

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA PRAWDOPODOBIENSTWO I WIELKOŚĆ USZKODZEŃ DROGOWYCH BARIER OCHRONNYCH



Dr inż. Łukasz Jeliński
Katedra Inżynierii Transportowej
Wydział inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska
lukjelin@pg.gda.pl

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

Kraków, 12-14 marca 2025 r.

1

www.konferencjespecjalistyczne.pl



- **Wprowadzenie**
- **Badania wpływu czynników na uszkodzenia**
- **Analiza i klasyfikacja zdarzeń**
- **Identyfikacja czynników wpływających na uszkodzenia**
- **Analiza wpływu wybranych czynników na uszkodzenia**
- **Podsumowanie**

Wprowadzenie – uszkodzenia barier ochronnych

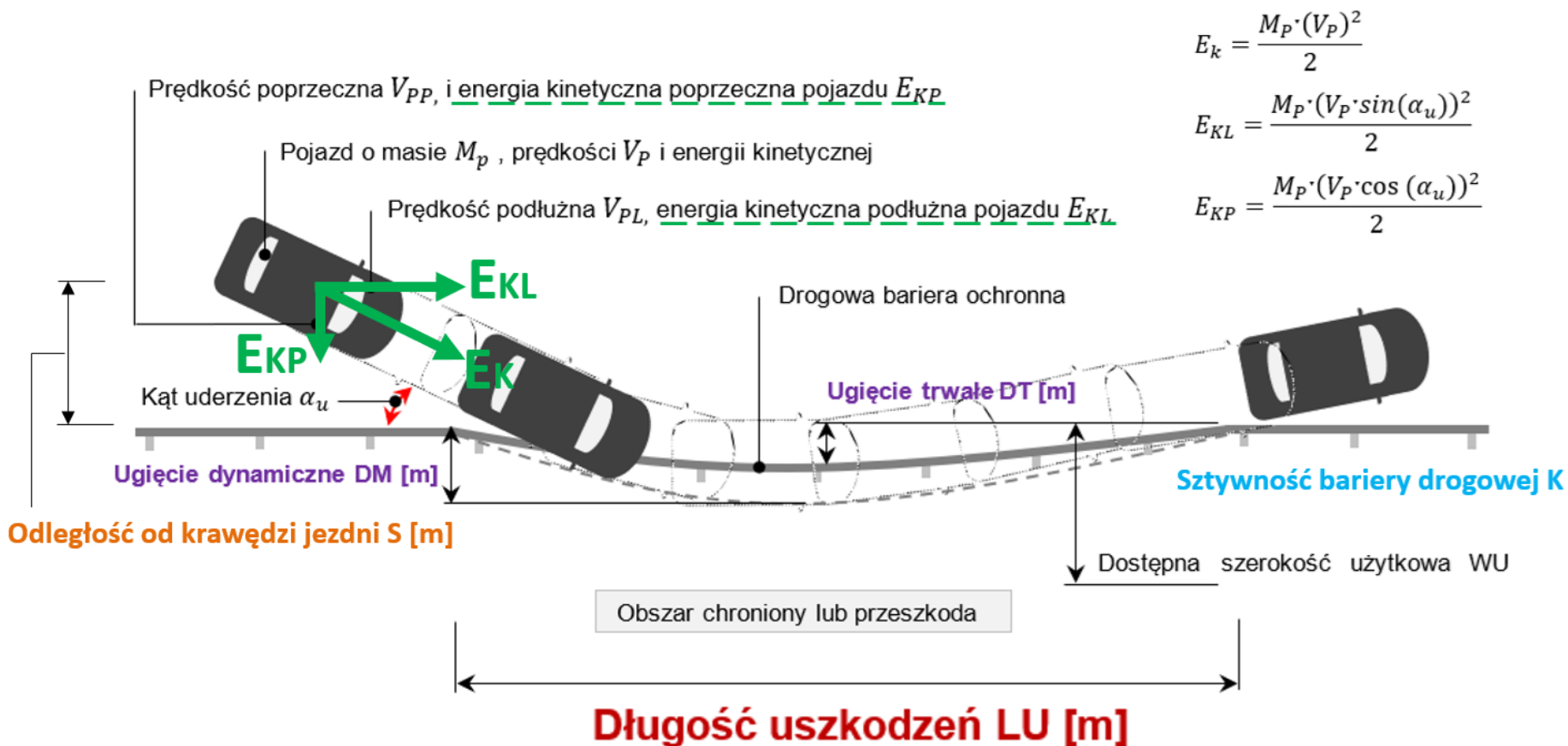
W trakcie eksploatacji drogowych barier ochronnych ich stan techniczny/zdatności barier ulega zmianie poprzez **uszkodzenia**, które **klasyfikuje się jako**:

- uszkodzenia wywołane stopniowym i nieodwracalnym procesem starzeniowym,
- uszkodzenia konstrukcyjne powstałe w wyniku nieprawidłowego zainstalowania barier,
- uszkodzenia eksploatacyjne wywołane ukrytymi wadami materiałowymi lub powstałe w wyniku pracy maszyn utrzymaniowych drogi,
- **uszkodzenia eksploatacyjne powstałe w wyniku uderzenia pojazdu w barierę.**



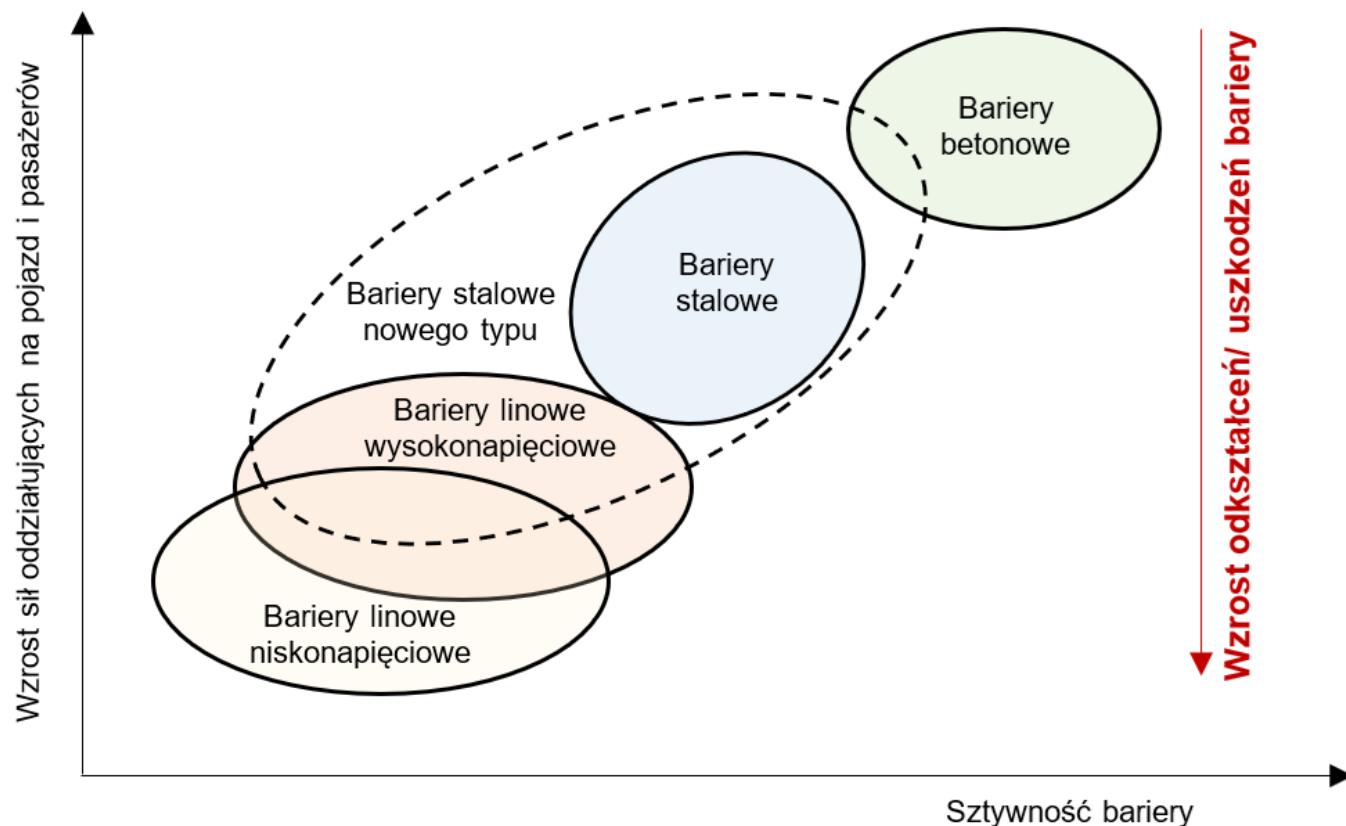
Wprowadzenie- podstawy teoretyczne

Mechanizm powstawania uszkodzeń barier drogowych



Wprowadzenie- podstawy teoretyczne

Względny zakres funkcjonowania różnych systemów barier ochronnych



Opracowanie własne na podstawie: Hammonds B.R., Roads N.S.W., Services M., *Crash Test Outcomes for Three Generic Barrier Types*, (2012).

