

Passive safety features of a type 227M rail vehicle **Bezpieczeństwo pasywne pojazdu szynowego typu 227M**

The safety of passengers in rail transport is one of the most important aspects considered in the design and construction of rail vehicles. Maintaining low mortality statistics for this branch of transport requires the development of transport systems, but also the further development of materials and systems used in the construction of vehicles that move on the tracks in Poland and the world. This article presents the issues of passive safety solutions based on the structure of the 227M light rail vehicle.

Bezpieczeństwo pasażerów w transporcie szynowym jest jednym z najważniejszych aspektów konstrukcji pojazdów szynowych. Utrzymanie niskich statystyk śmiertelności w tej gałęzi transportu wymaga rozwoju systemów transportowych, ale także dalszego rozwoju materiałów i systemów stosowanych w konstrukcji pojazdów, które poruszają się po torach Polski i świata. W niniejszym artykule przedstawiono zagadnienia bezpieczeństwa pasywnego na podstawie konstrukcji lekkiego pojazdu szynowego typu 227M.

Keywords: *Passive safety, dual drive rail vehicle, rail safety norms*

Słowa kluczowe: *bezpieczeństwo bierne, dwunapędowy pojazd szynowy, kolejowe normy bezpieczeństwa*

1. INTRODUCTION

Existing technologies and solutions currently used in rail transport to ensure safety are divided into active and passive. Active safety means all aspects and devices that increase the safety of vehicle movement and reduce the likelihood of a collision. This includes lighting, mirrors, wipers, vehicle stability, steering, suspensions, brakes and engine power reserve. Passive safety means all solutions aimed at minimizing the effects of an accident or a collision from the point of view of all its participants. Passive safety systems include elements such as bumpers, body structures, crush zones, survival zones, headrests, engine and fuel system protection, and elements made of non-flammable and non-toxic materials. The UTK report on the rail transport market assessment and the state of rail safety for 2015 [1] shows that in that year the number of passengers in Poland increased overall by 4.2%, which translated into an increase in passenger transport activity of 8.5%. In 2015 the first 85 km of high-speed lines were turned over for use in Poland. The constantly growing number of passengers indicates the need for further development of passenger capacity in the railway sector. Rail transport is mainly used for journeys over medium distances of 30-100 km. This can be seen using the data from the Central Statistical Office (GUS), where the average distance of travel per passenger in a motor vehicle in 2015 was nearly 18 km,

1. WSTĘP

Istniejące technologie i rozwiązania stosowane obecnie w transporcie szynowym w celu zapewnienia bezpieczeństwa dzieli się na aktywne i pasywne. Bezpieczeństwo aktywne (lub czynne) oznacza wszystkie aspekty i urządzenia zwiększające bezpieczeństwo poruszania się pojazdu i zmniejszające prawdopodobieństwo kolizji. Zaliczają się do tego oświetlenie, lusterka, wycieraczki, stateczność pojazdu, układ kierowniczy, zawieszenia, hamulce oraz zapas mocy silnika. Bezpieczeństwo pasywne (lub bierne) oznacza wszystkie rozwiązania mające na celu zminimalizowanie skutków kolizji lub zderzenia z punktu widzenia wszystkich jego uczestników. Do systemów bezpieczeństwa pasywnego zaliczają się elementy takie jak zderzaki, konstrukcji nadwozia, strefy zgniotu, strefy przeżycia, zagłówki, zabezpieczenia silnika i układu paliwowego oraz elementy wykonane z materiałów niepalnych i nietoksycznych. Według raportu UTK na temat oceny funkcjonowania rynku transportu kolejowego i stanu ruchu bezpieczeństwa kolejowego na 2015 rok [1] liczba przewożonych pasażerów w Polsce wzrosła o 4,2%. Przełożyło się to na wzrost prac przewozowych w transporcie pasażerskim o 8,5%. W roku 2015 do użytku w kraju oddano pierwsze 85 km linii dużych prędkości. Wciąż rosnąca liczba pasażerów wskazuje na potrzebę dalszego rozwoju możliwości przewozowych pasażerów w sektorze kolejowym.

while for rail vehicles it was 54 km. In 2015, the number of railway accidents recorded reached 638, which was a continuation of a downward trend, the value being 25% lower than the number of accidents in 2011. However, only about 25% of accidents occurred due to factors originating in the railway system, the rest being accidents between the rail system and third parties. The main aspect that requires attention and further investigation is the increase in the number of fatalities at rail crossings where, after the fall in the number of injured and fatalities from 2013 to 2014, the difference between 2014 and 2015 shows a worrying increase in the number of casualties in both categories, 64% more injured and almost 28% more fatalities in 2015 compared to the previous year. Nevertheless, the number of accident victims caused by a railway vehicle in motion did not increase significantly or even decreased for 2015. In total, the number of injured people in 2015 decreased by almost 2%, while the number of fatalities increased by almost 10%. The largest decrease was recorded for 2018, where the number of injured fell by 40% and fatalities by 17% [2]. The vast majority of victims are unauthorized persons or users of the rail crossing. This indicates the need for further protection of the points of contact between the railway infrastructure and the other types of infrastructure as well as the population. This is very significant, especially since the average distance between rail crossings at the level of the public rail network was 1.45 km. While active safety systems reduce the likelihood of accidents and collisions, equipping rail vehicles with a set of passive safety devices to reduce the severity of collisions reduces the potential number of accident victims, especially fatalities. All these systems must meet a number of requirements in accordance with the safety norms for rail vehicles, the changes of which in the latest edition of the regulations are discussed later in the article.

2. ASSESSMENT REQUIREMENTS AND CRITERIA

The norm EN 15227: 2020 [22] divides vehicles into four categories according to the type of vehicle and the infrastructure on which they travel: from C-I to C-IV. The described vehicle belongs to category C-I "Vehicles, except city vehicles and trams intended for operation on international, national and regional networks". For this category, at the specified operating speed, the following collision tests are required:

- a) scenario 1 - frontal collision between two identical trains at a speed of 36 km/h,
- b) scenario 2 - frontal collision with a wagon weighing 80 t at a speed of 36 km/h,
- c) scenario 3 - frontal collision with a deformable obstacle with a mass of 15t at a speed of 110 km/h ($(v_{LC} - 50 \text{ km/h}) \leq 100 \text{ km/h}$),
- d) scenario 4 - small obstacle collision.

Transport szynowy wykorzystywany jest głównie w podróży na średnich dystansach 30-100 km. Potwierdzeniem są dane z GUS, gdzie średni dystans podróży na jednego pasażera pojazdem samochodowym wynosił w 2015 roku blisko 18 km, podczas gdy dla pojazdów szynowych były to 54 km. W roku 2015 liczba wypadków kolejowych wyniosła 638, co było wartością o 25% mniejszą niż liczba wypadków w roku 2011. Jedynie około 25% wypadków zaistniało z czynników mających swe źródło w ramach systemu kolejowego. Pozostałe wypadki wynikały z błędów zaistniałych pomiędzy koleją, a stronami trzecimi. Głównym aspektem wymagającym dalszych działań są ofiary śmiertelne na przejazdach kolejowo-drogowych. Pomiędzy latami 2014, a 2013 odnotowano spadek liczby ofiar rannych i śmiertelnych. Jednakże pomiędzy rokiem 2014 i 2015 widoczny jest niepokojący wzrost liczby ofiar obu kategorii. W roku 2015 odnotowano o 64% więcej rannych i prawie o 28% więcej ofiar śmiertelnych w porównaniu z rokiem poprzednim. Mimo to w 2015 roku liczba ofiar wypadków spowodowanych przez pojazd kolejowy w ruchu nie zwiększyła się znacząco lub zmalała. Sumarycznie, liczba rannych zmniejszyła się w roku 2015 o niemal 2% podczas gdy liczba ofiar śmiertelnych zwiększyła się o prawie 10%. Największy spadek odnotowano w 2018 roku, gdzie liczba rannych spadła o 40%, a ofiar śmiertelnych o 17% względem roku poprzedniego [2]. Zdecydowana większość ofiar to osoby nieuprawnione lub użytkownicy przejazdu lub przejścia. Wskazuje to na potrzebę dalszego zabezpieczenia punktów styku infrastruktury kolejowej z innymi typami infrastruktury i ludnością. Jest to bardzo ważne dlatego, że średnia odległość między jednopoziomowymi przejazdami kolejowo-drogowymi na ogólnodostępnej sieci kolejowej wynosiła 1,45 km. Systemy bezpieczeństwa aktywnego zmniejszają prawdopodobieństwo wystąpienia wypadków i zderzeń. Jeśli jednak doszło do kolizji, wyposażenie pojazdów szynowych w zestaw urządzeń bezpieczeństwa pasywnego ma na celu ograniczenie negatywnych skutków zderzenia oraz zmniejszenie potencjalnej liczby ofiar w wypadkach. Wszystkie te systemy muszą spełniać szereg wymagań zgodnie z normami bezpieczeństwa dla pojazdów szynowych, których zmiany w ostatniej edycji przepisów omówiono w dalszej części artykułu.

