

## DZIAŁO PNEUMATYCZNE DO BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI NA PRZEBICIE SZYB CZOŁOWYCH POJAZDÓW SZYNOWYCH

### Streszczenie

W artykule opisane zostały wymagania dotyczące wytrzymałości szyb czołowych pojazdów szynowych na zderzenia z ciałami obcymi. Przedstawiono metodykę badań weryfikujących wytrzymałość szyb czołowych pojazdów szynowych a także konstrukcję i zasadę działania mobilnego działka pneumatycznego zbudowanego w Instytucie Lotnictwa, które jest obecnie wykorzystywane do wykonywania badań niszczących szyb czołowych pojazdów szynowych. Zostały opisane rozwiązania techniczne mechanizmów: zwalniania pocisku oraz hamowania sabota. Opiszano układ pomiaru prędkości pocisku. Artykuł zawiera również opis przebiegu wykonania testu oraz przykładowe wyniki nagrane szybką kamerą: próbki szyby, która wytrzymała uderzenie pocisku oraz próbki, którą pocisk przebił. Przedstawiono również parametry strzałów wymagane przez przepisy oraz możliwości mobilnego działka pneumatycznego.

### WSTĘP

Zderzenie pojazdu z ciałem obcym o masie rzędu 1 kg jest poważnym zagrożeniem dla osób znajdujących się bezpośrednio za szybą czołową. Przykładami takich zdarzeń w kolejnictwie są: samoczynne oderwanie brył lodu lub innych przedmiotów z wiaduktów oraz przedmioty celowo z nich zrzucone lub wyrzucone z mijanych pociągów, zderzenie z ptakiem, itd. Podczas takiego zderzenia istnieje niebezpieczeństwo, że przedmiot ten przebije szybę i bezpośrednio zrani maszynistę. Nawet w przypadku gdy szybka nie zostanie przebita, odłamki szkła mogą poważnie zranić maszynistę. Z tego powodu przepisy wymagają przeprowadzenia eksperymentalnych badań sprawdzających zachowanie szyby czołowej w warunkach rzeczywistych zderzenia z ciałem obcym. Są to przepisy dopuszczające nowe konstrukcje do użytkowania takie jak Karta UIC-651, norma PN-EN 15152-2007 oraz inne wymienione dalej. Do wykonania próby wytrzymałości szyby czołowej rozpędza się pocisk do określonej prędkości i nakierowuje się go w środek geometryczny szyby. Do tego celu najprościej jest wykorzystać pneumatyczny system miotający- tzw. działko pneumatyczne. Działko pneumatyczne jest urządzeniem, które do rozpędzania pocisku wykorzystuje sprężone powietrze zamiast materiału wybuchowego [1].

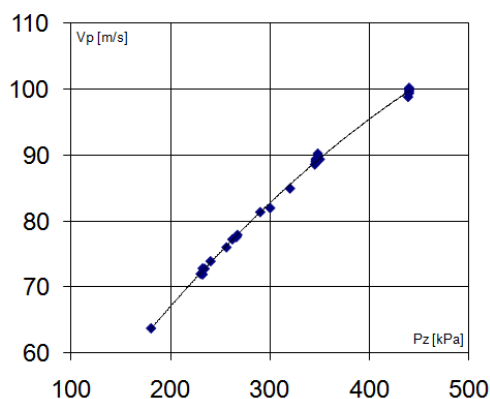
W Instytucie Lotnictwa pierwsze stacjonarne działko powstało kilkadziesiąt lat temu, w celu przeprowadzania tzw. „testów ptaka” dla wprowadzanych do użytkowania silników turbinowych oraz innych elementów samolotu. Obecnie instytut posiada 2 podkalibrowe działka pneumatyczne: stacjonarne - kaliber 250 mm i mobilne - kaliber 125 mm. Mniejsze działko mobilne często jest wykorzystywane do badania szyb czołowych pojazdów szynowych zgodnie z wymaganiami Karty UIC-651 (rynek krajowy) i normy EN-PN 15152-2007 (rynek zagraniczny).

### 1. MOBILNE DZIAŁO PNEUMATYCZNE

Początkowo do testów zderzeniowych próbowano zastosować pirotechniczne wyrzutnie, jednak zastosowanie pneumatycznych systemów okazało się być prostsze, tańsze i znacznie wygodniejsze. Mobilne działko pneumatyczne kaliber 125 mm powstało w Instytucie Lotnictwa na potrzeby wykonywania testów zderzeń

konstrukcji lotniczych oraz szyb pojazdów szynowych z ciałami obcymi zgodnie z kartą UIC-651. Następnie konstrukcje działka zmodernizowano na potrzeby wykonywania testów zgodnie z normą PN-EN15152-2007. Wymiary i konstrukcja działka umożliwiają transport i wykonanie testów na terenie zakładów produkcyjnych.