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

Kraków, 12-14 marca 2025 r.

Wprowadzenie – Badania liczby i wielkości uszkodzeń BO

Przykłady prowadzonych badań - Pojedyncze zdarzenie

	Kraje			Projekty	
Zakres badań:	USA	Szwecja	Anglia	RISER	CEDR
ankietowe	x		x		
literaturowe	x	x	x	x	x
statystyczne			x	x	x
laboratoryjne	x				
poligonowe	x	x			
symulacyjne	x	x		x	
terenowe			x		x
Przebadane uszkodzenia BO:	USA	Szwecja			
Ugięcie słupka/prowadnicy	x	x			
Wysokość systemu		x			
Rozdarcie pion./poz. prowadnicy	x	x			
Uszkodzony lub brakujący słupek	x				
Splaszczanie bariery	x				
Uszkodzone połączenie sekcji barier	x				
Dziury w prowadnicy	x				
Brak przekładki	x				



Polskie badania

Badania literaturowe, statystyczne	Mikołajków	1983
Badania symulacyjne, laboratoryjne i poligonowe	Wekezer, Kreja	2000
	Borkowski, Barnat, Kiczko, Bogusz, Dziewulski, Niezgoda	2010 2013
	Klasztorny, Nycz	2015
	Danek, Pawlak	2016
	Wilde, Jamroz,	2018
	Witkowski, Budzyński	
	Bruski	2020
	Pachocki	2022

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

Kraków, 12-14 marca 2025 r.

Wprowadzenie – Badania liczby i wielkości uszkodzeń BO

Przykłady prowadzonych badań - Zdarzenia na odcinku drogi

Badania (bezpośrednie, własne)	Kraj	Lata badań	Liczba wypadnięć	Zakres natężeń ruchu pojazdów		
Hutchinson - dwujezdniowe	USA	1957-1963	332	1 900	-	31 253
Cooper - dwujezdniowe	USA	1978	528	5 954	-	44 930
Cooper - jednojezdniowe	USA	1978	1 353	1 000	-	3 000
Stefan - dwujezdniowe	Austria	2007 - 2011	1 008	3 300	-	46 150
Amato - dwujezdniowe	Irlandia	2007 - 2011	131	3 875	-	54 401
Erginbas - dwujezdniowe	Wielka Brytania	2007 - 2011	668	5 850	-	155 400
La Torre - dwujezdniowe	Włochy	2007 - 2011	671	3 989	-	31 186
Thomson - dwujezdniowe	Szwecja	2003 - 2009	1 527	4 600	-	21 250
Amato - jednojezdniowe	Irlandia	2007 - 2011	109	1 490	-	15 100
Thomson - jednojezdniowe	Szwecja	2003 - 2009	31	2 200	-	7 400
Badania (pośrednie, zapożyczone)	Kraj	Lata badań	Liczba wypadnięć	Zakres natężeń ruchu pojazdów		
Miaou - jednojezdniowe	USA	1985-1987	993	159	-	17 766
Carrigan - dwujezdniowe wiejskie	USA	2002-2010	BD	710	-	67 390
Carrigan - dwujezdniowe miejskie	USA	2002-2010	BD	780	-	155 340
Carrigan - jednojezdniowe wiejskie	USA	2002-2010	BD	40	-	27 540
Carrigan - jednojezdniowe miejskie	USA	2002-2010	BD	357	-	42 836

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

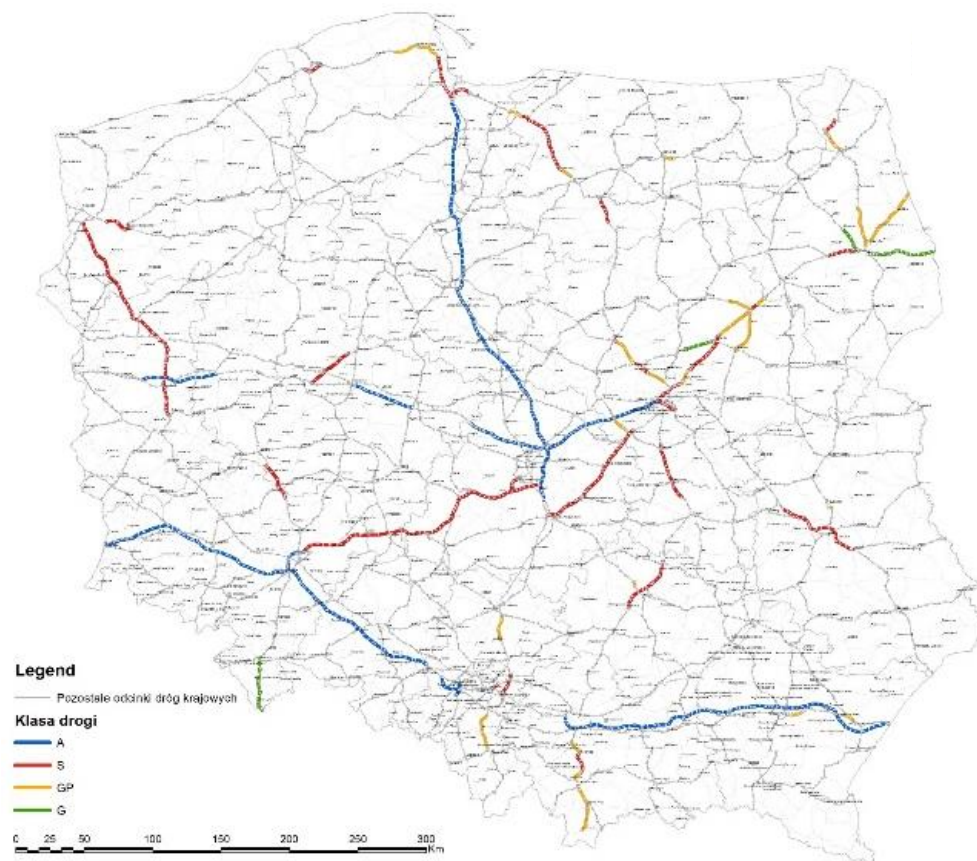
Kraków, 12-14 marca 2025 r.

Badania funkcjonowania drogowych barier ochronnych – warunki rzeczywiste

■ Poligon badawczy:

Klasa Drogi [km]			Rejony
A	S	GP, G	
1 184,2	1 051,5	586,4	46
2 822,2 km			

- Zakres zbieranych danych:
 - długość i rodzaj uszkodzenia,
 - kąt uderzenia pojazdu,
 - czas likwidacji zdarzeń,
 - koszty ...
- Liczba zarejestrowanych uszkodzeń:
 - 5 082 uszkodzeń



Badania funkcjonowania drogowych barier ochronnych – warunki rzeczywiste

Nr drogi	Uszkodzone bariery	Pojazd	Waga	Kąt uderzenia	Limit prędkości	Długość uszkodzeń	Skutki
A1	-Stalowa H1 W4 -Betonowa H2 W4	Samochód osobowy	1,5 t	$\sim 8^\circ$ $\sim 68^\circ$	140 km/h	16 m 16 m	Ofiary: 1 Naprawa: $\sim 5\,000$ PLN



