

Organizatorzy:



**POLSKI KONGRES
DROGOWY**



Patronat:



Konwent Dyrektorów
Zarządów
Dróg Wojewódzkich



IV Pomorskie Forum Drogowe

Utrzymanie dróg

Gdańsk, 19-21.10. 2021



HYBRYDOWE URZĄDZENIA ENERGOCHŁONNE ORAZ ZASADY ICH STOSOWANIA NA OBIEKTACH DROGOWYCH

**Łukasz Jeliński, Kazimierz Jamroz, Marcin Budzyński, Anna Gobis,
Dawid Bruski, Stanisław Burzyński, Grzegorz Bagiński**

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej, Katedra Wytrzymałości Materiałów

Saferoad RRS Polska Sp z o.o.

Układ prezentacji

1. Wprowadzenie
2. Osłony energochłonne
3. Ocena funkcjonowania istniejących osłon energochłonnych
4. Obiekt badań
5. Badania poligonowe
6. Badania symulacyjne
7. Ocena funkcjonowania
8. Zasady projektowania
9. Wnioski i rekomendacje

Wprowadzenie – charakterystyka problemu

Od kilku lat na świecie stosowane są **urządzenia energochłonne spełniające rolę poduszki zderzeniowej oraz terminala energochłonnego**. Urządzenia energochłonne stosowane są do osłony zakończeń barier drogowych oraz osłon obiektów na drogach w Polsce i w innych krajach od kilku lat.

Przykładem takiego urządzenia jest np. Włoski system SMA T4 czy SafeEnd, jednakże pojawiły się w Polsce obawy do ich stosowania w szczególności jako osłon energochłonnych.

Największe zastrzeżenia budzą: brak certyfikatu, sposób połączenia z barierą, w związku z czym **postawiono następujące pytania badawcze**:

- 1) **Czy urządzenia energochłonne mogą spełniać rolę zarówno terminala energochłonnego i poduszki energochłonnej ustawianej przed przeszkodą?**
- 2) **Jakie powinny być zasady projektowania osłony energochłonnej na rozwidleniach dróg i w miejscach wyłączenia łącznicy z drogi głównej.**



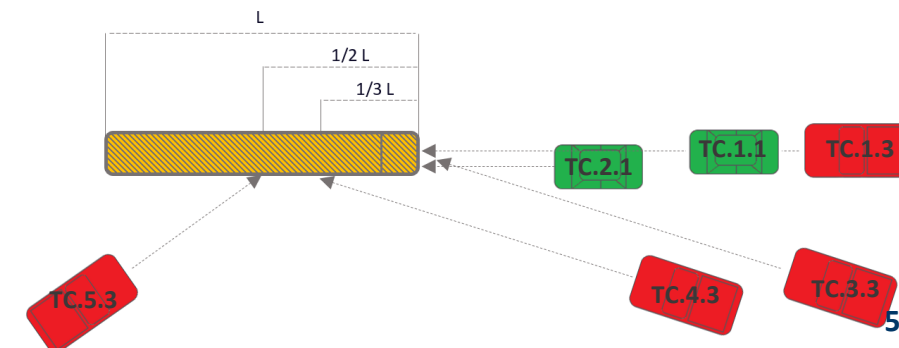
Ostony energochłonne – Poduszki zderzeniowe

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

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



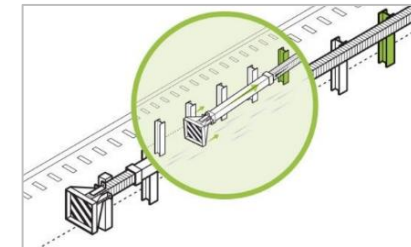
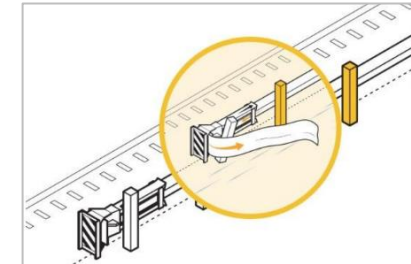
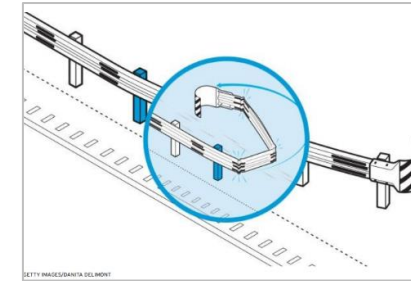
Poduszki zderzeniowe – PN EN 1317-3, Klasa 110