2. WYMAGANIA I KRYTERIA OCENY

Norma EN 15227:2020 [22] dzieli pojazdy na cztery kategorie ze względu na typ pojazdu i infrastruktury po której się poruszają: od C-I do C-IV. Przedmiotem artykułu jest pojazd szynowy typu 227M i urządzenia bezpieczeństwa biernego w jakie został wyposażony. Pojazd należy do kategorii C-I „Pojazdy, z wyjątkiem pojazdów miejskich i tramwajów przeznaczonych do eksploatacji w sieciach międzynarodowych, krajowych i regionalnych”. Dla tej kategorii, przy określonej prędkości eksploatacyjnej, wymagane

In order to protect passengers [3] and to limit damage to the 227M train, the following passive safety measures were applied (mitigating the consequences of a collision):

- reducing the risk of vehicle overriding,
- absorbing the energy of a collision in a controlled manner,
- maintaining the structural integrity of the vehicle with particular emphasis on the zone where passengers are located (survival zone),
- reduction of decelerations (g-forces),
- reducing the risk of derailment and the consequences of hitting an obstacle.

The application of these measures is enforced by detailed provisions included in the EN 15227: 2020 norm, which are listed in Table 1.

The EN 15227: 2020 [22] norm, introduced in April 2020, replaced the existing norm EN 15227: 2008 + A1: 2010 [21]. The new regulation changed or clarified the requirements introduced in 2008. A provision was introduced to exclude passages between vehicles from the requirements applied to the survival zones. Additionally, a provision was added related to the train driver's safety, specifying the dimensions of the smallest and largest driver, for whom a survival zone must be provided. There can be one survival zone in the cabin, regardless of the number of seats.

jest przeprowadzenie badań w następujących przypadkach kolizji:

- a) scenariusz 1 – zderzenie czołowe między dwoma identycznymi składami z prędkością 36 km/h,
- b) scenariusz 2 – zderzenie czołowe z wagonem o masie 80 t z prędkością 36 km/h,
- c) scenariusz 3 – zderzenie czołowe z przeszkodą deformowaną o masie 15 t z prędkością 110 km/h ((vLC – 50 km/h) ≤ 100 km/h),
- d) scenariusz 4 – zderzenie z małą przeszkodą.

W celu ochrony pasażerów [3] oraz ograniczenia zniszczeń pociągu 227M zastosowane zostały następujące środki bezpieczeństwa pasywnego (ograniczenia następstw kolizji):

- zmniejszenie ryzyka wzajemnego nachodzenia (wspinania) na siebie pojazdów tzw. anti-climbing,
- pochłanianie energii zderzenia w kontrolowany sposób,
- zachowanie jedności strukturalnej pojazdu ze szczególnym uwzględnieniem miejsca przebywania pasażerów (strefa przeżycia),
- zmniejszenie występujących opóźnień (przeciążeń),
- zmniejszenie ryzyka wykolejenia oraz konsekwencji uderzenia w przeszkodę.

Zastosowanie tych środków jest wymuszone poprzez szczegółowe zapisy znajdujące się z normie EN 15227:2020, które przedstawiono w Tabeli 1.

Table 1 List of requirements and criteria defined by the EN 15227: 2020 norm.

Nr	Requirements	Subsection in the norm EN 15227:2020
1	For scenario 1, effective contact of the vehicle with the track exists when, during the simulation of a collision, the vertical displacement of at least two wheelsets supporting the vehicle above the rail does not exceed 75% (28 mm * 0.75 = 21 mm) of the nominal rim height. These two wheelsets cannot be located on the same bogie. If the effective contact with the track is not maintained throughout the collision simulation, then the deceleration resistance is acceptable if all of the following requirements are met: - the anti-climbing functions for stationary vehicles remain fully activated for the appropriate part of the collision simulation; - when activated, the anti-climb functions provide a stable locked position between the vehicle concerned and the maximum surface forces induced are appropriately transmitted by the locking function; - the wheels must not be raised more than 100 mm.	6.2.1
2	In order to preserve the survival zone, the structure of the vehicle should withstand the maximum forces exerted on it during the complete sequence of destruction of the energy absorbing elements. Local plastic deformation and deflection are permissible.	6.3.1
3	The reduction in length on any arbitrarily selected 5-meter section may not exceed 50 mm or the plastic deformation may not exceed 10%.	6.3.2
4	At the ends of the vehicle structure, the last 5 m can be shortened by up to 100 mm.	6.3.2
5	In areas that are temporarily occupied by passengers, such as corridor doors or areas with standing places without seating, which are used as crush zones, the length in an area with a transverse dimension greater than 250 mm should not be reduced by more than 30% in that area.	6.3.2
6	The passages between vehicles are considered non-occupied and are therefore exempt from the requirements listed for the survival zones.	6.3.2
7	Around each train driver's seat, the outlines of the survival zones for both the smallest and largest drivers should be maintained taking into account the seated position and size of the driver as defined in 6.3.5.	6.3.3
8	In the vicinity of the train driver's seats, maintain the outline of the survival zone at least 0.75 m long and wide and at least 80% of the height between the nominal floor and ceiling levels. Regardless of the number of seats, one adjacent survival zone per cabin is sufficient.	6.3.3
9	Inner surfaces of the windscreen and side windows at the ends of the vehicle, likely to be crushed in the anticipated collision scenarios, shall be supported along their edges by being placed over the structure in order to prevent them being pushed inside the vehicle in the event of a collision.	6.3.1

10	At least one escape route (through designated exit doors and escape windows) should be provided for each survival zone. Structural deformation in specific design collision scenarios should not prevent the use of escape routes.	6.3.1
11	The deformation of the structure should not cause any equipment or parts of the vehicle (e.g. train driver's console, windshield) to penetrate into the designated collision survival zones. The design of the space immediately in front of the driver's survival zone should, as far as possible, not create an additional risk of damage or failure (e.g. avoid exposed fractures and bulges).	6.3.4
12	The pilot and its fastening shall be capable of transmitting a static central force of 300 kN applied in accordance with Figure [...], without visible permanent deformation as defined in EN 12663.	6.5.1
13	The pilot and its fastening shall be capable of transmitting a static lateral force of 250 kN applied in accordance with Figure [...], without visible permanent deformation as defined in EN 12663.	6.5.1
14	The overloaded pilot should be capable of absorbing an energy of 36 kJ with a center load.	6.5.1
15	The pilot should remain clear of the track and other local infrastructure during deformation under load to the extent required by this European Standard	6.5.1
16	The lower edge of the pilot shall be as close to the track as the vehicle gauge allows, under appropriate conditions.	6.5.1
17	In the horizontal projection, the pilot should have a shape similar to the "V" profile with the blade angle not greater than 160°.	6.5.1
Colors denoting differences between the latest version of the document and the older version: green - no changes, red - significant changes, gray - minor changes.		

Tabela 1 Zestawienie wymagań i kryteriów określonych przez normę EN 15227:2020.

