

Zjawiska aerodynamiczne wywołane przejazdem pociągu Część 6: Inne oddziaływania. Podsumowanie cyklu

Andrzej ZBIEĆ¹

Streszczenie

W cyklu artykułów opisujących zjawiska aerodynamiczne wywołane przejazdem pociągu scharakteryzowano oddziaływania pociągu jadącego z dużą prędkością na sam jadący pociąg, na inne pociągi, na obiekty znajdujące się przy torze oraz na ludzi. Oddziaływanie to może być dwójakiego rodzaju: przez wytwarzane ciśnienie i przez podmuch. Oprócz analizy literatury, uwzględniono badania przeprowadzone przez autora. W szóstej części cyklu opisano oddziaływanie aerodynamiczne mieszane na ludzi, inne rodzaje oddziaływań oraz dokonano podsumowania całego cyklu.

Słowa kluczowe: tabor kolejowy, koleje dużych prędkości, zjawiska aerodynamiczne

1. Wstęp

W części pierwszej [1] cyklu opisano ogólną klasyfikację zjawisk aerodynamicznych, które ze względu na rodzaj oddziaływania zostały podzielone na zmiany ciśnienia oraz podmuch. Zaprezentowano przebieg zmian ciśnienia w otwartej przestrzeni wywołanych przejazdem pociągu oraz oddziaływanie ciśnienia na różnego rodzaju obiekty znajdujące się obok toru. Wskazano podstawowe dokumenty normatywne dotyczące zagadnień aerodynamicznych. Przedstawiono wnioski dotyczące budowy szybkiego pojazdu kolejowego oraz wytrzymałości i usytuowania konstrukcji przy liniach dużych prędkości.

Część druga [2], będąca kontynuacją zagadnień związanych ze zmianami ciśnienia, dotyczyła wzajemnego oddziaływania poruszających się pociągów na ich powierzchnie czołowe i boczne. Stwierdzono w niej, że to pociąg poruszający się z dużymi prędkościami oddziałuje na pociąg poruszający się wolniej i na inne obiekty, a nie odwrotnie. Konsekwencją tego jest znaczny – nawet ponad sześciokrotny – wzrost ciśnienia na szybie czołowej pociągu starszego typu o prędkości maksymalnej 120 km/h, mijającego się z pociągiem jadącym 350 km/h, co może wiązać się z niebezpieczeństwem uszkodzenia szyby czołowej taboru o mniejszej prędkości maksymalnej.

W części trzeciej [3] opisano zjawisko podmuchu, który jest drugim oprócz ciśnienia, podstawowym rodzajem oddziaływań aerodynamicznych,

wywoływanych przez pociąg przejeżdżający z dużą prędkością. Opisano charakterystyczne cechy podmuchu oraz jego oddziaływanie na otoczenie (w postaci sił działających na obiekty) oraz na infrastrukturę kolejową. Zaprezentowano porównanie podmuchu wywołanego przez pociąg klasyczny (złożony z lokomotywy i wagonów) i zespół trakcyjny dużych prędkości, z którego wynika, że pociągi zespołone wywołują znacznie mniejszy podmuch i ze względu na ten rodzaj oddziaływania mogą jeździć z większymi prędkościami. Omówiono także i zilustrowano zdjęciami oddziaływanie aerodynamiczne mieszane (tzn. połączone, jednoczesne oddziaływanie ciśnienia i podmuchu) mogące powodować podrywanie tłucznia przez „ssące” działanie ciśnienia oraz porywanie tłucznia przez falę podmuchu.

Część czwartą [4] poświęcono zagadnieniu oddziaływania ciśnienia na ludzi – zarówno na pracowników kolejowych, jak i na pasażerów oczekujących na peronach i stojących przy otwartych oknach lub siedzących tuż przy oknie w mijanych pociągach.

W części piątej [5] opisano oddziaływanie podmuchu na ludzi – zarówno na pasażerów na peronie, jak i na pracowników kolejowych, znajdujących się w pobliżu toru, po którym przejeżdża z dużą prędkością pociąg. Indukowany podmuch powoduje powstawanie sił, których wartość i kierunek zmienia się gwałtownie podczas przejazdu pociągu. Może to powodować chwilowe zachwianie równowagi lub – w sytuacjach skrajnych – doprowadzić nawet do przewrócenia się.

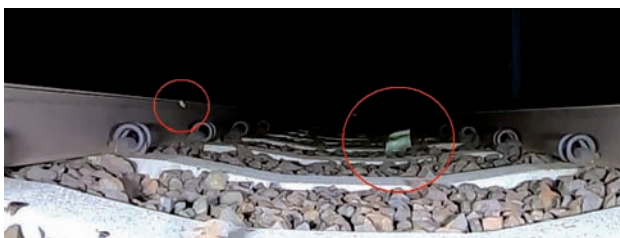
¹ Mgr inż.: Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Taboru; e-mail: azbiec@ikolej.pl.