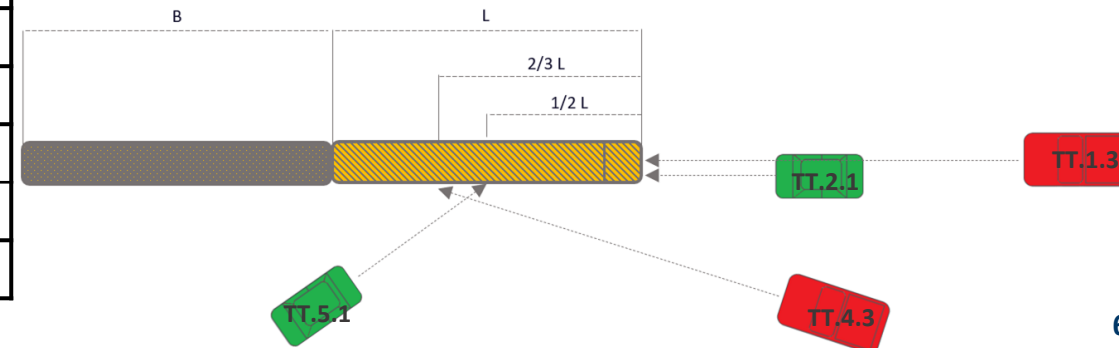
Ostony energochłonne – Terminale energochłonne

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

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



Terminale zderzeniowe – pr EN 1317-4, Klasa P4

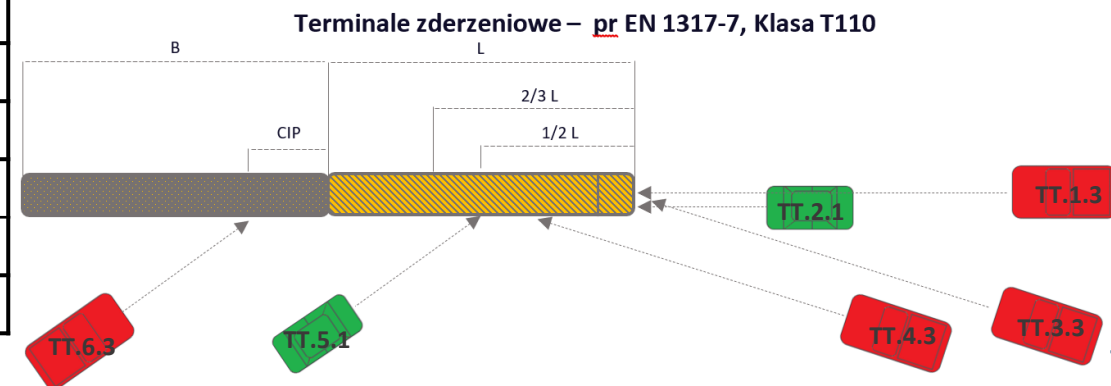


Ostony energochłonne – Urządzenia energochłonne hybrydowe

Urządzenia energochłonne hybrydowe, to rodzaj urządzenia 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.



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

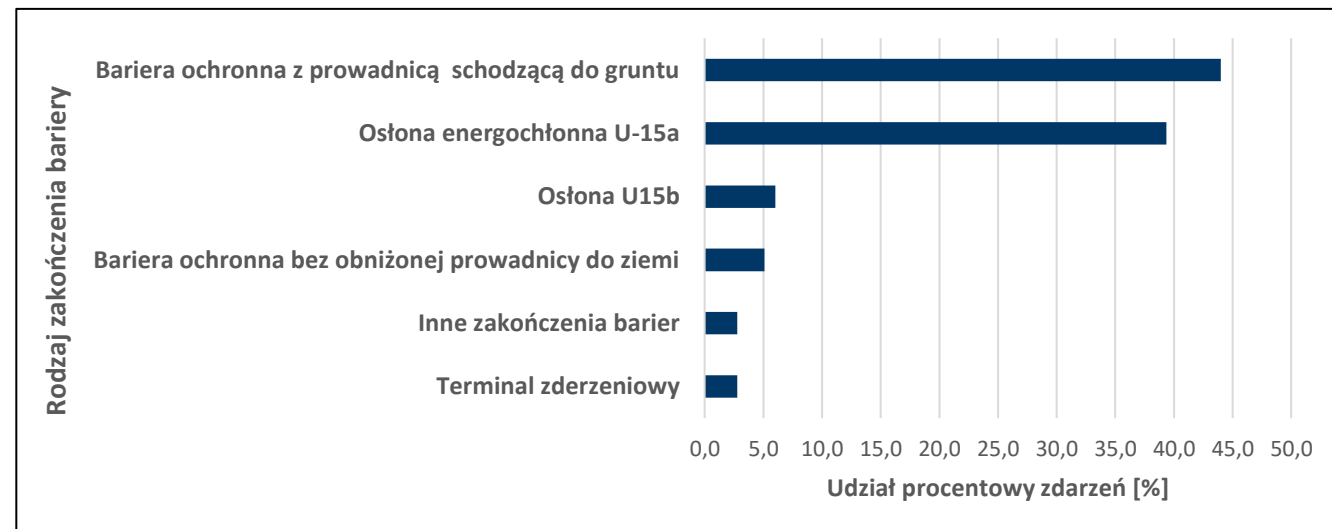


Ocena funkcjonowania istniejących osłon energochłonnych

Tab. 1 Zestawienie osłon i zakończeń barier na odcinkach dróg krajowych. (2018 rok)

