

# ODPORNOŚĆ SZYB CZOŁOWYCH SZYBKICH POJAZDÓW SZYNOWYCH NA ZDERZENIA Z TZW. CIAŁAMI OBCYMI

**Paweł Boguszewicz, Piotr Wodyński**  
Instytut Lotnictwa

## *Streszczenie*

*W pracy przedstawiono warunki powstawania zderzeń, wynikające z nich zagrożenia dla bezpieczeństwa kierujących pojazdami, pasażerów i współużytkowników dróg. Wskazano sposoby ograniczania obszarów uszkodzeń oraz konieczność prowadzenia odpowiednich badań eksperymentalnych. Opisano stanowisko badawcze i jego cechy.*

## **1. WPROWADZENIE**

Pierwsze przypadki, w których zetknięto się ze skutkami zderzeń z ciałami obcymi, stwarzające zagrożenie w transporcie dla ludzi odnotowano najprawdopodobniej w lotnictwie. W połowie ubiegłego stulecia powstał masowy transport ludzi i towarów samolotami odrzutowymi. Silniki turbinowe ww. samolotów często ulegały awariom (a nawet całkowitemu zniszczeniu) spowodowanym zassaniem poprzez silnik „ciał obcych” takich jak: ptactwo, kawałki pokrycia płyt lotniskowych, żwir, kamyki, a nawet piasek. Przedmioty z nawierzchni lotniska są zasysane poprzez powstający spontanicznie wir wlotowy podczas pracy silnika na ziemi.

W lotnictwie cywilnym, każdy nowopowstały silnik turbinowy musi „przeżyć” próbę wstrzelonego do jego wlotu, ciała ptaka, o określonej odpowiednimi normami, masie i prędkości. Do takich badań zbudowano w ILot odpowiednie działko pneumatyczne i przeprowadzono „próby ptaka” silników u siebie skonstruowanych.

Stąd, gdy zaistniała potrzeba zbadania odporności na przebicie szyb czołowych pojazdów szynowych (zgodnie z obecnie obowiązującymi normami) ILot dysponował odpowiednim (wzorcowym) stanowiskiem i specjalistami.

## **2. UZASADNIENIE WYKONYWANIA TESTÓW**

Testy wytrzymałościowe szyb czołowych pojazdów szynowych są wykonywane w celu sprawdzenia możliwości przebicia przez ciała stałe takie jak: duże kawałki lodu, odłamki minerałów spadające z wagonów towarowych, ptaki, butelki lub inne przedmioty wyrzucane z mijających pociągów.

Wykonanie testu pozwala stwierdzić czy ciało stałe (pocisk na rys. 1) w określonych przez normę warunkach przebija szybę oraz pozwala oszacować obrażenia poniesione przez maszynistę.

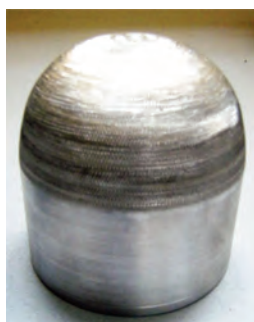
### 3. NORMY OPISUJĄCE PRZEBIEG PRÓB

Istnieje kilka norm według których mogą być wykonywane ww. testy:

- UIC 651,
- PN-EN 15152,
- BR 566 1986,
- NF F 15-818.

Polskie przepisy wymagają, aby szyby czołowe nowych pojazdów szynowych spełniały wymagania Karty UIC-651 (*International Union of Railways*):