$\alpha = 8^\circ$



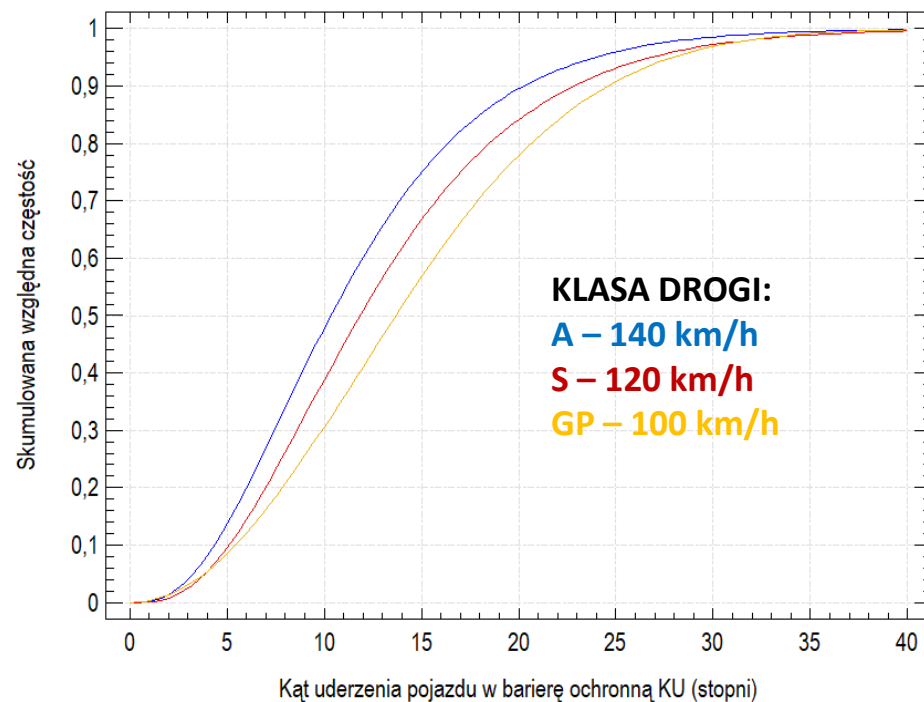
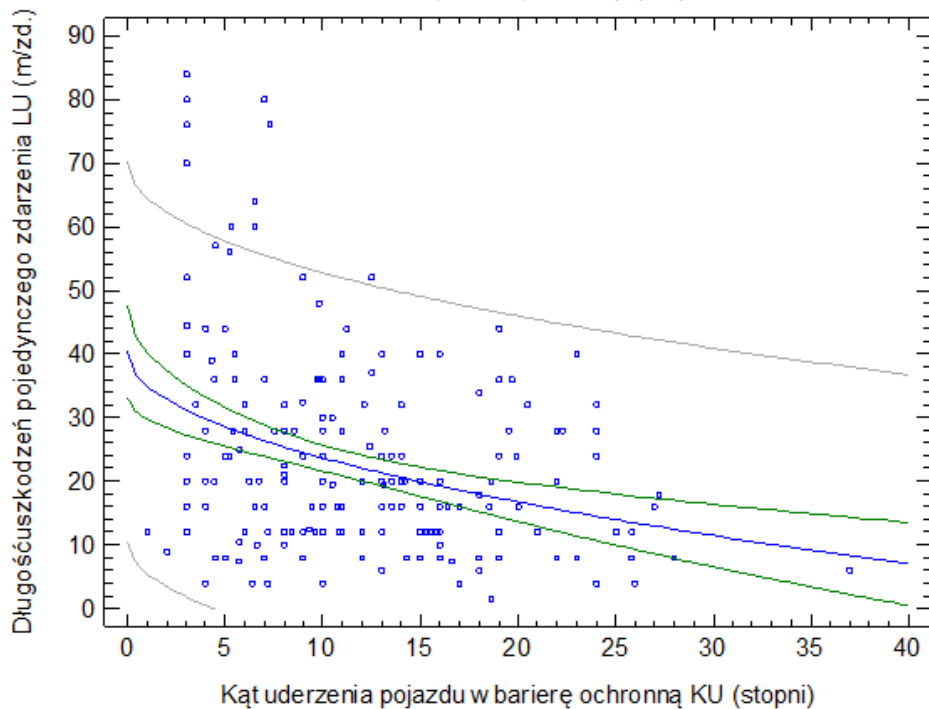
Ocena kąta uderzenia pojazdu w barierę ochronną

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

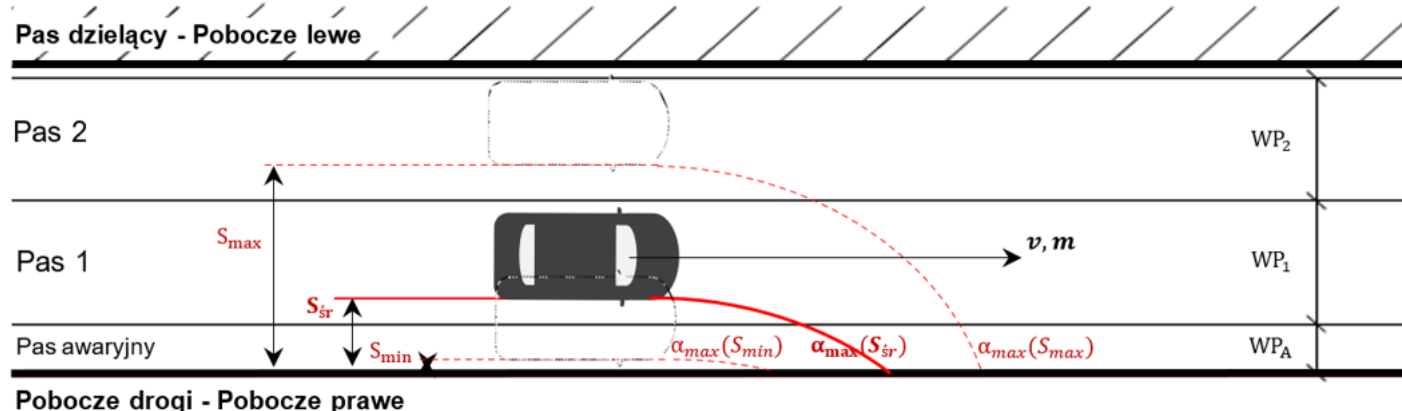
Kraków, 12-14 marca 2025 r.

Analiza kątów wypadnięć pojazdów z jezdni (n=215)

$$LU = 40,305 - 5,256 \cdot \sqrt{KU}$$



Rys. 5.6 Analiza a) wpływu kątów uderzeń na długość uszkodzeń, b) rozkładu kątów uderzeń pojazdu w barierę ochronną



Model teoretyczny

$$\alpha_{max} = \arccos\left(\frac{1 - S_n \cdot g \cdot \mu}{v^2}\right)$$

gdzie:

α_{max} – maksymalny możliwy do uzyskania kąt wypadnięcia pojazdu (°).

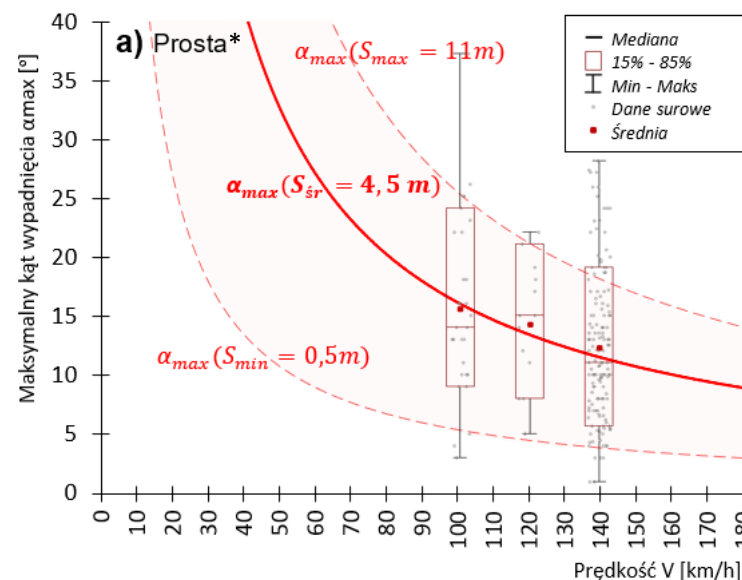
S_n – odległość pojazdu od krawędzi jezdni lub bariery ochronnej (m),

g – przyspieszenie ziemskie ($\frac{m}{s^2}$),

μ – graniczny współczynnik przyczepności opony do nawierzchni (-),

v – prędkość pojazdu ($\frac{m}{s}$),

*Przy założeniu że pojazd nie wpada w poślizg



Klasyfikacja zdarzeń z barierami ochronnymi

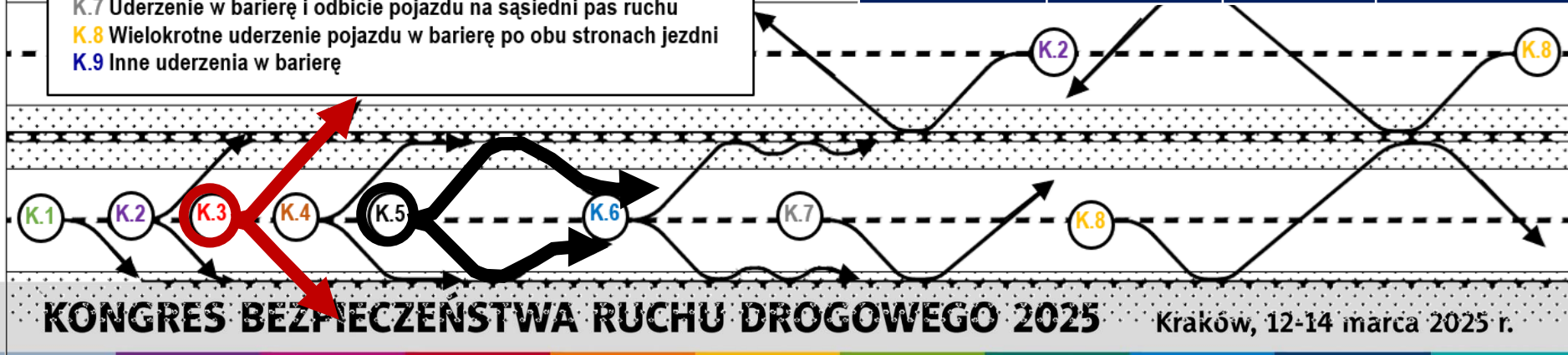
K.3 – Przebiecia bariery

K.5 – Powrót na pas ruchu



- K.1** Uderzenie w zakończenie bariery ochronnej
- K.2** Uderzenie w barierę i zaklinowanie lub nieruchomienie pojazdu
- K.3** Przebiecia bariery lub przejazd pojazdu pod lub nad barierą
- K.4** Uderzenie w barierę i jazda pojazdu wzdłuż bariery
- K.5** Uderzenie w barierę powrót pojazdu na pas ruchu
- K.6** Wielokrotne uderzenie pojazdu w barierę po jednej stronie jezdni
- K.7** Uderzenie w barierę i odbicie pojazdu na sąsiedni pas ruchu
- K.8** Wielokrotne uderzenie pojazdu w barierę po obu stronach jezdni
- K.9** Inne uderzenia w barierę

