definiowaniu skrajni kinematycznej było jej rozszerzenie przy nadmiarach oraz niedostatecznościach przechyłki większych niż 0,05 m. Zdecydowano, że powyżej tej wartości służba budowlana powinna przewidzieć zwiększenie odległości pomiędzy torami. Odrzucono tym samym żądania niektórych zarządów kolejowych, aby dodatkowe pochylenie pojazdów spowodowane nadmiarem lub niedostatecznością przechyłki większą aniżeli 0,05 m zostały włączone w skrajnię konstrukcyjną pojazdów.

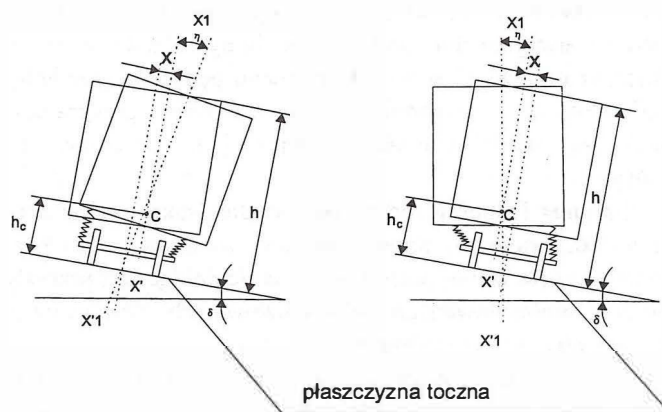
Uzasadnienie odrzucenia tego żądania zawierało się w następujących argumentach:

- spowodowałoby to ograniczenie przechyłek lub niedo-

stateczności przechyłki w efekcie czego zmniejszone zostaną prędkości jazdy,

- zmniejszony zostanie zarys odniesienia,
- spełnienie powyższych warunków byłoby sprzeczne z celem jaki postawiono przy tworzeniu i rozwoju skrajni kinematycznej.

Biorąc pod uwagę powyższe zagadnienia związane z przemieszczeniami wywołanymi zjawiskami dynamicznymi scharakteryzowano każdy pojazd poprzez tzw. współczynnik pochylenia „s” wyrażony stosunkiem pomiędzy kątem przechylenia pudła wagonu, mierzonym od osi pionowej („ η ”) i nachyleniem płaszczyzny toru do poziomu („ δ ”). Obydwa kąty są przedstawione na rys 2.



Rys. 2. Pochylenie pojazdu na łuku toru z przechyłką.

Jak się okazało z praktyki najbardziej miękkie zawieszenia mają wagony osobowe. Istnieje jednak pewne ograniczenie konstrukcyjne polegające na tym, że zbyt duża miękkość może powodować na łukach nieprzyjemne skutki pochylenia pojazdu. Postanowiono że należy doprowadzić do ograniczenia miękkości zawieszenia lub do wyposażenia zawiesz w specjalne układy przechylenia pudła pojazdu. Postanowiono również, że należy doprowadzić do ograniczenia miękkości zawieszenia lub do wyposażenia zawiesz w specjalne układy przechylenia pudła na łukach o przeciwnym działaniu do przechyłki. Zarządy kolejowe zdecydowały się na badania wartości współczynnika pochylenia na odcinkach torów, które były uważane za bardziej niekorzystne. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w pojazdach o miękkim usprężynowaniu współczynnik pochylenia osiągnął wartość 0,375. Jak się później okazało najnowsze pojazdy miały współczynniki przechylenia wyższe kształtujące się na poziomie 0,4 i taką wartość przyjęto jako wartość normalną. Nie można jednak wykluczyć, że w przyszłości pojawią się pojazdy o jeszcze większym współczynniku pochylenia. W przypadkach takich pojazdów trzeba będzie stosować dodatkowe zwożenia.

Wagony towarowe posiadają usprężynowania charakteryzujące się większą sztywnością.

Wobec powyższego niektóre zarządy kolejowe zażądały, aby skrajnia tych wagonów została przedstawiona w formie skrajni statycznej, charakteryzującej się prostszymi formułami.