W celu lepszego zobrazowania, oddziaływanie podmuchu zostało odniesione do powszechnie stosowanego opisu siły wiatru w skali Beauforta. Dokonano także oceny pociągów pasażerskich dużych prędkości kursujących w Polsce.

Niniejsza, szósta i zarazem ostatnia część cyklu artykułów dotyczy aerodynamicznego mieszane oddziaływania na pasażerów i pracowników kolejowych, innych rodzajów oddziaływań oraz jest podsumowaniem całego cyklu artykułów dotyczącego zjawisk aerodynamicznych, wywołanych przejazdem pociągu.

2. Oddziaływanie aerodynamiczne mieszane na pasażerów i pracowników kolejowych

Ostatnim z omawianych zjawisk aerodynamicznych jest oddziaływanie aerodynamiczne mieszane na pasażerów i pracowników kolejowych. Samo zjawisko zostało szerzej opisane w części trzeciej [3]. Może ono powodować podrywanie tłucznia pod pociągiem i jego ciągnięcie przez falę podmuchu (rys. 1). Z boku pociągu może powodować podrywanie śmieci leżących przy torach oraz ich ciągnięcie wraz z falą podmuchu. Może także nastąpić ewentualne poderwanie drobnych kamieni (tłucznia o małej wielkości), co na szczęście jest zjawiskiem dosyć rzadkim i ma miejsce w bardzo bliskim sąsiedztwie przejeżdżającego pociągu, do około 0,5 m od ściany pociągu – podczas swoich badań autor nie zaobserwował tego zjawiska w większej odległości od pociągu. Zjawisko to zostało zasygnalizowane również w raporcie [6] i powtórzono w raporcie [7] za pracą [8]: „Kiedy pociąg mija peron stacji z dużą prędkością, efekt wzburzonego przez pociąg powietrza z jego turbulentnymi fluktuacjami i pulsacjami powietrza, a także pył i śmieci, które są podrywane lub pchane, są poważnym problemem dotyczącym komfortu i bezpieczeństwa ludzi na peronie.”



Rys. 1. Mały kamień (z lewej) i śmieć (z prawej) lecące po przejeździe pociągu [fot. A. Zbieć]

Śmieci same w sobie nie stanowiłyby większego zagrożenia, ponieważ są to raczej elementy małych rozmiarów i małej masy. Jednakże mogą poruszać się

z dość dużą prędkością – do prędkości pociągu włącznie, co może już stanowić pewne niebezpieczeństwo przy uderzeniu człowieka w głowę, a w szczególności w oko. W raporcie [7] wśród czynników, które ze względów bezpieczeństwa osób należy wziąć pod uwagę wymieniono: „Przeptyw powietrza wywołany przez pociąg nie jest sam w sobie wystarczająco silny, aby wprawić w ruch obiekt stały, taki jak kamień. Jednak wszelkie drobne przedmioty na torze poruszone przez burzliwy przepływ powietrza i jego pulsacyjny efekt, który może spowodować, że drobny przedmiot, jeśli odbije się od pociągu, a szczególnie od podwozia pojazdu, stanie się szybko poruszającym się pociskiem. Spowodowałoby to skierowanie go w stronę pociągu, chyba że zostałby odbity na zewnątrz w kierunku peronu. Osoba znajdująca się przy torach lub na niskim peronie byłaby najbardziej narażona na to zagrożenie.”

Podobnie będzie się działo w warunkach opadów atmosferycznych, a szczególnie deszczu. Oczywiście deszcz nie będzie stanowił niebezpieczeństwa zagrażającego życiu, jednakże porwane przez podmuch krople wody mogą osiągać prędkości bliskie prędkości pociągu (rys. 2). Jeżeli krople deszczu wpadną do oka, mogą wywołać bardzo nieprzyjemne uczucie bolesności gałki ocznej, tak samo jak podczas jazdy w deszczu na rowerze lub na nartach bez okularów ochronnych lub gogli, a przecież taka jazda odbywa się ze znacznie mniejszymi prędkościami.



Rys. 2. Krople wody porwane przez pociąg [fot. A. Zbieć]