Rodzaj kolizji pojazdu z barierą ochronną:	Liczba zdarzeń	Udział zdarzeń	Średnia długość uszkodzeń
	LZDB	UZDB	SLUB
	[szt./rok]	[%]	[m]
K.1	106	2,7%	15,7
K.2	313	8,0%	17,1
K.3	82	2,1%	39,9
K.4	506	12,9%	38,9
K.5	2 155	55,1%	12,4
K.6	251	6,4%	31,7
K.7	97	2,5%	22,1
K.8	164	4,2%	16,6
K.9	140	3,6%	19,0
brak zdjęć	100	2,6%	12,5
Razem:	3 914	100,0%	18,8

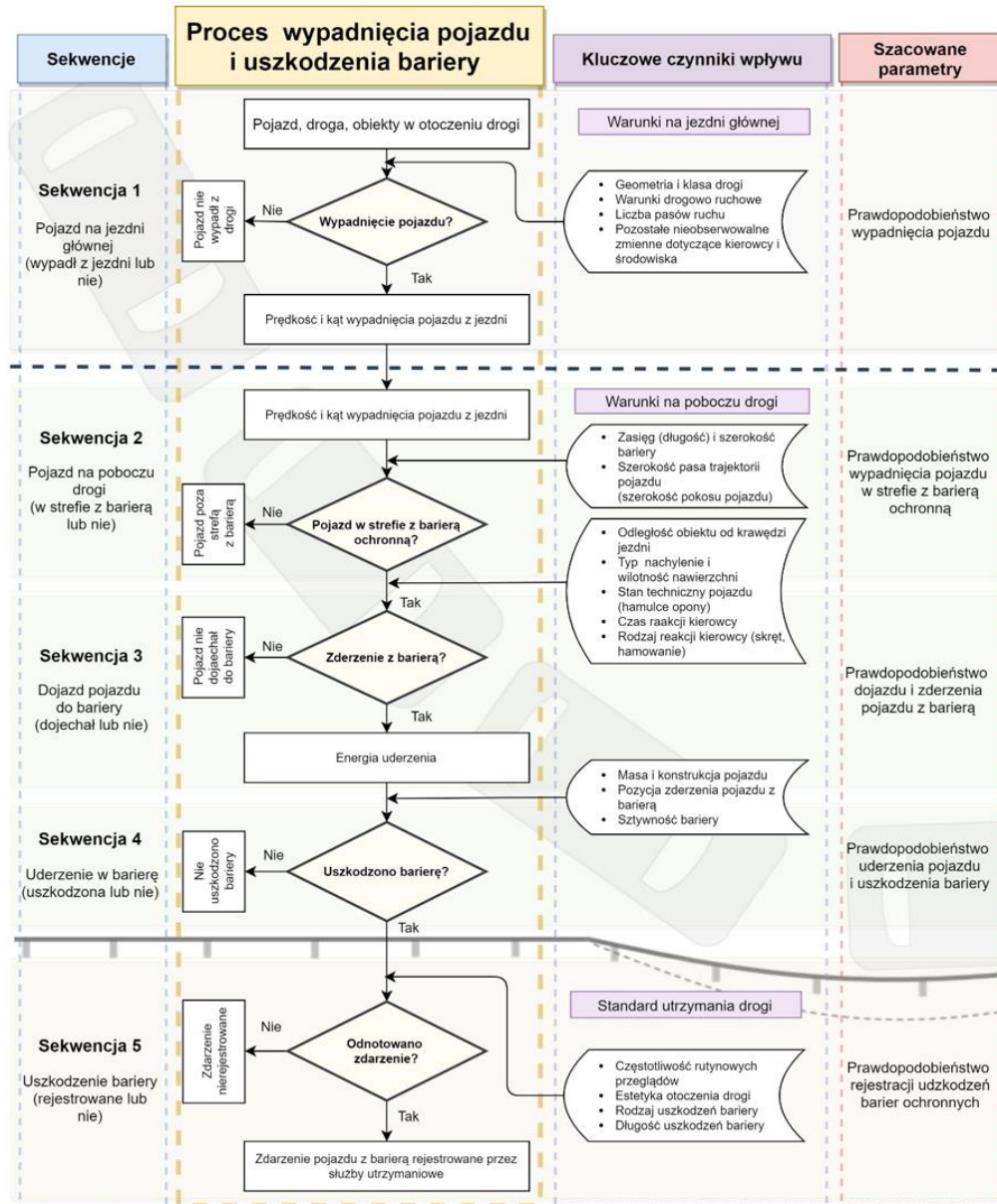


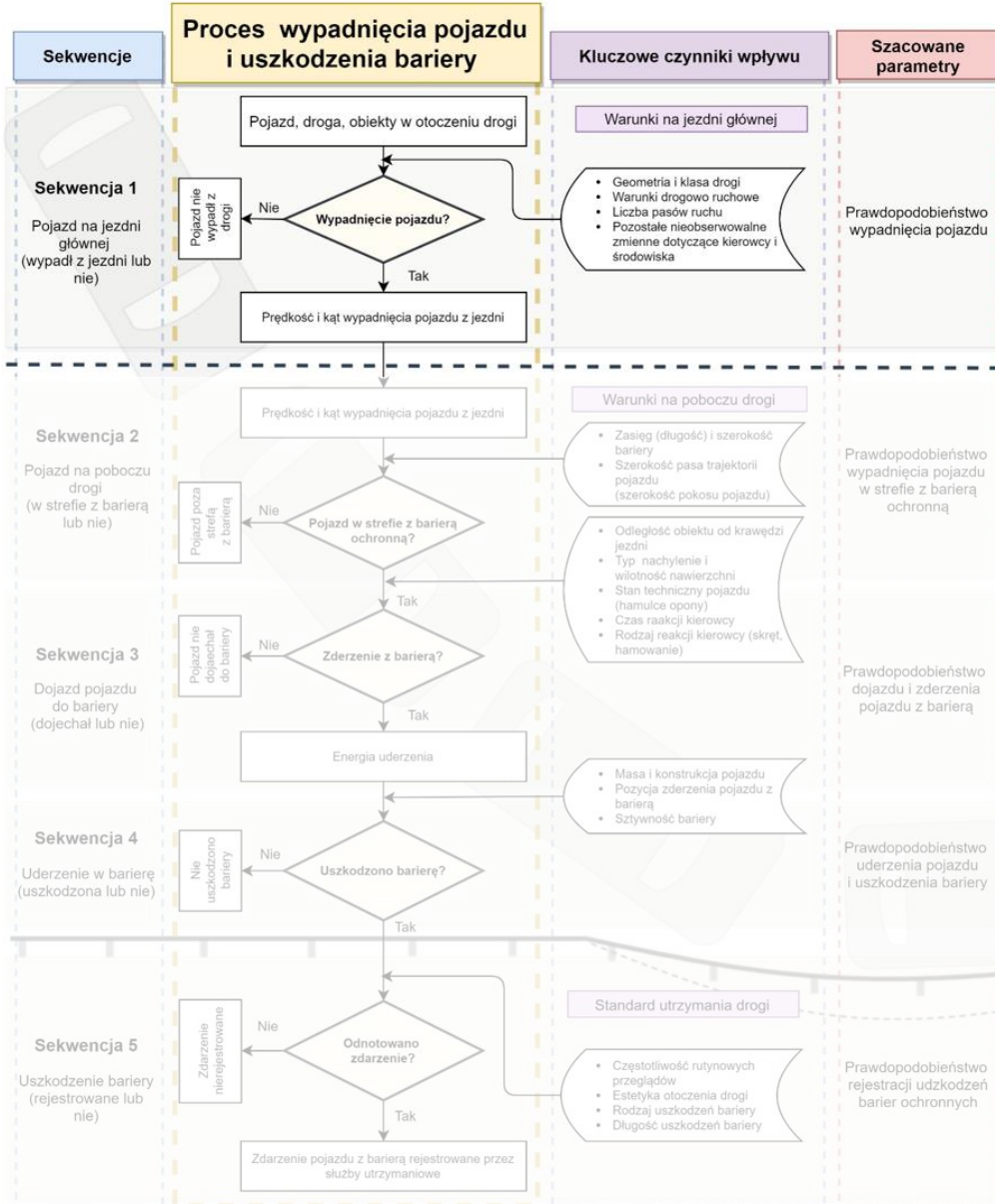
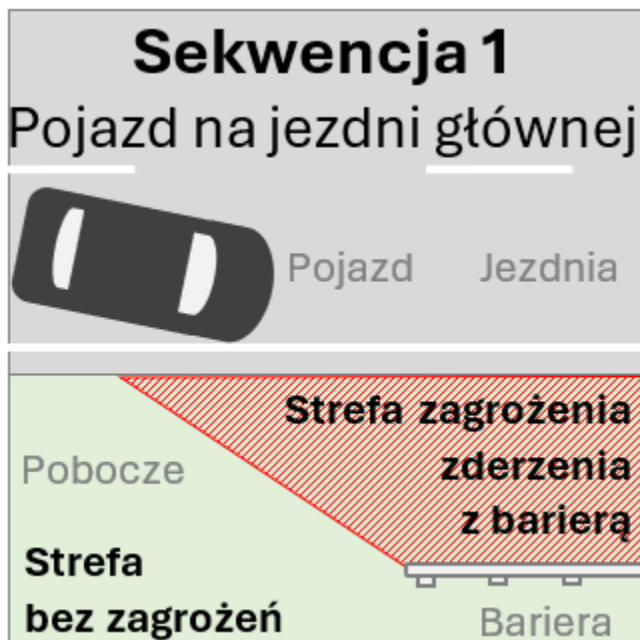
KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