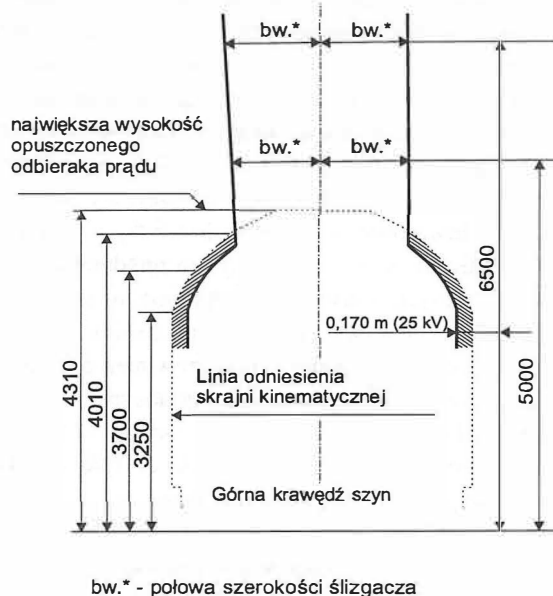
pogląd, że kontur taki albo narzuciłby konstruktorom pojazdu dodatkowe zwężenia albo pociągnąłby za sobą przekroczenia skrajni budowli w tych miejscach łukowych. Ostatecznie został przyjęty kontur składający się z trzech linii prostych, który jest dobrze dopasowany do poprzedniego profilu łukowego.

W przypadku elektrycznych pojazdów trakcyjnych przeznaczonych dla ruchu międzynarodowego został ustalony dodatkowo zarys w górnej części odbieraków prądu elektrycznego. W literaturze [5] można spotkać osobne pojęcie dla tego rodzaju skrajni jako „skrajni kinematycznej odbieraków prądu elektrycznych pojazdów trakcyjnych”. Jest ona definiowana jako zarys figury płaskiej w płaszczyźnie prostopadłej do osi toru określonej wymiarowo dla toru prostego, a dodatkowo poszerzonej o ustalone wartości dla łuków o promieniu $R = 250$ m i większym oraz dla odcinków toru z określoną przechyłką. Skrajni tej nie powinna przekraczać żadna część odbieraka prądu we wszystkich przypadkach ekstremalnych jak dla każdej innej części pojazdu. Początkowo w przepisach skrajnia ta funkcjonowała jako tymczasowa skrajnia odbieraków prądu i wyposażenia znajdującego się na dachu elektrycznych pojazdów trakcyjnych dla ruchu międzynarodowego [8]. Obecnie jest ona ujęta w przepisach [7]. Aktualnie obowiązująca skrajnia dla odbieraka prądu i nieizolowanych części konstrukcyjnych służących do przepływu prądu elektrycznego jest przedstawiona na rys. 4. Problem odbieraka prądu nie sprowadzał się tylko do określenia wymiarów zewnętrznych ale również do tego, aby zachować kontakt pomiędzy ślizgaczem prądu i przewodem jezdny. Gdy przeanalizowano wszystkie przyczyny, które mogły mieć wpływ na boczne przesunięcie wahaczy takie jak: wężykowanie i kołysanie pojazdu, drgania własne odbieraka prądu, błędy regulacji usprężynowania i mimośrodowości obciążenia, krzywizny toru, oddziaływania nadmiaru i niedostateczności przechyłki, boczne nierówności toru występujące pomiędzy dwoma naprawami, to okazało się że suma tych przesunięć poprzecznych przekracza znacznie wartości, które mogłyby być przyjęte z uwagi na najmniejszą szerokość wahaczy i utrzymanie stałych urządzeń. Jak wynika z [2] po analizie tego problemu grupy robocze specjalistów wypracowały pogląd, że przyczyny przesunięć poprzecznych mają charakter przypadkowy i jest mało prawdopodobne aby mogły wystąpić jednocześnie.

Nie zdecydowano się jednak na dokładne matematyczne zbadanie problemu z zastosowaniem rachunku prawdopodobieństwa z uwagi na brak informacji dotyczących rozkładów losowych wartości wynikających z wpływu odpowiednich czynników. Zalecono w związku z tym, aby problem odbieraków prądu traktować w sposób pragmatyczny, biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia i przyjmując warunki takie, jakie wchodziły w rachubę dla bocznych przesunięć odbieraków prądu.