Z wymienionych powodów, pracownicy nie powinni patrzeć na mijający ich pociąg. Należy rozważyć wyposażenie pracowników w okulary ochronne BHP oraz prowadzenie odpowiedniego szkolenia. Nieco bardziej problematyczna wydaje się sprawa ochrony pasażerów na peronach przed lecącymi śmieciami. Ochroną przed zranieniem oczu będzie tu zachowanie stref ochronnych, wspomnianych w poprzednich częściach cyklu. Dodatkowym środkiem pomocniczym może okazać się zapowiadanie (informacja) o przejeżdżających pociągach. Na rysunku 3 pokazano barierkę oddzielającą pociąg i strefę ochronną od pozostałej części peronu na stacjach, na których zatrzymują się tylko niektóre pociągi Shinkansen. Pozostałe pociągi przejeżdżają ze zmniejszoną prędkością do około 150÷180 km/h. Na rysunku 4 pokazano

barierkę oddzielającą pociąg i strefę ochronną od pozostałej części peronu na stacjach, na których zatrzymują się wszystkie pociągi Shinkansen. Przy okazji należy zaznaczyć, że zastosowane barierki ochronne mają automatycznie otwierane bramki, ustawione dokładnie w tych samych miejscach, co drzwi pociągu po jego zatrzymaniu. Rozwiązanie takie wymaga zastosowania jednolitego typu taboru.



Rys. 3. Strefa ochronna na stacjach, na których zatrzymują się tylko niektóre pociągi [fot. A. Zbieć]



Rys. 4. Strefa ochronna na stacjach, na których zatrzymują się wszystkie pociągi [fot. A. Zbieć]

3. Oddziaływanie psychologiczne na pasażerów i pracowników kolejowych

Chociaż oddziaływanie psychologiczne nie wynika bezpośrednio z działania czynników aerodynamicznych, to może być z nimi powiązane i dla uzupełnienia całokształtu oddziaływań na ludzi, należy w tym miejscu o nim wspomnieć. Potrzeba uwzględnienia czynników psychologicznych została zauważona m.in. w pracach [7, 9, 10].

W pracy [9] napisano: „Pędzący z dużą prędkością pociąg wywołuje dwa rodzaje zagrożeń dla człowieka znajdującego się w jego pobliżu: oddziaływanie psychologiczne i oddziaływanie fizyczne podmuchu. Przy podwyższonej prędkości dominujące znaczenie ma oddziaływanie psychologiczne. (...). Intensywność tego uczucia zależy od indywidualnej

wrażliwości jednostki, jednak z tym właśnie rodzajem oddziaływania psychologicznego należy się liczyć i brać je pod uwagę przy ustalaniu granicy strefy niebezpiecznej dla człowieka. Jest to szczególnie ważne przy dużych prędkościach, ponieważ dla tych prędkości strefa niebezpieczna, z punktu widzenia psychologicznego, sięga dalej niż strefa niebezpiecznego oddziaływania fizycznego.”

Autor pracy [10] pisze [zachowano pisownię oryginalną – przypisek autora]: „Przy szybkościach podwyższonych do 160 km/h dominujące znaczenie ma oddziaływanie psychologiczne. Oddziaływanie to na człowieka przygotowanego do przejazdu pociągu jest oczywiście mniej niebezpieczne niż w przypadku zaskoczenia na skutek zwykłej nieuwagi. W czasie gdy pociąg przejeżdża przez stację, człowiek stojący na peronie czuje się podobnie jak stojący na ścieżce górskiej w pobliżu stromego urwiska. Jest to pewnego rodzaju uczucie lęku. Przejeżdżający pociąg pozornie ciągnie człowieka w swoją stronę. Oczywiście, że intensywność tego odczucia, zależy od wrażliwości osobnika jednak właśnie z tym rodzajem oddziaływania psychologicznego należy się liczyć i brać pod uwagę przy ustalaniu granicy strefy niebezpiecznej dla człowieka, w szczególności przy szybkościach podwyższonych do 160 km/h, bowiem dla tych szybkości strefa niebezpieczna z punktu widzenia oddziaływania psychologicznego sięga dalej, aniżeli strefa niebezpieczna oddziaływania fizycznego podmuchu na człowieka. (...) Z punktu widzenia fizycznego oddziaływania podmuchu przy szybkości pociągu 200 km/h, bezpieczna odległość od ściany bocznej pociągu wynosi 1,0 m, albo inaczej 2,5 m od osi toru. Ze względu na oddziaływanie psychologiczne przejeżdżającego pociągu na człowieka należy ją zwiększyć do co najmniej 1,5 m od ściany bocznej pociągu, czyli do 3,0 m od osi toru, bowiem oddziaływanie psychologiczne będzie jeszcze czynnikiem decydującym. Zwiększenie szybkości pociągu do 250 km/h wymaga już niewielkiego powiększenia odległości granicy strefy niebezpiecznej, bowiem granica ta, z punktu widzenia oddziaływania fizycznego zbliży się do granicy strefy niebezpiecznej oddziaływania psychologicznego na człowieka jako, że działanie psychologiczne powoduje bliskość przejeżdżającego pociągu. Należy zaznaczyć, że nie ma ustalonego kryterium dla określenia granicy strefy niebezpiecznej z punktu widzenia oddziaływania psychologicznego na człowieka znajdującego się w pobliżu przejeżdżającego pociągu. Proponowana ocena strefy niebezpiecznej jest oparta na bezpośredniej obserwacji reakcji autora niniejszej pracy.”