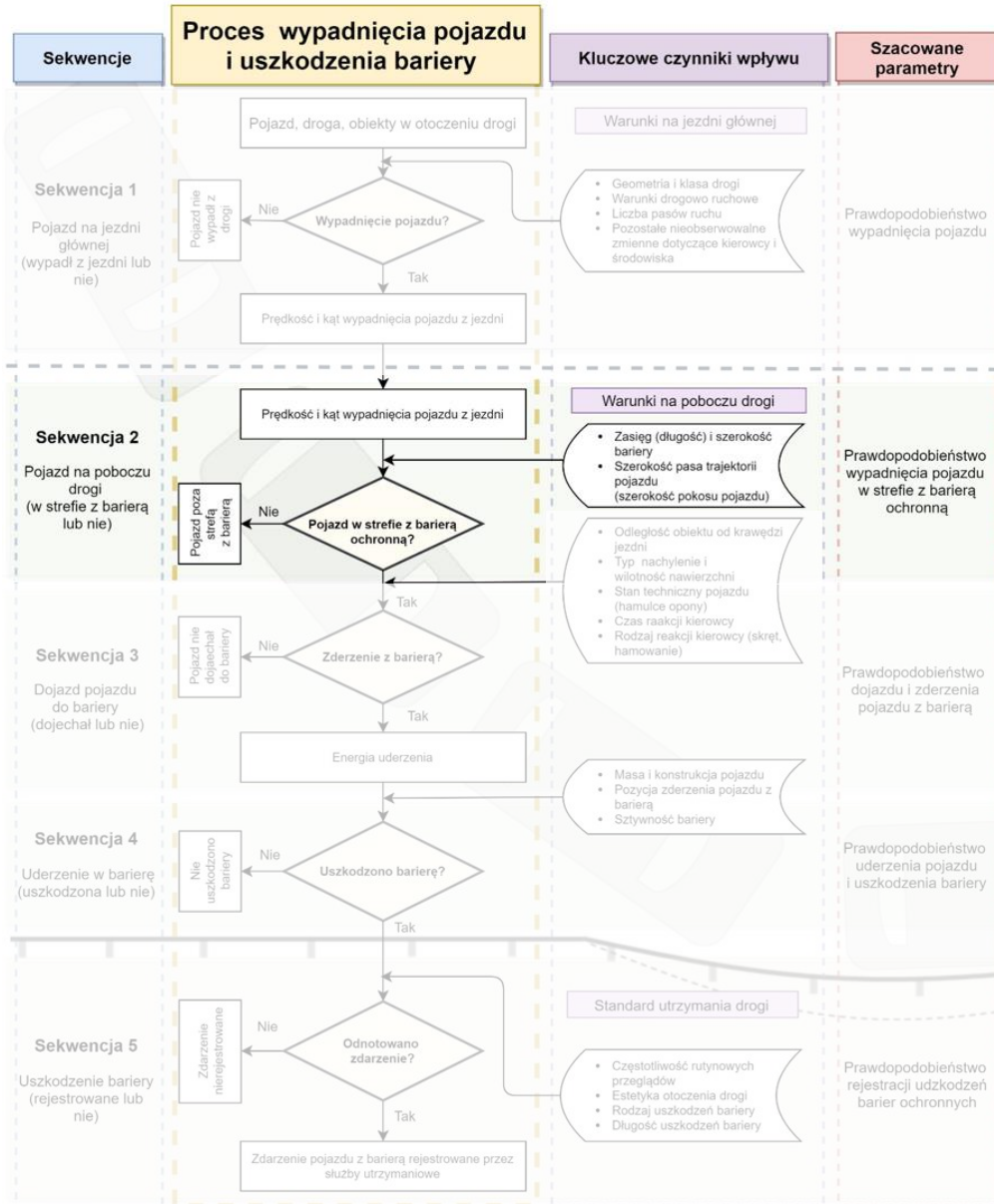
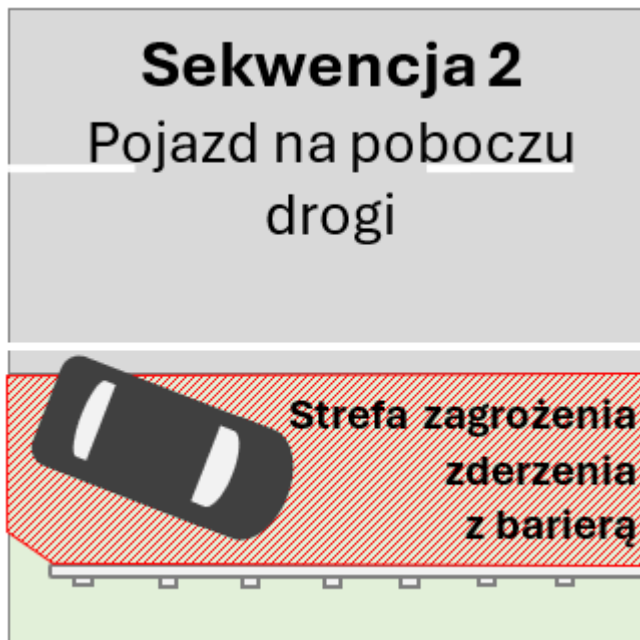
Kraków, 12-14 marca 2025 r.

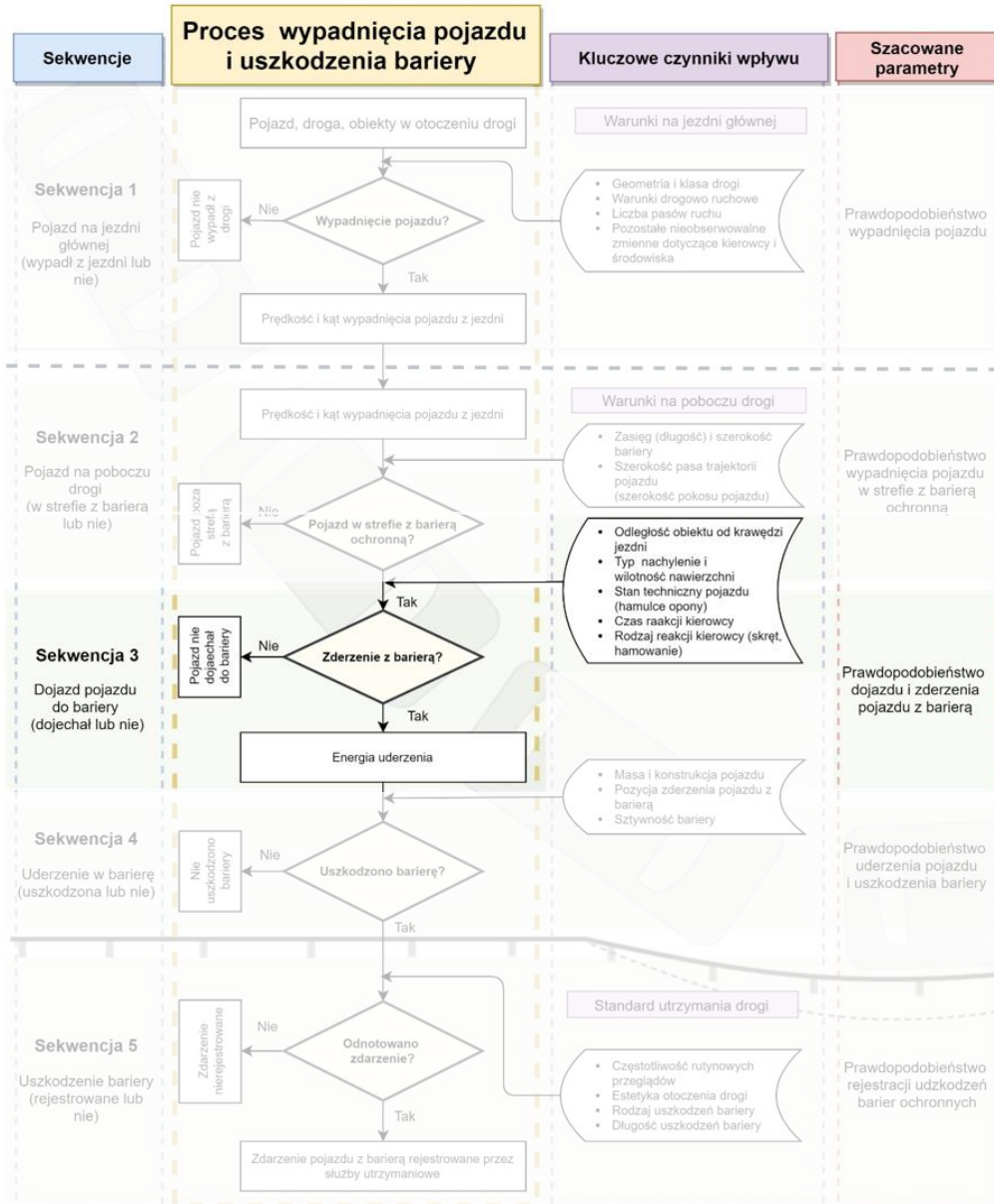
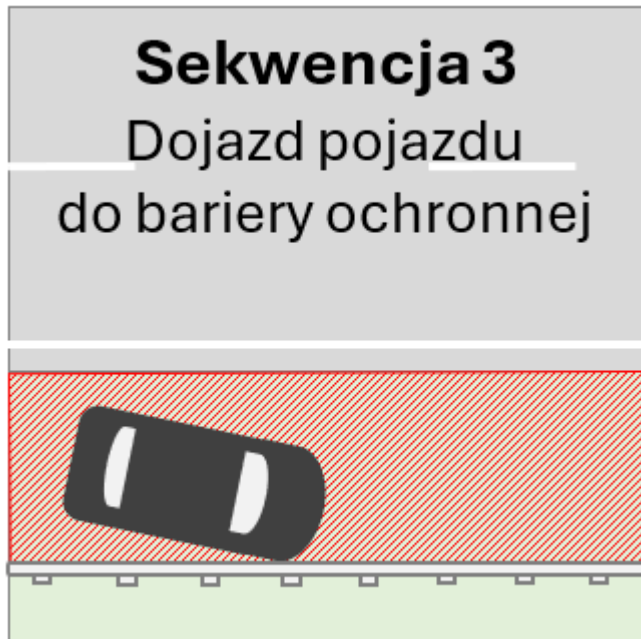
Schemat koncepcji procesu obrazującego sekwencje wypadnięcia pojazdu z jezdni i uderzenia w barierę ochronną