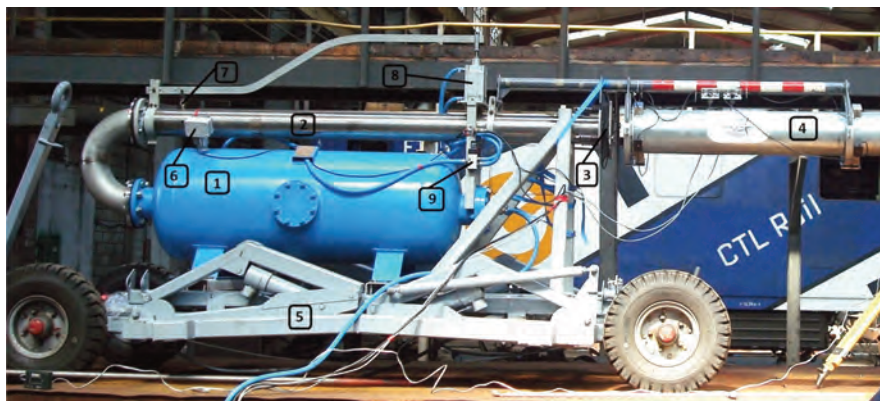
- Prędkość pocisku: obliczana wg wzoru  $V_p = V_{max} + 160$  [km/h]; gdzie:  $V_p$  – prędkość pocisku,  $V_{max}$  – prędkość maksymalna pojazdu szynowego.
- Rodzaj i kształt pocisku: aluminiowy walec z półkulistym czołem, drażony, średnica zewnętrzna 94mm, długość całkowita 97mm.
- Masa pocisku: 1kg.
- Kierunek strzału: prostopadłe do szyby albo zgodnie z kierunkiem jazdy.
- Miejsce uderzenia: możliwie środek szyby.
- Temperatura szyby: 15-35 [°C].



*Rys. 1. Widok pocisku wykonanego zgodnie z karta UIC651*

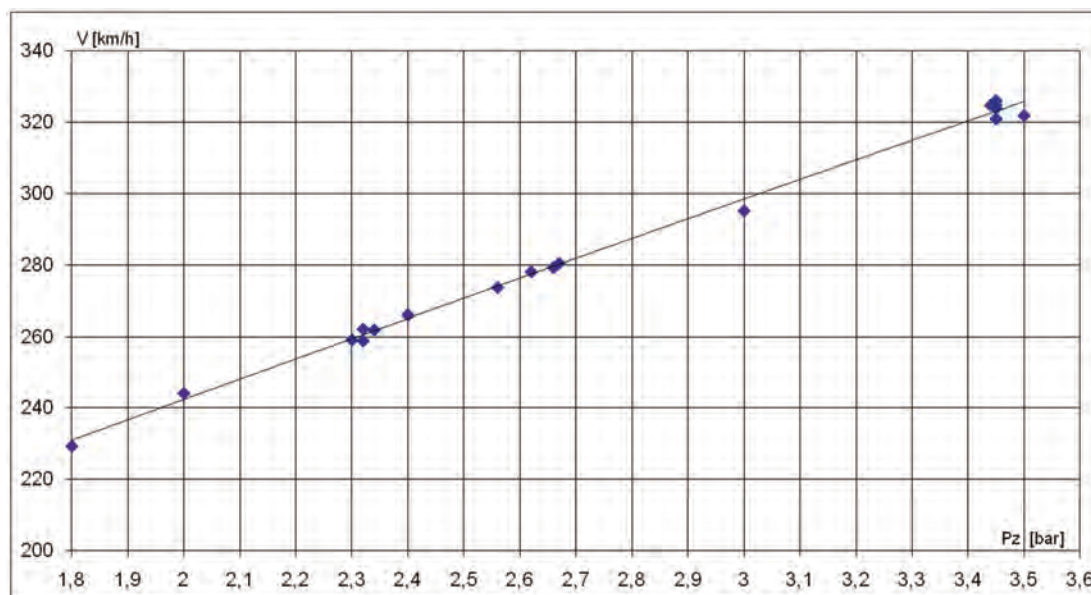
### 4. OPIS DZIAŁA PNEUMATYCZNEGO

Działo pneumatyczne (przedstawione na rys. 2) jest przeznaczone do wykonywania prób odporności szyb czołowych na przebicie zgodnie z wymaganiami karty UIC 651. Działo składa się ze zbiornika powietrza, nad którym zamontowana jest lufa. Na zbiorniku zainstalowany jest manometr, a całość jest zamontowana na wózku, który umożliwia regulację odległości osi lufy od podłoża w zakresie od 1,5m do 2,5m oraz zmianę kąta pochylenia osi lufy w granicach -30° do +30°.