W tym przypadku sytuację dodatkowo komplikuje fakt, że odbieraki prądu są budowane w pewnym zakresie niezależnie od pojazdów, na których są one zainstalowane i zmierza się do ich standaryzacji, a z drugiej strony ich boczne przesunięcia zależą jednak od pojazdów, na których są one

zamontowane. Aby pokonać tę sprzeczność ustalono, że odbieraki prądu są zainstalowane z reguły na pojazdach o współczynniku pochylenia $s \leq 0,225$. Ta maksymalna wartość współczynnika pochylenia jest zdecydowanie mniejsza od tej, którą mogą przyjmować współczesne pojazdy o bardzo miękkim usprężynowaniu ($s \geq 0,4$). Z tego wynika ograniczenie przesunięć poprzecznych, jak również ułatwia to utrzymanie kontaktu odbierak-przewód jezdny.



Rys. 4. Linia odniesienia odbieraka prądu i nieizolowanych części konstrukcyjnych służących do przepływu prądu elektrycznego.

Rozważanie to doprowadziło do wniosku, że dla odbieraków prądu, które odpowiadają tradycyjnym warunkom zabudowy można dokładnie ocenić dopuszczalne szerokości bez ryzyka przekroczenia określonych przemieszczeń poprzecznych.

Ponieważ każda kolej uwzględnia małą i dużą szerokość odbieraków prądu, które są dopuszczone na jej sieci lub jej wybranych odcinkach, wyrażono ostatecznie zgodę na trzy szerokości:

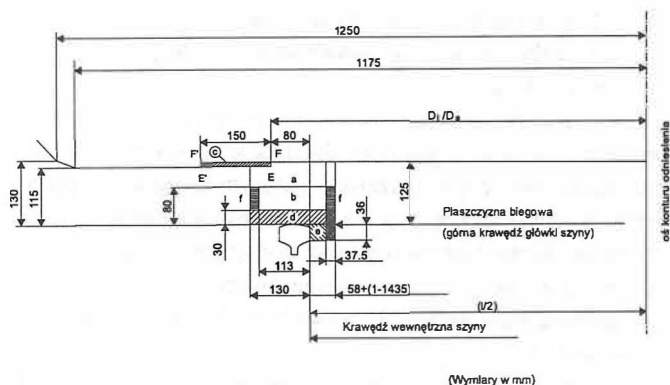
- 1,950 m – dla DB, OBB, SNCB i SNCF (sieć 1,5 kV),
- 1,450 m – dla FS i SNCF (sieć 3 kV),
- 1,320 m – dla SNCB.

Producenci mają więc możliwość wytwarzania standardowych odbieraków prądu bez względu na własności konstrukcyjne pojazdów.

Warunki dotyczące odbieraków prądu stosowanych w międzynarodowym ruchu pojazdów trakcyjnych znajdują się w [9].

Rozwój skrajni kinematycznej można również zaobserwować analizując obowiązujące przepisy dotyczące części dolnych. W załączniku 1 materiału źródłowego [6] przedstawiono zarys dolnych części wagonów towarowych spełniających wszystkie wymogi przepisów RIV (rys.5).

Rys. 5. Zarys skrajni kinematycznej w strefie dolnej dla wagonów



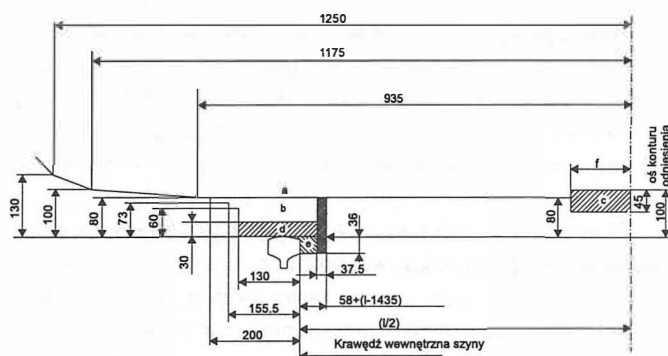
towarowych spełniających przepisy RIV [10].