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
A	880,5	10	934	1,0	106,0
S	703,9	70	514	10,4	73,0
G i GP	299,0	15	257	5,0	86,0
Razem:	1 883,3	107	1705	5,8	90,5

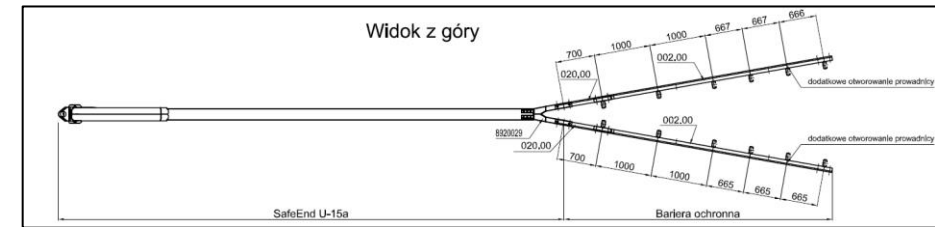
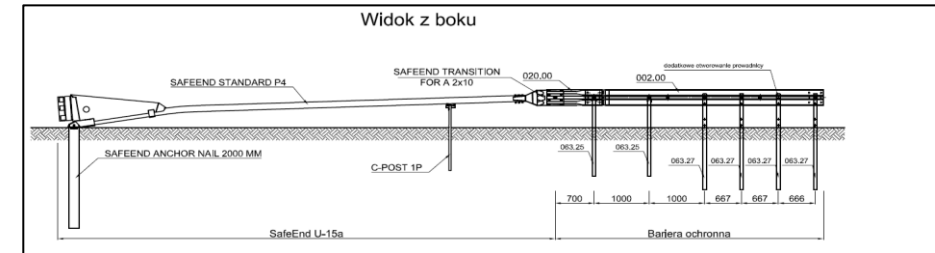
Tab. 3.3 Zdarzenia z urządzeniami brd wg rodzaju uszkodzonego zakończenia, osłony



Obiekt badań - Urządzenie energochłonne U-15a SafeEnd

Urządzenie energochłonne U-15a SafeEnd posiada szerokie zastosowanie na odcinkach dróg jednojezdniowych oraz dwujezdniowych w konfiguracjach z barierą ochronną jako:

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



Badania poligonowe

Urządzenie energochłonne SafeEnd U-15a uzyskało pozytywne wyniki badań testów zderzeniowych wymaganych wg normy EN 1317 dla:

- poduszek zderzeniowych (PN-EN 1317-3)
- terminali zderzeniowych (prEN 1317-4 i 7)



Tab. 2 Testy zderzeniowe przeprowadzone dla urządzenia energochłonnego SafeEnd U-15a wg normy EN1317