Podkalibrowe działko pneumatyczne w powtarzalny sposób umożliwia uzyskiwanie prędkości  $30 \div 140$  m/s oraz miotanie pocisków o średnicy nie przekraczającej 105 mm. Maksymalna prędkość pocisku jest uzależniona głównie od jego masy. Obecna konstrukcja działka umożliwia uzyskanie żądanej prędkości pocisku z błędem poniżej 1%. W celu zwiększenia dokładności uzyskiwanej prędkości pocisku, przed oddaniem właściwego strzału do elementu badanego, wykonuje się kalibrujące strzały testowe do „kulochwytu”, w celu wyznaczenia poprawki nastawy ciśnienia powietrza w zbiorniku względem standardowej charakterystyki działka [Rys. 1, s. 2].



Rys. 1. Przebieg zmierzonych prędkości pocisku o masie 1kg w funkcji ciśnienia w zbiorniku – charakterystyka działka 125 mm

#### 1.1. Budowa działka

Działko [Rys. 2, s. 2] zostało zbudowane na podnośniku hydraulicznym umożliwiającym płynną regulację wysokości oraz kąta położenia lufy względem podłoża, co upraszcza wycelowanie działka. W pierwszej wersji zbiornik powietrza był umieszczony w osi lufy. Sabot z pociskiem był załadowywany od przodu lufy i dosuwany do kołnierza oporowego. Mechanizm spustowy polegał na umieszczeniu sabota wewnątrz gumowej dętki zabudowanej na połączeniu lufy ze zbiornikiem sprężonego powietrza. Gumowa dętka po napełnie-

niu sprężonym gazem zaciskała sabot i uszczelniała połączenie lufy ze zbiornikiem. Dodatkowo zewnętrzna ścianka sabota była malowana farbą antypoślizgową. Sabot był zwalniany poprzez gwałtowny spadek ciśnienia w gumowej dętce.



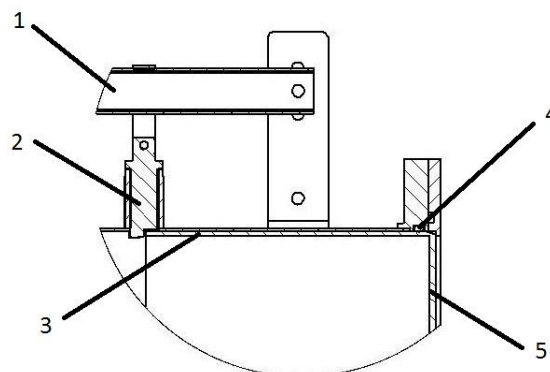
Rys. 2. Widok uniesionego działa przed modernizacją

Podczas modernizacji działa zmieniono jego układ. Lufę zamontowano nad zbiornikiem sprężonego powietrza, co spowodowało, że konstrukcja jest bardziej zwarta i nie ma konieczności demontowania lufy na czas transportu. Dodatkowym atutem jest zwiększenie wysokości, na którą możliwe jest uniesienia lufy działa, co jest dość istotne podczas testów wykonywanych bezpośrednio na lokomotywie. Obecnie możliwe jest ustawienie lufy na wysokości 1,5 ÷ 2,2 m od podłoża.



Rys. 3. Widok częściowo uniesionego działa po modernizacji

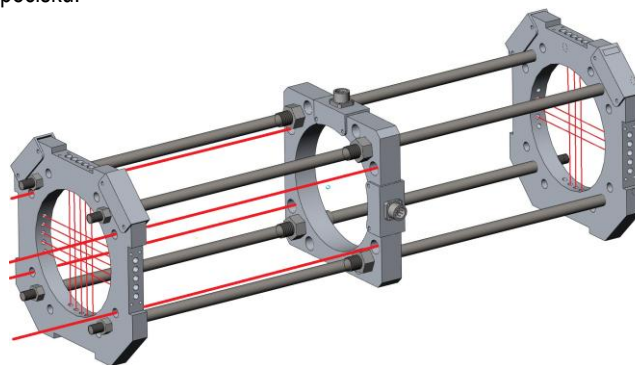
W ramach modernizacji zmieniono mechanizm spustowy [Rys. 4, s. 2], który obecnie charakteryzuje się większą niezawodnością. Sabot jest obecnie blokowany jedynie przez wpust, który w momencie strzału jest wyciągany poprzez dźwignię napędzaną silownikiem pneumatycznym. Sabot z pociskiem podobnie jak przed modernizacją, wkładany jest od przodu lufy aż do kołnierza oporowego na jej końcu. Na wewnętrznej średnicy lufy tuż przed kołnierzem oporowym znajduje się wybranie z uszczelką, która zapewnia dostateczną szczelność pomiędzy zbiornikiem a lufą w trakcie napełniania zbiornika i ustawiania ciśnienia. Uszczelka jest dobrana tak aby pozwalała na suwliwe wciśnięcie sabota [2].