W raporcie [7] stwierdzono: „Skutki działania ludzi narażonych na siłę aerodynamiczną przejeżdżającego pociągu były oparte na fizycznej zdolności osoby do utrzymania stabilności. Na reakcję człowieka

wpływają również czynniki psychologiczne, które mogą zagrozić bezpieczeństwu. (...) Dalsze badania powinny obejmować rolę, jaką odgrywają czynniki psychologiczne dla ludzi na peronach.”

W tym samym raporcie [7] przedstawione zostały ciekawe badania socjologiczne, przeprowadzone przez Szwedów [11]. Badania te dotyczyły odczuć podróżnych, przebywających na peronach, przy których bez zatrzymywania przejeżdżały pociągi z prędkościami do 200 km/h. Przeprowadzono wywiady z około 800 podróżnymi, w wieku do 65 lat, oczekującymi na peronach na dziesięciu różnych stacjach. Perony miały żółte zygzakowate linie, ostrzegające przed zbliżaniem się do krawędzi. Różniły się między sobą rodzajem (perony wyspowe i boczne), wielkością i zabudową. Różna była także prędkość przejeżdżających pociągów. Ponadto niektóre perony były wyposażone w elektroniczne znaki ostrzegawcze (czyli mogące wyświetlać komunikaty graficzne i/lub tekstowe) lub w systemy ostrzeżeń dźwiękowych o zbliżających się pociągach, które nie zatrzymują się na danej stacji. Wśród podróżnych były osoby często korzystające z komunikacji kolejowej (o dużym doświadczeniu) oraz osoby rzadko korzystające z tego rodzaju komunikacji (o małym doświadczeniu). Dyskomfort związany z przejeżdżającymi pociągami wyraziło 40÷70% ankietowanych. Sześć najczęściej wymienianych źródeł dyskomfortu, zaprezentowanych w kolejności częstotliwości występowania zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Przyczyny dyskomfortu związanego z przejeżdżającymi pociągami [7, 11]

Zbiorowe źródło dyskomfortu	Częstotliwość występowania	
	Ilość	Procent
Duża prędkość pociągu	140	37
Zawirowania powietrza	108	29
Hałas	61	16
Zaskoczenie	30	8
Obawy o bezpieczeństwo innych osób (głównie dzieci)	27	7
Wirujący śnieg	11	3
Razem	377	100

Główną przyczyną dyskomfortu, związaną z szybko przejeżdżającym pociągiem wydaje się być czynnik psychologiczny. Autor badań [11] skomentował to następująco: „Może wydawać się nieco zaskakujące, że najczęstszy powód dyskomfortu nie ma nic wspólnego z siłami wiatru generowanymi przez przejeżdżające pociągi. Raczej prędkość przejeżdżającego pociągu wydaje się być głównym

źródłem dyskomfortu lub, jak to określił jeden z rozmówców – nieprzyjemnym uczuciem, że coś dużego i ciężkiego zbliża się prosto do ciebie z dużą prędkością.” Różne były opinie na temat zastosowanych elektronicznych i dźwiękowych znaków ostrzegawczych, uprzedzających o zbliżaniu się pociągu. Były reakcje pozytywne, ale też niektórzy uznali je za niewystarczające. Ostrzeżenie dźwiękowe zostało uznane za niewiarygodne i wywołało mniej pozytywną reakcję. Na stacjach bez ostrzegania o zbliżaniu się pociągu, około połowa ankietowanych stwierdziła, że należy je zapewnić.

Podobny wywiad przeprowadzono z ekipą badawczą SNCF, która w Mansfield w Stanie Massachusetts, prowadziła badania nad oddziaływaniem podmuchu na podróżnych, wykorzystując manekiny imitujące ludzkie sylwetki. Nie są to niestety porównywalne obserwacje, ponieważ inne jest miejsce badań, okoliczności pogodowe, rodzaj peronu (wysoki i niski), liczebność próbki i – co najważniejsze – ankietowane osoby (w Szwecji byli to zwykli podróżni, w USA – ekipa badawcza SNCF, czyli pracownicy kolejowi). Jednakże warto przytoczyć wyniki tych badań. Bezpieczeństwo na stacji kolejowej w Mansfield zapewniały: elektroniczny system monitorujący zbliżanie się pociągu i generujący komunikaty dźwiękowe oraz znaki ostrzegawcze i żółty pas wzdłuż krawędzi peronu. Obserwacje uczestników testu, związane z przejeżdżającymi obok pociągami, zostały wymienione w tablicy 2, w kolejności częstotliwości występowania.