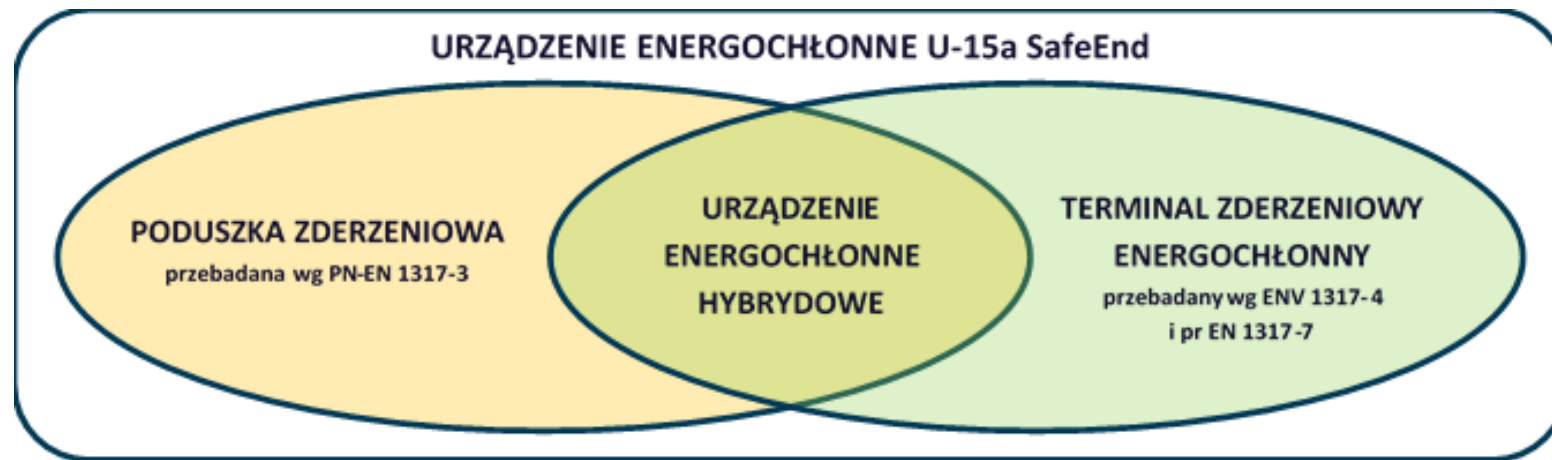
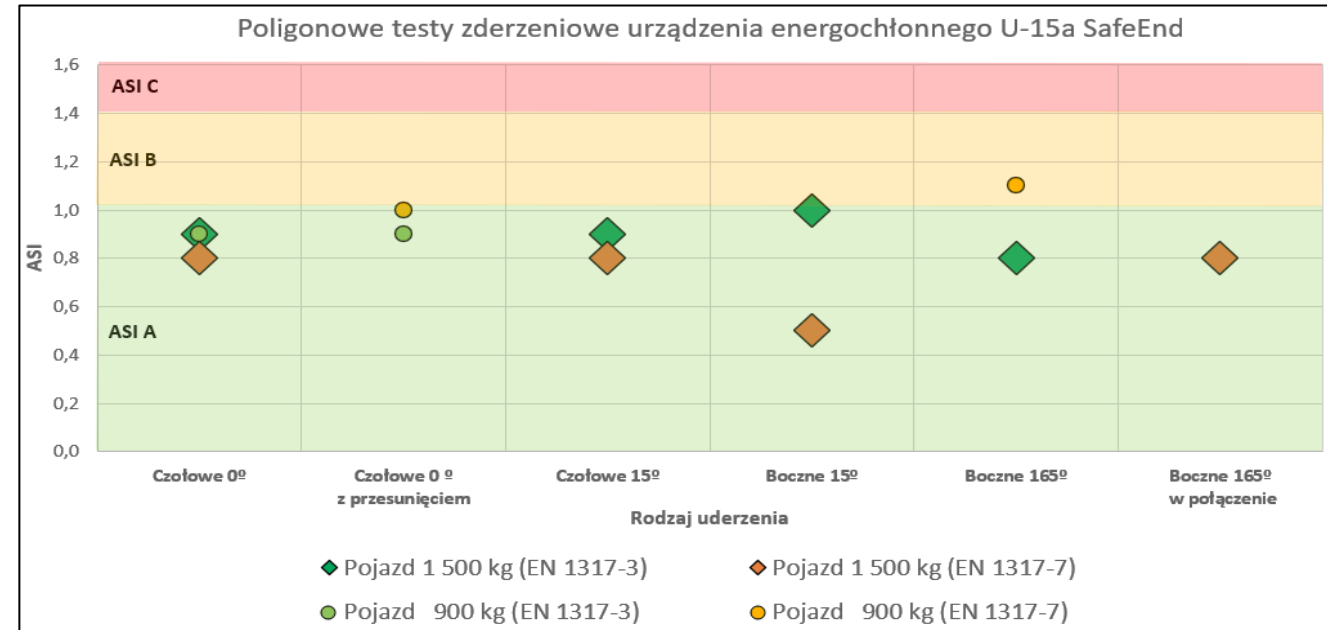
Kod testu	Rodzaj najazdu	Masa pojazdu	Poduszki zderzeniowe		Terminale zderzeniowe					
			PN-EN 1317-3		pr EN 1317- 4		pr EN 1317 - 7			
			Wymagane	Zrealizowane	Wymagane	Zrealizowane	Wymagane	Zrealizowane		
1.1	Uderzenie czołowe 0°	900	X	X						
1.3		1500	X	X	X	X	X	X		
2.1	Uderzenie czołowe 0° z przesunięciem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

Badania poligonowe

Urządzenie energochłonne SafeEnd zostało przebadane na 8 z 8 sposobów najazdu pojazdu na urządzenie energochłonne określonych w normie EN 1317 dla najwyższych klas funkcjonalnych osłon energochłonnych. Tradycyjne urządzenia energochłonne (poduszki zderzeniowe, terminale zderzeniowe) bada się przeważnie na 4 lub 6 sposobów najazdu pojazdu na urządzenie.

Wyniki przedstawionych badań stanowią pozytywną odpowiedź na pytanie badawcze nr 1 tzn.:

Osłony energochłonne (np. SafeEnd U-15a) mogą być stosowane jako urządzenie hybrydowe spełniające rolę zarówno terminala energochłonnego zakończenia bariery i poduszki energochłonnej ustawianej przed przeszkodą.