Rys. 4. Schemat mechanizmu spustowego

1- dźwignia; 2- wpust; 3- sabot (cylinder); 4- uszczelka (O-ring); 5- sabot (denko)

Prędkość pocisku jest wyznaczana pośrednio poprzez pomiar czasu przelotu pocisku pomiędzy bramkami optycznymi rozstawionymi na odległości 1000 mm [Rys. 5, s. 3]. Pierwsza konstrukcja układu pomiaru prędkości pocisku przewidywała jego montaż na lufie [Rys. 2, s. 2]. Obecnie układ pomiarowy jest zamontowany sztywno na ramie działa [Rys. 3, s. 2], co utrzymuje go w osi lufy działa. Takie rozwiązanie w znacznym stopniu zmniejsza drgania przenoszone na układ pomiarowy powstałe podczas uderzenia sabota w hamulec. Na czas transportu układ pomiarowy i jego podstawa są demontowane. Po modernizacji optyczne bramki pomiarowe tworzą siatkę promieni laserowych, które są przecinane przez przelatujący pocisk, co umożliwia pomiar prędkości pocisków o średnicy powyżej 17 mm. Dodatkowo na układzie pomiarowym zamontowano cztery lasery świecące wzdłuż osi, które tworzą na elemencie badanym 4 punkty wyznaczające miejsce uderzenia pocisku.

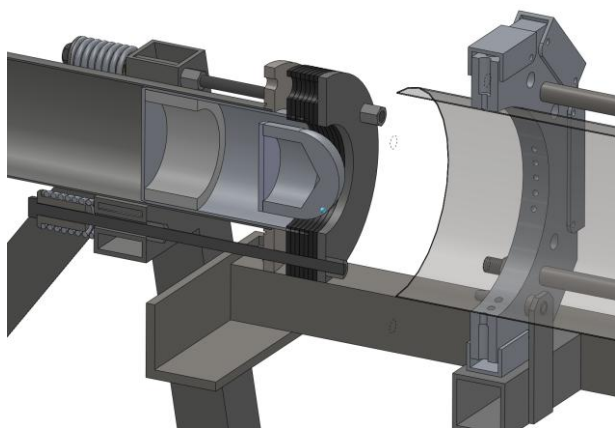


Rys. 5. Model układu pomiaru prędkości pocisku z zaznaczonymi bramkami optycznymi i laserami celującymi.

## 1.2. Wyrzelenie pocisku

Pocisk umieszczony jest w sabocie i centrowany wewnątrz poprzez styropianową wkładkę. Średnica zewnętrzna sabota jest dopasowana suwliwie do średnicy wewnętrznej lufy, tak aby rozpędzanie pocisku odbywało w sposób niezakłócony. Po ustawieniu odpowiedniego ciśnienia w zbiorniku następuje zwolnienie sabota z pociskiem. Ciśnienie działające na denko sabota przyspiesza ładunek na całej długości lufy. Następnie sabot uderza w hamulec [Rys. 6, s. 3] na końcu lufy, a pocisk opuszcza lufę przez otwór centralny hamulca, przelatuje przez bramki układu pomiaru prędkości i uderza w badany obiekt. Po uderzeniu sabota w hamulec ściskane są sprężyny, a następnie przecinane płyty gumowe. Większość energii kinetycznej jest pochłaniana poprzez cięcie gumy. Sprężyny zmniejszają jedynie maksymalną wartość siły uderzenia. Zaletą

takiego układu hamowania jest możliwość wielokrotnego wykorzystania sabota.