Tablica 2

Obserwacje uczestników testu [7]

Źródła niepokoju lub dyskomfortu	Częstotliwość występowania	
	Ilość	Procent
Wielkość pociągu	4	22
Obawy o bezpieczeństwo innych osób (głównie dzieci)	4	22
Duża prędkość pociągu	3	17
Hałas	2	11
Śmieci	2	11
Doświadczenie niestabilności*	2	11
Zaskoczenie	1	6
Razem	18	100

* Poczucie niestabilności nie zostało wyrażone jako źródło dyskomfortu lub niepokoju, ale było specyficzną reakcją na postrzeganie siły pochodzącej od przejeżdżającego pociągu.

Pomimo wspomnianych różnic pomiędzy tymi badaniami, istnieje duże podobieństwo wyników. Oddziaływanie psychologiczne ma istotny wpływ na indywidualną reakcję danej osoby, gdyż duży, szybko poruszający się obiekt wywołuje naturalny niepokój

u osób znajdujących się w pobliżu.

Ciekawym spostrzeżeniem w Mansfield była sytuacja, w której po zadziałaniu sytemu ostrzegawczego, osoby oczekujące na peronie ruszały w stronę krawędzi peronu spodziewając się, że nadjeżdża wycieknięty przez nie pociąg podmiejski, nie zwracając uwagi na rodzaj pociągu i jego prędkość. Tymczasem nadjeżdżający pociąg był pociągiem dużej prędkości, który nie zatrzymał się na tej stacji. W efekcie system ostrzegawczy generował niezamierzone zagrożenie. Ekipa testowa zasugerowała, aby system ostrzegania informował o rodzaju zbliżającego się pociągu.

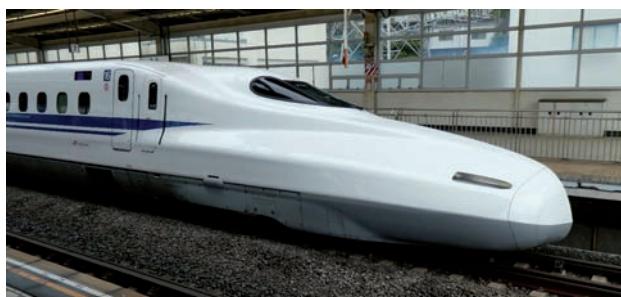
Brak jest oczywiście ścisłych wytycznych do określenia strefy niebezpiecznej ze względów psychologicznych, jednakże zwiększona prędkość pociągów do prędkości prognozowanej 300÷350 km/h i powiązana z nią zwiększona strefa zabroniona ze względu na fizyczne oddziaływanie zjawisk aerodynamicznych, powinna spełniać też i ten aspekt ochrony pracowników i pasażerów.

4. Oddziaływanie na środowisko

Na marginesie rozważań dotyczących zagadnień aerodynamicznych należy zwrócić uwagę na fakt, że kształt aerodynamiczny pojazdu (kształt nosa, ciągłość i gładkość konstrukcji pudła oraz podwozia, budowa pantografu), oprócz natężenia wywoływanych zjawisk aerodynamicznych, przekłada się bezpośrednio na wytwarzany hałas, a także na opory jazdy, od których zależy zużycie energii – czyli na zagadnienia, nierozdzielnie związane z tak bardzo branymi obecnie pod uwagę zagadnieniami ochrony środowiska. Konstruktorzy pojazdów dużej prędkości nieustannie pracują nad podniesieniem szybkości jazdy i komfortu podróżowania oraz nad zmniejszeniem hałasu. Przy tym wszystkim starają się jednocześnie osiągnąć zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Aby osiągnąć taki efekt, w każdej z kolejnych wersji pojazdów stosowane są najnowsze technologie dostępne na danym etapie rozwoju techniki.

Dobrym przykładem takich wysiłków są, opisane w pracy [12], działania konstruktorów japońskiego pojazdu dużej prędkości Shinkansen. Między innymi prowadzą oni stałe prace nad udoskonalaniem kształtu nosa pociągu oraz wszelkiego rodzaju osłon zakrywających przestrzenie pomiędzy członami zespołu trakcyjnego, podwozie oraz układ biegowy. W celu zmniejszenia zużycia energii wykorzystywane jest hamowanie rekuperacyjne (odzyskowe). Dodatkowo, system wychylnego nadwozia umożliwia jazdę z większymi prędkościami w łukach, co przekłada się na zmniejszenie liczby hamowań i ponownego przyspieszania po wyjściu z łuku. Widoczny na rysunku 5 kształt nosa dla serii pojazdów N700,

charakteryzujący się bardzo dobrymi parametrami aerodynamicznymi, został opracowany przy użyciu najnowszych technik analitycznych – algorytmów genetycznych, stosowanych przy projektowaniu skrzydeł samolotów. Zamocowanie i kształt wszelkiego rodzaju osłon, pantografów i paneli okiennych, testowane są w tunelu aerodynamicznym. W celu porównania, na rysunku 6 przedstawiono kształt nosa pojazdu ED250 (Pendolino).