Niniejszy zarys obowiązuje dla wszystkich wagonów towarowych, które powinny przejeżdżać przez górkę rozrządową oraz które mogą być hamowane za pomocą hamulców torowych. Na rysunku jest przedstawiony zakreślony obszar F'FEE', który jest typowym przykładem osiągniętego kompromisu pomiędzy konstruktorami pojazdów szynowych i służb budowlanych. Wymiar 125 mm został przyjęty przez ERRI (European Railway Research Institute) jako wysokość jednolitej szczęki hamulcowej hamulca torowego. Na ustalenie tego wymiaru mocno nalegały służby budowlane, które uzasadniały, że im wyżej będą położone szczęki hamulca torowego tym większa będzie jego efektywność działania. Z drugiej zaś strony producenci pojazdów coraz częściej byli zmuszani do konstruowania wagonów towarowych do przewozu ładunków o coraz większych gabarytach. Efektem tego było powstanie wagonów o silnie obniżonej podłodze (np. wagony kieszeniowe) jak również wagonów o coraz mniejszych średnicach kół układu biegowego. Wobec powyższego producenci taboru wywierali nacisk na specjalistów grup roboczych zajmujących się tworzeniem przepisów, aby nie zmniejszać przynajmniej tych możliwości, które gwarantowała skrajnia Jedności Technicznej. Zaistniała sytuację pogarszał fakt, że w strefach rozjazdów w których są stosowane hamulce torowe do zmniejszenia prędkości występują często urządzenia wyrzutnika klocków hamulcowych.

Wskutek tego wymiar skrajni kinematycznej 125 mm od główki szyny musiałby występować na zaznaczonym przekroju na wymiarze szerokościowym 150 mm, co kolidowało z tendencjami rozwojowymi wagonów towarowych. W wyniku dyskusji zgodzono się z poglądem, że wymiar 115 mm jest osiągnięty przez elementy dolnego zarysu pojazdu (np. podwójne klocki hamulcowe wózka typu „Y25”) w ekstremalnych przypadkach obciążenia i zużycia (głównie zestawów kołowych) i przypadkowy styk ze szczęką hamulca torowego nie miałby żadnych poważnych konsekwencji. W wyniku powyższego zaakceptowano wymiar 115 mm jako obowiązujący dla skrajni kinematycznej wraz z komentarzem, że wymiar ten nie może być naruszony przez żadne urządzenie torowe w oznaczonej na rysunku strefie a tylko i wyłącznie przez szczęki hamulcowe w czasie odrzutu. Jednocześnie zalecono zarządom kolejowym likwidację hamulców torowych o wysokości szczęk hamulcowych większych niż 125 mm od główki szyny.

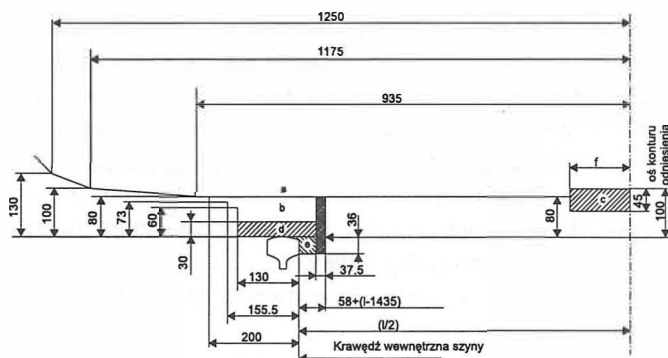
Rozwój wagonów towarowych prowadził do dalszych kompromisów. Przed grupami roboczymi tworzącymi przepisy w skali międzynarodowej powstała konieczność rozwiązania kolejnego zagadnienia. Pojawił się tym razem problem wagonów o silnie obniżonej podłodze, jak np. wagonów do przewozu kombinowanego typu „Rollende Landstrasse” lub wagonów do przewozu płyt szklanych. W tym przypadku założono, że wagony nie będą przejeżdżały przez górkę rozrządową, ani też nie mogą być hamowane przez hamulce torowe.

Wagony takie nie posiadają znaku RIV, a ich eksploatacja na szlakach międzynarodowych odbywa się na drodze bilateralnych uzgodnień. Zakaz wjazdu na górkę rozrządową, jak również zakaz hamowania za pomocą hamulców torowych, został uregulowany poprzez uzgodnione międzynarodowo oznakowania na wagonie, co umożliwiło uniknięcie błędów podczas eksploatacji. Wskutek powyższego można było zaproponować zarys korzystniejszy od poprzedniego. Pierwszy zaproponowany zarys dla tego rodzaju wagonów mający charakter obligatoryjny dla zarządów kolei członkowskich UIC przedstawiono na rys. 6 (załącznik 2a do [6]).



