

ŁUKASZ JELIŃSKI  
KAZIMIERZ JAMROZ  
MARCIN BUDZYŃSKI  
ANNA GOBIS  
DAWID BRUSKI  
STANISŁAW BURZYŃSKI

Politechnika Gdańska

GRZEGORZ BAGIŃSKI

Saferoad RRS Polska  
Sp. z o.o.

# Możliwości i zasady stosowania hybrydowych urządzeń energochłonnych na przykładzie urządzenia SafeEnd

Od kilku lat na świecie stosowane są urządzenia energochłonne spełniające rolę poduszki zderzeniowej oraz terminala energochłonnego. Urządzenia te stosowane są do osłony zakończeń barier drogowych oraz osłony obiektów znajdujących się w strefie bezpieczeństwa drogi. Przykładem takiego urządzenia jest urządzenie energochłonne U-15a SafeEnd (SE) stosowane od niedawna w Polsce, jednakże niektórzy zarządcy dróg zgłaszają obawy do ich stosowania, jako osłony energochłonnej. Największe zastrzeżenia wśród niektórych zarządzających drogami budziły:

- brak certyfikatu dla systemu SE, jako poduszki zderzeniowej,
- zbyt mała wielkość powierzchni czołowej (odblaskowej) przewodnicy urządzenia widocznej od strony najazdu,
- sposób połączenia SE z barierami na rozjazdach, wymuszający większe odgięcie drogowych barier ochronnych od krawędzi jezdni, generując w ten sposób ryzyko uderzenia w barierę pod kątem przekraczającym 20 stopni, co może zwiększać ryzyko przerwania bariery i najazdu na przeszkodę.

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań i analiz funkcjonowania urządzenia SE produkcji firmy Saferoad oraz możliwości i zasady stosowania tych urządzeń, jako hybrydowych urządzeń energochłonnych.

## Oslony energochłonne

### Cechy funkcjonalne osłon energochłonnych

Oslony energochłonne to, wg definicji podanej w Rozporządzeniu [1], grupa urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, które cechują się przede wszystkim pochłanianiem

energii pojazdu uderzającego w osłonę, a tym samym zmniejszeniem skutków wypadków, do jakich dochodziłoby przy uderzeniu pojazdów bezpośrednio w przeszkodę bez takiej osłony.

Głównym celem osłon energochłonnych jest więc zamiana potencjalnego zdarzenia kwalifikowanego, jako wypadek poważny (z udziałem ofiar śmiertelnych lub ciężko rannych) w kolizję drogową lub wypadek z ofiarami lekko rannymi.

### Klasyfikacja osłon energochłonnych

Oslony energochłonne można podzielić na:

- poduszki zderzeniowe,
- terminale zderzeniowe energochłonne,
- urządzenia energochłonne hybrydowe.

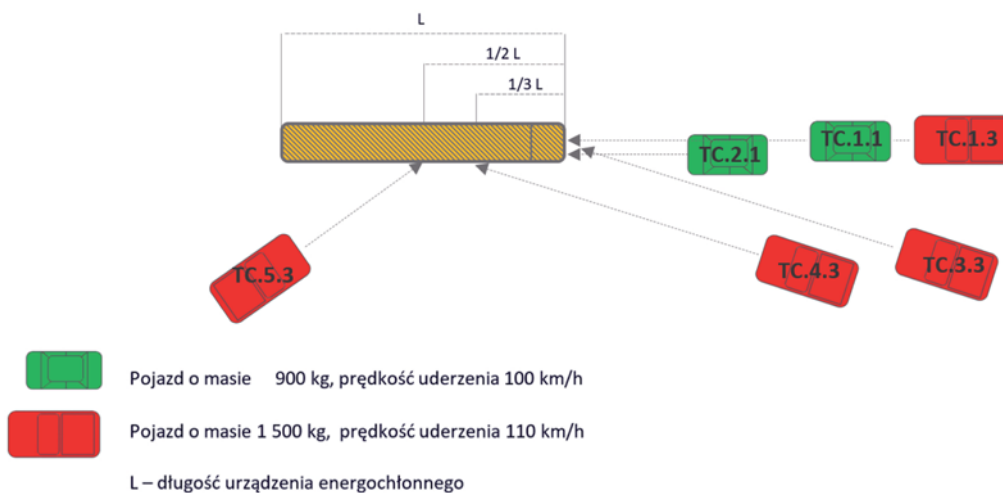
**Poduszki zderzeniowe** to urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego określane wg polskiej nomenklatury również jako osłony energochłonne, których zadaniem jest zmniejszenie intensywności zderzenia pojazdu osobowego z punktową przeszkodą (np. w postaci masywnego i niepodatnego obiektu) lub wjechania w „Obszar zagrożony” [2].

Pojęciem „Poduszka zderzeniowa” określa się wszystkie urządzenia, które przeszły pomyślnie testy zderzeniowe, zgodnie z obowiązującą edycją normy EN-1317-3 [4], bez względu na rodzaj użytego materiału oraz sposób pochłaniania energii. Wyróżnia się dwa rodzaje poduszek zderzeniowych: nakierowujące i nienakierowujące. Poduszka nienakierowująca (fot. 1a) ma za zadanie wyhamować i zatrzymać pojazd w nią uderzący. Przeznaczona jest do przejmowania siły o kierunku zgodnym lub zbliżonym do jej osi konstrukcyjnej. Znajduje zastosowanie w lokalizacjach, w których jest wysoce prawdopodobne, że pojazd najedzie na osłonę od jej strony czołowej, nie zaś pod dużym kątem lub z boku (np. punkty poboru opłat na autostradach).



Fot. 1. Oslony energochłonne U-15: a) Poduszka zderzeniowa nienakierowująca ALPINA [3], b) Poduszka zderzeniowa typu Saferoad CrashGuard nakierowująca

## Poduszki zderzeniowe – PN-EN 1317-3, Klasa 110



Rys. 1. Testy zderzeniowe przewidziane dla poduszek zderzeniowych wg PN-EN 1317-3 o najwyższej klasie funkcjonalnej 110

Ostona nakierowująca (fot. 1b) podczas uderzeń bocznych charakteryzuje się podobnym działaniem jak bariera drogowa, gdyż poza redukcją prędkości i energii kinetycznej uderzającego pojazdu, jej zadaniem jest zmiana kierunku ruchu i ponowne wyprowadzenie pojazdu na oczekiwany tor jazdy uderzającego pojazdu (lokalizacja np. na „nosie” rozjazdu węzła drogowego).

Norma EN 1317 określa testy zderzeniowe przewidziane dla poduszek zderzeniowych o najwyższej klasie funkcjonalnej (poziom 110 km/h tablica 2 normy PN-EN 1317-3) obejmujące 6 testów (rys. 1), podczas których:

- 1) pojazd o masie 900 kg uderza w ostonę z prędkością 100 km/h:
  - czołowo pod kątem 0° (Test TC 1.1.100),
  - czołowo pod kątem 0° z przesunięciem pojazdu o ¼ szerokości (Test TC 2.1.100),
- 2) pojazd o masie 1 500 kg uderza w ostonę z prędkością 110 km/h:
  - czołowo pod kątem 0° (Test TC 1.3.110),
  - czołowo pod kątem 15° (Test TC 3.3.110),
  - bocznie pod kątem 15° (Test TC 4.3.110),
  - bocznie pod kątem 165° (Test TC 5.3.110).

**Terminale zderzeniowe energochłonne** to urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego określane również jako ostony energochłonne, których zadaniem jest zmniejszenie intensywności zderzenia pojazdów osobowych z początkowym lub końcowym odcinkiem drogowej bariery ochronnej.

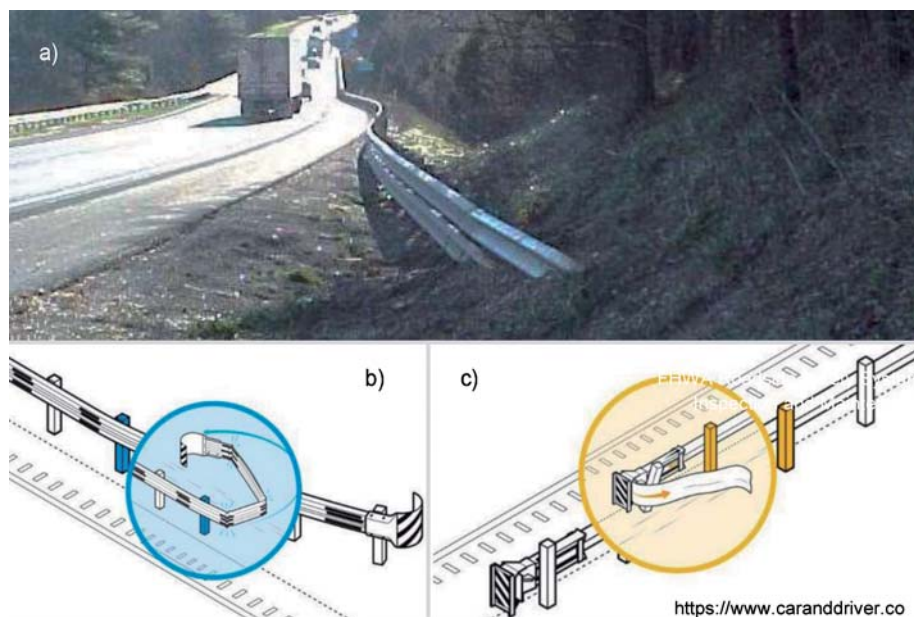
Istnieje wiele rodzajów terminali zderzeniowych. Różnorodność typów wynika ze zróżnicowanych warunków w lokalizacjach, w jakich powinny one

zostać zastosowane. Obecnie występują na świecie cztery podstawowe konstrukcje zakończeń barier ochronnych:

- zagłębione w przeciwskarpie – nieabsorbujące energii kinetycznej uderzającego pojazdu, odchylone od osi bariery (rys. 2a);
- zagłębione w podłożu – nieabsorbujące energii kinetycznej uderzającego pojazdu, odchylone od osi bariery;
- nieabsorbujące energii – pochłaniające nieznaczną część energii kinetycznej uderzającego pojazdu, usytuowane w osi bariery ochronnej (rys. 2b);
- absorbujące energię kinetyczną (rys. 2c).