W przypadku określonego rodzaju obiektu przydrożnego, jakim są drogowe bariery ochronne, następstwa, przez które przechodzi pojazd zanim dotrze do bariery, uderzy w nią i zostanie zarejestrowany przez służby utrzymaniowe i/lub policję, mogą być modelowane poprzez kilka sekwencyjnych procesów stochastycznych.

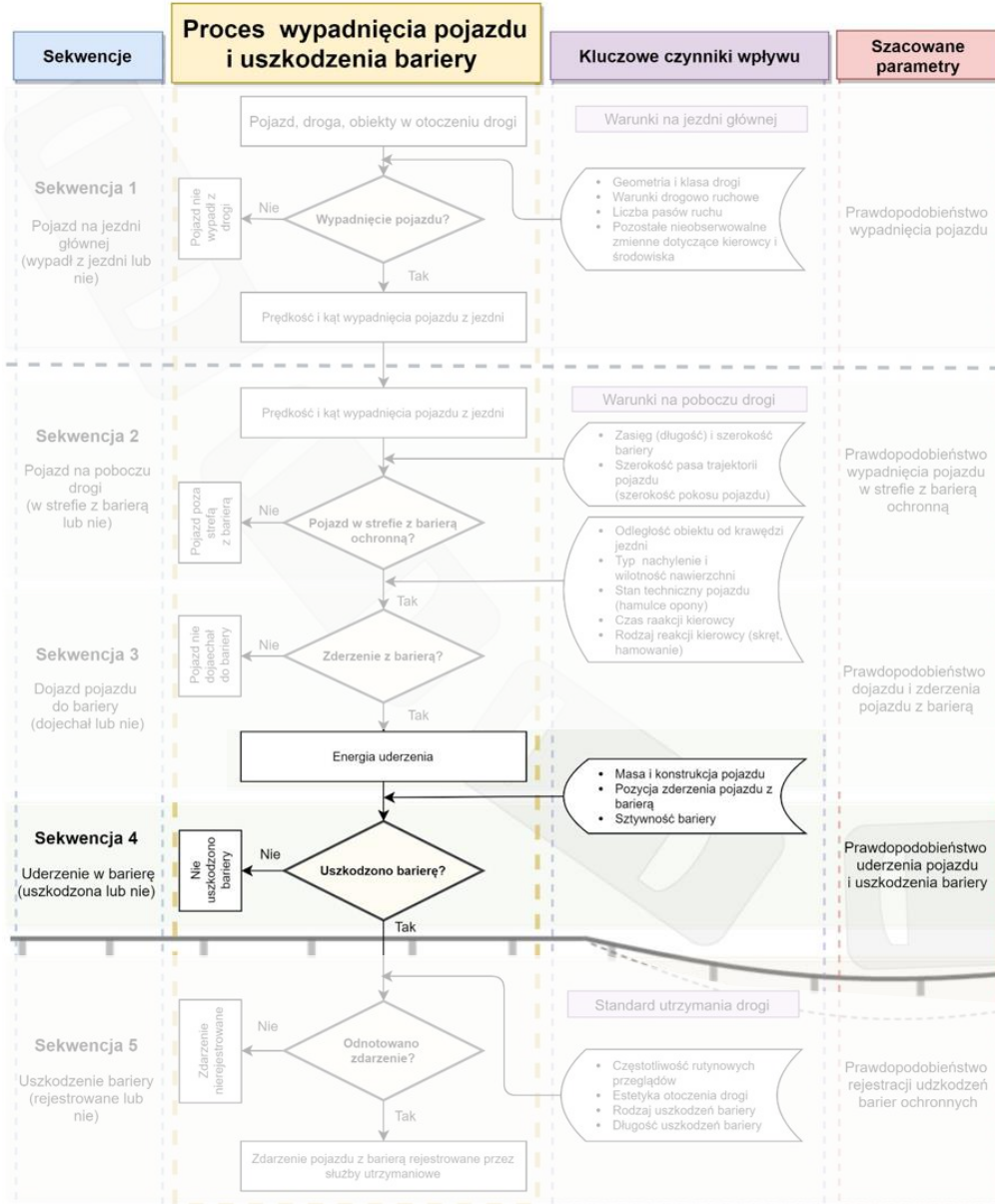
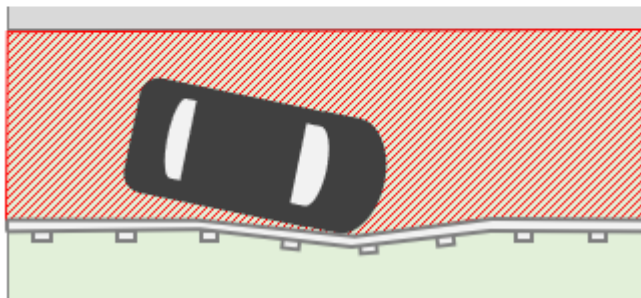




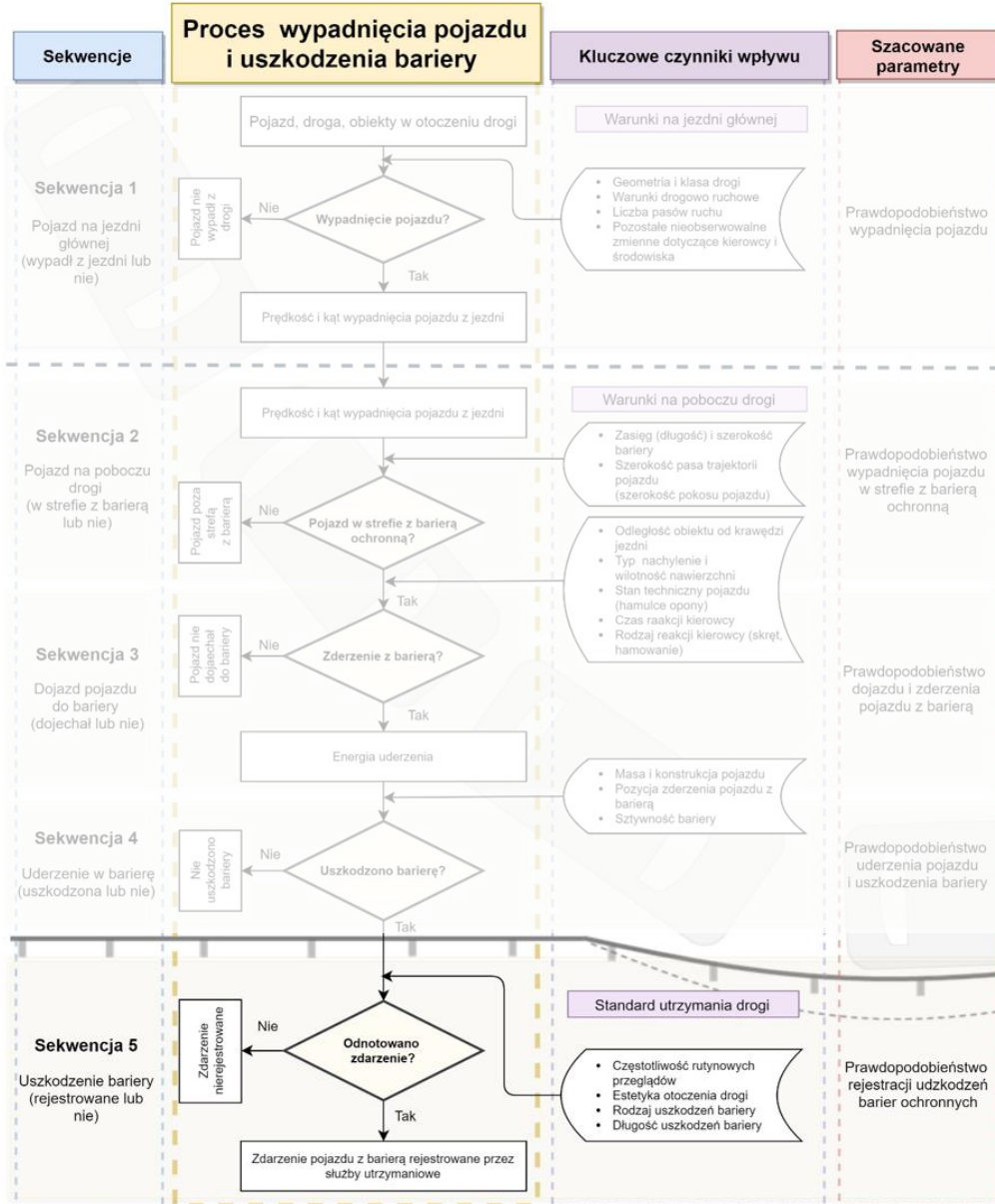
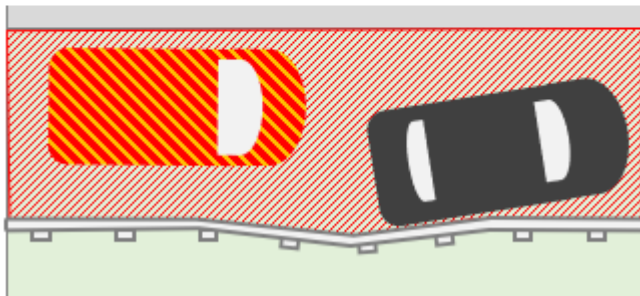