Badania symulacyjne

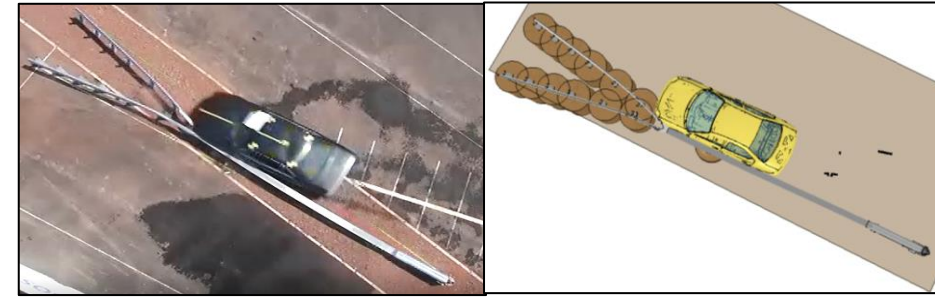
Grupy badań:

- 1) Uderzenie w urządzenie energochłonne SafeEnd połączone z barierą ochronną (walidacja)
- 2) Uderzenie w urządzenie energochłonne SafeEnd niepołączone z barierą ochronną
- 3) Uderzenie w odcinek przejściowy między urządzeniem SafeEnd a barierą ochronną
- 4) Uderzenie za urządzeniem w barierę ochronną

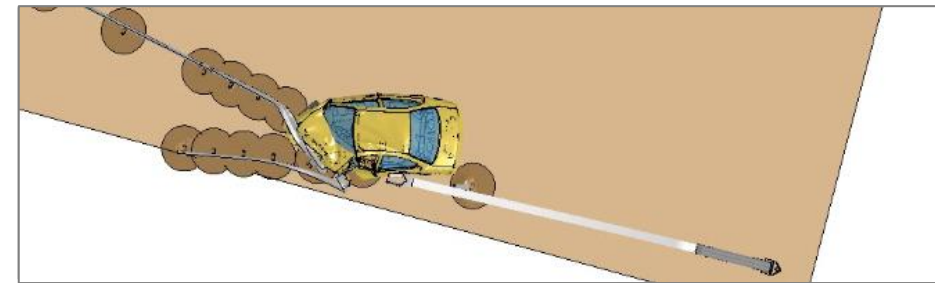
Zakres badań

- Kąt uderzenia 10 - 35°
- Prędkość 50 - 110 km/h
- Ukształtowanie elementu przejściowego między urządzeniem i barierą ochronną (10-20°)
- Promień łuku bariery na łącznicy (30-100 m)