Lp.	Wymagania	Podrozdział w normie EN 15227:2020
1	Dla scenariusza 1 ze skutecznego kontaktu pojazdu z torem istnieje, gdy podczas symulacji zderzenia pionowe przemieszczenie co najmniej dwóch zestawów kołowych podtrzymujących pojazd ponad szyną nie przekracza 75% (28 mm * 0,75 = 21 mm) nominalnej wysokości wieńca. Te dwa zestawy kołowe nie mogą być umieszczone na tym samym wózku. Jeśli efektywny kontakt z torem nie jest utrzymywany przez cały czas symulacji kolizji, wówczas odporność na przeciążenie jest akceptowalna jeśli spełnione są wszystkie poniższe wymagania: - funkcje zapobiegające wznoszeniu się pojazdów będących na postoju pozostają w pełni włączone przez odpowiednią część symulacji kolizji; - po włączeniu funkcje przeciwdziałające wznoszeniu zapewniają stabilną blokadę między pojazdem, którego to dotyczy, a maksymalne siły indukowane na powierzchni są odpowiednio przenoszone przez funkcję blokowania; - koła nie mogą być uniesione na więcej niż 100 mm.	6.2.1
2	Aby zachować strefę przeżycia, konstrukcja pojazdu powinna wytrzymywać maksymalne siły wywierane na nią podczas pełnej sekwencji niszczenia elementów pochłaniających energię. Dopuszczalne jest miejscowa deformacja plastyczna i odkształcenie.	6.3.1
3	Zmniejszenie długości na każdym dowolnie wybranym 5 metrowym odcinku nie może przekroczyć 50 mm lub odkształcenie plastyczne nie może być większe niż 10%.	6.3.2
4	Na końcach konstrukcji pojazdu ostatnie 5 m może ulec skróceniu nawet o 100 mm	6.3.2
5	W obszarach tymczasowego przebywania, takich jak drzwi korytarzy lub obszarach z miejscami stojącymi bez miejsc siedzących, które są użytkowane jako strefy zgniotu, odległość wzdłużna w obszarze o wymiarze poprzecznym większym niż 250 mm nie powinna być zmniejszona o więcej niż 30% w tej strefie.	6.3.2
6	Przejścia pomiędzy pojazdami są uznawane za wolne i są zatem wyłączone z wymagań dla strefy przeżycia	6.3.2
7	Dookoła każdego fotela maszynisty, zarysy stref przeżycia zarówno dla najmniejszego i największego maszynisty powinny być zachowane z uwzględnieniem pozycji siedzącej i rozmiaru maszynisty zgodnie z definicjami zawartymi w 6.3.5;	6.3.3
8	W sąsiedztwie foteli maszynisty, zachowanie zarysu strefy przeżycia o długości i szerokości co najmniej 0,75 m i co najmniej 80% wysokości pomiędzy nominalnymi poziomami podłogi i sufitu. Niezależnie od ilości foteli wystarczająca jest jedna przyległa strefa przeżycia na kabinę.	6.3.3
9	Wewnętrzne powierzchnie przedniej szyby i bocznych okien na końcach pojazdu, które zgodnie z przewidywanymi scenariuszami kolizji mogą zostać zgniecione, muszą być podparte wzdłuż ich krawędzi poprzez zachodzenie na konstrukcję, aby ograniczyć wciśnięcie do środka w przypadku kolizji.	6.3.1
10	Co najmniej jedna droga ewakuacji (przez wyznaczone drzwi wyjściowe i okno ewakuacyjne) powinna być zapewniona dla każdej strefy przeżycia. Odkształcenie konstrukcji w określonych projektowych scenariuszach kolizji nie powinno uniemożliwiać korzystania z dróg ewakuacyjnych.	6.3.1
11	Odkształcenie konstrukcji nie powinno powodować wnikania jakichkolwiek elementów wyposażenia lub części pojazdu (np. pulpitu maszynisty, szyby przednia) do wyznaczonych stref przeżycia podczas kolizji. Konstrukcja bezpośrednio przed strefą przeżycia maszynisty, o ile to możliwe, nie powinna stworzyć dodatkowego ryzyka niszczenia lub awarii (np. należy unikać odsłoniętych pęknięć i wypukłości powierzchni).	6.3.4
12	Odbijak przeszkód oraz jego mocowanie jest zdolne do przeniesienia statycznej siły centralnej równej 300 kN, przyłożonej zgodnie z rys. 3.3, bez widocznej trwałej deformacji, jak zdefiniowano w normie EN 12663.	6.5.1
13	Odbijak przeszkód oraz jego mocowanie jest zdolne do przeniesienia statycznej siły bocznej równej 250 kN, przyłożonej zgodnie z rys. 3.3, bez widocznej trwałej deformacji, jak zdefiniowano w normie EN 12663.	6.5.1

14	Przeciążony odbijak przeszkód powinien być zdolny do pochłonięcia energii 36 kJ przy obciążeniu centralnym.	6.5.1
15	Deflektor przeszkody powinien pozostać z dala od toru i innych elementów infrastruktury lokalnej podczas odkształcania się pod obciążeniem w zakresie wymaganym przez niniejszą Normę Europejską	6.5.1
16	Dolna krawędź deflektora przeszkody powinna znajdować się tak blisko toru, na ile pozwala skrajnia pojazdu, z zachowaniem odpowiednich warunków.	6.5.1
17	W rzucie poziomym deflektor powinien mieć kształt zbliżony do profilu „V” z kątem ostrza nie większym niż 160°.	6.5.1
Kolory oznaczające różnice między najnowszą wersją normy, a wersją starszą: zielony – bez zmian, czerwony – znaczne zmiany, szary – zmiany nieznaczne.		

The provision on locating the train driver outside the crush zone has been withdrawn. Moreover, the limit value of the delay in the case of scenario 3 was omitted, as well as the provision concerning the exceeding of the resultant value of the contact force. The norm introduced in 2020 specifies the amount of energy that the pilot of the vehicle must absorb (in the case of 227M it is 36 kJ), instead of linking this energy to deformation.

3. 227M TYPE RAIL VEHICLE AND PASSIVE SAFETY ELEMENTS

3.1. Description of the vehicle

A modern passenger rail vehicle by H. Cegielski - Fabryka Pojazdów Szynowych Sp. z o.o., designed by the Łukasiewicz Research Network - Rail Vehicles Institute "TABOR" is a two-section, diesel-electric vehicle of the 227M type. The vehicle has been designed to be used on regional routes. The vehicle is distinguished primarily by its drive system, as it can move by means of electric traction, as well as by means of an internal combustion engine. The vehicle has been designed in such a way that one unit is an electric section and the elements for electric driving, such as a pantograph, are installed on it. The second section is a diesel section, with two power generators driven by combustion engines with a power of 400 kW each (Fig. 1).

3.2. 227M vehicle passive safety

Compliance with the requirements in the field of passive safety [4-6] is ensured by collision energy absorbing devices, which include:

- main absorbers fastened to the buffer beam with a face preventing the vehicle from climbing,

Fig. 1. Rail vehicle type 227M consisting of sections: diesel and electric. [Own materials]

Rys. 1. Pojazd szynowy typu 227M składający się z członów: spalinowego oraz elektrycznego. [Materiały własne]



Norma EN 15227:2020 [22] wprowadzona w kwietniu 2020 zastąpiła dotychczas obowiązującą normę EN 15227:2008+A1:2010 [21]. Nowa regulacja zmieniła lub doprecyzowała wymagania wprowadzone w 2008 roku. Wprowadzono zapis o wyłączeniu przejść pomiędzy pojazdami z wymagań dla strefy przeżycia. Dodatkowo dodano zapis związany z bezpieczeństwem maszynisty określający wymiary najmniejszego

i największego maszynisty, dla którego musi być zapewniona strefa przeżycia. W kabinie może znajdować się jedna strefa przeżycia niezależnie od liczby foteli. Wycofany został zapis o ulokowaniu maszynisty poza strefą zgniotu. Ponadto pominięto graniczną wartość opóźnienia w przypadku scenariusza 3, a także zapis dotyczący przekroczenia wartości wypadkowej siły kontaktowej. Norma wprowadzona w roku 2020 określa wartość energii jaką musi pochłaniać odbijak pojazdu (w przypadku 227M jest to 36 kJ), zamiast powiązania tej energii z deformacją.