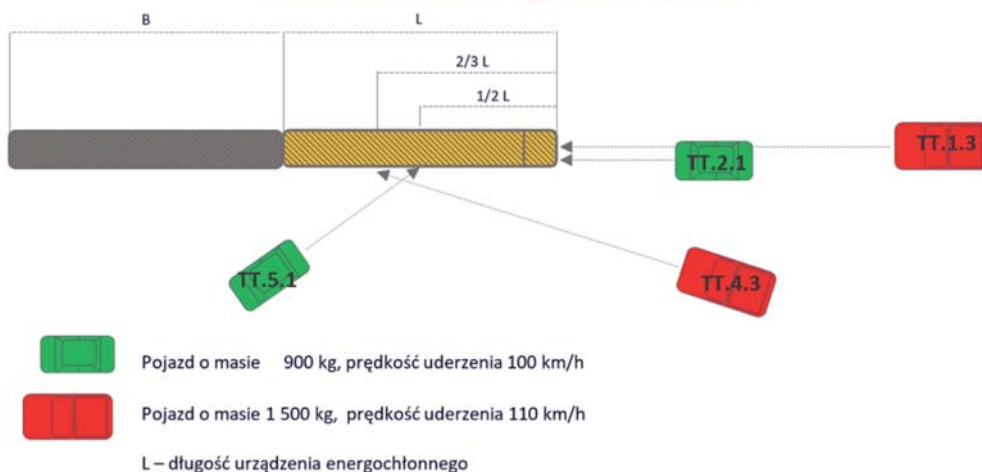
Wymienione terminale zderzeniowe absorbujące i nieabsorbujące energię ze względu na ich lokalizację względem jezdni dzieli się na dwie grupy: terminale proste i terminale odgięte. Terminale proste stanowią wydłużenie drogowych barier ochronnych równoległych do krawędzi jezdni. Konstrukcja terminala odgiętego zakłada odsunięcie początku urządzenia od drogi i odgięcie konstrukcji od kierunku drogi tak, jak w przypadku terminala skarpowego. Odgięcie zakończenia drogowej bariery ochronnej zakończonej terminalem zderzeniowym nie powinny przekraczać 7° [6].

Terminale zderzeniowe mogą występować jako nakierowujące lub nienakierowujące, jednostronne lub dwustronne i jednokierunkowe lub dwukierunkowe. Zasada pracy sys-



Rys. 2. Przykład terminala: a) w przeciwskarpie nieabsorbującego energii [5], b) nieabsorbującego energii, c) absorbującego energii

### Terminale zderzeniowe – pr EN 1317-4, Klasa P4



Rys. 3. Testy zderzeniowe przewidziane dla terminali energochłonnych wg PN-EN 1317-4 o najwyższej klasie funkcjonalnej P4

temów jest podobna, jak w przypadku poduszek zderzeniowych.

Norma EN 1317 określa testy zderzeniowe przewidziane dla terminali zderzeniowych o najwyższej klasie funkcjonalnej (poziom P4 Tablica 1 normy pr EN 1317-4) obejmujących 4 testy (rys. 3), podczas których:

1) pojazd o masie 900 kg uderza w osłonę z prędkością 100 km/h:

- czołowo pod kątem 0° z przesunięciem pojazdu o 1/4 szerokości (test TT 2.1.100),
- bocznie pod kątem 165° (test TT 5.1.110);

2) pojazd o masie 1 500 kg uderza w osłonę z prędkością 110 km/h:

- czołowo pod kątem 0° (Test TT 1.3.110),
- bocznie pod kątem 15° (Test TT 4.3.110).

**Urządzenia energochłonne hybrydowe**, to rodzaj urzą-

dzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego należącej do grupy osłon energochłonnych, których zadaniem jest, zmniejszenie intensywności zderzenia pojazdów osobowych z początkowym/końcowym odcinkiem drogowej bariery ochronnej przy zachowaniu pewnych cech funkcjonalnych poduszek zderzeniowych. Stąd też urządzeniem energochłonnym hybrydowym określa się osłony energochłonne posiadające cechy funkcjonalne poduszki zderzeniowej oraz terminala zderzeniowego energochłonnego, potwierdzone badaniami zderzeniowymi.

Urządzenia energochłonne hybrydowe to produkty wielozadaniowe, bezpieczniejsze od tradycyjnych osłon energochłonnych. Urządzenia te przewyższają swoją

funkcjonalnością techniczną oraz poziomem bezpieczeństwa tradycyjne poduszki zderzeniowe i terminale, łącząc zalety obu tych rodzajów urządzeń BRD, co sprawia, że można je określić jako urządzenia hybrydowe.

Norma EN 1317 określa testy zderzeniowe przewidziane dla terminali zderzeniowych o najwyższej klasie funkcjonalnej (poziom T110 Tablica 1 normy prEN 1317-7) obejmujących 6 testów (rys. 4), podczas których:

1) pojazd o masie 900 kg uderza w osłonę z prędkością 100 km/h:

- czołowo pod kątem 0° z przesunięciem pojazdu o 1/4 szerokości (Test TT 2.1.100),

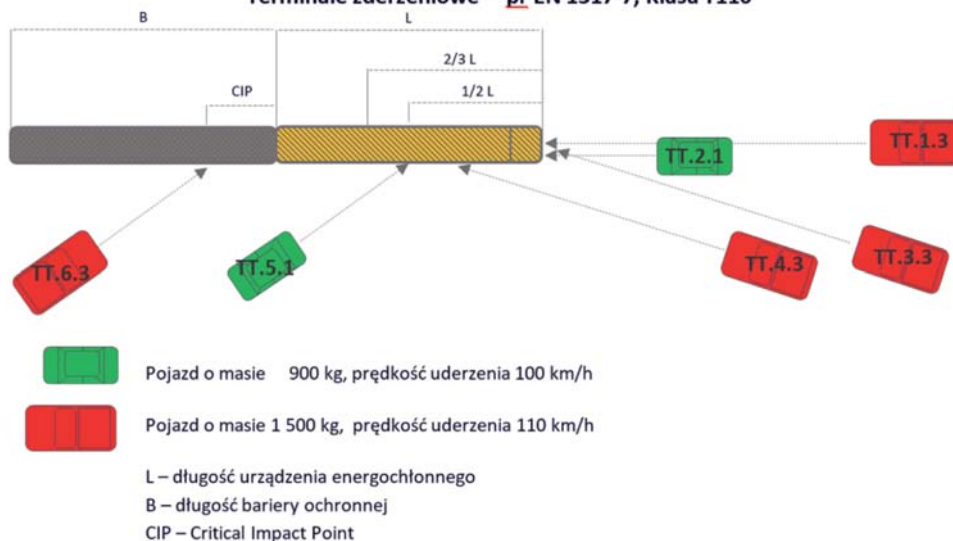
• bocznie pod kątem 165° (Test TT 5.1.110);

2) pojazd o masie 1 500 kg uderza w osłonę z prędkością 110 km/h:

- czołowo pod kątem 0° (Test TT 1.3.110),
- czołowo pod kątem 15° (Test TT 3.3.110),
- bocznie pod kątem 15° (Test TT 4.3.110),
- boczne pod kątem 165° w połączenie urządzenia z drogową barierą ochronną (Test TT 6.3.110).

Przykładem jednego z pierwszych urządzeń hybrydowych może być urządzenie wyprodukowane przez firmę RSI (Road Systems, Inc.) BEAT-SSCC (*Box Beam Bursting Energy Absorbing Terminal – Single Side Crash Cushion*) przedstawione na fotografii 2. Jak sama nazwa wskazuje, urządzenie może pracować jako terminal zderzeniowy oraz poduszka zderzeniowa jednostronna. Urządzenie posiada

### Terminale zderzeniowe – pr EN 1317-7, Klasa T110



Rys. 4. Testy zderzeniowe przewidziane dla terminali energochłonnych wg PN-EN 1317-7 o najwyższej klasie funkcjonalnej T110

Fot. 2. Przykłady urządzeń energochłonnego hybrydowych:  
a) Box Beam Bursting Energy Absorbing Terminal – Single Side Crash Cushion, b) Hybrid Energy Absorbing Reusable Terminal



<https://roadsystems.com/beat-sscc/>



<https://trinityhighway.com/>

Fot. 3. Przykład urządzenia energochłonnego hybrydowego SMA T4 „The” End terminal:  
a) wjazd do tunelu, b) roboty drogowe tymczasowe



wszystkie cechy, jakie powinno posiadać urządzenie hybrydowe. Produkt zaprojektowano i przetestowano jako nową, pochłaniającą energię jednostronną poduszkę zderzeniową typu *box-beam*.

Pochłaniająca energię poduszka zderzeniowa BEAT-SSCC została zaprojektowana tak, aby chronić sztywne zagrożenia, jakim są zakończenia betonowych barier ochronnych. Zdolność urządzenia do pochłaniania energii polega na technologii profilu zrywającego podobnego, jak w przypadku terminala zderzeniowego. Urządzenie przeszło pomyślnie pięć pełnoskalowych testów zderzeniowych pojazdem o masie 2 000 kg i prędkości 100 km/h. Skuteczność urządzenia oceniona została zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w raporcie NCHRP 350 i spełnione zostały wszystkie kryteria oceny poduszki zderzeniowej Poziom 3 [7].

Kolejnym przykładem może być urządzenie HEART (*Hybrid Energy Absorbing Reusable Terminal*) przedstawione na fotografii 3b, urządzenie przypisane do kategorii poduszek zderzeniowych i systemów specjalnych/hybrydowych, przebadanych wg raportu NCHRP 350 dla najwyższego, 3 poziomu testów zderzeniowych [7]. HEART to hybrydowy, pochłaniający energię terminal wielokrotnego użytku, którego konstrukcja składa się z stalowego szkieletu oraz paneli bocznych wykonanych z polietylenu o wysokiej masie

cząsteczkowej. Panele wykonane z tworzywa minimalizują czynności związane z konserwacją urządzeń, a co za tym idzie, zmniejszają koszty cyklu życia urządzenia.

Włoski produkt SMA T4 „The” End terminal, przedstawiony na rys. (fot 3a), został przetestowany zgodnie z normą prEN 1317-4 [8] i prEN 1317-7 [9]. Konstrukcja urządzenia składa się z belki o kontrolowanej deformacji, która pozwala prawidłowo pochłaniać energię bez naruszenia konstrukcji jezdni. Produkt przeszedł również pomyślnie test zderzeniowy TL 3.37 zgodny z normą raportu NCHRP 350 [7]. Dodatkowy test polegał na uderzeniu bocznym w urządzenie z prędkością 100 km/h pojazdem o masie 2 000 kg. Terminal tego typu stosowany jest najczęściej jako zakończenie barier ochronnych na węzłach, przed wjazdami do tuneli, a także jako zakończenie tymczasowe podczas prowadzonych robót drogowych (fot. 3b).