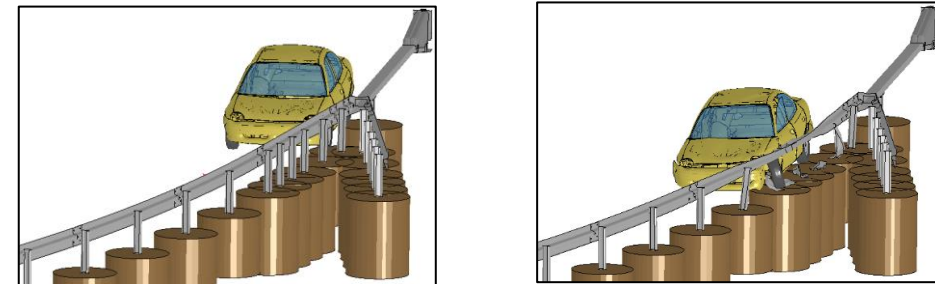
Grupa 1



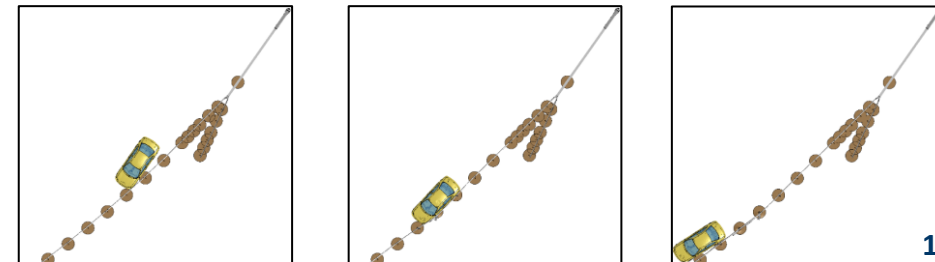
Grupa 2



Grupa 3



Grupa 4



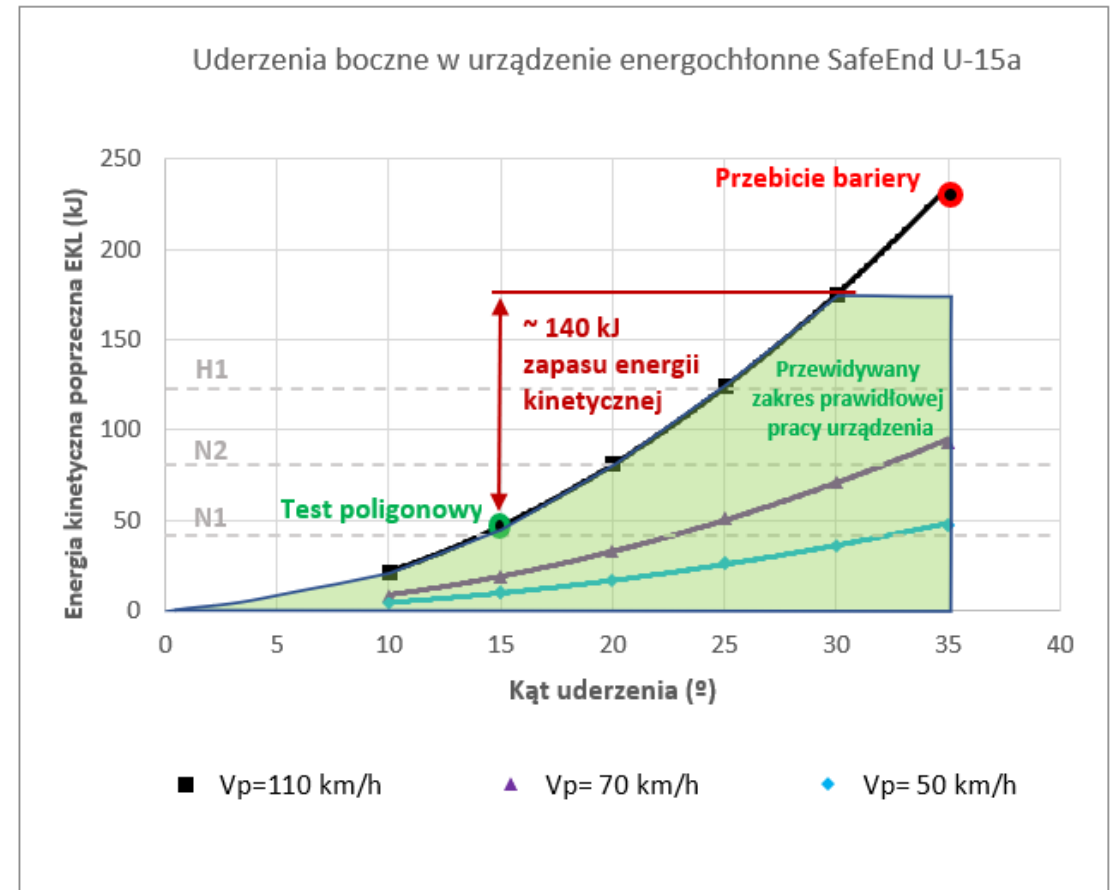
Wyniki badań

Badania symulacyjne umożliwiły odpowiedź na pytanie badawcze nr 2

1) Badanie wpływu uderzeń innych niż normowe w urządzenie energochłonne

Tab. 4 Zalecane wartości kąta KAT uderzenia pojazdu w urządzenia energochłonne na przykładzie urządzenia energochłonnego SafeEnd

Prędkość uderzenia bocznego pojazdu w urządzenie	Dopuszczalny kąt uderzenia pojazdu KAT	
	Poziom intensywności zderzenia pojazdu z barierą ASI	
Vp (km/h)	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)



Wyniki badań

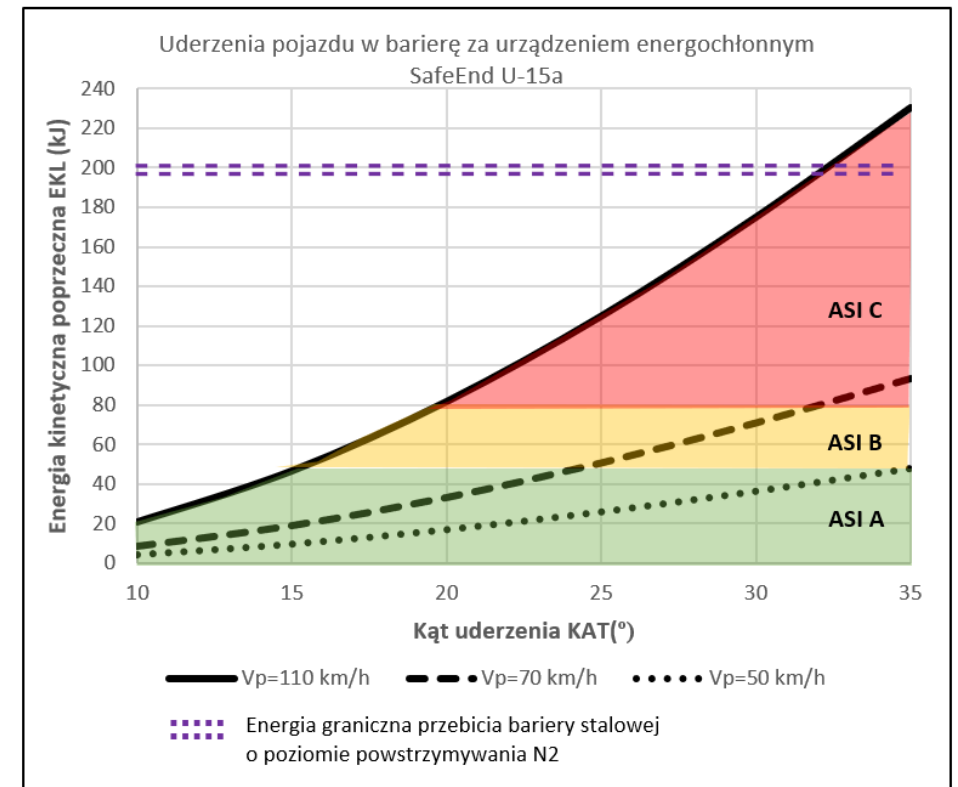
Badania symulacyjne umożliwiły odpowiedź na pytanie badawcze nr 2:

2) Badanie wpływu sposobu połączenia urządzenia energochłonnego z barierą ochronną na łącznicy na prawidłowe funkcjonowanie urządzenia.

Istnieje wpływ prędkości i kąta uderzenia pojazdu w barierę, które znacząco zależą od promienia łuku bariery na łącznicy, dlatego istotne jest opracowanie zasad projektowania parametrów geometrycznych łącznic uwzględniających te spostrzeżenia.

Tab. 5 Zalecane wartości kąta KAT uderzenia pojazdu w urządzenia energochłonne na przykładzie urządzenia energochłonnego SafeEnd

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



Propozycja zasad projektowania geometrii łącznic

Analizowano różne scenariusze rozwiązań projektowych wyłączenia łącznicy na węźle z jezdni głównej różniące się prędkością dopuszczalną na łącznicy, promieniem łuku i ustawieniem systemu SafeEnd względem krawędzi jezdni głównej.

Scenariusze rozwiązań projektowych dla dróg klasy S

- scenariusz S1- prędkość pojazdu wypadającego $V_p = 50$ km/h, na łącznicy o promieniu $R = 30$ m.
- scenariusz S2 - prędkość pojazdu wypadającego $V_p = 70$ km/h, na łącznicy o promieniu $R = 50$ m,
- scenariusz S3- prędkość pojazdu wypadającego $V_p = 110$ km/h, na łącznicy o promieniu $R = 100$ m.

Klasa ryzyka		Poziom intensywności zderzenia		Poziom akceptowalności ryzyka
Poziom ryzyka	Kolor	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

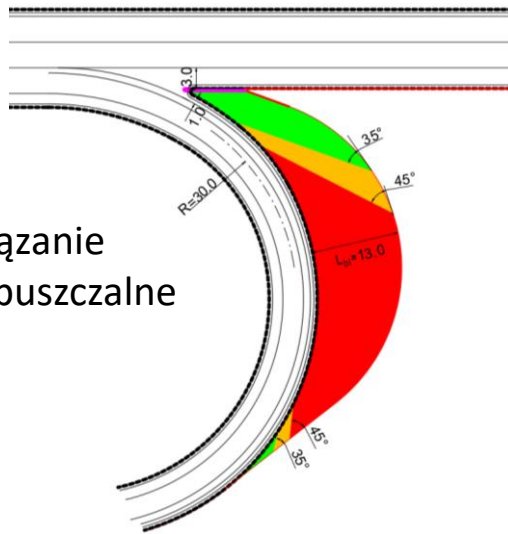
Wykorzystując wyniki badań podjęto próbę oceny ryzyka zagrożeń zderzenia pojazdów z barierą w zależności od poziomu intensywności zdarzenia.

Propozycja zasad projektowania geometrii łącznic

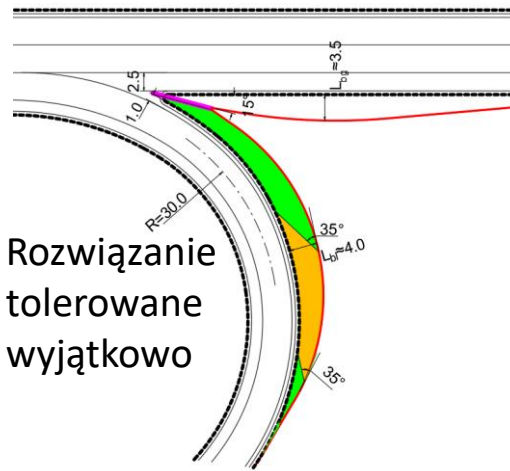
Scenariusze rozwiązań projektowych dla dróg klasy S

- scenariusz S1- prędkość pojazdu wypadającego $V_p = 50$ km/h, na łącznicy o promieniu $R = 30$ m.