3. POJAZD SZYNOWY TYPU 227M I ELEMENTY BEZPIECZEŃSTWA BIERNEGO

3.1. Opis pojazdu

Nowoczesnym pasażerskim pojazdem szynowym produkcji H. Cegielski - Fabryka Pojazdów Szynowych Sp. z o.o. zaprojektowanym przez Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” jest dwuczłonowy, spalinowo-elektryczny pojazd typu 227M. Pojazd został zaprojektowany z myślą do realizacji przejazdów na trasach regionalnych. Pojazd wyróżnia przede wszystkim napęd, ponieważ posiada możliwość poruszania się za pomocą trakcji elektrycznej, a także za pomocą napędu spalinowego. Pojazd został zaprojektowany w taki sposób, że jeden człon jest członem elektrycznym i to na nim zostały zabudowane elementy do jazdy w trybie elektrycznym jak np. odbierak prądu. Drugi człon jest członem spalinowym, w którym zostały zabudowane dwa agregaty prądowłórcze napędzane silnikami spalinowymi o mocy 400 kW każdy (rys. 1).

- upper honeycomb absorbers mounted on the front walls of the cabins,
- front coupler,
- pilot made of S650MC steel,
- scrapers fastened to the buffer beam of the vehicle through a deformable intermediate element, which prevents the scraper from falling off in case of large g-forces,
- semi-permanent coupler (between diesel-electric sections).

Figure 2 shows the location of the passive safety components on the front of the 227M vehicle.

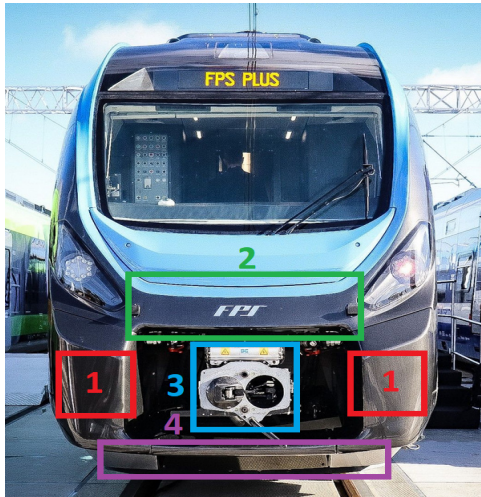


Fig. 2. Front view of the 227M vehicle with marked places of passive safety components: 1 - main absorbers, 2 - upper honeycomb absorber, 3 - front coupler, 4 - scraper. [7]

Rys. 2. Widok na czoło pojazdu 227M z zaznaczonymi miejscami mocowania elementów bezpieczeństwa biernego: 1 - absorbery główne, 2 - absorber górny typu „honeycomb”, 3 - sprzęg przedni, 4 – zgarniacz. [7]

3.3. Main absorber

The 227M rail vehicle was equipped with a Dellner crash buffer (Fig. 3). In the event of a collision, the element protects the vehicle against the vehicle climbing phenomenon. The use of the bumper is linked with irreversible energy consumption, i.e. it must be replaced after use. It is designed to absorb the secondary impact after the initial impact. The element has a stabilizing function of the draw gear and has been designed to allow the bumper to be inserted over a length of 800 mm. According to the manufacturer, an element weighing 83 kg is able to absorb $720 \text{ kJ} \pm 10\%$ of the impact energy. The maximum dynamic response is $900 \text{ kN} \pm 10\%$.

According to the European norm EN 15227 on crashworthiness requirements for rail vehicle bodies, the vehicle must be equipped with a device that will provide the vehicle with anti-climbing protection in the event of a collision. It was developed in 2008, and has been in force since 2012 for all new vehicles in the European Union. The required energy-absorption

3.2. Bezpieczeństwo bierne pojazdu 227M

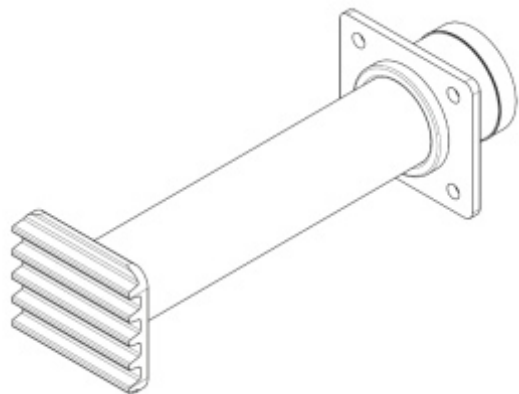
Sprostanie wymaganiom w dziedzinie bezpieczeństwa biernego [4-6] jest zapewniane przez urządzenia pochłaniające energię zderzenia, w skład których wchodzi:

- przytwierdzone do czołownicy absorbery główne z powierzchnią czołową zapobiegającą wspinaniu pojazdu,
- absorbery górne typu „honeycomb” (plaster miodu) zamontowane na ścianach czołowych kabin,
- sprzęg przedni,
- odbijak przeszkód wykonany ze stali S650MC,
- zgarniacze przykręcane są do czołownicy pojazdu poprzez deformowalny element pośredni, który zapobiega opadaniu zgarniacza przy przeciążeniu,
- sprzęg międzyczłonowy.

Na rysunku 2 przedstawiono miejsce zabudowy elementów bezpieczeństwa biernego na czole pojazdu 227M.

3.3. Absorber główny

Pojazd szynowy 227M został wyposażony w zderzak pochłaniający energię zderzenia (ang. crash buffer) (rys. 3) firmy Dellner. Element w przypadku zderzenia zabezpiecza pojazd przed wystąpieniem zjawiska wspinania pojazdu. Użycie zderzaka wiąże się z nieodwracalnym pochłonięciem energii tzn. konieczna jest jego wymiana po użyciu. Przeznaczony jest do pochłaniania uderzenia wtórnego, po zderzeniu początkowym. Element posiada funkcję stabilizującą urządzenia cięglowego i został zaprojektowany z myślą o możliwości wsunięcia zderzaka na długości 800 mm. Element waży 83 kg według producenta jest w stanie pochłoniąć $720 \text{ kJ} \pm 10\%$ energii zderzenia. Maksymalna reakcja dynamiczna wynosi $900 \text{ kN} \pm 10\%$.



Rys. 3. Zderzak pochłaniający energię zderzenia (crash buffer) firmy Dellner. [23]

Według europejskiej normy EN 15227 dotyczącej wymagań odporności zderzeniowej dla nadwozi pojazdów szynowych pojazd musi być wyposażony w urządzenie, które będzie zapobiegało występowaniu zjawiska wspinania (ang. anti-climbing) pojazdu w

modules had a significant impact on the design of the front shape of locomotives and passenger rolling stock. The specification is supplemented by the EN 12663 norm (Requirements for the construction of rail vehicle bodies), which was updated in 2008 to meet the scenarios of EN 15227. In order to avoid the phenomenon of vehicle fronts climbing in the event of a collision, the ends of the absorbers are designed with special grooves (Fig. 4), which are to influence the loss of collision energy along the absorber axis and prevent overriding [8-11]. Figure 5 shows the process of energy dissipation using the absorber.