Rys. 5. Długi nos japońskiego pojazdu dużej prędkości Shinkansen serii N700 [fot. A. Zbieć]

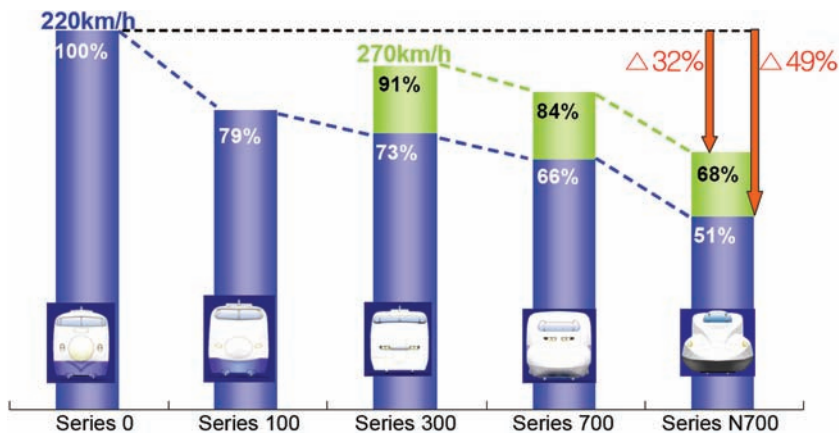


Rys. 6. Nos elektrycznego zespołu trakcyjnego ED250 (Pendolino) [fot. A. Zbieć]

Oddany do eksploatacji w 2007 roku Shinkansen serii N700, w porównaniu z przekazaną w 1964 roku do eksploatacji serią 0 (pierwsza seria pociągów Shinkansen, eksploatowana do roku 2008) dla prędkości 220 km/h (maksymalna prędkość serii 0) jest o 49% bardziej energooszczędny. Przy prędkości 270 km/h seria N700 ma zużycie energii mniejsze o 32% od serii 0. Nieustanne prace nad poprawą kształtu aerodynamicznego i jednocześnie zużyciem energii przynosiły wymierne efekty przy wprowadzaniu kolejnych serii pojazdu, co pokazano na rysunku 7. Pomimo 30% wzrostu mocy urządzeń trakcyjnych w celu umożliwienia jazdy z większymi prędkościami, jazdy serii N700 są o 19% oszczędniejsze od poprzedniej serii 700.

5. Podsumowanie cyklu

Budowa nowego pojazdu szynowego dużej prędkości musi uwzględniać jego przyszły kształt aero-



Rys. 7. Zużycie energii kolejnych serii pojazdu Shinkansen w stosunku do serii 0 [12]

dynamiczny, a w szczególności kształt nosa, który ma decydujące znaczenie na wielkość generowanych w otoczeniu zmian ciśnienia, wytwarzany podmuch oraz na opory ruchu i związane z tym zużycie energii. Oczywiście ze względu na obowiązujące przepisy oraz konieczność wpisywania się pojazdu w skrajnię (w tym – w łukach toru), odległość skrajnej osi od końca pojazdu nie może być dowolnie duża. Jednakże w ramach obowiązujących przepisów, nawet dla pojazdów o podobnych osiąganych prędkościach, nos może mieć różny kształt. Widać to wyraźnie na rysunkach 5 i 6. Na rysunku 5 pokazano nos japońskiego pojazdu Shinkansen serii N700, o maksymalnej prędkości eksploatacyjnej 300 km/h, a na rysunku 6 – nos kursującego w Polsce pojazdu ED250 (Pendolino), o maksymalnej prędkości eksploatacyjnej 250 km/h. Nos pojazdu Shinkansen jest o około 3 m dłuższy (sięga aż za drzwi pasażerskie) od nosa pojazdu Pendolino i w przeciwieństwie do niego ma osłonięty wózek.

Kolejnym elementem mającym wpływ na wymienione czynniki jest ciągła struktura nadwozia i dobrze osłonięte podwozie. Analiza taboru, zawarta w części trzeciej [3] i piątej [5] (zarówno w Polsce, jak i USA) pokazuje wyraźnie, że pociągi o jednolitej i ciągłej konstrukcji, takie jak zespoły trakcyjne, mają lepsze właściwości aerodynamiczne, niż pociągi klasyczne, złożone z lokomotywy i doczepionych wagonów, które charakteryzują się wytwarzaniem silniejszego i bardziej nierównomiernego podmuchu.