Sekwencja 4 Uderzenie w barierę ochronną

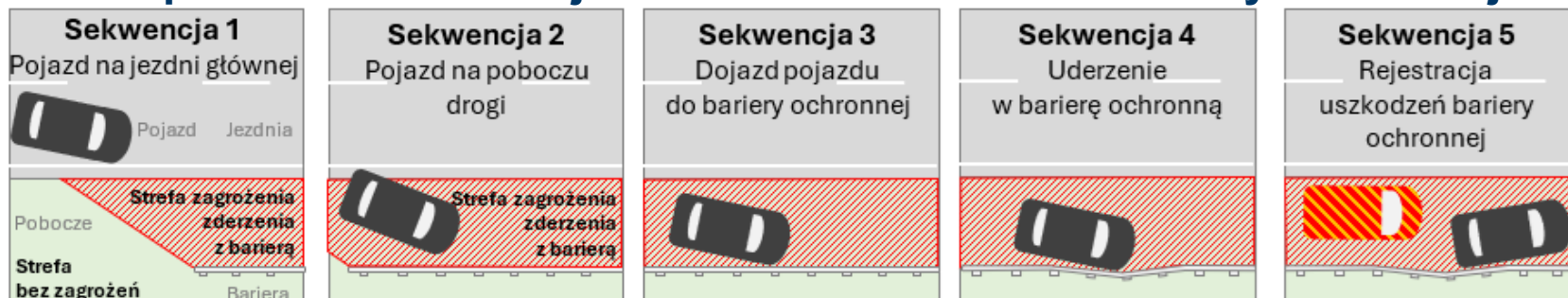


Sekwencja 5 Rejestracja uszkodzeń bariery ochronnej



Modelowanie prawdopodobieństwa i konsekwencji zderzenia pojazdu z barierą w pojedynczym zdarzeniu

Prawdopodobieństwo zarejestrowania uszkodzenia bariery ochronnej



Sekwencja	Opis prawdopodobieństwa	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Prawdopodobieństwo łączne P _{ZDB} (wypadnięć/mln poj.km/rok)
1	Pojazd wypadł z jezdni	0,400					0,400
2	Pojazd znalazł się w strefie z barierą	0,400	0,907				0,363
	Pojazd znalazł się w strefie bez barier	0,400	0,125				0,050
3	Pojazd dojechał do bariery i w nią uderzył	0,400	0,907	0,964			0,350
	Pojazd nie dojechał do bariery	0,400	0,907	0,036			0,002
4	Pojazd uderzył i uszkodził barierę	0,400	0,907	0,964	1,0 ¹ 0,8 ²		0,350 0,280
5	Zarejestrowano uszkodzenie bariery	0,400	0,907	0,964	1,0 ¹ 0,8 ²	1,0 _(US-A) 0,8 _(US-B) 0,5 _(MK)	0,350 0,224 0,140
Prawdopodobieństwo łączne: (prawdopodobieństwo zarejestrowania uszkodzeń bariery:							$P_{ZDB} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5$

¹Przy założeniu, że każde zarysowanie lub trwała deformacja kwalifikowana jest jako uszkodzenie bariery.

²Przy założeniu, że wyłącznie trwałe i znaczące deformacje kwalifikowane są jako uszkodzenie bariery.

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

Kraków, 12-14 marca 2025 r.

Modelowanie prawdopodobieństwa i konsekwencji zderzenia pojazdu z barierą w pojedynczym zdarzeniu

Prawdopodobieństwo zarejestrowania uszkodzenia bariery ochronnej

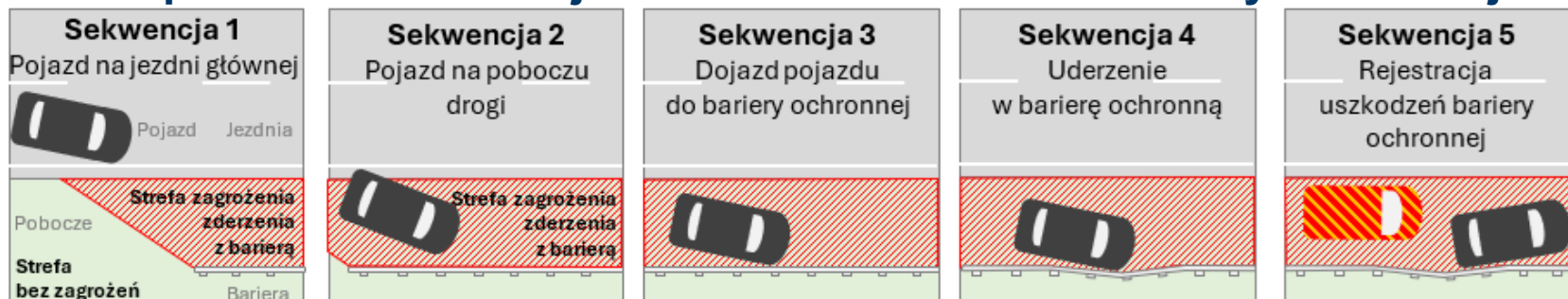
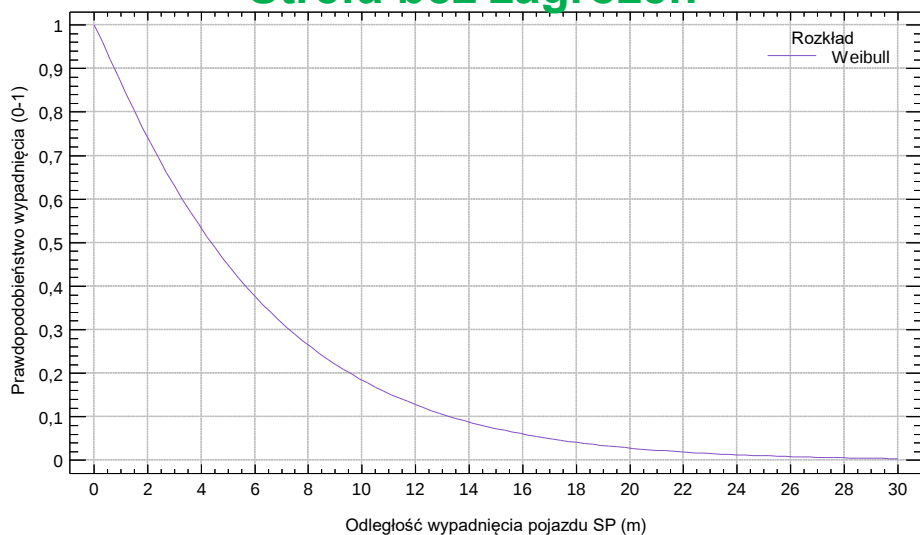
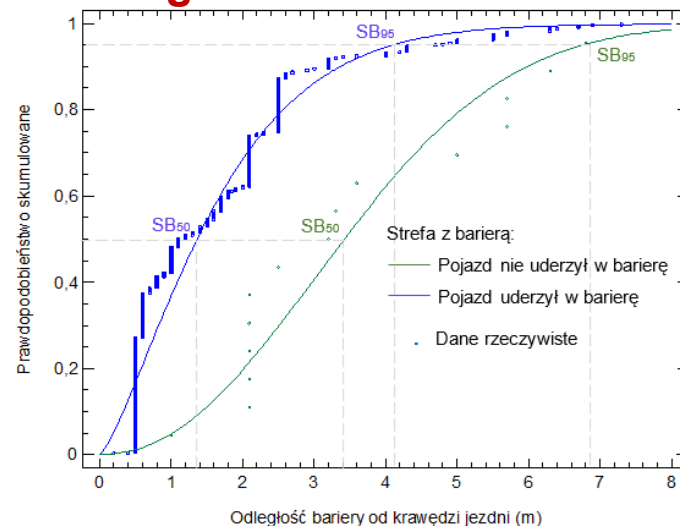