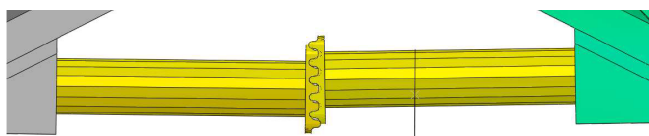


Fig. 4. „Anti-climbing” system. [Own materials]

Rys. 4. Działanie systemu „anticlimbing”. [Materiały własne]

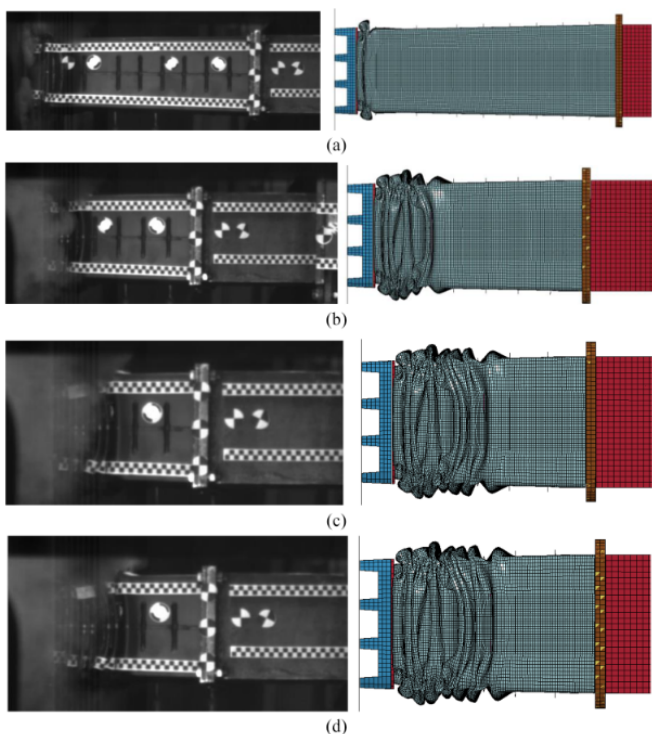


Fig. 5. An example of the principle of operation of an absorber. Crash buffer (anti-climbing) deformation test results from the bench experiment (left) and simulation (right): side view at (a) 10 ms, (b) 30 ms, (c) 50 ms, and (d) 64 and 60 ms. [9]

Rys. 5. Przykład zasady działania absorbera. Wyniki odkształcenia urządzenia systemu anti-climbing zapobiegającego wspinaniu z eksperymentu stanowiskowego (po lewej) i symulacji (po prawej): widok z boku przy (a) 10 ms, (b) 30 ms, (c) 50 ms oraz (d) 64 i 60 ms. [9]

3.4. Upper absorber, "honeycomb" type

The 227M rail bus was designed with a Dellner honeycomb structure (Fig. 6) collision energy absorber (Fig. 7). In the event of a collision, the element

przypadku kolizji. Opracowano ją w 2008 roku, a obowiązuje od 2012 roku dla wszystkich nowych pojazdów w Unii Europejskiej. Wymagane moduły pochłaniania energii miały znaczny wpływ na projekt kształtu czoła lokomotyw i taboru pasażerskiego. Do specyfikacji dołączona jest norma EN 12663 (Wymagania konstrukcyjne nadwozi pojazdów szynowych), która została zaktualizowana w 2008 r. w celu spełnienia scenariuszy normy EN 15227. W celu uniknięcia zjawiska wspinania czoł pojazdów w przypadku kolizji na końcach absorberów zaprojektowane są specjalne wypustki (rys. 4), które mają wpłynąć na wytracanie energii zderzenia wzdłuż osi absorbera [8-11]. Na rysunku 5 przedstawiono proces wytracania energii za pomocą absorbera.

3.4. Absorber górny typu „honeycomb”

Autobus szynowy 227M został wyposażony w absorber energii zderzenia (rys. 6) o strukturze plastra miodu (rys. 7) firmy Dellner. Element w przypadku zderzenia pochłania energię w sposób nieodwracalny [12-14] tzn. konieczna jest jego wymiana po użyciu. Przeznaczony jest do pochłaniania uderzenia wtórnego, po zderzeniu początkowym. Wykonany ze stali nierdzewnej element waży 99 kg według producenta jest w stanie pochłonąć $650 \text{ kJ} \pm 10\%$ energii zderzenia. Końcowa siła zgniatania wynosi 2250 kN. Na rysunku 8 przedstawiono proces odkształcania elementu w przypadku kolizji.

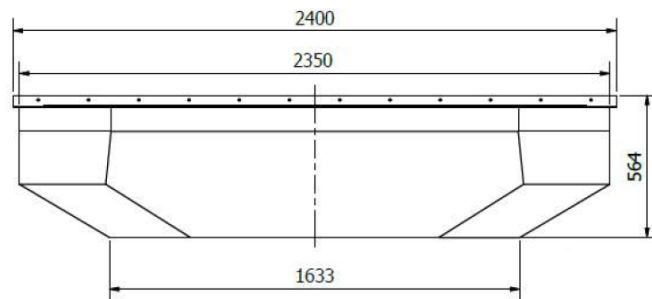


Fig. 6. Dimensions of the Dellner impact energy absorber (honeycomb). [23]

Rys. 6. Wymiary absorbera energii zderzenia (plaster miodu) firmy Dellner. [23]

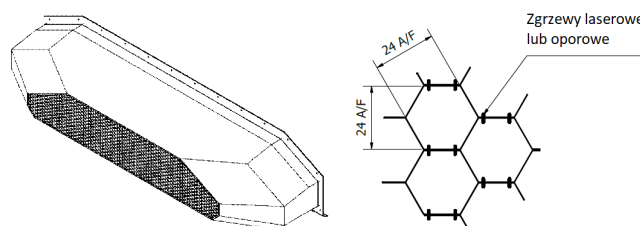


Fig. 7. Dellner energy absorber (honeycomb) and its structure. [23]

Rys. 7. Wymiary absorbera energii zderzenia (plaster miodu) firmy Dellner. [23]

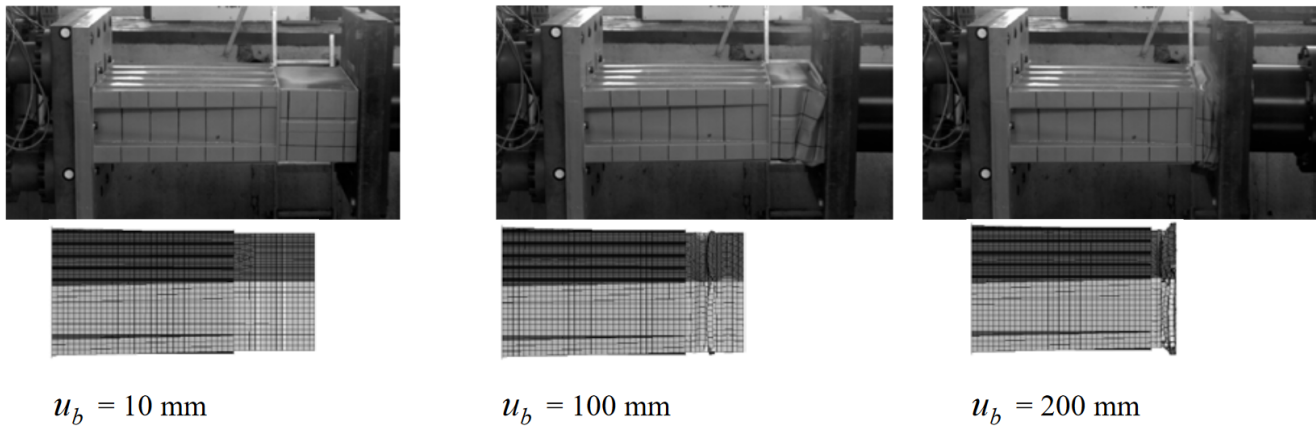


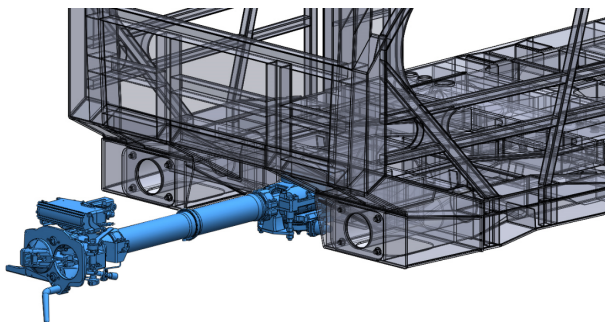
Fig. 8. Crash tests and finite element simulation results of a honeycomb absorber. u_b - deformation (mm). [12]

Rys. 8. Testy zderzeniowe i wyniki symulacji elementów skończonych absorbera typu „honeycomb”. u_b – odkształcenie (mm). [12]

absorbs energy irreversibly [12-14], i.e. it must be replaced after use. It is designed to absorb the secondary impact after the initial impact. According to the manufacturer, a stainless steel element weighing 99 kg is able to absorb $650 \text{ kJ} \pm 10\%$ of impact energy. Final crushing force is 2250 kN. Figure 8 shows the process of deformation of the element in the event of a collision.