Rys. 6. Moment uderzenia sabota w układ hamowania

## 2. WYMAGANIA NORM I PRZEPISÓW

Jest wiele publikacji opisujących wymagania wytrzymałości szyb czołowych na zderzenie z ciałem obcy. W większości oparte są one na karcie Międzynarodowego Związku Kolei UIC-651 i na rozszerzającej ją normie PN-EN15152-2007. Podobne wymagania znajdziemy w:

- 2008-232-WE - Decyzja komisji dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości,
- 2011-291-UE - Decyzja komisji w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” w transeuropejskim systemie kolei konwencjonalnych,
- DIN 5566-1 Pojazdy kolejowe - Kabiny maszynisty – Cz.1 Wymagania ogólne.

Wymagania rosyjskich przepisów znacznie się różnią od wymienionych powyżej stosowanych w UE: СТ ССФЖТ ЦТ-ЦЛ 188 – 2003 Высокопрочные стекла кабины машиниста тягового и моторвагонного подвижного состава.

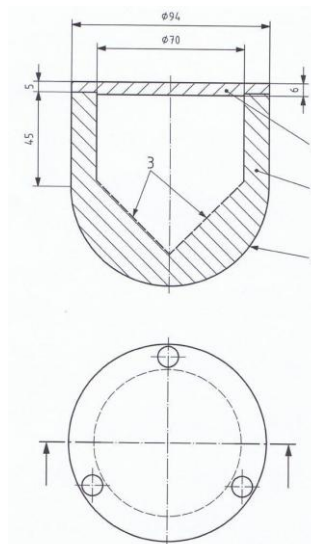
### 2.1. Karta UIC-651

Karta UIC-651 wymaga poddania pełnowymiarowej szyby zamocowanej w ramie zderzeniu z aluminiowym pociskiem (PA6), o określonej geometrii [Rys. 7, s. 3] i masie 1 kg, lecącym z maksymalną dopuszczalną prędkością pojazdu powiększoną o 160 km/h:

$$V_p = V_{\max} + 160 \text{ km/h} \quad (1)$$

gdzie:  $V_p$ - prędkość pocisku,  $V_{\max}$ - maksymalna dopuszczalna prędkość pojazdu.

Konstrukcja ramy wykorzystywanej do wykonania testu powinna być taka jak ramy na pojeździe. Temperatura szyby podczas wykonania strzału musi mieścić się w granicach: 15-35°C. Miejsce uderzenia pocisku to geometryczny środek szyby. Strzał powinien się odbyć prostopadle do szyby, albo zgodnie z kierunkiem jazdy pojazdu [4].



Rys. 7. Rysunek pocisku 1kg [3]

### 2.2. Norma PN- EN 15152-2007

Norma EN-PN 15152-2007 w porównaniu do karty UIC-651, wymaga wykonania większej ilości strzałów, przy innych zakresach temperaturowych:

- 2 strzały w temperaturze 15 ÷ 25 °C
- 2 strzały w temperaturze -0,5 ÷ +0,5 °C

Do testów używa się tego samego pocisku jak w karcie UIC-651 [Rys. 7, s. 3]. Dodatkowo należy wykazać, że w momencie wykonania testu temperatura szyby mieściła się w wymaganym przedziale.

Norma dopuszcza zastąpienie pełnowymiarowej szyby płaską próbką o wymiarach 1000x700 mm. Warunkami dopuszczającymi badanie próbki szyby są:

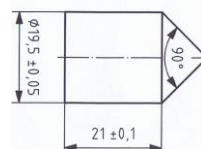
- strzałka ugięcia pełnowymiarowej szyby nie przekracza 200 mm,
- promień gięcia w żadnym miejscu nie jest mniejszy niż 2500 mm

Opisywana norma wymaga, by podczas testów pociskiem o masie 1 kg za szybą, w odległości 0,5 m na specjalnej ramie była rozpięta folia aluminiowa o grubości maksymalnie 0,15 mm. Jeśli po wykonaniu testu na powierzchni folii nie są widoczne ślady odłamków szkła, test uważa się za pozytywny.

Norma wymaga również sprawdzenia odporności warstwy zewnętrznej szyby na zderzenie z drobnymi elementami. W tym celu wykonuje się 3 strzały do próbek szyb o wymiarach 500x500 mm, zamontowanych w specjalnej ramie, aluminiowym pociskiem o masie 20 g [Rys. 8, s. 4]. Temperatura szyby podczas strzału powinna mieścić się w przedziale 17-23 °C. Prędkość pocisku wyznacza na jest z wzoru (2):

$$V_p = V_{\max} + 20 \text{ km/h} \quad (2)$$

gdzie:  $V_p$ - prędkość pocisku,  $V_{\max}$ - maksymalna dopuszczalna prędkość pojazdu.