Rys. 6. Zarys skrajni kinematycznej wagonów towarowych nie mogących przejeżdżać przez górkę rozrządową ani też nie mogących być hamowanymi za pomocą hamulców torowych [6].

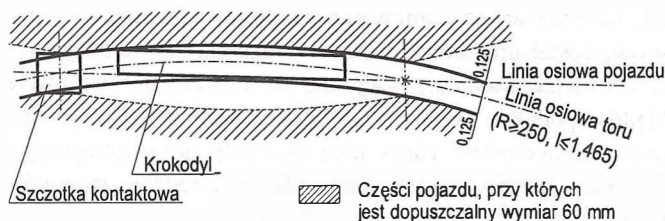
Jak się okazało w późniejszych doświadczeniach zarys ten nie zadowolił w pełni ani projektantów ani też użytkowników tego rodzaju wagonów. W nowym obowiązującym dokumencie [7] przedstawiono zmodyfikowany zarys części dolnych skrajni kinematycznej (rys. 7).



Rys. 7. Zmodyfikowany zarys skrajni kinematycznej wagonów towarowych nie mogących przejeżdżać przez górkę rozrządową ani nie mogących być hamowanymi za pomocą hamulców torowych [7].

Dopuszczenie takiego zarysu daje poważne korzyści techniczne i ekonomiczne. Jedynym urządzeniem stałym, które nie pozwala na zastosowanie linii 80 mm od główki szyny na całej szerokości wynoszącej 935 mm od osi toru są urządzenia stałe będące automatycznymi wyłącznikami blokad torowych (t. zw. krokodyle). Wysokość tych urządzeń wynosi 94 mm (SNCF) lub 96 mm (SNCB) od główki szyny.

Krokodyle są wbudowane nie tylko na torze prostym, ale również na łukach o promieniach $R \geq 250$ m i linia osiowa zewnętrznych oraz środkowych przekrojów pojazdu leży mimośrodowo w stosunku do krokodyli, co jest uwidocznione na rys. 8.



Rys. 8. Usytuowanie krokodyli na tle zarysu toru.

Wobec powyższego postanowiono, że żadna część pojazdu leżąca na wysokościach pomiędzy 80 mm i 100 mm ponad główką szyny nie może zbliżyć się do linii osiowej toru więcej jak na 115 mm. Obecnie obowiązujący zarys wg [7] dał jednak projektantom znacznie więcej swobody w zakresie konstruowania.

W ostatnich latach coraz częściej jest stosowany hamulec tarczowy. W przypadku wagonów z kołami o mniejszych średnicach ϕ 840 mm i przy zastosowaniu tarcz hamulcowych o średnicach ϕ 610 mm dopuszczalne zużycie zestawów kołowych wynosiło zgodnie z zarysem przedstawionym w [6] tylko $0,5 \cdot (840 - 610) - 100 = 15$ mm. Natomiast przy zastosowaniu zarysu wg [7] $0,5 \cdot (840 - 610) - 80 = 35$ mm. W pierwszym przypadku należy wziąć pod uwagę, że przy dopuszczalnym zużyciu kół współczesnych zestawów kołowych monoblokowych wynoszących w zależności od zarządu kolejowego 28 do 29 mm [8] (wg § 35 przepisów źródłowych [10] zużycie koła można zwiększyć do 30 mm), pełne zużycie koła jest w ogóle niewykorzystane. W drugim zaś przypadku ten sam zestaw kołowy można eksploatować do granic zużycia dopuszczalnych przez jego konstrukcję. W pierwszym przypadku należy wziąć pod uwagę, że fakt ograniczonego zużycia należy udokumentować w postaci wymogu tzw. dokumentacji techniczno-ruchowej wagonu i dodatkowo oznakować go za pomocą symbolu dopuszczalnych średnic tocznych układu biegowego.

Kolejnym problemem, który rozważano przy tworzeniu zarysu skrajni kinematycznej były wymiary, które tworzą strefę styku koła pojazdu i szyny.

Wymiary części skrajni, które tworzą strefę styku koła i szyny odnoszą się:

- do wewnętrznej krawędzi szyny toru, ponieważ właśnie ta krawędź określa ostatecznie położenie kół,

- do linii prostopadłej do pojazdu, która przechodzi przez punkt nabiegania koła (zasadniczo 0,01 m pod okręgiem tocznym koła).