3.6. Front coupler

The ZEA automatic coupler used in the 227M vehicle manufactured by Dellner (Fig. 9) is used to connect: mechanical, electrical, pneumatic systems with other rail vehicles. The element consists of the following components: coupler head, coupler tube and electrical coupler. The front coupler, as the most frontal element of the vehicle, is the first element absorbing the energy of the impact in the event of a collision. For this reason, couplers of this type are designed to absorb the kinetic energy of the vehicle. Such an element consists of two parts: a deformable tube and a conical mandrel (fig. 10). At the moment of impact, the part of the coupling with the conical mandrel, on which the head is located, slides into the second part: the tube with a diameter smaller than that of the mandrel. This process causes the deformation of the tube and the frictional resistance, which in turn contributes to the loss of the collision energy [15, 16]. According to the manufacturer, the energy that the front coupler in the 227M vehicle is able to absorb is $788 \pm 38 \text{ kJ}$. Fig. 11 shows the process of collision energy loss in the front coupler.



3.6. Sprzęg czołowy

Sprzęg automatyczny typu ZEA zastosowany w pojeździe 227M produkcji firmy Dellner (rys. 9) służy do połączenia: mechanicznego, elektrycznego, pneumatycznego z innymi pojazdami szynowymi. Element składa się z następujących podzespołów: głowica sprzęgu, pochwa sprzęgu oraz sprzęg elektryczny. Sprzęg czołowy jako najbardziej wysunięty element pojazdu, w przypadku wystąpienia kolizji jest pierwszym elementem pochłaniającym energię zderzenia. Z tego powodu sprzęgi tego typu są projektowane z myślą o absorbowaniu energii kinetycznej pojazdu. Element taki składa się z dwóch części: odkształcalnej rury i stożkowego trzpienia (rys. 10). W momencie zderzenia część sprzęgu ze stożkowym trzpieniem, na której znajduje się głowica, wsuwa się w głąb drugiej

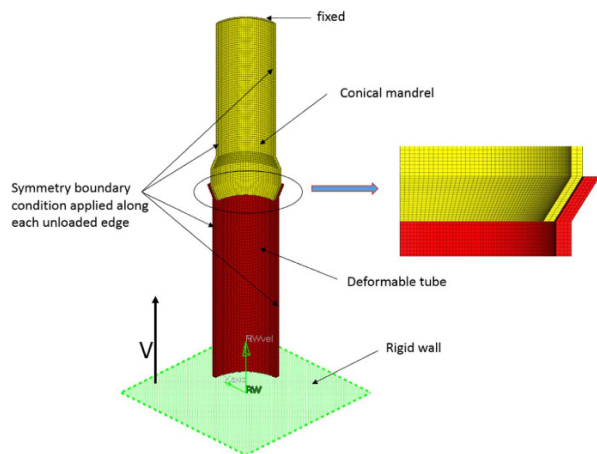


Fig. 10. Diagram of a passive safety component used in the front coupler. [15]

Rys. 10. Schemat elementu bezpieczeństwa biernego zastosowanego w sprzęgu czołowym. [15]

Rys. 9. Zamocowanie sprzęgu czołowego do ramy pojazdu 227M. [Materiały własne]

Fig. 9. Fastened front coupler to the 227M vehicle frame. [Own materials]

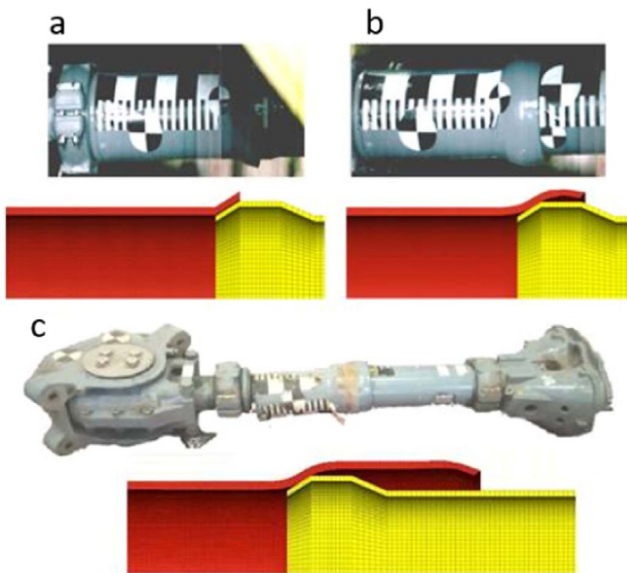


Fig. 11. The principle of operation of the energy absorber in the front coupler (real tests and simulations). [15]

Rys. 11. Zasada działania absorbera energii w sprzęgu czołowym (rzeczywiste testy oraz symulacje). [15]

3.7. Midsection coupler

The midsection coupler (semi-permanent coupler) enables manual, safe and strong coupling of the 227M vehicle sections (Fig. 12). This element therefore makes it possible to disconnect the sections when required. This type of device is also used to absorb the impact force [17] in the event of a collision [18-20]. Increased passenger safety is possible thanks to using the same solution as in the front coupler. The kinetic energy of the collision is converted into plastic deformation of the tube, into which a conical mandrel with a smaller diameter is pushed (Fig. 11). According to the manufacturer, an element weighing 300 kg is able to absorb 461 ± 22 kJ of energy. Fig. 13 shows the structure of the Dellner semi-permanent coupler used in the 227M vehicle.

części: rury o mniejszej średnicy, niż średnica trzpienia. Proces ten powoduje odkształcanie się rury oraz opory tarcia, a to z kolei wpływa na wytracanie energii zderzenia [15, 16]. Według producenta energia jaką jest w stanie pochłonąć sprzęg czołowy w pojeździe 227M wynosi 788 ± 38 kJ. Na rys. 11 przedstawiono proces wytracania energii zderzenia w sprzęgu czołowym.

3.7. Sprzęg międzyczłonowy

Sprzęg międzyczłonowy umożliwia ręczne, bezpieczne i mocne sprzęganie członów pojazdu 227M (rys. 12). Element ten umożliwia zatem rozłączenie członów w sytuacji, gdy jest to wymagane. Urządzenie tego typu służy również do pochłaniania siły uderzenia [17] w przypadku zajścia kolizji [18-20]. Zwiększone bezpieczeństwo podróżnych jest możliwe dzięki zastosowaniu rozwiązania wykorzystywanego również w sprzęgu czołowym. Energia kinetyczna zderzenia jest zamieniana na odkształcenie plastyczne rury, w którą wsuwa się druga rura o mniejszej średnicy zakończona trzpieniem (rys 11). Według producenta element o masie 300 kg jest w stanie pochłonąć 461 ± 22 kJ energii. Na rys. 13. przedstawiono budowę sprzęgu międzyczłonowego firmy Dellner zastosowanego w pojeździe 227M.