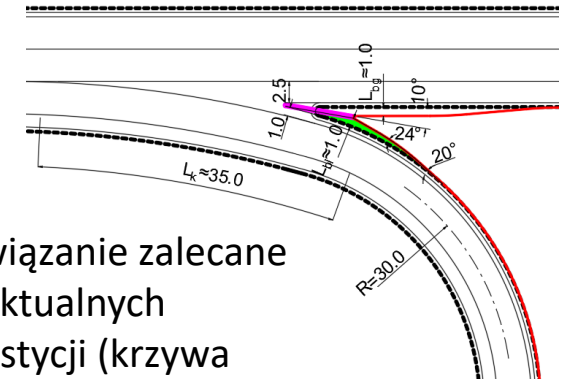
Rozwiązanie
niedopuszczalne



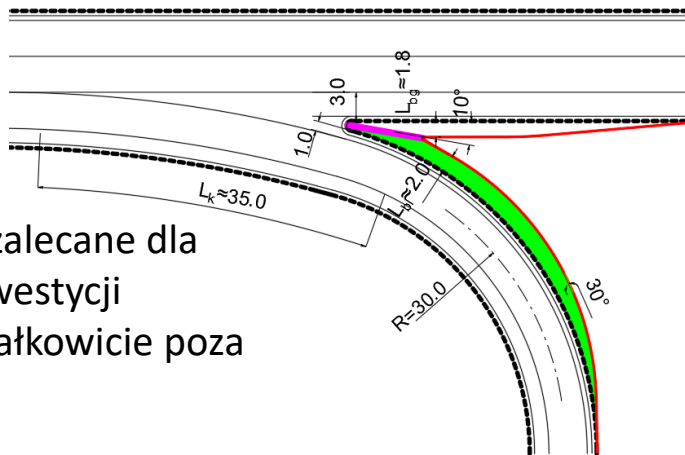
Rozwiązanie
tolerowane
wyjątkowo



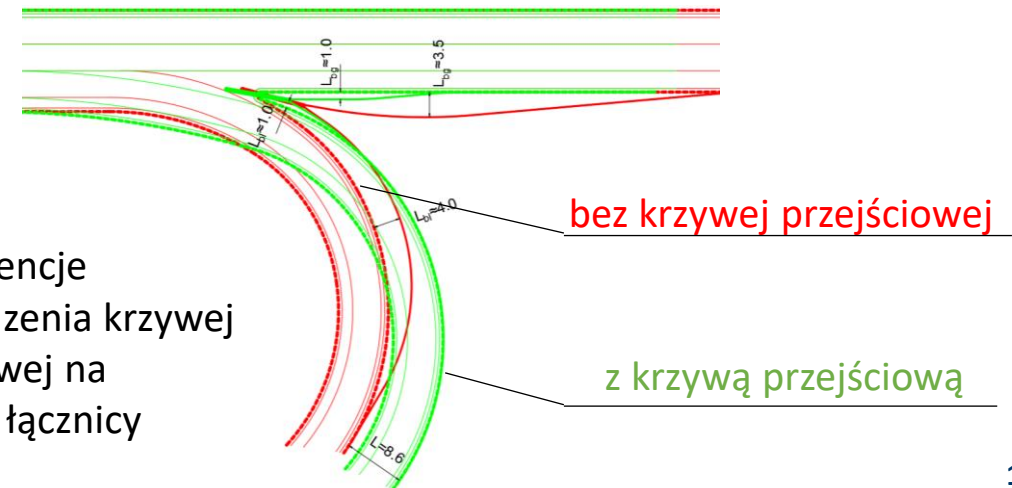
Rozwiązanie zalecane
dla aktualnych
inwestycji (krzywa
przejściowa)



Rozwiązanie zalecane dla
przyszłych inwestycji
(urządzenie całkowicie poza
strefą skrajni)



Konsekwencje
wprowadzenia krzywej
przejściowej na
początku łącznicy



Wnioski i rekomendacje

Biorąc pod uwagę przytoczone wątpliwości przeprowadzono zbiór testów zderzeniowych i badań symulacyjnych, wyniki których pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) Wyniki przeprowadzonych badań poligonowych (testy zderzeniowe) i numerycznych (testy symulacyjne) oraz analizy wyników tych badań potwierdzają, że hybrydowe urządzenie energochłonne (np. SafeEnd U-15a) mogą być stosowane w określonych warunkach.
- 2) W uzasadnionych przypadkach, konieczne jest polepszenie widoczności urządzeń energochłonnych na drodze poprzez zwiększenie powierzchni czoła urządzeń i zmianę kolorów (co wymaga zmiany obowiązujących przepisów).
- 3) Przyjęcie zaproponowanych zasad projektowania geometrycznego łącznic (a przede wszystkim zastosowanie długiej krzywej przejściowej > 35 m) może przyczynić się do poprawy poziomu bezpieczeństwa użytkowników dróg w obszarze wyłączenia łącznicy z jezdni głównej autostrady lub drogi ekspresowej.
- 4) Podobne badania należy przeprowadzić dla innych rodzajów poduszek zderzeniowych i terminali energochłonnych oraz opracować zasady ich projektowania na obiektach drogowych.

Dziękujemy za uwagę

Więcej informacji:

Drogownictwo nr 1/2021

Pytania i sugestie prosimy kierować na adres:

kjamroz@pg.edu.pl

lukjelin@pg.edu.pl

mbudz@pg.edu.pl