Rys. 8. Rysunek pocisku 20 g [4]



Za pozytywny wynik testu uznaje się, gdy zewnętrzna warstwa szyby nie została uszkodzona [4].

### 3. PRZEBIEG BADANIA

Badanie szyby czołowej pojazdu szynowego zaczyna się od zamontowania jej w czole pojazdu szynowego lub w specjalnie przygotowanej ramie, która odwzorowuje oryginalny sposób zamocowania szyby. Istotne jest aby, konstrukcja ramy i sposób zamocowania szyby były takie same jak na docelowym pojeździe szynowym. W przypadku wklejania szyby należy pozostawić szymbę na czas przewidziany przez producenta, aż do całkowitego wyschnięcia kleju.

Następnie w zależności od rodzaju wykonywanego badania szymbę umieszcza się w komorze chłodniczej lub w pomieszczeniu, w którym warunki termiczne są zgodne z wymaganymi przez przepisy. Jeśli badanie nie odbywa się na lokomotywie, ramę z badaną szymbą przytwierdza się do podłoża by wyeliminować możliwość przesunięcia całości podczas testu. Gdy szymba badana jest na docelowym pojeździe szynowym, stosunek masy pocisku do masy pojazdu jest tak wielki, że wystarczy podłożenie pod koła klinów.

Przed wykonaniem testu, za szymbą w odległości 500 mm montowana jest folia aluminiowa weryfikująca energię odłamków szkła. Ustawia się również osłony, które zabezpieczą konstrukcję lokomotywy lub komory chłodniczej przed uderzeniem pocisku w przypadku przebicia szyby. W celu potwierdzenia warunków termicznych na powierzchni szyby montuje się czujnik temperatury. Po uzyskaniu wymaganych warunków termicznych utrzymuje się je przez 2-3h przed oddaniem strzału w celu uzyskania jednorodnej temperatury w całej objętości szyby.

Gdy szymba jest już przygotowana do testu, ustawia się działo w odległości 4 m od szyby nakierowując oś lufy działła na środek geometryczny szyby. Następnie zbiornik działła napelnia się sprężonym powietrzem ustawiając ciśnienie odczytane z charakterystyki działła odpowiadające oczekiwanej prędkości strzału. Przed oddaniem strzału do szyby, wyjmowana jest zawlecza zabezpieczająca

przed niekontrolowanym oddaniem strzału. Sabot z pociskiem jest zwalniany zdalnie za pośrednictwem komputerowego systemu sterowania i akwizycji danych. Na końcu lufy sabot jest zatrzymywany przez hamulec, a pocisk przelatuje przez bramki układu pomiaru prędkości i uderza w badaną szymbę.

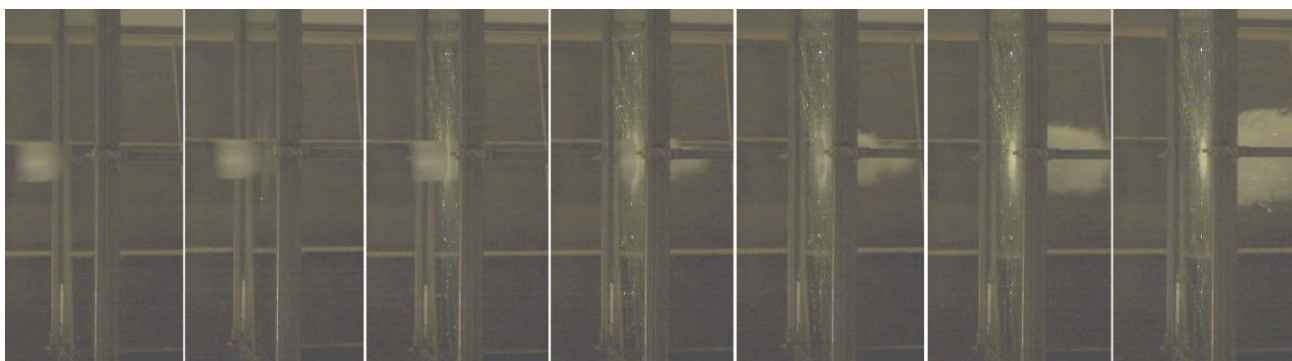
Po oddaniu strzału ocenia się wynik testu. Test uważa się za pozytywny jeśli pocisk nie przebił szyby i szymba pozostała w ramie. Wykonuje się dokumentację fotograficzną miejsca uderzenia pocisku oraz linii zamocowania szyby w ramie. Parametry strzału: prędkość pocisku, temperatura szyby oraz ciśnienie w zbiorniku są zapisywane przez system akwizycji danych. Po wykonaniu testu spisuje się protokół, który następnie jest załącznikiem raportu wykonania badania. Istnieje również możliwość wykonania filmu szybką kamerą [Rys 9 i 10, s. 4] momentu zderzenia pocisku z szymbą, który może zostać użyty również do zmierzenia prędkości pocisku bezpośrednio przed uderzeniem.