Jak wykazano w części trzeciej [3], również ze względu na możliwość podrywania tłucznia korzystniejsze jest zastosowanie składu o jednolitej konstrukcji (zespołu trakcyjnego), niż pociągu klasycznego (lokomotywa + wagony), który przy tych samych prędkościach jazdy wywiera większy wpływ na podrywanie tłucznia. Należy przy tym zwrócić uwagę na budowę nawierzchni kolejowej, po której mają poruszać się pociągi szybkie. Oprócz parametrów samego toru, istotne jest prawidłowe ułożenie podsypki

(w tym odpowiednie uziarnienie tłucznia i wysokość jego ułożenia) tak, aby nie następowało jej podrywanie, co może stanowić zagrożenie dla ludzi, a także dla samego taboru. Można rozważyć zastosowanie nawierzchni bezpodsypkowej lub stabilizacji podsypki tłuczniowej przy użyciu żywicy wiążącej („klejenie” tłucznia).

W kwestii projektowania obiektów budowlanych przy liniach wysokich prędkości, mających znajdować się w bliskim sąsiedztwie toru, zarówno z boku toru, jak na pewnej wysokości ponad torem, np.:

- ekranów akustycznych,
- pomostów i kładek,
- konstrukcji ochraniających sieć trakcyjną,
- zadaszeń peronów,
- poczekalni lub innych budowli,
- konstrukcji zamkniętych, otaczających tory,

w części pierwszej [1] wskazano, że należy uwzględnić wyższe wartości ciśnień oddziałujące na te konstrukcje, niż wartość charakterystycznego ciśnienia prędkości wiatru dla terytorium Polski, wynikająca bezpośrednio z normy budowlanej PN-EN 1991-1-4 [13]. Alternatywą dla zwiększenia wytrzymałości konstrukcji jest zapewnienie zwiększonej odległości od osi toru.

Ze względu na wytrzymałość okien, w części drugiej [2] wykazano, że okna boczne wagonów pasażerskich i zespołów trakcyjnych powinny mieć wystarczającą wytrzymałość na zmiany ciśnienia podczas mijania się z pociągiem szybkim. Ewentualnie należy sprawdzić ich zamocowanie, aby nie zostały wyrwane w całości, np. na skutek korozji w miejscach mocowania. Natomiast istnieje realne niebezpieczeństwo uszkodzenia szyb czołowych starszego już taboru (w tym zespołów trakcyjnych, maszyn roboczych, drezyn i innego taboru), w szczególności o prędkościach maksymalnych do 120 km/h, ze względu na znaczne zwiększenie ciśnienia na szybie czołowej od prawie 3 razy do nawet ponad 6 razy. Do

czasu eksperymentalnego potwierdzenia bezpiecznej eksploatacji tego rodzaju taboru, nie powinien mieć on możliwości kursowania po tych samych liniach, co tabor dużych szybkości.

Ze względu na oddziaływanie ciśnienia na organ słuchu w pobliżu stałej zabudowy pionowej (wiaty, poczekalnie, ekrany dźwiękochłonne itp.), w części czwartej [4] zaproponowano strefę o szerokości około 5,2 m od osi toru (około 3,6 m od krawędzi peronu), w której nie powinni znajdować się ludzie podczas przejazdu pociągu z prędkością 350 km/h. Dla prędkości pociągów 250 km/h i 300 km/h ta strefa wynosi odpowiednio 3,5 m oraz 4,3 m. Z braku uregulowań normatywnych, wielkość strefy została obliczona na podstawie uchylonej już wersji rozporządzenia dotyczącej szkodliwych dla zdrowia czynników w środowisku pracy [14], przyjmując wartość 145 dB (≈ 355 Pa) jako kryterium szczytowego, nieskorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego. Z powodu możliwego oddziaływania ciśnienia na organ słuchu dla pasażerów pociągów konwencjonalnych, które mogą mijać się z pociągami szybkimi, należy stosować na tej samej trasie nowoczesne klimatyzowane wagony z nieotwieralnymi oknami.

W zakresie oddziaływania podmuchu na ludzi opisanego w części piątej [5], wskazane jest jego ograniczenie w stosunku do wartości podanej w normie PN-EN 14067-4 [15], przynajmniej o 1÷2 stopnie w skali Beauforta (do wartości 5÷6 B) dla pasażerów i o 2÷3 stopnie w skali Beauforta (do wartości 6÷7 B) dla pracowników. Przeprowadzone przez autora badania potwierdziły, że dla pociągów pasażerskich dużych prędkości obecnie kursujących w Polsce, postulowany warunek jest spełniony.