*Rys. 2. Widok działka pneumatycznego, gdzie: 1 – zbiornik; 2 – lufa; 3 – hamulec gilzy; 4 – układ pomiaru prędkości pocisku; 5 – wózek; 6 – manometr; 7 – bolec blokując gilzę; 8 – siłownik pneumatyczny; 9 – elektrozawór*

Pocisk umieszczony jest na początku lufy oraz blokowany w tym położeniu przez bolec przymocowany do dźwigni układu zwalniania. Na końcu lufy montowany jest hamulec gilzy. Pocisk jest zwalniany poprzez podniesienie dźwigni przez siłownik pneumatyczny sterowany elektrozaworem. Po zwolnieniu pocisku odpowiednie ciśnienie w zbiorniku przyspiesza go do żądanej prędkości wylotowej. Jej zależność od ciśnienia w zbiorniku przedstawiono na rys. 3. Gilza, zapewniająca szczelność między ściankami lufy i pociskiem, jest zatrzymywana przez hamulec, a pocisk przelatuje przez bramki układu pomiaru prędkości i uderza w testowaną szybę. Temperatura szyby mierzona jest cyfrowym wskaźnikiem temperatury firmy Sensirion z dokładnością  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Sprawdzanie wskaźnika temperatury przeprowadzane jest raz w roku metodą porównawczą w odniesieniu do wzorca państwowego.



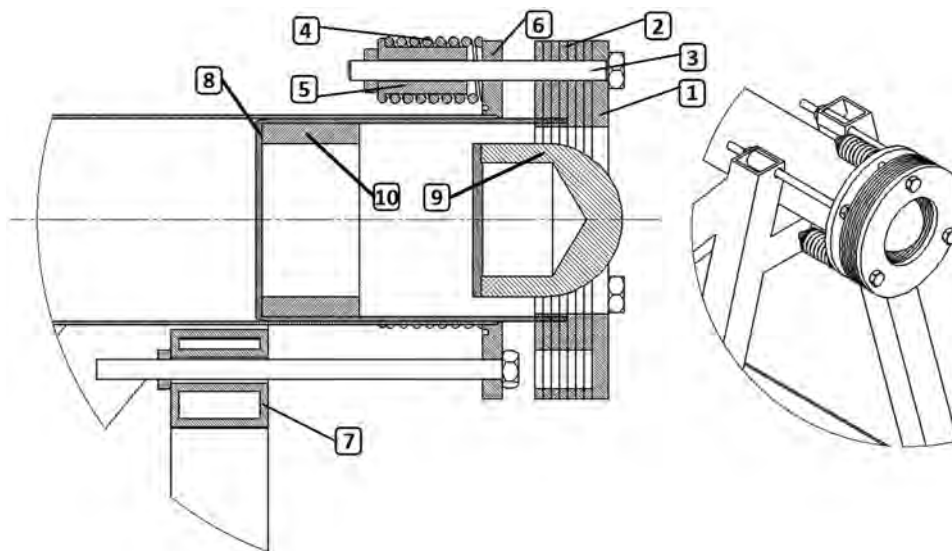
**Rys. 3. Przebieg zmierzonych prędkości pocisku w funkcji ciśnienia w zbiorniku**

Pomiar prędkości odbywa się w odległości około 2m od testowanej szyby. Prędkość pocisku jest wyznaczana na podstawie pomiaru czasu przebycia przez pocisk drogi między bramkami optycznymi, które są rozmieszczone w odległości jednego metra. Układ pomiarowy jest wyposażony w dwa identyczne tory pomiarowe, w celu zwiększenia kontroli poprawności pomiaru prędkości. Przed strzałem do testowanej szyby wykonuje się kilka strzałów testowych do „kulochwyty” w celu maksymalnego zbliżenia się do żądanej prędkości strzału.

## 5. HAMOWANIE GILZY

Na rys. 4 przedstawiono schemat konstrukcji wyloty lufy umożliwiające hamowanie gilzy pocisku. Hamulec gilzy składa się z stalowego kołnierza (1), gum (2) (od 5 do 8), trzech śrub z nakrętkami klasy 12,9 (3), trzech sprężyn (4) oraz trzech tulejek oporowych (5). Całość zamontowano na kołnierzu lufy (6), który dodatkowo przymocowano do stojaka (7) w celu usztywnienia całości konstrukcji w momencie uderzenia gilzy (8) w hamulec.

Gilza uderzając w hamulec ściska sprężyny, a następnie przecina gumy. Większość energii kinetycznej gilzy pochłaniana jest poprzez cięcie gumy. Sprężyny służą jedynie do zmniejszenia wartości maksymalnej siły. Po uderzeniu gilzy w hamulec, pocisk (9), który środkowany jest w gilzie poprzez wkładkę styropianowa (10), opuszcza lufę.