### Charakterystyka istniejących osłon energochłonnych

Wykorzystując wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu LifeRoSE [8], wykonano szczegółową inwentaryzację urządzeń energochłonnych oraz zakończeń barier na wybranych odcinkach poligonu badawczego dróg krajowych. Wyniki inwentaryzacji zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie osłon i zakończeń barier na odcinkach dróg krajowych

Klasa drogi	Długość jezdni	Liczba osłon energochłonnych	Liczba zakończeń barier	Wskaźnik gęstości osłon energochłonnych	Wskaźnik gęstości zakończeń barier
	L	LOE	LZB	WOE	WZB
	km	szt.	szt.	szt./100km	szt./100km
Autostrady	880,5	10	934	1,0	106,0
Drogi ekspresowe	703,9	70	514	10,4	73,0
Drogi główne i główne ruchu przyspieszonego	299,0	15	257	5,0	86,0
<b>Razem:</b>	<b>1883,3</b>	<b>107</b>	<b>1705</b>	<b>5,8</b>	<b>90,5</b>

Źródło: baza LifeRoSE



Źródło: Baza LifeRoSE

Rys. 5. Udział zdarzeń z zakończeniami barier ochronnych

Do porównania liczby stosowanych urządzeń na odcinkach dróg poszczególnych klas zastosowano dwa wskaźniki: wskaźnik gęstości osłon energochłonnych WOE oraz wskaźnik gęstości zakończeń barier WZB, wyrażające liczbę poszczególnych urządzeń na 100 km analizowanej klasy drogi. Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że na 100 km odcinku drogi:

- na sieci dróg krajowych występuje średnio ok. 6 osłon energochłonnych i ponad 90 zakończeń barier,
- na sieci autostrad występuje średnio ok. 1 osłona energochłonna i ponad 106 zakończeń barier,
- na sieci dróg ekspresowych występuje ponad 10 osłon energochłonnych i ponad 73 zakończeń barier.

W bazie LifeRoSE odnotowano prawie 220 zdarzeń, w których uszkodzone zostały zakończenia barier oraz osłony obiektów. Najwięcej zdarzeń zarejestrowano z zakończeniami barier sprowadzonych do gruntu (44,0% wszystkich

zdarzeń) oraz osłonami energochłonnymi U-15a (39,4% wszystkich zdarzeń). Najmniej zdarzeń zarejestrowano z innymi zakończeniami barier (rys. 5), tj. 6 zdarzeń, co stanowi 2,8% wszystkich zdarzeń.

Pośród zarejestrowanych 85 zdarzeń z urządzeniami energochłonnymi U-15a, 79 zdarzeń zaklasyfikowane zostało, jako kolizje (93% zdarzeń), a 6 jako wypadki drogowe (7% zdarzeń). Ponad 80% zdarzeń z urządzeniami energochłonnymi U-15a wynika z najechania pojazdu czołowo na urządzenie.

Wśród wszystkich zdarzeń zarejestrowanych w bazie LifeRoSE, 6 związanych było z uderzeniem w SE. Wszystkie uszkodzenia urządzenia wynikały z najechania czołowego pojazdów na urządzenie energochłonne. W każdym zarejestrowanym przypadku system SafeEnd wykonał pracę w sposób prawidłowy, tj. zredukował skutki najechania pojazdu na niezabezpieczony obiekt lub przeszkodę blisko jezdni – w bazie LifeRoSE nie zarejestrowano ani jednego wypadku z SE.

### Problemy stosowania urządzeń energochłonnych

Od jesieni 2019 r. wśród pracowników i audytorów brd w oddziałach GDDKiA trwa dyskusja o skuteczności, funkcjonalności i prawidłowości stosowania SE. Poniżej przedstawiono syntezę zebranych opinii, sugestii i rekomendacji.

**A. Opinie pozytywne** pracowników oddziałów i rejonów dróg krajowych zajmujących się inwestycjami i utrzymaniem dróg. Według tych opinii urządzenia SE: są skuteczne, jako zakończenia barier drogowych (fot. 4), stwarzają małe zagrożenie dla uczestników ruchu znajdujących się w pojeździe uderzającym w osłonę energochłonną, umożliwiają stosunkowo krótki czas montażu i szybką naprawę po ich uszkodzeniu, mają prostą konstrukcję i mniej komponentów niż urządzenia tradycyjne i generują niskie koszty utrzymania, mają możliwość zastosowania w miejscach o małej po-

a)



b)



Fot. 4. Przykłady zastosowania urządzenia SE: a) jako terminala zderzeniowego na zakończeniu bariery rozdzielającej drogę zbiorczą od jezdni głównej, b) zakończenia bariery na zjeździe łącznicy z jezdni głównej

wierzchni (szerokości) dostępnej do zamontowania osłon energochłonnych.

**B. Opinie negatywne i wątpliwości** pracowników oddziałów i rejonów dróg krajowych zajmujących się inwestycjami i utrzymaniem dróg oraz audytorów brd w stosunku do urządzeń SafeEnd.

1. Urządzenie SE było skonstruowane jako terminal (końcówka energochłonna zakończenia bariery), a wykorzystywane jest jako poduszka zderzeniowa (fot. 4b), brak odpowiednich badań zderzeniowych.
2. Mała powierzchnia czołowa urządzenia SafeEnd nie zapewnia dobrej widoczności i spostrzegalności miejsca wbudowania urządzenia (szczególnie w porze nocnego ograniczenia widoczności), przez co urządzenie to też stanowi przeszkodę, aby temu zapobiec zarządzający drogą stosują różne oznakowanie dodatkowe tych urządzeń (rys. 4).
3. Urządzenie SE są często montowane w skrajni drogowej (z powodu braku miejsca na wybudowanej drodze) i stanowią przeszkodę na drodze (fot. 5b).
4. Montaż urządzenia SafeEnd zamiast poduszek zderzeniowych nakierowujących powoduje następujące zagrożenia: nienaturalne wyginanie bariery, przez co tworzą się niebezpieczne kieszenie, wnęki i załamania, itp., generuje powstanie osłabionych miejsc, szczególnie na odcinkach połączenia urządzenia energochłonnego z barierą o du-

a)



b)



Fot. 5. Przykłady zastosowania urządzeń energochłonnych SE: a) charakterystyczna kieszeń, b) urządzenie energochłonne zainstalowane w skrajni drogi

żym kącie ewentualnego uderzenia pojazdu w barierę (fot. 5a), nie zabezpiecza pojazdu przed uderzeniem w przeszkodę.

5. Urządzenie SE zamontowane na rozwidleniu jezdni chronią pojazd i jego użytkowników poruszających się po drodze głównej na wprost przed skutkami uderzenia w zakończenie bariery, a nie chronią pojazdów i ich użytkowników uderzających w bok SE i początek odgiętej bariery („wnęki”, „kieszeni”) (fot. 5a).
6. Na podstawie analizy kilkunastu raportów z audytów brd dotyczących SE można stwierdzić, że audytorzy brd oceniający funkcjonowanie wbudowanych w drogę SE zwracali najczęściej uwagę na następujące problemy: kąt ustawienia konstrukcji osłony energochłonnej w stosunku do osi pasa jezdni głównej, zajęcie pasa awaryjnego i skrajni drogi oraz sposób połączenia osłony energochłonnej z barierą występującą za osłoną. Rekomendowali także, aby do zabezpieczania odcinków początkowych bariery stosować urządzenia energochłonne U-15a przetestowane zgodnie z normą PN-EN 1317-3.

**C. Uwagi ogólne do projektowania i stosowania urządzeń energochłonnych.** Przedstawiciele Centrali i Oddziałów GDDKiA oraz audytorzy brd oceniający sposób projektowania i wbudowania bariery oraz urządzeń energochłonnych na drogach inwestowanych przez GDDKiA zgłaszali wiele nieprawidłowości dotyczących stosowania urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, w tym urządzeń energochłonnych.

Projektowanie urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego (barier, terminali, poduszek zderzeniowych) odbywa się na zbyt późnym etapie procesu projektowania drogi, najczęściej na etapie opracowywania projektu stałej organizacji ruchu, kiedy nie można zmieniać geometrii drogi i prawidłowo usytuować urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego w planie i w przekroju drogi, nie można zmienić usytuowania słupów oświetleniowych, podpór znaków drogowych itp., a także nie można zapewnić odpowiedniej przestrzeni do usytuowania urządzeń bezpieczeństwa ruchu.

Projektowanie urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego powinno się odbywać na etapie przygotowania Projektu Konceptyjnego i Projektu Budowlanego, rysunki lokalizacji urządzeń brd powinny być wykonane w większej skali (gdyż rozwiązania przedstawione na rysunkach, często różnią się od rozwiązań zastosowanych na drodze) poparte szczegółowymi analizami zasadności stosowania urządzeń brd, wyboru ich rodzaju oraz parametrów (poziom powstrzymywania, szerokość pracująca, wskaźnik intensywności zderzenia itp.).

W pierwszym etapie projektowania urządzeń brd powinna być przeprowadzona analiza zasadności ich stosowania, przyjmując zasadę, że niepotrzebnie lub źle zastosowane urządzenia brd stanowią potencjalne źródła zagrożeń dla uczestników ruchu drogowego.

Przy projektowaniu nowych rozwiązań dla dróg ekspresowych i autostrad zalecanym rozwiązaniem jest rezygnacja z bariery ochronnych wzdłuż łącznicy (gdzie tylko jest to możliwe, szczególnie na początkowych odcinkach), poprzez eliminację przeszkód stałych (słupów, podpór, głębokich

rowów, ścian itp.) w odległości min. 50 m od nosa wyspy i takie ukształtowanie skarp (np. pochylenie 1:3 – 1:5), rowów i przepustów, by był możliwy do uzyskania efekt tzw. „płaskiego nosa”. W efekcie byłaby możliwa przestrzeń „wybaczająca błędy” kierowcy i tym samym podniesiony byłby poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w tym obszarze.

Geometria węzła, a w szczególności obszarów wyłączenia łącznic zjazdowych z jezdni głównej lub drogi zbierająco-rozprowadzającej (ustalana na etapie Projektu Konceptyjnego i Projektu Budowlanego) powinna być tak skonstruowana, aby była możliwość zaprojektowania odpowiednich powierzchni wyłączonych z ruchu (stref dylematu) i poboczy stanowiących obszar wybaczający błędy. Im większy promień łącznicy i mniejszy kąt jej wyłączenia, tym lepiej można zaprojektować bezpieczne otoczenie oraz poprawnie usytuować ewentualne urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego.

### Identyfikacja problemów wymagających badań i analiz urządzenia energochłonnego U-15a SafeEnd

Na podstawie przeprowadzonych analiz, zidentyfikowano kilka głównych grup problemów ze stosowaniem urządzeń SE, wymagających szczegółowych badań i analiz, a w szczególności:

- 1) Czy urządzenia SE mogą być stosowane jako urządzenie hybrydowe spełniające rolę zarówno terminala energochłonnego, jako zakończenia bariery i poduszki energochłonnej ustawianej przed przeszkodą?
- 2) Czy można usprawnić widoczność osłon energochłonnych, w tym urządzeń SE?
- 3) Jakie powinny być zasady projektowania osłony energochłonnej na rozwidleniach dróg i w miejscach wyłączenia łącznicy z drogi głównej?

## Urządzenie energochłonne U-15a SafeEnd

### Konstrukcja

Urządzenia SE wykonane są ze stalowych elementów i są zabezpieczone przed korozją przez cynkowanie ogniowe zgodnie z PN-EN ISO 1461. Końcowa część SE składa się z: belki prowadzącej „kręgosłupa” o prostokątnym przekroju,

która ma przednią część umieszczoną niemal na poziomie gruntu i unosi się w kierunku końca; konstrukcji kotwiącej i wsporczej dla urządzenia; oraz zamkniętej przesuwnej stalowej skrzynki zderzeniowej (zderzaka) z odkształcalną częścią czołową (rys. 6), która ma za zadanie pochłanianie energii uderzającego w nią czołowo pojazdu. Zderzak jest połączony z belką prowadzącą za pomocą paska napinającego hamulec, który przechodzi przez zestaw cylindrów hamulcowych znajdujących się w najniższej części belki prowadzącej.