W celu zabezpieczenia pasażerów i pracowników kolejowych przed nadmiernymi zmianami ciśnienia, jak i przed zbyt dużym podmuchiem oraz zagrożeniami związanymi z tymi oddziaływaniami, a także w celu zabezpieczenia innego taboru kolejowego przed uszkodzeniem, należy unikać stosowania środków zaradczych w postaci zmniejszenia prędkości pociągów szybkich podczas mijania peronów, na których te pociągi nie będą się zatrzymywać, czy też podczas mijania z pociągami starszego typu o prędkościach maksymalnych do 120 km/h lub pociągami o prędkościach maksymalnych do 160 km/h, ale z otwieranymi oknami. Taki sposób byłby sprzeczny z założeniem. Nie po to zwiększa się prędkość pociągów, aby tę prędkość co chwilę ograniczać. Ponadto wiązałoby się to ze zwiększonym zużyciem energii na wielokrotne dochodzenie pociągu szybkiego do jego prędkości maksymalnej. Należy stosować inne środki zaradcze, jak np. zapewnienie odpowiednio szerokiej strefy niedostępnej dla pracowników, wyposażenie ich w środki ochronne oraz zapewnienie pracownikom odpowiedniego szkolenia. Pasażerom również

należy zapewnić odpowiednio szeroką strefę oddzielającą ich od pociągu dużej prędkości, najlepiej przez budowę peronów przy torach głównych dodatkowych (oddzielenie pasażerów dodatkowym torem od przejeżdżających pociągów), albo przez odgrózdzenie ich specjalnymi barierkami, otwieranymi tylko na czas zatrzymania się pociągu, albo jako minimum – wyraźne oznaczenie peronu tablicami informacyjnymi i liniami na peronie, najlepiej w połączeniu z systemem ostrzegawczym, informującym o zbliżającym się pociągu i o tym, czy pociąg zatrzymuje się na stacji. Będzie to jednocześnie skutecznym zabezpieczeniem przed psychologicznym oddziaływaniem pociągu jadącego z dużą prędkością, co do chwili obecnej nie zostało ujęte w żadne ramy, dające się opisać wzorami matematycznymi.

Ze względu na oddziaływanie podmuchu obecnie kursujących w Polsce pociągów szybkich, strefa 3 m od osi toru (1,325 m od krawędzi peronu) jest strefą wystarczającą. Ewentualne nowe pociągi o prędkościach eksploatacyjnych 250 ÷ 350 km/h powinny zostać poddane badaniom wywoływanego przez nie podmuchu, a do czasu ich przeprowadzenia należy pasażerom i pracownikom zapewnić min. 5-metrową odległość od osi toru.

Literatura

1. Zbieć A.: *Zjawiska aerodynamiczne wywołane przejazdem pociągu. Część 1: Oddziaływanie ciśnienia na obiekty*, Problemy Kolejnictwa, 2021, z. 191.
2. Zbieć A.: *Zjawiska aerodynamiczne wywołane przejazdem pociągu. Część 2: Oddziaływanie ciśnienia na mijające się pociągi*, Problemy Kolejnictwa, 2021, z. 192.
3. Zbieć A.: *Zjawiska aerodynamiczne wywołane przejazdem pociągu. Część 3: Oddziaływanie podmuchu*, Problemy Kolejnictwa, 2022, z. 194.
4. Zbieć A.: *Zjawiska aerodynamiczne wywołane przejazdem pociągu. Część 4: Oddziaływanie ciśnienia na ludzi*, Problemy Kolejnictwa, 2022, z. 197.
5. Zbieć A.: *Zjawiska aerodynamiczne wywołane przejazdem pociągu. Część 5: Oddziaływanie podmuchu na ludzi*, Problemy Kolejnictwa, 2023, z. 199.
6. U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration „Assessment of potential aerodynamic effects on personnel and equipment in proximity to high-speed train operations”, Final Report, December 1999
7. U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration „The Aerodynamic Effects Of Passing Trains To Surrounding Objects And People”, Final Report, April 2009
8. Lee H.: *Assessment of Potential Aerodynamic Effects on Personnel and Equipment in Proximity*

- to *High-Speed train Operations*, U.S.DOT, Volpe National Transportation Systems Center, Report number: DOT/FRA/ORD-99/11, DOT-VNTSC-FRA-98-3, 1999.
9. Gąsowski W.: *Aerodynamika pociągu*, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych, Poznań, 1998.
 10. Kubiński K.: *Badania rozkładu prędkości strumienia powietrza w podmuchach wywołanych jazdą pociągu i wzajemnego wpływu mijających się pociągów na zmiany ciśnienia statycznego działającego na ściany wagonów i na powierzchnię czołową lokomotywy*, praca badawcza, Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa, Warszawa, styczeń 1974.
 11. Lindberg E.: *A Look at the Platform Environment: Can Ambitions to Attract New Customers Cause Discomfort to Existing Ones?*, Proceedings from WCRR '94 World Congress on Railway Research (Paris, France, November 14–16, 1994) 1:97–101. Paris: SNCF.
 12. Ueno M. et al.: *Technological overview of the next generation Shinkansen high-speed train Series N700*, <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/r.1.3.3.3.pdf>; [dostępny 23.02.2021].
 13. PN-EN 1991-1-4:2008: Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1–4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.
 14. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. 2002 nr 217 poz. 1833.
 15. PN-EN 14067-4+A1:2019-03: Kolejnictwo – Aerodynamika – Część 4: Wymagania i procedury