Rys. 4. Schemat hamulca gilzy

## 6. MODEL MATEMATYCZNY ROZPĘDZANIA POCISKU

Stworzono model matematyczny, w środowisku Mathcad, umożliwiający szacowanie prędkości wylotowej pocisku dla różnych ciśnień w zbiorniku.

Algorytm uwzględnia spadek ciśnienia w zbiorniku zasilającym, sprężanie powietrza w lufie przez gilzę z pociskiem oraz tarcie gilzy o ściankę wewnętrzną lufy.

Algorytm oparto na dwóch pętlach: zewnętrznej i wewnętrznej. W pętli zewnętrznej, o zadanym kroku  $dS$ , jest obliczana prędkość pocisku, a w pętli wewnętrznej szacowany jest opór powietrza sprężanego w lufie przed gilzą z pociskiem.

### Dane:

$P_0 := 410^5 \text{Pa}$  – Ciśnienie początkowe w zbiorniku

$V_0 := 0.28 \text{m}^3$  – Objętość początkowa

$T_{ot} := 293 \text{K}$  – Temperatura otoczenie

$P_{atm} := 100000 \text{Pa}$  – Ciśnienie otoczenia

$D_g := 124.5 \text{mm}$  – Średnica gilzy

$L_g := 192 \text{mm}$  – Długość gilzy

$M_g := 1.5 \text{kg}$  – Masa pocisku z gilzą

$D_l := 125 \text{mm}$  – Średnica lufy

$L_l := 2.100 \text{m}$  – Długość lufy

$\mu := 0.2$  – Wsp. tarcia

$r := 287.05 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$  – Uniwersalna stała gazowa dla powietrza