### Zasada funkcjonowania

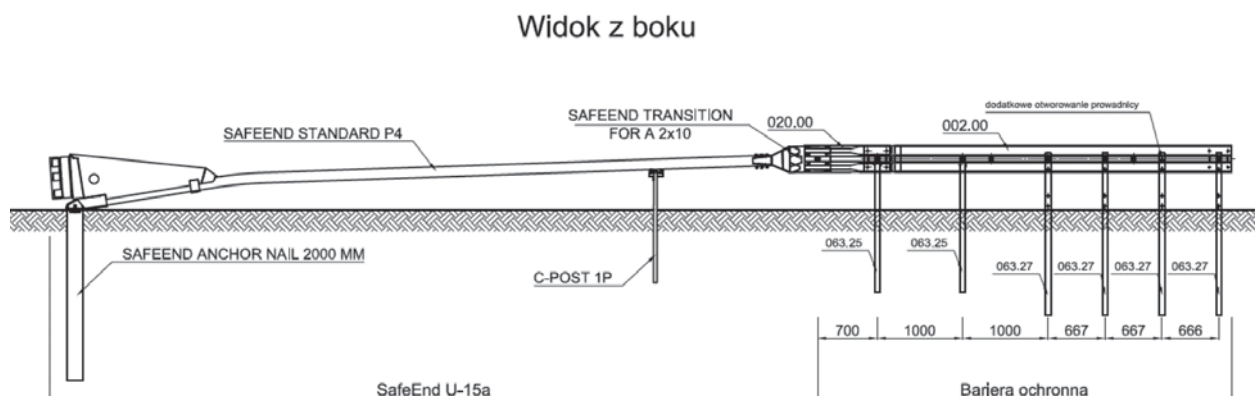
Urządzenie SE montowane są na zakończeniach barier stalowych, betonowych i linowych, jako końcówki zderzeniowe (terminale zderzeniowe) lub osłony energochłonne U-15a. Wyposażone są one w element amortyzujący (zderzak – patrz rysunek 5 i 6) pochłaniający energię uderzenia. Pod wpływem uderzenia pojazdu zderzak deformuje się i jest prowadzony wzdłuż prowadzącej belki grzbietowej usytuowanej w kierunku jazdy. Do zderzaka przymocowany jest pasek napinający hamulec, który w momencie uderzenia przeciągany jest nad rolkami razem ze skrzynką, a cały układ absorpcyjny jest aktywowany i stopniowo zwalnia wraz ze wzrostem oporu ruchu pojazdu. W ten sposób energia generowana przez kolizję jest absorbowana, co powoduje zatrzymanie pojazdu na torze określonym przez długość belki prowadzącej przy zachowaniu granicznego poziomu przeciążeń.

Urządzenie SE może stanowić zakotwienie dla barier ochronnych (stałych i tymczasowych), ale przy przejmowaniu energii uderzenia pojazdu (poza sytuacjami uderzenia bocznego w połączenie z barierą) pracuje jako konstrukcja w pełni samonośna, która nie przekazuje sił na barierę. W zależności od sposobu zamontowania barier ochronnych, mogą być stosowane jako obustronne, prawostronne lub lewostronne, nakierowujące.

### Zastosowanie

SafeEnd stanowi początkową i końcową część systemów barier ochronnych absorbującą energię kinetyczną generowaną przez uderzenie pojazdu. W odróżnieniu od zwykłych zakończeń barier ochronnych prowadzonych do ziemi, SE

Rys. 6. Schemat geometryczny i wymiary osłony urządzenia SE



eliminuje możliwość wybicia w górę i wywrócenia pojazdu. Urządzenie SE może być stosowane na drogach jednojezdniowych i dwujezdniowych, zarówno na poboczach, jak i w pasach dzielących w miejscach, gdzie występuje ryzyko uderzenia pojazdu w czoło bariery lub gdzie obserwowane są częste przypadki kolizji pojazdów z odcinkami początkowymi barier. SE jest końcową częścią bariery energochłonnej klasy funkcjonalnej P4 oraz odpowiednio T110.

Urządzenie SE stosowane jest najczęściej w pięciu podstawowych konfiguracjach połączenia z drogowymi barierami ochronnymi. Do przykładów konfiguracji połączeń i rozwiązań zastosowanych na drogach zalicza się:

- połączenie z barierą jednostronną 1x jako odcinek początkowy (np. zjazd na łącznicę),
- połączenie z barierą dwustronną – jako odcinek początkowy (np. zakończenie bariery rozdzielającej przekrój 1 + 1, zwieńczenie krótkiego odcinka bariery),
- połączenie z barierą jednostronną 2x – odgięcie dwustronne symetryczne (np. zjazd na łącznicę, jezdnia zbierająco-rozprowadzająca),
- połączenie z barierą jednostronną 2x – odgięcie jednostronne (np. zakończenie barier na zjeździe na łącznicę, zjazd na łącznicę),
- połączenie z barierą linową jednostronną 2x – odgięcie jedno- i dwustronne (np. połączenie z barierą linową przy zjeździe na łącznicę).

## Badania funkcjonowania

W celu uzyskania odpowiedzi na sformułowane wcześniej problemy funkcjonowania urządzeń SE wykorzystano wyniki przeprowadzonych badań poligonowych oraz przeprowadzono badania symulacyjne [9].

### Badania poligonowe

Urządzenie SE zostało przetestowane przez producenta zgodnie z normą dla połączeń i końcówek zderzeniowych oraz zgodnie z normą dla poduszek zderzeniowych. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2.

Badania poligonowe zgodne z normą dla połączeń i końcówek zderzeniowych przeprowadzono zgodnie z normą prEN 1317-4 dla pojazdu jadącego z prędkością 110 km/h i pomyślnie przeszło testy zderzeniowe klasy funkcjonalnej

P4 (TT 2. 1. 100, TT 1. 3. 110, TT 4. 3. 110, TT 5. 1. 100), co oznacza że urządzenie spełnia wszystkie kryteria określone w tej normie. Urządzenie przetestowano także zgodnie z najnowszym projektem normy prEN 1317-7 zastępującą aktualną pre-normę prEN 1317-4, gdzie również pomyślnie przeszło testy zderzeniowe dla klasy funkcjonalnej T110 (TT 2. 1. 100, TT 1. 3. 110, TT 4. 3. 110, TT 5. 1. 100, TT 3. 3. 110, TT 6. 3. 110) i spełniło wszystkie kryteria zawarte w tej normie.

Dodatkowo przeprowadzono badania poligonowe zgodnie z normą dla poduszek zderzeniowych PN-EN 1317-3, gdzie również pomyślnie przeszło wszystkie wymagane testy zderzeniowe dla najwyższej klasy prędkości 110 km/h.

Należy zaznaczyć, że różnice w poziomie intensywności zderzenia, pomiędzy częściami normy, wynikają z faktu, że do określenia klasy intensywności zderzenia dla produktu, przyjmuje się wartość intensywności zderzenia z testu z najgorszym wynikiem ASI ze wszystkich testów. Uzyskany poziom ASI B dla części 4 i 7 normy EN 1317, wynika z wyniku badania testu, który nie występuje w części 3 normy EN 1317. Jest to uderzenie pojazdem 900 kg, uderzenia boczne pod kątem 165°.

Pozytywne wyniki testów poligonowych urządzenia U15-a SafeEnd przeprowadzonych zgodnie z normą prEN 1317 część 4, są dowodem na to, że urządzenie działa prawidłowo jako terminal zderzeniowy. Testy zderzeniowe przeprowadzone wg normy prEN-1317 część 7, która jest nowszą, bardziej zaawansowaną metodą badawczą dla terminali zderzeniowych i połączeń, potwierdza poprawne działanie urządzenia wg kryteriów dokładniejszej, bardziej rygorystycznej procedury badawczej. Metoda oceny zgodna z prEN 1317-7 zapewnia, że osłona energochłonna została przebadana w przypadku wszystkich sposobów najazdu pojazdu testowego, jakie są wymagane wg EN 1317 część 3, czyli 5 testów zderzeniowych:

- najazd od przodu, uderzenie w środek pod kątem 0°,
- najazd od przodu, uderzenie z przesunięciem o ¼ szerokości pojazdu,
- najazd od przodu, uderzenie w środek pod kątem 15°,
- najazd i uderzenie boczne pod kątem 15°,
- najazd i uderzenie boczne pod kątem 165°.

**Dodatkowo** (czego nie przewiduje 3 część normy EN 1317) przeprowadzono szósty test zderzeniowy – uderzenie boczne pod kątem 165° w połączenie osłony energochłonnej z drogową barierą ochronną, pojazdem o masie 1500 kg. Takie badanie jest szczególnie istotne w przypadku montażu osłon energochłonnych w celu zabezpieczenia najechania pojazdu na odcinek początkowy barier na rozjazdach lub łącznicach, gdzie istnieje ryzyko uderzenia pojazdu w połączenie osłony z barierą. Stosowanie osłon przebadanych tylko na część 3 normy EN 1317 nie gwarantuje poprawności działania połączenia bariery z osłoną.