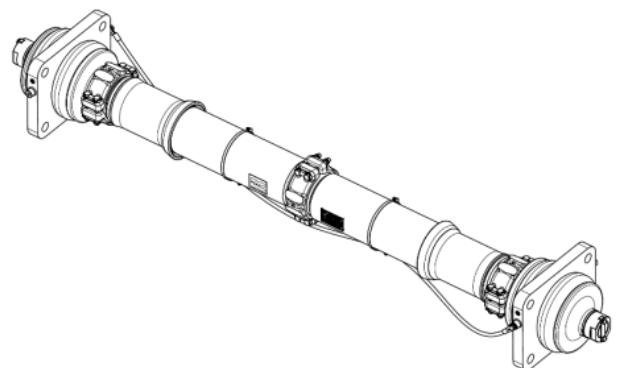


Fig. 12. Dellner semi-permanent coupler. [23]

Rys. 12. Sprzęg międzyczłonowy firmy Dellner. [23]

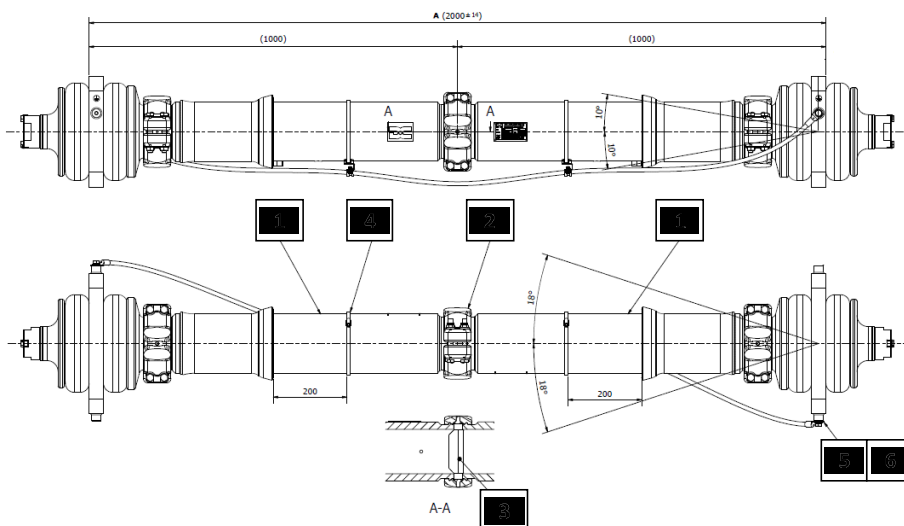


Fig. 13. Construction of the 227M vehicle's semi-permanent coupler: 1 - Half of the midsection coupler, 2 - Set of socket connectors, 3 - Guide cone, 4 - Clamp, 5 - Wiring, 6 - Screw joints. [23]

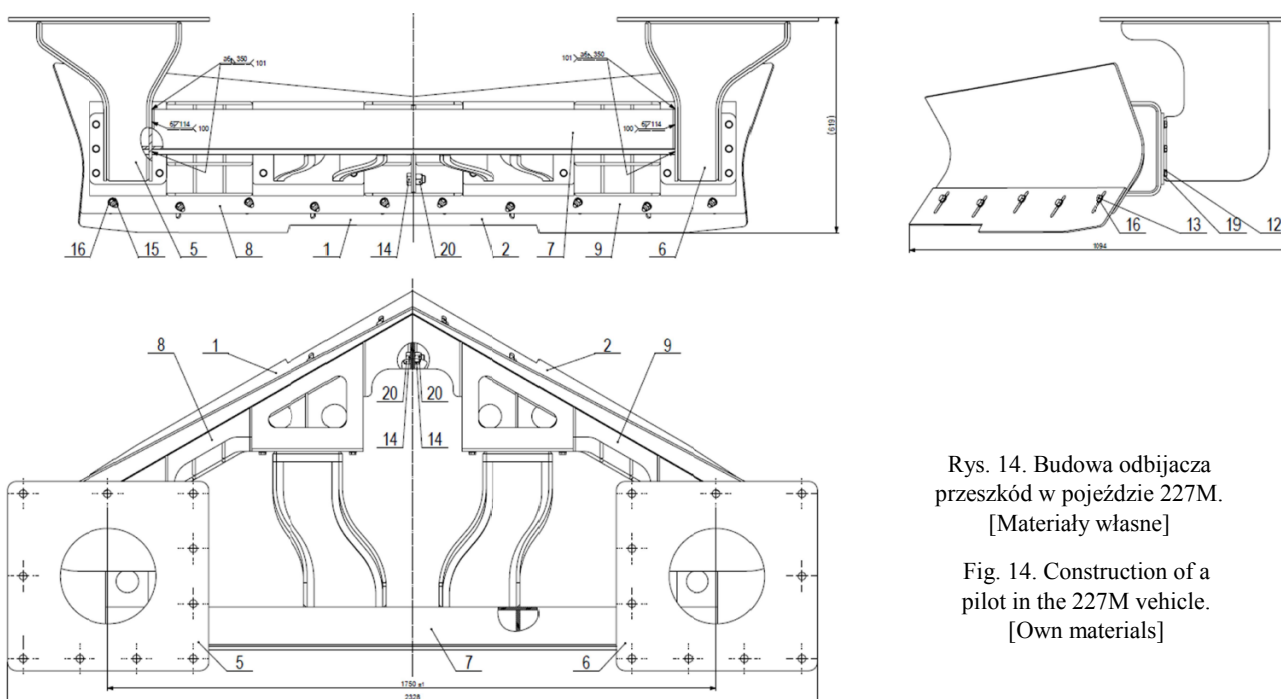
Rys. 13. Budowa sprzęgu międzyczłonowego pojazdu 227M: 1 - Połowa sprzęgu międzyczłonowego, 2 - Zestaw złączy gniazdowych, 3 - Stożek prowadzący, 4 - Zacisk, 5 - Okablowanie, 6 - Połączenia śrubowe. [23]

3.8. Pilot

The pilot (Fig. 14) is an element mounted to the chassis of the vehicle, close to its front. The exact place of fastening is the space under the vehicle between the main absorbers and the first bogie of the vehicle. The element should have a uniform structure with a "V" profile, where the angle is not greater than 160° . In the event of possible contact with objects on the tracks (collision with an obstacle on the track), the pilot should deflect the obstacles sideways, outside the track, not up or down, and should additionally be able to remove snow from the front of the train. The pilot also protects the wheels from damage by obstacles on the track. In the event of a collision, it should deform up to 120 mm.

3.8. Odbijacz przeszkód (zgarniacz)

Zgarniacz (rys. 14) jest elementem zamontowanym do podwozia pojazdu, blisko jego czoła. Dokładnym miejscem zamocowania jest przestrzeń pod pojazdem między absorberami głównymi, a pierwszym wózkiem pojazdu. Element powinien mieć jednolitą budowę o profilu „V”, gdzie kąt jest nie większy niż 160° . Zgarniacz w przypadku ewentualnego kontaktu ze znajdującymi się na torach obiektami (zderzenie z przeszkodą na torze) powinien odchyłać przeszkody na boki, na zewnątrz toru, a nie w górę lub w dół oraz powinien dodatkowo mieć możliwość usuwania śniegu z przodu pociągu. Zgarniacz pełni również funkcję ochrony kół przed uszkodzeniem przez przeszkody znajdujące się na torze. W przypadku zderzenia powinien odkształcić się maksymalnie do 120 mm.



Rys. 14. Budowa odbijacza przeszkód w pojeździe 227M.
[Materiały własne]

Fig. 14. Construction of a pilot in the 227M vehicle.
[Own materials]

4. SUMMARY

The design of the 227M vehicle uses a number of modern passive safety solutions. They include a coupler, a pilot, a crash buffer, honeycomb absorber and an absorber with the "anticlimbing" function, each of which performs a specific function and additionally acts as an energy absorber. The application of the described solutions allowed the 227M vehicle to meet all safety requirements when moving on railway lines. In total, the main absorber can absorb about 720 kJ of energy, the honeycomb absorber is supposed to absorb 650 kJ, the main coupler can absorb about 788 kJ, the midsection absorber (semi-permanent coupler) can absorb about 461 kJ, and the pilot can absorb another 36 kJ. Additional solutions prevent the effects of vehicle climbing during a collision, vehicle overriding and lateral buckling, which in a collision pose the greatest