### PODSUMOWANIE

Instytut Lotnictwa od kilkunastu lat wykonuje badania szyb kolejowych na zlecenie producentów szyb, takich jak NordGlass, Glaspo oraz producentów pojazdów szynowych takich jak PESA, ZNTK. Badaniom najczęściej poddawane są pełnowymiarowe szyby zamontowane na docelowym pojeździe szynowym, w celu dopuszczenia do eksploatacji.

Obecnie czoła pojazdów szynowych są tak projektowane by miały opływowy kształt. W praktyce oznacza to stosowanie wypukłych szyb o strzałce ugięcia znacznie przekraczającej 200 mm, co formalnie uniemożliwia wykonanie testów zgodnie z przepisami z użyciem próbki 1000x700 mm (pkt. 2.2 s. 3). Badania próbek szyb najczęściej są wykonywane w początkowej fazie projektowania nowej struktury szyby lub sprawdzania własności nowych materiałów w strukturze szyby.

Szyby czołowe pojazdów szynowych są wielowarstwowymi pakietami, własności których jest dość trudno zamodelować, a wiarygodność modelu jest niepewna. Testy przeprowadzane na próbkach



Rys. 9. Test próbki szyby nagrany szybka kamerą – pocisk przebija szymbę



Rys. 10. Test próbki szyby nagrany szybka kamerą – pocisk nie przebija szyby

szyb umożliwiając w tańszy i szybszy sposób sprawdzenie wielu struktur i grubości szyb w celu dobrania najlepszego pakietu. Umożliwia to znalezienie optimum pomiędzy wystarczającą grubością szyby, a dostateczną jej elastycznością.

Od kilku lat narasta zapotrzebowanie na wykonanie badania szyb czołowych zgodnie z normą PN-EN15152-2007, co wymaga wykonania testu szyby w temperaturze 0°C. Utrzymanie szyby w tej temperaturze wymaga zastosowania komory chłodniczej. Instytut Lotnictwa w najbliższej przyszłości planuje zakup takiej komory, w której będzie możliwe badanie pełnowymiarowych szyb pojazdów szynowych. Obecnie, na czas wykonywania testów, jest wynajmowana komora chłodnicza, w której mogą być badane jedynie próbki szyb, a nie całe szyby.

### BIBLIOGRAFIA

1. Zbrowski A., Instrumentarium badawcze do testów zderzeniowych konstrukcji lotniczych. CNBOP-PIB, Radom 2014.
2. Boguszewicz P., Wodyński P., Odporność szyb czołowych szybkich pojazdów szynowych na zderzenia z tzw. ciałami obcymi. Prace Instytutu Lotnictwa 206, Warszawa 2010.
3. Karta UIC-651, Międzynarodowy Związek Kolejnictwa.
4. Polska Norma PN-EN15152, Warszawa 2007.
5. Balicki W. Wybrane zagadnienia dotyczące prób turbinowych silników lotniczych w hamowniach stacjonarnych. Turbinowe silniki lotnicze w ujęciu problemowym PWNT, Lublin 2000.

## PNEUMATIC GUN FOR TESTING IMPACT PERFORATION RESISTANCE OF RAILWAY WINDSHIELD

### *Abstract*

*This article presents requirements of railway windshield resistance to impact from foreign bodies. It also describes methodology used during impact tests, the structure and operating principles of the pneumatic gun designed by the Institute of Aviation which are currently being used during destructive tests of railway windshields. The paper contains also technical solutions of release mechanism as well as sabot catching and the velocity measurement system descriptions. It also contains description of the performance test and some pictures from a high speed camera, including samples of windscreens which resisted the impact of a bullet and those which were perforated by it. Additionally, it also presents shot parameters regulated by the requirements and capabilities of the pneumatic gun.*

Autor

**Paweł Boguszewicz**, Zakład Napędów Instytut Lotnictwa