Tabela 2. Wynikowe parametry testowe dla urządzenia SE

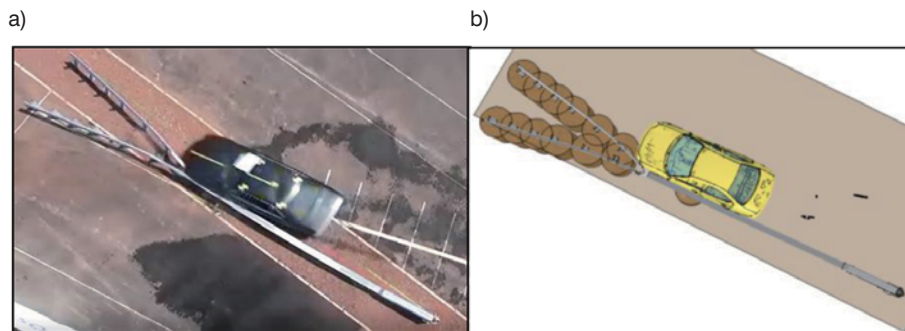
Zgodność normy:	PN-EN 1317-3	prEN 1317-4	prEN 1317-7
Klasa funkcjonalna	110	P4	T 110
Prędkość testowa	100 km/h, 110 km/h	100 km/h i 110 km/h	100 km/h i 110 km/h
Masa testowanego pojazdu	900 kg i 1 500 kg	900 kg i 1 500 kg	900 kg i 1 500 kg
Liczba testów zderzeniowych	6	4	6
Intensywność uderzenia ASI	A	B	B
Klasa nakierowania	Z2	Z1	Z3
Klasa przemieszczenia bocznego	D1	D1.1	S0.5 i T1.0
Powłoka cynkowa	Zgodnie z PN-EN ISO 1461	Zgodnie z PN-EN ISO 1461	Zgodnie z PN-EN ISO 1461



## Badania symulacyjne

W ramach szczegółowej analizy możliwości funkcjonowania SE w sytuacjach nie objętych normami, przeprowadzono badania symulacyjne. W ramach tych badań sprawdzono:

- 1) funkcjonowanie urządzenia energochłonnego w przypadku uderzenia pojazdu w prowadnicę urządzenia (w sposób podobny, jak w badaniach normowych), ale przy rozszerzeniu zakresu parametrów: prędkości uderzenia (zakres 50–110 km/h), kąta uderzenia (10–35°) oraz ukształtowania elementu przejściowego (2 rodzaje: dwustronne z odgięciem symetrycznym 10°, jednostronne z odgięciem 20°),
- 2) funkcjonowanie urządzenia energochłonnego, w przypadku uderzenia pojazdu poruszającego się z prędkością 110 km/h w prowadnicę urządzenia odłączoną od bariery,
- 3) funkcjonowanie połączenia urządzenia energochłonnego z barierą drogową zlokalizowaną na łącznicy, w przypadku uderzenia pojazdu poruszającego się równoległe do prowadnicy urządzenia z prędkością 50–110 km/h (rys. 7b),



Rys. 7. Widok uderzenia pojazdu w połączenie urządzenia SE z barierą: a) test poligonowy, b) test symulacyjny

Tabela 3. Testy zderzeniowe przeprowadzone dla urządzenia SE wg normy EN1317

Kod testu	Rodzaj najazdu	Masa pojazdu	Poduszki zderzeniowe		Terminale zderzeniowe			
			PN-EN 1317-3		pr EN 1317-4		pr EN 1317-7	
			Wymagane	Zrealizowane	Wymagane	Zrealizowane	Wymagane	Zrealizowane
1.1	Uderzenie czołowe 0°	900	×	×				
1.3		1500	×	×	×	×	×	×
2.1	Uderzenie czołowe 0° z przesunięciem ¼	900	×	×	×	×	×	×
3.3	Uderzenie czołowe 15°	1500	×	×			×	×
4.3	Uderzenie boczne 15°	1500	×	×	×	×	×	×
5.1	Uderzenie boczne 165°	900			×	×	×	×
5.3		1500	×	×				
6.3	Uderzenie boczne 165° w połączenie	1500					×	×

- 4) funkcjonowanie bariery drogowej zlokalizowanej na łącznicy o promieniu 30, 50 i 100 m, w przypadku uderzenia w nią pojazdu poruszającego się z prędkością 50–110 km/h.

Uzyskane wyniki wykorzystano do oceny funkcjonowania urządzeń SE oraz opracowania wytycznych jego stosowania.

## Ocena funkcjonowania urządzenia energochłonnego U-15a SafeEnd

### Możliwość stosowania urządzenia SafeEnd jako urządzenie energochłonne hybrydowe

Przeprowadzone badania pozwoliły na pozytywne rozwiązanie problemu nr 1 i stwierdzenie, że urządzenia SE mogą być stosowane jako urządzenie energochłonne hybrydowe spełniające rolę zarówno terminala energochłonnego zakończenia bariery, jak i poduszki zderzeniowej ustawianej przed przeszkodą.

Urządzenie SE uzyskało pozytywne wyniki badań testów zderzeniowych wymaganych wg normy EN 1317 część 3, 4 i 7. W tabeli 3 i na rysunku 8 przedstawiono zestawienie

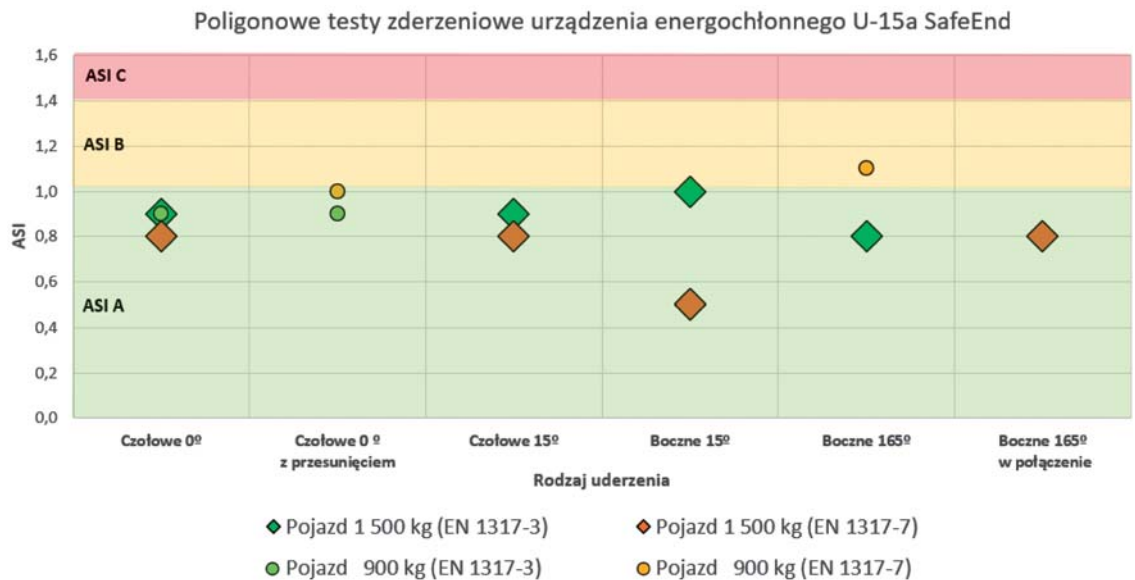
zbiorcze przeprowadzonych testów zderzeniowych dla pojazdu o masie 900 kg i pojazdu o masie 1500 kg.

Urządzenie SE uzyskało pozytywne wyniki badań numerycznych testów zderzeniowych w zakresie:

- 1) uderzenia pojazdu (o masie 1,5 tony) w urządzenie pod różnymi wartościami kąta KAT (10° – 35°) i dla różnych wartości prędkości uderzenia pojazdu w urządzenie  $V_p$  (50 km/h, 70 km/h, 110 km/h) – rysunek 9a,
- 2) uderzenia pojazdu w odcinek bariery położony za połączeniem z urządzeniem energochłonnym *SafeEnd* pod kątem KAT = 10° i prędkości uderzenia pojazdu w barierę  $V_p$  (50 km/h, 70 km/h, 110 km/h),
- 3) uderzenia bocznego pojazdu w barierę za urządzeniem energochłonnym *SafeEnd* pod różnymi wartościami kąta KAT (10° – 35°) i dla różnych wartości prędkości uderzenia pojazdu w urządzenie  $V_p$  (50 km/h, 70 km/h, 110 km/h) oraz na łącznicach o promieniu łuku R (30 m; 50 m; 100 m) – rysunek 9b.

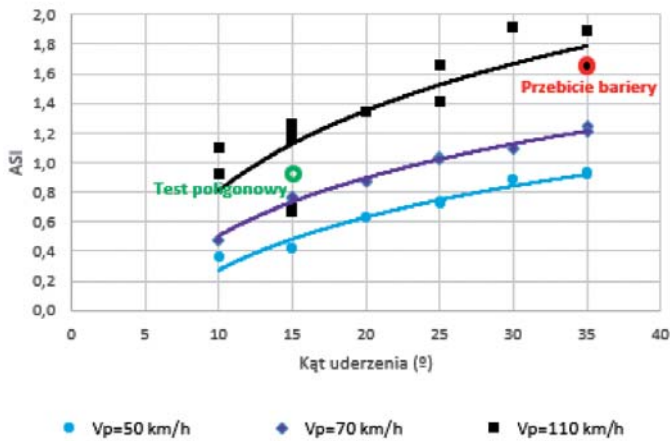
Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia, analizowane urządzenie energochłonne *SafeEnd*, należy zaliczyć do grupy osłon energochłonnych. Urządzenia SE przebadane wg prEN 1317 część 7 jest przebadana dokładniej niż w przypadku normy EN 1317 część 3 lub 4. Urządzenie przewyższa swoją funkcjonalnością techniczną oraz poziomem bezpieczeństwa tradycyjne poduszki zderze-

Rys. 8. Wyniki badań wskaźnika ASI uzyskane podczas poligonowych testów zderzeniowych urządzenia SE



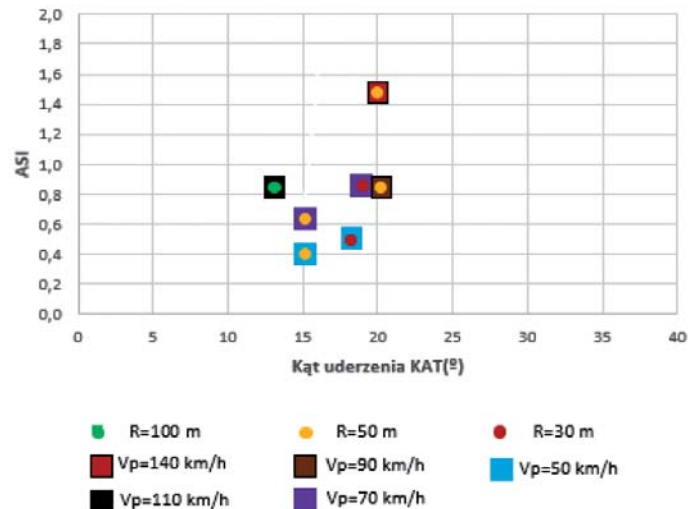
a)

Uderzenia boczne w urządzenie energochłonne SafeEnd U-15a

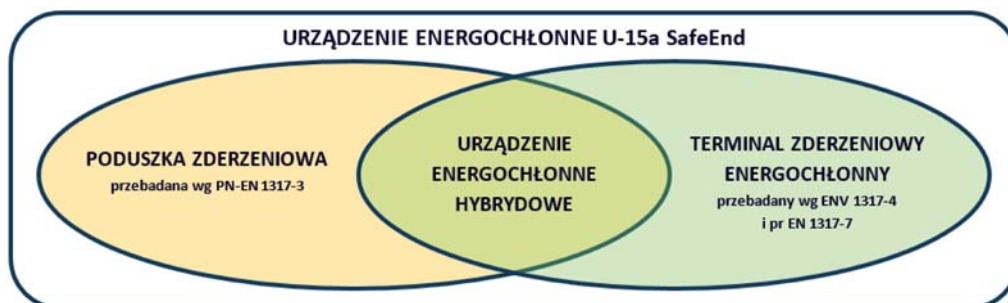


b)

Uderzenia pojazdu w barierę za urządzeniem energochłonnym SafeEnd U-15a



Rys. 9. Wartości współczynnika ASI uzyskane w wyniku symulacji numerycznych uderzenia pojazdu: a) w prowadnicę urządzenia SE, b) w barierę ochronną za urządzeniem energochłonnym SafeEnd



Rys. 10. Klasyfikacja urządzenia SE wg przeprowadzonych badań normy EN 1317

niowe i terminale energochłonne, co sprawia, że można je określić jako urządzenie innowacyjne. Innowacją w tym przypadku jest to, że urządzenie może w określonych warunkach

pracować (np. na rozjazdach) pracować hybrydowo – jak poduszka zderzeniowa [10] lub terminal zderzeniowy energochłonny – łącząc zalety obu tych grup urządzeń (rys. 10).