W strefie styku mogą znaleźć się prowadnice, które mają wpływ na ustawienie kół pojazdu. Tak więc stwierdzono występowanie kolejnego obszaru, w którym należało wypracować kompromis polegający na jednoczesnym zabezpieczeniu interesów służby budowlanej oraz konstruktorów pojazdu. W tym obszarze mogą znaleźć się zarówno części pojazdu jak i urządzenia stałe takie jak prowadnice lub kierownice (np. na rozjazdach).

Teoretycznie największa odległość wewnętrznej powierzchni koła od krawędzi wewnętrznej szyny jest równa szerokości toru „l” pomniejszonej o:

- najmniejszy odstęp pomiędzy wewnętrznymi powierzchniami kół,
- najmniejszą grubość koła.

W skrajni Jedności Technicznej ustalono najmniejszą grubość najcieńszego obrzeża na 0,01 m.

Wymiar ten obowiązuje jednak dla osi pośrednich pojazdów bez wózków oraz dla osi pośrednich dla pojazdów z wózkami. Dla wszystkich pozostałych pojazdów Jedność Techniczna określiła najmniejszą grubość obrzeża na 20 mm.

Dlatego też rowek szyny do przejścia obrzeży kół wynosi:

$$\Delta = l - (1357 + 20) \text{ skąd można napisać } \Delta = 58 + (l - 1435).$$

Przy określeniu najmniejszej odległości, która może być osiągnięta przez kierownice należy uwzględnić, że z jednej strony koła długich pojazdów ze sztywnymi ramami zajmują pewne ukośne ustawienie do szyny i że z drugiej strony dla pojazdów o większej liczbie osi niż dwie jest przewidziany pewien luz dla ustawienia w łuku środkowych części osi.

Zgodzono się na wymiar największej grubości obrzeża 37,5 mm, ponieważ obrzeża kół nie nabiegają na dzioby krzyżownic.

Dolicza się do tej wartości:

- najmniejszą odległość pomiędzy wewnętrznymi powierzchniami wieńców (powierzchniami czołowymi kół-1363 mm
 - największą grubość obrzeża tj 37,5 mm
- a zatem otrzymuje się $37,5 + 1363 + 32,5$ mm.

Wobec powyższego pozostaje jeszcze luz wynoszący 2 mm w stosunku do toru o regularnej szerokości wynoszącej 1435 mm. Na zewnątrz wieńca koła może osiągnąć odległość 120 mm od wewnętrznej krawędzi szyny. Wymiar ten jest wynikiem różnicy pomiędzy największą szerokością wieńca koła 140 mm pomniejszonej o najmniejszą grubość obrzeża tj. 20 mm. Wymiar zewnętrznej powierzchni czołowej był jednak zachowany na wysokości 130 mm (patrz rys 6 i 7) ponieważ dla szybkich pociągów przewidziano hamulce magnetyczne lub hamulce na prądy wirowe, których szerokości klocka hamulcowego nie mogą być zmniejszone.

Dla uwzględnienia wcześniejszych rodzajów konstrukcji zachowano uskok w odległości 155,5 mm od wewnętrznej krawędzi szyny, który pozostawił producentom pojazdów trochę miejsca dla zainstalowania części. Wysokość tego uskoku wynosząca poprzednio 55 mm została podniesiona na wniosek OBB do 0,06 m, ponieważ kolej austriacka

chciała zachować pewien luz bezpieczeństwa pomiędzy skrajnią pojazdu a własną skrajnią budowli. Drugi uskok, który wynika również z wcześniejszych rodzajów konstrukcji, został zachowany w odległości 0,200 m od wewnętrznej krawędzi szyny z wysokością 73 mm ponad główką szyny. Części pojazdu mogą sięgać poniżej płaszczyzny określonej wymiarem 100 mm lub 80 mm pod warunkiem, że znajdują się wewnątrz profilu kół na łukach toru jak i na prostych. W przeciwnym przypadku powstaje niebezpieczeństwo, że części pojazdu wejdą w kolizję z kierownicami zwrotnic. Oprócz tego ustalono, że zgarniacze lub pojemniki na piasek, które są zabudowane na pojazdach trakcyjnych nie mogą sięgać w dół poniżej wymiaru określonego wysokością 30 mm, aby nie stwarzać kolizji z petardami (*), które muszą być zgarniane tylko przez koła.