$\kappa := 1.4$

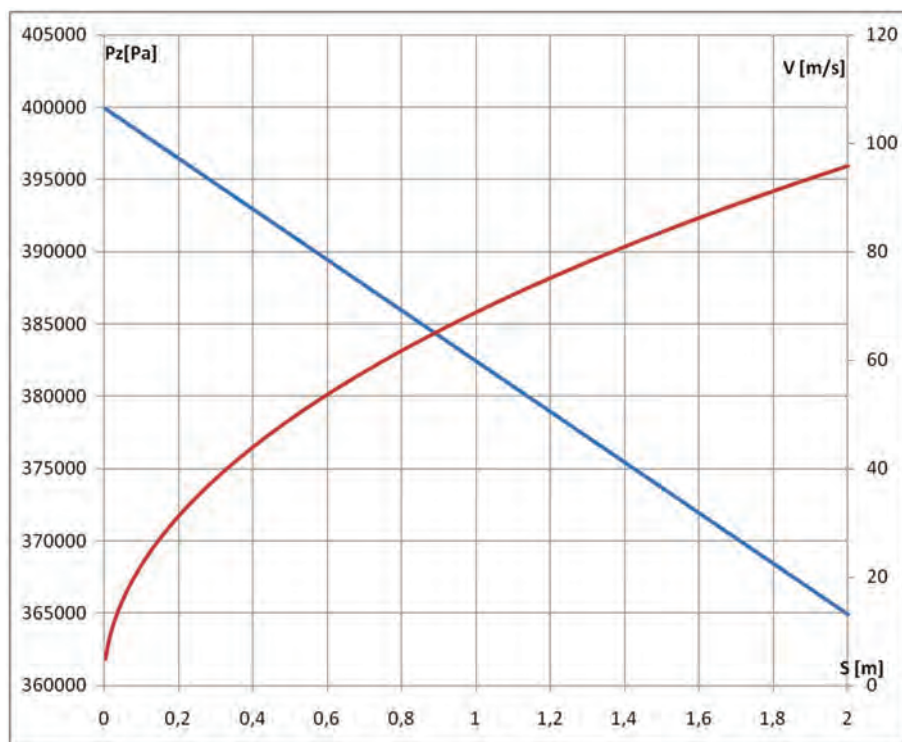
$A_g := \pi \cdot \frac{D_g^2}{4} = 0.012 \text{m}^2$  – Powierzchnia denka gilzy

```

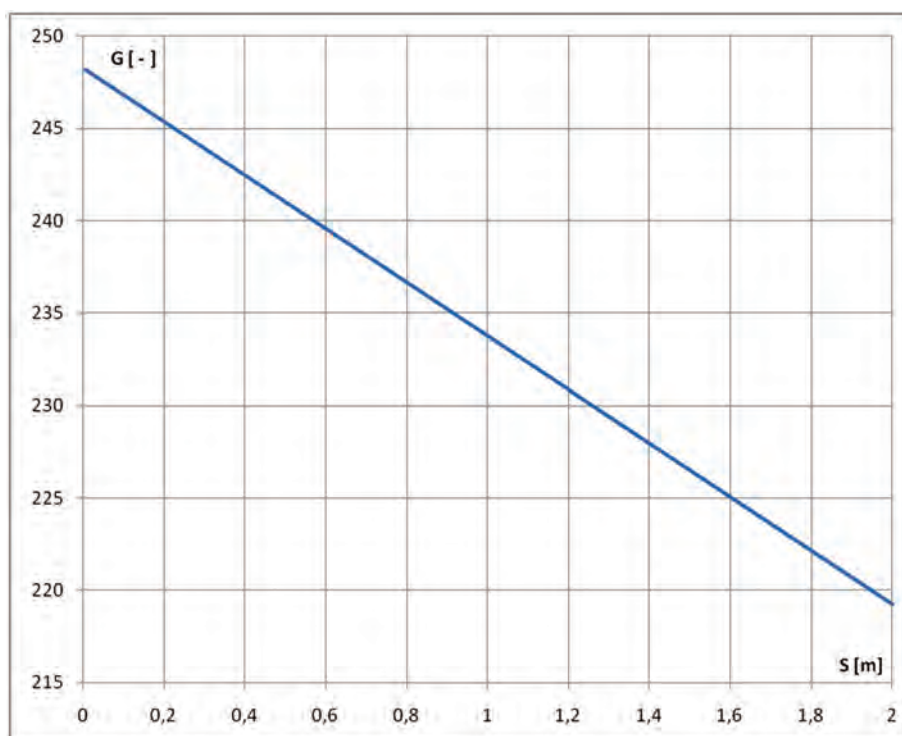
Arm(Pz, Sl, dS) :=
  Fp ← Ag · (Pz - Patm)
  v ← 0
  Time ← 0
  Vz ← V0
  S ← 0
  Pl ← Patm
  Vl ← Ll ·  $\frac{Dl^2}{4}$  · π
  for S ∈ 0, dS.. Sl - Lg
    a ←  $\frac{Fp}{Mg}$ 
    dT ←  $\frac{-v + \sqrt{v^2 + 2 \cdot a \cdot dS}}{a}$ 
    v ← v + a · dT
    dVz ← π  $\frac{Dl^2}{4}$  · dS
    Pz ← Pz ·  $\frac{Vz}{Vz + dVz}$ 
    Vz ← Vz + dVz
    Pl ← Pl ·  $\frac{Vl}{Vl - dVz}$ 
    Vl ← Vl - dVz
    j ← 485000
    i ← 0
    while i ≤ j
      i ← i + 1
      Wpow ←  $\sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot r \cdot Tot \cdot \left[ 1 - \left( \frac{Patm}{Pl} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]}$ 
      ρ ←  $\frac{Pl}{Tot \cdot r}$ 
      M ← ρ · Vl
      dM ← Ag · Wpow · ρ ·  $\frac{1}{j}$  · dT
      ρ ←  $\frac{M - dM}{Vl}$ 
      Pl ← ρ · Tot · r
      Pl
    Fop ← Ag · (Pl - Patm)
    Ft ← μ · Mg · g
    Fz ← Ag · (Pz - Patm)
    Fp ← Fz - Fop - Ft
    Time ← Time + dT
    S ← S + dS
  v

```

$$\text{Arm} \left( 4.5 \cdot 10^5 \text{ Pa}, Ll, 5\text{mm} \right) = 101.029 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