### Widoczność urządzenia energochłonnego SafeEnd U-15a

Przeprowadzone analizy pozwoliły także na pozytywne rozwiązanie problemu nr 2 i stwierdzenie, że można polepszyć widoczność czoła urządzenia energochłonnego SE.

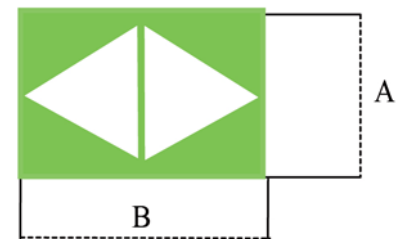
- Analizowane urządzenie energochłonne U-15a można usprawnić pod względem widoczności na kilka sposobów:
- 1) zmiana koloru (kontrastu) powierzchni czołowej urządzenia,
  - 2) spłaszczenie i zwiększenie powierzchni czołowej urządzenia (bez ingerencji w cechy konstrukcyjne urządzenia),
  - 3) zastosowanie znaków U-4 lub U-9 z fluorescencyjnym tłem za urządzeniem na rozjazdach.

Kolor powierzchni czołowej urządzenia. Ważnym elementem wpływającym na postrzegalność urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego przy drogach (w tym urządzeń energochłonnych) jest ich widoczność. Aby zapewnić dobrą widoczność oznakowania z odległości, która pozwala kierującemu pojazdem jego dostrzeżenie, odczytanie i prawidłową reakcję, do wykonania oznakowania należy stosować znaki o konkretnych wymiarach i typie materiałów odbłaskowych (w zależności od rodzaju drogi, na której są stosowane) a także o jak najwyższym kontraście między zastosowanymi kolorami. Kontrastem nazywa się łączenie dwóch kolorów różniących się od siebie, przez co zwracających na siebie uwagę. Za pomocą zestawu odpowiednio kontrastowych barw można stymulować np. uwagę kierowców na drodze. Kontrast barwny można uzyskać zestawiając ze sobą kolory ciepłe i zimne (np. niebieski – żółty, zielony – żółty). Zauważyć można również, że kontrastowość barw dotych-

czas stosowanych do znakowania urządzeń energochłonnych na polskich drogach (tj. kolor zielony i biały), może być niewystarczająca ze względu na często występujące zielone tło otoczenia drogi. W związku z tym, w celu usprawnienia widoczności urządzeń energochłonnych, w tym urządzenia energochłonnego SE zaproponowano (tab. 4), aby kolory oznaczenia czoła urządzenia materiałem odbłaskowym występowały w barwach:

- biało-czerwony lub czarno-biały – urządzenie zlokalizowane poza skrajnią jezdni,
- żółto-czarny – urządzenie zlokalizowane w skrajni jezdni (wymaga zmiany przepisów o znakach i sygnałach [1]),
- czerwono-żółty – urządzenie zlokalizowane w obszarze robót drogowych.

Powierzchnia czołowa urządzenia energochłonnego. Kolejnym elementem mogącym poprawić w postrzegalność urządzenia SE jest zmiana powierzchni czołowej widzianej przez kierowcę (rys. 11).



Rys. 11. Powierzchnia czołowa urządzeń energochłonnych

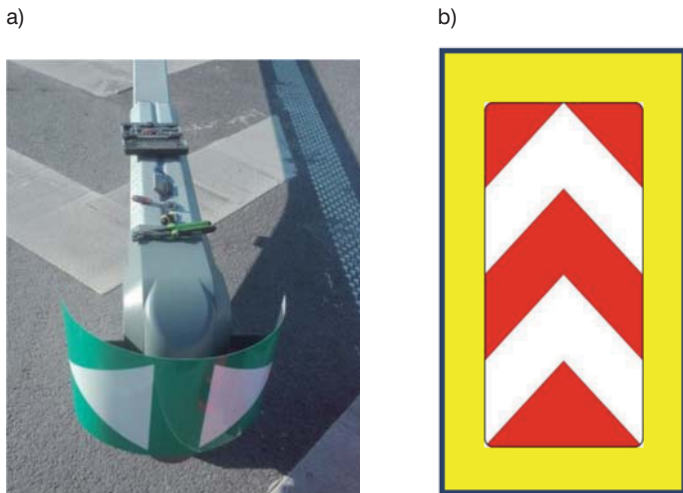
Tabela 4. Zalecane przykłady oznakowania czoła urządzeń energochłonnych

	Oznakowanie powierzchni czołowej urządzeń zlokalizowanych poza skrajnią jezdni	Oznakowanie powierzchni czołowej urządzeń zlokalizowanych w skrajni jezdni	Oznakowanie powierzchni czołowej urządzeń zlokalizowanych w obszarze prowadzenia robót drogowych
Pobocze			
Pas dzielący/rozjazdy na łącznicach			
Do czasu zmiany przepisów (okres przejściowy)			

Na podstawie przeprowadzonych analiz zaleca się, aby powierzchnia czołowa urządzeń energochłonnych, w tym urządzenia energochłonnego SE, wynosiła odpowiednio:

- dla autostrad i dróg ekspresowych:  $A \times B \geq 0,18 \text{ m}^2$  (np.  $0,30 \text{ m} \times 0,60 \text{ m}$ )
- dla pozostałych dróg dwujezdniowych:  $A \times B \geq 0,15 \text{ m}^2$  (np.  $0,25 \text{ m} \times 0,60 \text{ m}$ )
- dla dróg miejskich i jednojezdniowych:  $A \times B \geq 0,12 \text{ m}^2$  (np.  $0,25 \text{ m} \times 0,50 \text{ m}$ )

Zastosowanie znaków z fluorescencyjnym tłem za urządzeniem na rozjazdach. Na rysunku 12 przedstawiono przykład powiększonej powierzchni oznakowania czoła urządzenia SE, zaproponowanego przez producenta urządzenia oraz propozycję fluorescencyjnego tła znaku U-9 na rozjazdach. W przypadku powiększenia powierzchni oznakowania, która nie jest umocowana do urządzenia, nie może być ona traktowana jako część konstrukcyjna, wpływająca na odległość urządzenia od krawędzi pasa ruchu.



Rys. 12. Proponowane oznakowanie urządzenia SE: a) powiększenie powierzchni oznakowania czoła, b) fluorescencyjne tło znaku U-9 na pojazdach

## Zasady projektowania urządzenia energochłonnego SafeEnd U-15a w obszarze węzłów drogowych

Z analizy rozwiązań projektów rozjazdów przy węzłach już istniejących dróg wynika, że większość rozjazdów została zaprojektowana w sposób utrudniający właściwe z punktu widzenia BRD stosowanie osłon energochłonnych każdego typu i kształtu. W wielu przypadkach nie ma możliwości poprawnego zainstalowania osłony energochłonnej U-15a, w związku z tym stosuje się osłony U-15b, które nie zapewniają bezpieczeństwa użytkownikom lub osłony U-15a w sposób znacząco ingerujący w skrajnię drogi (czoło osłony wysunięte w stronę pasa jezdni głównej, znajdujące się na przedłużeniu szerokości pasa awaryjnego na powierzchni wyłączonej z ruchu). W takich przypadkach, każdorazowo należy przeprowadzić analizę ryzyka dedykowaną konkretnej lokalizacji i zastosować rozwiązanie o najniższym ryzyku.

## Zasady stosowania urządzenia energochłonnego SafeEnd na rozwidleniach dróg i w miejscach wyłączenia łącznicy na węzle drogowym

Przeprowadzone analizy pozwoliły na określenie zasady projektowania urządzenia energochłonnego na rozwidleniach dróg i w miejscach wyłączenia łącznicy z drogi głównej na węzłach (jako odpowiedź na postawione problemy), a w szczególności dotyczące: usytuowania osłon energochłonnych w stosunku do skrajni drogi i pasa awaryjnego, kąta odchylenia urządzenia energochłonnego i bariery położonej wzdłuż jezdni głównej współpracującej z tą osłoną, połączenia osłony energochłonnej z barierą biegnącą wzdłuż łącznicy, kąta ustawienia bariery drogowej za urządzeniem SE na łącznicy węzła.

Usytuowanie urządzenia SE. Wykorzystując wyniki badań poligonowych i symulacyjnych opracowano wymagania dotyczące ustawienia prowadnicy urządzenia SE. Aby ograniczyć prawdopodobieństwo przebicia w urządzeniu SE przez

pojazd w nie uderzający, należy tak ustawiać urządzenie, aby energia kinetyczna poprzeczna EKL pojazdu nie była większa niż 700 kJ. Jednakże duża sztywność urządzenia energochłonnego może powodować zbyt duże wskaźniki intensywności zderzenia pojazdu z urządzeniem. W celu osiągnięcia dopuszczalnych wartości wskaźnika ASI (A lub B) należy tak ustawić prowadnicę urządzenia SE, aby kąt uderzenia pojazdu w prowadnicę KAT, w zależności od prędkości pojazdu  $V_p$  był zgodny z zasadami przedstawionymi w tabeli 5.

Tabela 5. Zalecane wartości kąta KAT uderzenia pojazdu w urządzenie SE

Prędkość uderzenia bocznego pojazdu w urządzenie $V_p$ (km/h)	Dopuszczalny kąt uderzenia pojazdu KAT w prowadnicę urządzenia SafeEnd	
	Poziom intensywności zderzenia pojazdu z barierą ASI	
	A	B
110	$\leq 15^\circ$	$15^\circ - 20^\circ$
70	$\leq 25^\circ$	$25^\circ - 35^\circ$ (zakres badań)
50	$\leq 35^\circ$	$> 35^\circ$ (zakres badań)

Maksymalny kąt odchylenia urządzenia energochłonnego i bariery ochronnej położonej wzdłuż jezdni głównej współpracującej z tą osłoną nie powinien przekraczać względem pasa ruchu odpowiednio:

- $\leq 15^\circ$  dla prowadnicy osłony energochłonnej,
- $5^\circ - 7^\circ$  dla bariery ochronnej.

Osłona energochłonna SE musi być połączona z barierą ochronną biegnącą wzdłuż łącznicy. Przeprowadzone badania zderzeniowe i symulacyjne potwierdziły, że urządzenie energochłonne SE, aby prawidłowo pracowało, musi być połączone z barierą (barierami) zlokalizowanymi poza urządzeniem. W przypadku braku połączenia urządzenia SafeEnd z barierą, pojazd po uderzeniu w prowadnicę urządzenia SE przesunął urządzenie i uderzył w czoło bariery zlokalizowanej za urządzeniem SE.