W trakcie ustalania przepisów skrajni kinematycznej rozważono problem czy nie byłoby celowym uwzględnić obręczy z płaskim miejscem i w konsekwencji skrajnia musiałaby sięgać w dół pod poziom główki szyny. W efekcie uzgodniono, że uznanie tego rodzaju płaskich miejsc na obręczach, które może być traktowane jako tolerancja wymiaru lub kształtu i położenia, powodowałoby trudności przy budowie zwrotnic lub krzyżówek.

4. Wnioski.

Na podstawie przedstawionej analizy można postawić następujące wnioski:

1. Skrajnia pojazdów jest pojęciem stale rozwijającym się. Rozwój ten jest wynikiem ciągle zwiększających się wymagań stawianych pojazdom szynowym przez potrzeby rynkowe. W rozwoju pojazdów szynowych następuje maksymalne wykorzystanie istniejącego zarysu odniesienia. Powoduje to, że w przypadkach niektórych pojazdów występuje maksymalne wykorzystanie dopuszczalnego zarysu odniesienia. Zdarzają się również przypadki, kiedy zarys ten wydaje się być niewystarczający aby sprostać wszystkim wymogom postawionym przez użytkownika. Pozostaje więc alternatywa albo w przypadku takich pojazdów należy budować specjalnie wytyczone trasy (co jest niezwykle kosztowne) albo skorygować dotychczasowy sposób postępowania przy wyznaczaniu zwożeń wewnętrznych i zewnętrznych. Korekta ta polegałaby na dogłębnej analizie możliwości jednoczesnego występowania niekorzystnych zjawisk i określenia ich prawdopodobieństwa.

2. W wyniku analizy problemów związanych ze skrajnią kinematyczną zostały zasygnalizowane zagadnienia, które nie powinny być obliczane przy założeniu wystąpienia wszystkich niekorzystnych zdarzeń jednocześnie (np. problem pantografu elektrycznych pojazdów trakcyjnych przystosowanych do ruchu międzynarodowego). W niektórych przypadkach metoda uwzględniania wszystkich niekorzystnych zjawisk występujących jednocześnie doprowadziłaby do znacznego zawężenia gabarytów pojazdu szynowego, albo uczyniłaby niemożliwym rozwiązanie danego zagadnienia.

Literatura.

- [1] Kryszicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Część I. Rachunek prawdopodobieństwa*. PWN Warszawa 1998
- [2] Karta UIC 505-5 „Wspólne podstawowe warunki dla kart 505-1 do kart 505-4. Komentarz uwzględniający opracowanie i przepisy dotyczące kart.” 2-gie wydanie 1.1.1977 zmiana 1.1.1980
- [3] Langrod A.: *Podstawy konstrukcji wagonów*. Wydawnictwo Komunikacyjne. Warszawa 1954
- [4] Neumann T.: *Wagony i hamulce kolejowe*. Wydawnictwo Komunikacyjne. Warszawa 1960
- [5] Tatała F.: *Skrajnie kolejowe normalnotorowe*. Wyd. Ucz. P.P., Poznań 1964
- [6] Karta UIC 505-3 „Skrajnia kinematyczna wagonów towarowych dla ruchu międzynarodowego”, II wydanie z 01.01.1977 ze zmianami z dnia 1.01.1982
- [7] Karta UIC 505-1 „Pojazdy kolejowe. Skrajnie pojazdów”. 8-me wydanie z 01.01.1997.
- [8] Karta UIC 505 „Tymczasowa skrajnia kinematyczna pojazdów trakcyjnych w komunikacji międzynarodowej” 01.01.1961
- [9] Karta UIC 608 „Warunki jakie powinny spełniać odbieraki prądu pojazdów trakcyjnych w komunikacji międzynarodowej”, 2-gie wydanie z 01.07.1989
- [10] RIV – Regolamento Internazionale Veicoli „Umowa o wzajemnym używaniu wagonów towarowych w komunikacji międzynarodowej”. Ze zmianą 11 z 1.01 do 1.07.1987

(*) Petardy są środkiem zaradczym, które są kładzione na szyny przez służby kolejowe w przypadku awarii trasy.