4. PODSUMOWANIE

W konstrukcji pojazdu 227M zastosowano szereg nowoczesnych rozwiązań bezpieczeństwa pasywnego. Wchodzą w nie sprzęg, odbijacz przeszkód, zderzak i absorber z funkcją „anticlimbing”, z których każde pełni wyznaczoną funkcję, jak również w przypadku wystąpienia kolizji mają za zadanie pochłaniać energię zderzenia. Zastosowanie opisanych rozwiązań pozwoliło pojazdowi 227M na spełnienie wszystkich wymogów bezpieczeństwa podczas poruszania się po liniach kolejowych. Sumarycznie główny absorber może pochłonąć około 720 kJ energii, podczas gdy absorber typu „honeycomb” ma pochłonąć 650 kJ, sprzęg główny może pochłonąć około 788 kJ podczas gdy międzyczłonowy około 461 kJ, a odbijacz kolejne 36 kJ. Dodatkowe rozwiązania zapobiegają efektom wznoszenia pojazdu podczas zderzenia, zachodzenia

potential risk to the passengers and train drivers in the vehicle. The widespread use of such solutions allowed to reduce the number of fatalities in collisions involving rail vehicles, usually replacing the fatalities with injuries. One of the main results of the solutions presented in the article can be found in data from the international database information (EM-DAT). This data shows that the use of these safety systems in conjunction with other active safety and control systems resulted in the average number of rail accidents in Europe to be on a downward trend consistently since 1980, while for Asia and Africa this number has increased. Another noticeable effect of the introduced safety systems was the reduction in the fraction of fatalities to injured, where in Europe it was almost 3 people injured per fatality, while in Africa (except South Africa) the ratio was closer to 1:1. The legal changes of 2020 force further development and advancement of rail vehicle safety systems, while increasing the safety of all people on board, both those in the designated survival zones and those outside of them.

się pojazdów oraz teleskopowania, które przy zderzeniach stwarzają największe potencjalne zagrożenie dla znajdujących się w pojeździe pasażerów i maszynistów. Szerokie zastosowanie takich rozwiązań pozwoliło zredukować liczbę ofiar śmiertelnych zderzeń pojazdów szynowych, zwykle zastępując ofiary śmiertelne rannymi. Z informacji międzynarodowej bazy danych (EM-DAT) wynika, że stosowanie tych systemów bezpieczeństwa w połączeniu z innymi, aktywnymi systemami bezpieczeństwa oraz kontroli średnia liczba wypadków kolejowych w Europie charakteryzowała się tendencją spadkową od 1980 roku, podczas gdy dla krajów Azji i Afryki liczba ta rosła. Kolejnym zauważalnym efektem konsekwentnie wprowadzanych systemów bezpieczeństwa był spadek ułamka ofiar śmiertelnych do rannych, gdzie w Europie wynosił on prawie 3 osoby ranne na każdą ofiarę śmiertelną, podczas gdy w Afryce (za wyjątkiem RPA) stosunek ten bliższy był 1:1. Zmiany prawne z 2020 roku wymuszają dalszy rozwój i zaawansowanie systemów bezpieczeństwa pojazdów szynowych, jednocześnie zwiększając bezpieczeństwo wszystkich osób na pokładzie, zarówno tych znajdujących się w wyznaczonych strefach przeżycia jak i tych poza nimi.

BIBLIOGRAPHY/BIBLIOGRAFIA

- [1] UTK: Ocena funkcjonowania rynku transportu kolejowego i stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego w 2015 roku
- [2] UTK: Raport w Sprawie Bezpieczeństwa 2020
- [3] Shorokhov S. G., Bondarenko O. I., Kobishanov V. V.: Prediction of injury to passengers of railway rolling stock based on modern physical simulation methods. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, Vol. **1399**, No. 5. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/5/055098>
- [4] Frączek R., Paldyna M., Miszczak K., Orzechowski W., Kawalek Ł., Nycz, B. D.: Modernization of the head structure of the ED72 electrical train unit. *Mechanik*. 2019, no **1**. <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.1.12>
- [5] Sobolevska M., Horobets D., Syrota S.: Development of passive protection devices for a power head of a high-speed multiple unit train at its collisions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, Vol. **985**, No. 1. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012016>
- [6] MacNeill, R. A., Kirkpatrick, S. W., Bocchieri, R. T., Gough, G.: Development of a Prototype Retrofit Bumper for Improved Light Rail Vehicle Safety. *ASME/IEEE Joint Rail Conference. American Society of Mechanical Engineers*. 2015, Vol. **56451**, p. V001T06A020.
- [7] Materiały firmy H. Cegielski - Fabryka Pojazdów Szynowych Sp. z o.o.
- [8] Xie S., Du X., Zhou H., Wang J., Chen, P.: Crashworthiness of Nomex® honeycomb-filled anti-climbing energy absorbing devices. *International journal of crashworthiness*. 2021, **26**(2), 121-132. <https://doi.org/10.1080/13588265.2019.1688506>
- [9] Li Y. R., Zhu T., Tang Z., Xiao S. N., Xie J. K., Liu Z. B., Xiao S. D.: Inversion prediction of back propagation neural network in collision analysis of anti-climbing device. *Advances in Mechanical Engineering*. 2020, **12**(5), 1687814020922050. <https://doi.org/10.1177/1687814020922050>
- [10] Yao S., Xiao X., Xu P., Qu Q., Che Q.: The impact performance of honeycomb-filled structures under eccentric loading for subway vehicles. *Thin-walled structures*. 2018, **123**, 360-370. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.10.031>
- [11] Estrada Q., Szwedowicz D., Rodriguez-Mendez A., Elias-Espinosa M., Silva-Aceves J., Bedolla-Hernández J., Gómez-Vargas O. A.: Effect of radial clearance and holes as crush initiators on the crashworthiness performance of bi-tubular profiles. *Thin-Walled Structures*. 2019, **140**, 43-59. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.02.039>
- [12] Sobolevska M., Telychko I.: Passive safety of high-speed passenger trains at accident collisions on 1520 mm gauge railways. *Transport problems*. 2017, **12**. <https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.1.5>
- [13] Sobolevska M., Horobets D., Syrota S.: Development of passive protection devices for a power head of a high-speed multiple unit train at its collisions. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, **985**(1), p. 012016). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012016>

- [14] Li B., Lu Z., Yan K., Lu S., Kong L., Xu P.: *Experimental study of a honeycomb energy-absorbing device for high-speed trains. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.* 2020, **234**(10), 1170-1183. <https://doi.org/10.1177/0954409719882564>
- [15] Yao S., Li Z., Yan J., Xu P., Peng Y.: *Analysis and parameters optimization of an expanding energy-absorbing structure for a rail vehicle coupler. Thin-Walled Structures.* 2018, **125**, 129-139. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.01.011>
- [16] Zhu T., Liu S., Xiao S. N., Che Q.: *Train collision dynamic model considering longitudinal and vertical coupling. Advances in Mechanical Engineering.* 2019, **11**(1), 1687814018823966. <https://doi.org/10.1177/1687814018823966>
- [17] Jackiewicz J.: *Coupler force reduction method for multiple-unit trains using a new hierarchical control system. Railway Engineering Science.* 2021, **29**(2), 163–182. <https://doi.org/10.1007/s40534-021-00239-w>
- [18] Wei L., Zhang L., Tong X., Cui K.: *Crashworthiness study of a subway vehicle collision accident based on finite-element methods. International journal of crashworthiness.* 2021, **26**(2), 159-170. <https://doi.org/10.1080/13588265.2019.1699742>
- [19] Yang C., Li Q., Xiao S., Wang X.: *On the overriding issue of train front end collision in rail vehicle dynamics. Vehicle system dynamics.* 2018, **56**(4), 506-528. <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1394472>
- [20] Yao S., Zhu H., Yan K., Liu M., Xu P.: *The derailment behaviour and mechanism of a subway train under frontal oblique collisions. International journal of crashworthiness.* 2021, **26**(2), 133-146. <https://doi.org/10.1080/13588265.2019.1692506>
- [21] EN 15227:2008+A1. *Kolejnictwo – wymagania zderzeniowe dla pudeł pojazdów szynowych*
- [22] EN 15227:2020. *Kolejnictwo – wymagania zderzeniowe dla pojazdów szynowych*
- [23] *Materiały firmy Dellner*