Kąt ustawienia bariery drogowej za urządzeniem SE na łącznicy. Wykorzystując syntetyczne wyniki badań wpływu kąta KAT uderzenia bocznego i prędkości uderzenia pojazdu  $V_p$  w barierę zlokalizowaną na łącznicy poza urządzeniem SE na energię kinetyczną poprzeczną EKL i wskaźnik intensywności zderzenia ASI, opracowano wymagania dotyczące ustawienia bariery drogowej. Aby ograniczyć prawdopodobieństwo przebicia bariery drogowej o poziomie powstrzymania N2 usytuowanej w ciągu łącznicy za urządzeniem SE przez pojazd w nią uderzający, należy tak ustawiać barierę, aby energia kinetyczna poprzeczna EKL nie była większa niż 200 kJ. Jednakże duża sztywność bariery może powodować wystąpienie zbyt dużej intensywności zderzenia pojazdu z urządzeniem. W celu osiągnięcia dopuszczalnych wartości wskaźnika ASI (A lub B) należy tak ustawić barierę ochronną za urządzeniem SE, aby kąt uderzenia pojazdu w prowadnicę bariery KAT, w zależności od prędkości pojazdu  $V_p$  był zgodny z zasadami przedstawionymi w tabeli 6.

Tabela 6. Zalecane wartości kąta KAT uderzenia pojazdu w barierę drogową za urządzeniem SE

Prędkość uderzenia bocznego pojazdu w barierę drogową $V_p$ (km/h)	Dopuszczalny promień łącznicy na odcinku usytuowania bariery ochronnej $R$ (m)	Dopuszczalny kąt uderzenia pojazdu KAT	
		Poziomy intensywności zderzenia pojazdu z barierą ASI	
		A	B
110	$\geq 100$	$\leq 15^\circ$	$15^\circ - 20^\circ$
70	$\geq 50$	$\leq 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$
50	$\geq 30$	$\leq 35^\circ$	$> 35^\circ$ (zakres badań)

### Zasady usytuowania urządzenia energochłonnego SafeEnd w miejscach wyłączenia łącznicy na węźle drogowym

Wykorzystując wyniki badań symulacyjnych przeprowadzono analizę wpływu usytuowania urządzenia SE w miejscach wyłączenia łącznicy z jezdni głównej na bezpieczeństwo uczestników ruchu w pojeździe. Analizę przeprowadzono dla:

- trzech scenariuszy geometrii łącznicy i warunków ruchu na łącznicy wyjazdowej z jezdni głównej drogi ekspresowej:
  - scenariusz S1: prędkość pojazdu  $V_p = 50$  km/h, łącznica o promieniu  $R = 30$  m,
  - scenariusz S2: prędkość pojazdu  $V_p = 70$  km/h, łącznica o promieniu  $R = 50$  m,
  - scenariusz S3: prędkość pojazdu  $V_p = 110$  km/h, łącznica o promieniu  $R = 100$  m;
- trzech wariantów usytuowania prowadnicy urządzenia energochłonnego SafeEnd na obszarze „nosa” rozjazdu:
  - wariant W1: położenie prowadnicy w obszarze „nosa”

(w skrajni drogi) równoległe do krawędzi jezdni głównej,

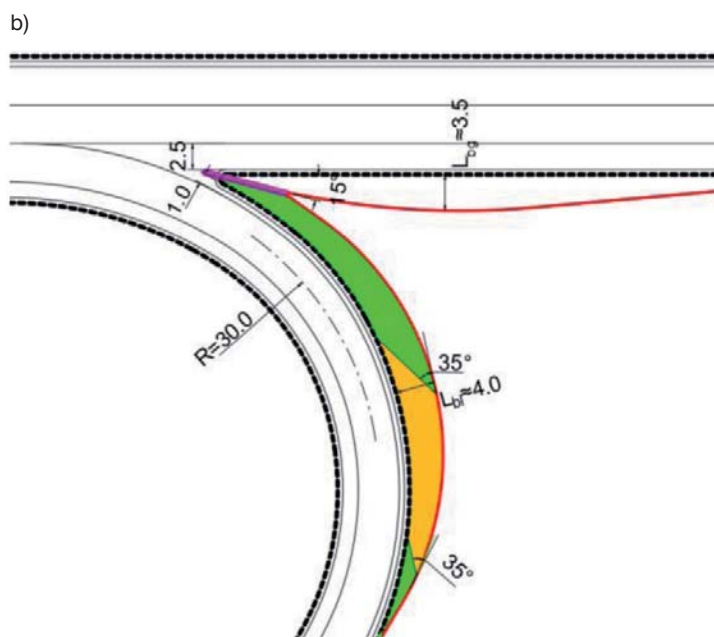
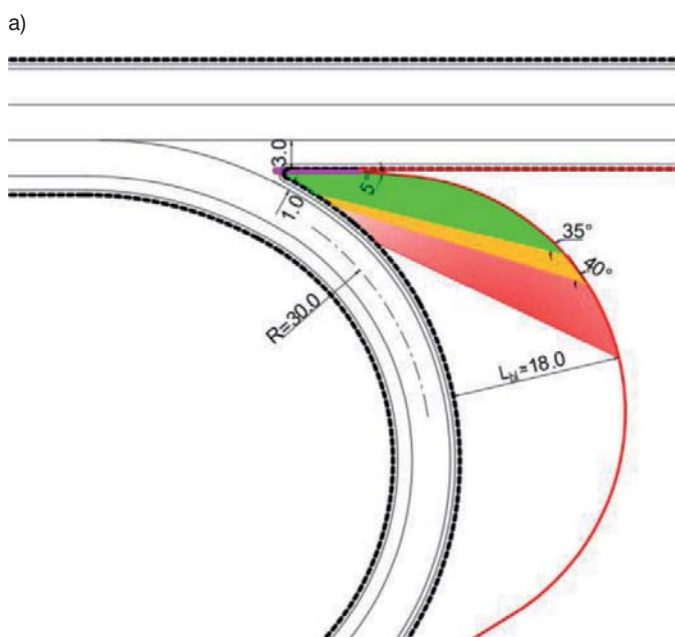
- wariant W2: położenie prowadnicy w obszarze „nosa” (w skrajni drogi) odchylone od krawędzi jezdni głównej,
- wariant W3: położenie prowadnicy poza obszarem „nosa” (poza skrajnią drogi) równoległe do krawędzi jezdni głównej.

W przypadku każdego scenariusza oszacowano ryzyko występowania zagrożeń wypadkami związanymi z wypadnięciem pojazdu z drogi i uderzeniem w urządzenie energochłonne lub w barierę zlokalizowaną za tym urządzeniem. Jako miarę ryzyka zagrożeń przyjęto wskaźnik intensywności zderzenia ASI, a granice klas ryzyka i poziomy akceptowalności ryzyka przedstawiono w tabeli 7.

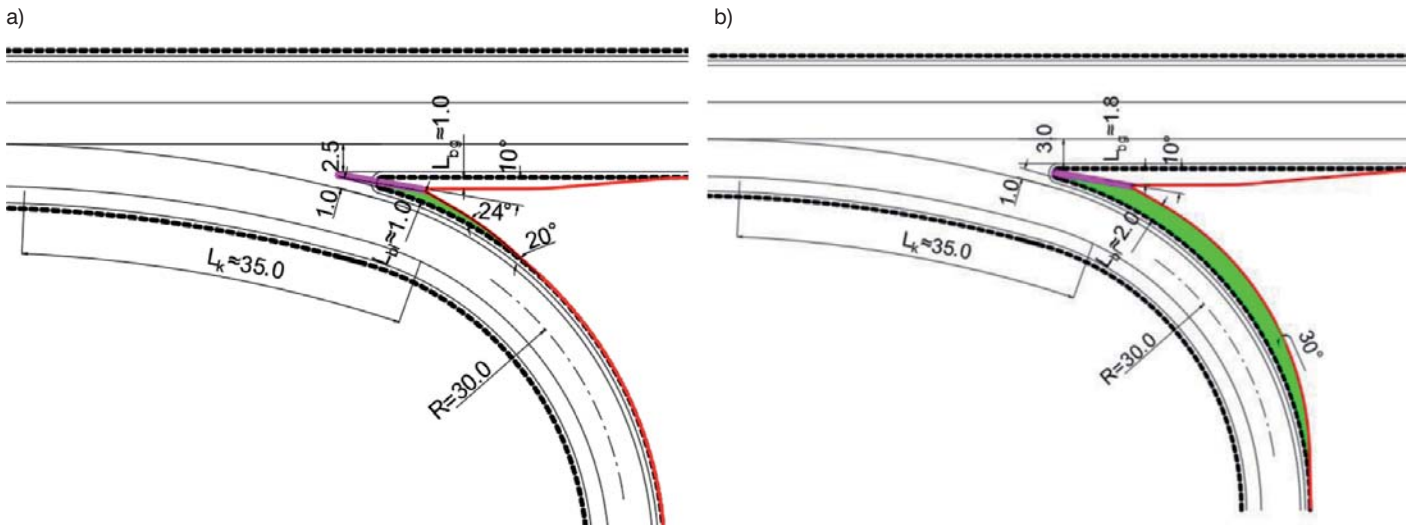
Tabela 7. Klasyfikacja ryzyka zagrożeń spowodowanych uderzeniem pojazdu w barierę na łącznicy węzła

Klasa ryzyka		Poziomy intensywności zderzenia		Poziomy akceptowalności ryzyka
Poziomy ryzyka	Kolor	Wskaźnik ASI	Klasa	
Małe i bardzo małe	Zielony	$\leq 1,0$	A	Dopuszczalne
Średnie	Pomarańczowy	$1,0 - 1,4$	B	Tolerowane
Duże i bardzo duże	Czerwony	$> 1,4$	C	Niedopuszczalne

Na rysunkach 13 i 14 przedstawiono schematycznie rozkłady przestrzenne poziomów ryzyka związane z ciężkością wypadków związanych z uderzeniem pojazdu w barierę na łącznicy o promieniu  $R = 30$  m zlokalizowaną za urządzeniem SE. Rozwiązanie przedstawione na rysunku 13a nie jest dopuszczalne. Przede wszystkim tak znaczące (ok. 18 m) odsunięcie bariery od skrajni jezdni łącznicy jest nie-