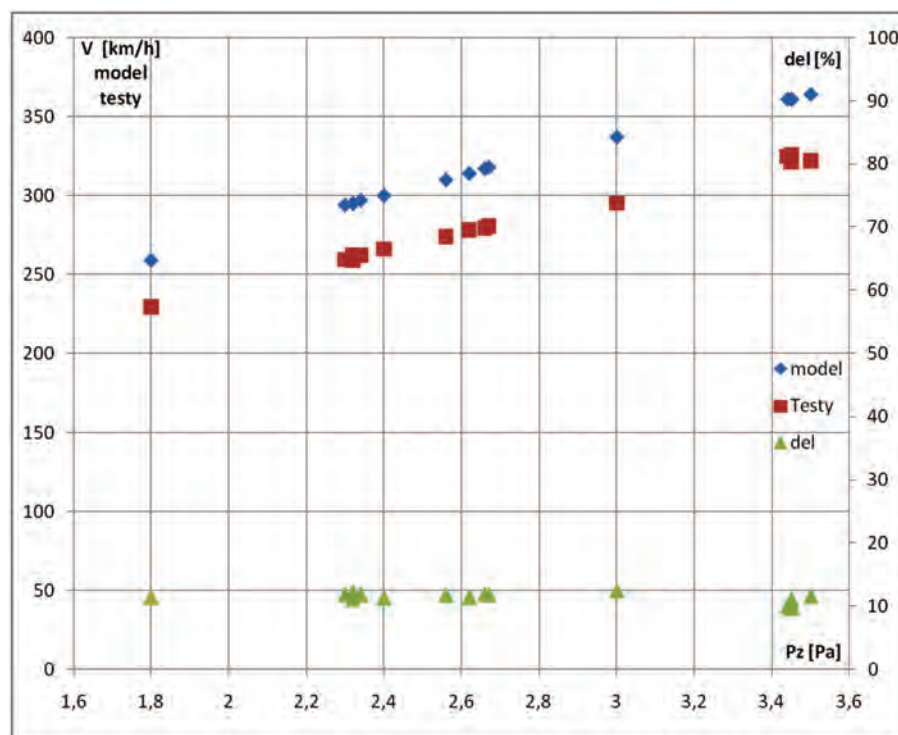
**Rys. 5. Przebieg prędkości pocisku oraz ciśnienia w zbiorniku w funkcji położenia w lufie pocisku dla nadciśnienia w zbiorniku 3 bar**



**Rys. 6. Przebieg przyspieszenia pocisku w lufie w funkcji położenia pocisku w lufie dla nadciśnienia w zbiorniku 3 bar**

## 7. WERYFIKACJA MODELU

Na rys. 7 przedstawiono porównanie wyników otrzymanych podczas wykonywania strzałów z działa pneumatycznego i otrzymanych z obliczeń za pomocą modelu. Wyniki obliczeń zawsze są większe od zmierzonych prędkości strzałów o około 10-12% (na wykresie „del”).



**Rys. 7. Porównanie prędkości zmierzonych oraz obliczonych według modelu inne zastosowania**

Tak jak wspomniano we wstępie podobne działa pneumatyczne są wykorzystywane do wykonywania tzw. „prób ptaka” na silnikach turbinowych. Silniki turbinowe, zwłaszcza w oddzielnych gondolach są narażone na zdarzenia bezpośrednie z ptactwem. Wewnętrzne silniki samolotów bojowych mają ukształtowane kanały „antyradarowo” i w tym przypadku zderzenia ptaków ze ścianami ochronią łopatki pierwszych stopni wentylatora przed zderzeniem z całym ptakiem.

Prędkość przepływu w kanale wlotowym jest rzędu 200m/s. Ta prędkość jest przyjmowana do badań silników.

Struktura konstrukcyjna stanowiska badawczego powinna umożliwić zderzenie obiektu badanego (silnika) z ptakiem lecącym w całości z prędkością 200m/s. Przyspieszenie podczas rozpędzania ciała ptaka nie może być większe niż naruszające strukturę kostną ptaka.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Ptaszyński M.: *Badania urządzenia miotającego*, Opracowanie wewnętrzne ILOT, nr arch. K.15.9.23, grudzień 1990.
- [2] Balicki W.: *Wybrane zagadnienia dotyczące prób turbinowych silników lotniczych w hamowniach stacjonarnych. Turbinowe silniki lotnicze w ujęciu problemowym* pod red. Orkisz M., Polskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Towarzystwo Eksploatacyjne, Lublin, 2000.
- [3] Szczeciński S., Balicki W., Głowacki P.: *Uszkodzenia silników turbinowych wywołane zderzeniami z ptakami*, Przegląd Sił Powietrznych, nr 2/2009.

**Paweł Boguszewicz, Piotr Wodyński**

**FAST RAIL VEHICLES WINDSHIELD RESISTANCE TO IMPACTS  
WITH EXTRANEIOUS BODIES**

***Abstract***

*This paper presents conditions of occur impacts, the resulting threats drivers and passengers. It shows ways of reducing area of damage and points to the need for experimental research. The test stand and its characteristics are described.*