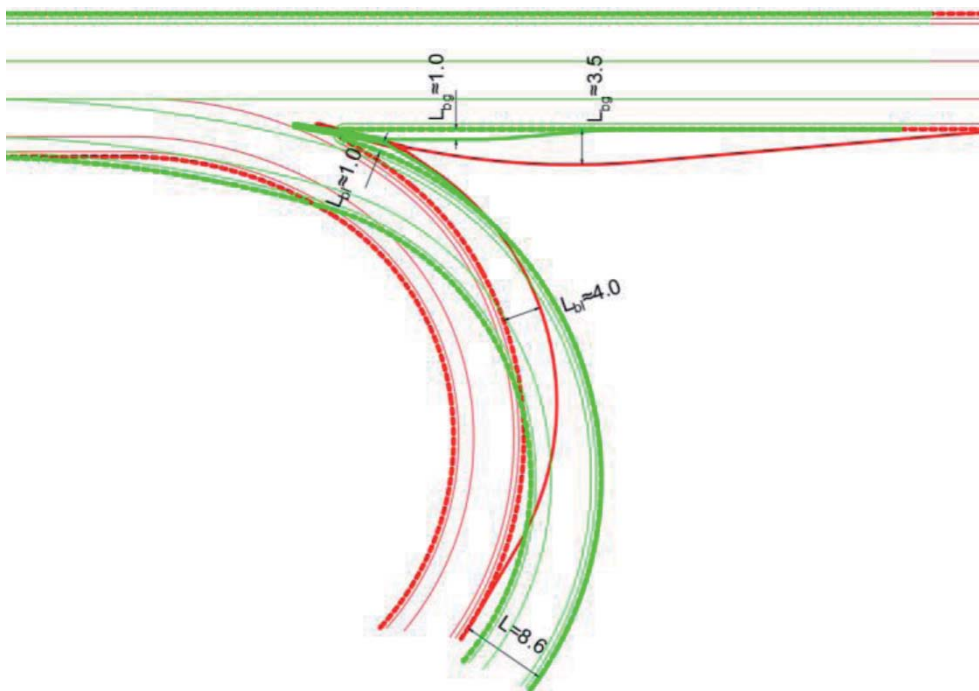
Rys. 13. Rozkład ryzyka uderzenia pojazdu w urządzenie SE lub barierę za tym urządzeniem zlokalizowaną na łącznicy wyjazdowej o promieniu 30 m i braku lub krótkiej krzywej przejściowej na węźle drogowym: a) wariant W1 położenia urządzenia energochłonnego, b) wariant W2 położenia urządzenia energochłonnego pod kątem  $15^\circ$



Rys. 14. Rozkład ryzyka uderzenia pojazdu w urządzenie SE lub barierę za tym urządzeniem zlokalizowaną na łącznicy wyjazdowej o promieniu 30 m i przy zastosowaniu długiej krzywej przejściowej na węźle drogowym: a) wariant W2 położenia urządzenia energochłonnego pod kątem 10°, b) wariant W3 położenia urządzenia energochłonnego pod kątem 10°

racjonalne. Takie położenie SE będzie możliwe w przypadku braku bariery wzdłuż łącznicy, co wiąże się z zapewnieniem pola wolnego od przeszkód. Rozwiązanie przedstawione na rysunku 13b nie jest poprawne ze względu na konieczność odsunięcia bariery od krawędzi skrajni jezdni głównej  $L_{bg}$  o ok. 3,5 m, a od krawędzi skrajni łącznicy  $L_{bl}$  o ok. 4,0 m. Powoduje to konieczność odsuwania również wszelkich zagrożeń w otoczeniu drogi, np. rowów odwadniających, lub przeszkód stałych.

Zdecydowanie bardziej poprawne jest rozwiązanie przedstawione na rysunku 14a, gdzie dodatkowo zastosowano



Rys. 15. Porównanie geometrii położenia systemów powstrzymujących pojazd przed wypadnięciem (dla wariantu W2) w przypadku promienia łącznicy  $R= 30$  m w przypadku braku krzywej przejściowej (kolor czerwony) oraz w przypadku zastosowaniu krzywej przejściowej o długości co najmniej 35 m (kolor zielony)

krzywą przejściową  $L_k$  o długości co najmniej 35 m. Takie rozwiązanie powoduje odsunięcie bariery ochronnej od krawędzi skrajni jezdni głównej  $L_{bg}$  i łącznicy  $L_{bl}$  o ok. 1,0 m. To rozwiązanie jest rekomendowane dla aktualnie realizowanych inwestycji drogowych, także przy większych promieniach łącznicy wyjazdowej.

Rozwiązaniem najkorzystniejszym z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego, jest rozwiązanie przedstawione na rysunku 14b, przy geometrii układu drogowego (krzywa przejściowa o długości co najmniej 35 m), urządzenie SE zostało zlokalizowane poza skrajnią jezdni, w tym również poza tzw. strefą dylematu („nos” przed łącznicą wyjazdową). Takie rozwiązanie skutkuje wprawdzie koniecznością większego odsunięcia bariery od krawędzi skrajni, ale jednocześnie występuje mniejsze narażenie na najechanie na SE od strony jezdni głównej. Rozwiązanie to jest rekomendowane dla nowo-projektowanych odcinków dróg.

Dodatkowo na rysunku 15 przedstawiono schematycznie porównanie zajętości terenu i położenie bariery względem jezdni głównej i łącznicy w przypadku wariantu W2 położenia urządzenia energochłonnego, a także w przypadku braku wydłużonej krzywej przejściowej (kolor czerwony) i w sytuacji, kiedy taka krzywa występuje o długości co najmniej 35 m (kolor zielony). Wprawdzie oś łącznicy w przypadku zastosowania wydłużonej krzywej przejściowej przesunie się o blisko 9,0 m, co spowoduje

je większą zajętość terenu, ale jednocześnie bariery będą znacznie mniej odsunięte od krawędzi jezdni, co będzie skutkowało mniejszymi kątami uderzenia przez wypadające z jezdni łączniczy pojazdy (mniejsze konsekwencje).

### **Podsumowanie zasad stosowania urządzeń energochłonnych SafeEnd**

Na podstawie charakterystyki potencjalnych rozwiązań projektowych z wykorzystaniem urządzeń SE, z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego należy przyjąć następujące zasady ich stosowania:

1. W przypadku realizowanych inwestycji drogowych należy przyjąć zasadę zachowania odległości najdalej wysuniętego elementu SE nie mniejszej niż szerokość pasa awaryjnego w przypadku dróg klasy A i S i nie mniejszej niż odległość krawędzi skrajni dla pozostałych dróg.
2. W przypadku nowo projektowanych inwestycji drogowych należy przyjąć zasadę lokalizacji urządzenia SE poza tzw. strefą dylematu, czyli poza krawędzią skrajni dla jezdni głównej dla dróg klasy A i S.
3. W przypadku łącznic o promieniach mniejszych od  $R = 70$  m, należy projektować krzywe przejściowe o długości co najmniej 35 m.

## **Wnioski i rekomendacje**

### **Wnioski**

Stosowanie urządzenia SE na rozwidleniach jezdni dróg ekspresowych i łącznic jako terminalu zderzeniowego na zakończeniu barier i poduszki zderzeniowej osłaniającej przeszkodę spotkało się licznymi zastrzeżeniami pracowników i audytorów brd w Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad.

Biorąc pod uwagę stawiane zarzuty i wątpliwości przeprowadzono zbiór testów zderzeniowych i badań symulacyjnych. Ich wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wyniki przeprowadzonych badań poligonowych (testy zderzeniowe) i symulacje numeryczne (testy symulacyjne) oraz analizy wyników tych badań potwierdzają, że oceniane urządzenie energochłonne *SafeEnd* U-15a jako innowacyjne, hybrydowe urządzenie energochłonne może być stosowane zarówno jako terminal energochłonny do osłony zakończenia barier, jak i poduszka energochłonna do osłony przeszkód zlokalizowanych w pobliżu drogi w określonych warunkach.
2. W uzasadnionych przypadkach, konieczne jest polepszenie widoczności urządzenia SE na drodze, poprzez zwiększenie powierzchni czoła urządzenia i zmianę kolorów, po zmianie obowiązujących przepisów.
3. Poprawna lokalizacja urządzenia SE w stosunku do skrajni drogi, pasa awaryjnego i na łącznicy węzła drogowego oraz prędkość pojazdu i promień łącznicy (kąt uderzenia pojazdu w barierę) wpływają na wielkość energii kinetycznej poprzecznej pojazdu uderzającego w barierę oraz wskaźnik intensywności zderzenia. Przeprowadzone badania i analizy umożliwiły opracowanie zasad poprawnej

lokalizacji urządzenia SE na drodze i zasad kształtowania połączenia bariery z tym urządzeniem.

### **Rekomendacje dalszych prac**

Przegląd lokalizacji stosowanych w Polsce urządzeń energochłonnych (terminali energochłonnych i poduszek energochłonnych) oraz porównanie do zasad stosowania tych urządzeń w innych krajach wskazuje na dużą dowolność stosowania tych urządzeń na drogach w Polsce. W celu rozwiązania tego problemu należy przeprowadzić badania i opracować:

- 1) zasady wyboru i lokalizacji urządzeń energochłonnych w zależności od rodzaju elementu drogi (zakończenie barier, rozjazd, łącznica) oraz prędkości dopuszczalnej,
- 2) zasady projektowania geometrycznego i organizacji ruchu na odcinku wyłączenia łącznic z jezdni głównej, uwzględniające poprawną lokalizację urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- 3) zasady informowania kierowców o dopuszczalnej prędkości na łącznicy (wcześniejsza lokalizacja znaku informującego o dopuszczalnej prędkości na łącznicy).

Uzyskane w ten sposób wyniki badań pozwolą na opracowanie wytycznych stosowania urządzeń energochłonnych oraz uzupełnienie wytycznych projektowania węzłów.

Artykuł został zaprezentowany na XIII Międzynarodowej Konferencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego GAMBIT 2020. Dofinansowano z Programu Doskonałości Naukowej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

### **Bibliografia**

- [1] Dz.U. 2311 z dnia 26.11.2019, „Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach”, 2019.
- [2] GDDKiA, *Wytyczne stosowania drogowych barier ochronnych na drogach krajowych*. Warszawa: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2010.
- [3] PrOWERk-ALPINA, Broszura – „Osłony energochłonne U-15a PrOWERk-ALPINA.”
- [4] PN-EN 1317-3, „Część 3: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań poduszek energochłonnych”, 2010.
- [5] Transportation Engineering Training Program, „Guardrail Systems Field Guide For Construction Engineers and Inspectors”, 2018.
- [6] E. Tomasch *et al.*, „Single vehicle run-off-road accidents colliding turned down terminals of guardrails”.
- [7] NCHRP 350, *Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features*. Transportation Research Board (TRB), 1992.
- [8] Ł. Jeliński, K. Jamroz, A. Gobis, K. Birr, B. Birr, „Projekt LifeRoSE, Raport Z4-KM8-RC.1: Badania wpływu rodzaju środków brd ich zmian, żywotności i funkcjonalności oraz warunków eksploatacyjnych na bezpieczeństwo ruchu drogowego”, Gdańsk, 2018.
- [9] Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, „Analiza i ocena funkcjonowania urządzenia energochłonnego U-15A (*SafeEnd*)”, Gdańsk, 2020.
- [10] M. Roads, „Road safety barrier systems, end treatments and other related road safety devices”, *Queensl. Government*, no. November, 2014.