Fig. 1. Przyjęte sekwencje procesu wypadnięcia pojazdu z jezdni i zderzenia z barierą ochronną

Strefa bez zagrożeń



Strefa zagrożenia zderzenia z barierą

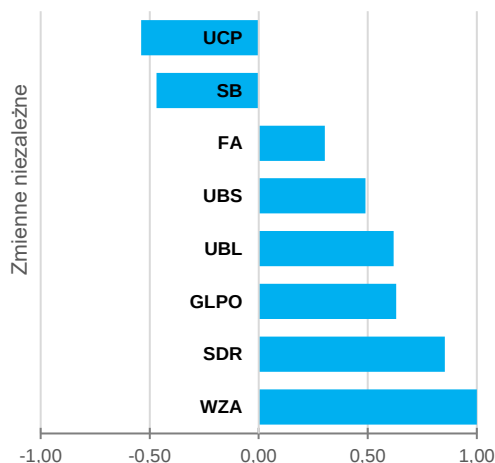


Modelowanie **liczby** i wielkości uszkodzeń barier ochronnych spowodowanych uderzeniem pojazdów na odcinkach dróg

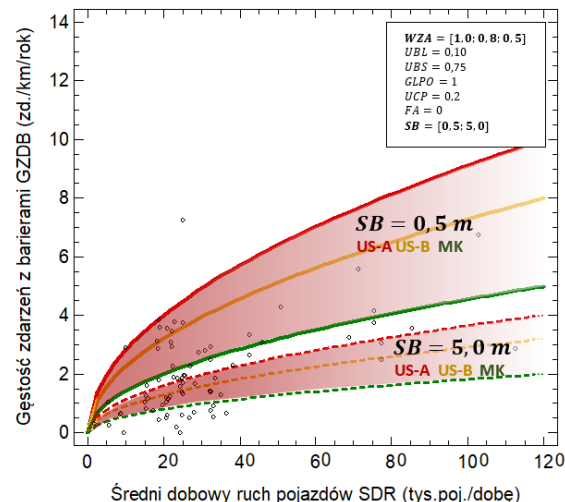
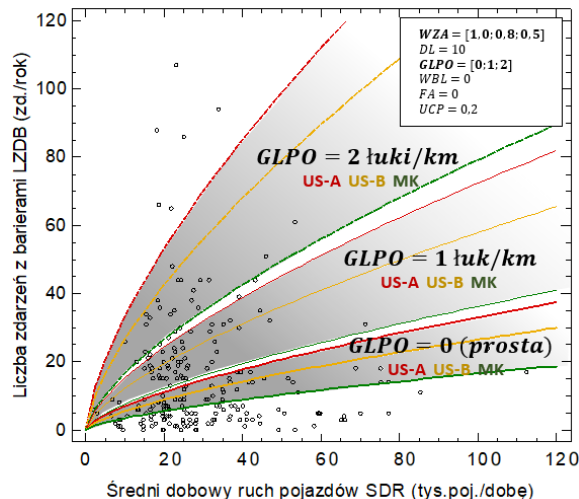
Gęstość zdarzeń z barierą ochronną:

$$GZDB_i^{C1(1)}$$

$$= SDR_i^{0,510} \cdot WZA_i \cdot \exp(-1,494 - 1,510 \cdot UCP_i + 0,742 \cdot GLPO_i + 0,626 \cdot FA_i + 1,071 \cdot UBS_i + 1,606 \cdot UBL_i - 0,203 \cdot SB_i)$$



gdzie: Wskaźnik elastyczności łukowej AE



FA – odcinek falisty, GLPO – gęstość łuków poziomych, SB – średnia odległość barier od krawędzi jezdni, SDR – średni dobowy ruch pojazdów, UBL – udział barier linowych, UBS – udział barier stalowych, UCP – udział pojazdów ciężarowych z przyczepą, WZA – współczynnik wykrywalności zdarzeń (grupa A – zależny od standardu utrzymania).

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

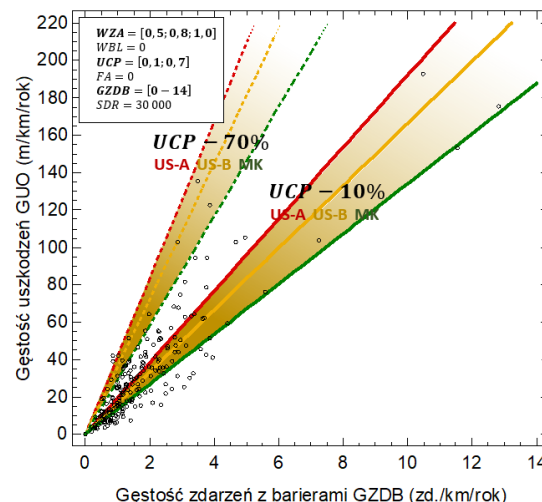
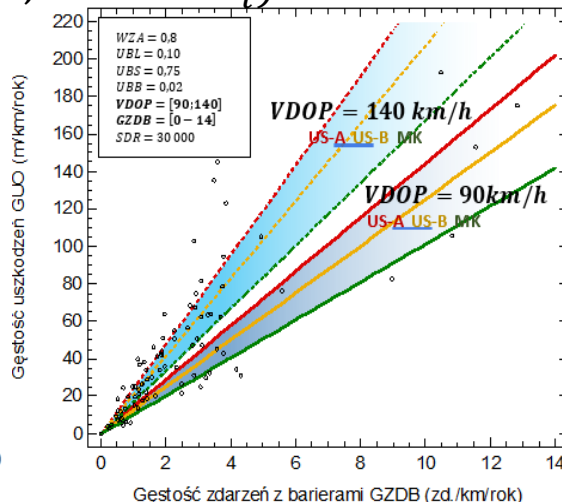
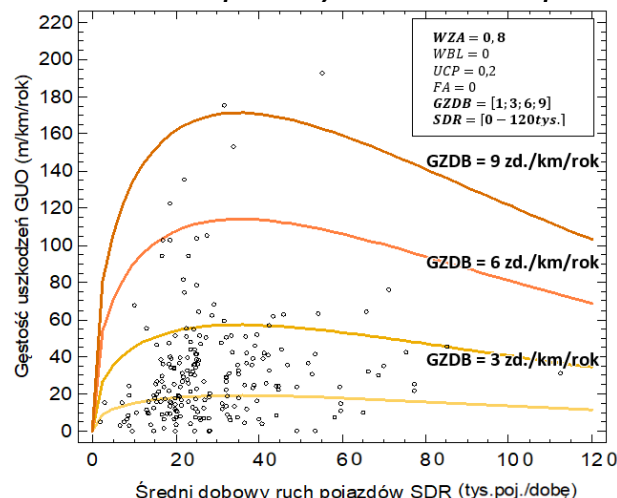
Kraków, 12-14 marca 2025 r.

Modelowanie liczby i wielkości uszkodzeń barier ochronnych spowodowanych uderzeniem pojazdów na odcinkach dróg

Gęstość długości uszkodzeń barier ochronnych:

$$GUO_i^{F1(5)}$$

$$= GZDB_i^M \cdot \exp(1,138 - 0,009 \cdot \left(\frac{SDR_i}{1000}\right) + 0,710 \cdot WZA_i + 0,010 \cdot VDOP_i + 0,296 \cdot UBS_i - 5,253 \cdot UBB_i + 0,666 \cdot UBL_i)$$



GZDB – gęstość zdarzeń z barierami ochronnymi, **VDOP** – śr. prędkość dopuszczalna na odcinku drogi, **SDR** – średni dobowy ruch pojazdów, **UBB** – udział barier betonowych, **UBL** – udział barier linowych, **UBS** – udział barier stalowych, **WZA** – współczynnik wykrywalności zdarzeń (grupa A – zależny od standardu utrzymania).

1. **Prawdopodobieństwo niezamierzonego wypadnięcia pojazdu z jezdni można opisać za pomocą pięciu sekwencji procesów stochastycznych.**
2. **Prawdopodobieństwo wypadnięcia pojazdu z jezdni i uderzenia w barierę ochronną, zależy w głównej mierze od natężenia ruchu na drodze, prędkości i kąta wypadnięcia pojazdu, wyposażenia otoczenia jezdni w bariery i odległości bariery od krawędzi jezdni**
3. **Wielkość uszkodzeń drogowej bariery ochronnej w pojedynczym zderzeniu zależy przede wszystkim od energii kinetycznej poprzecznej uderzającego pojazdu (masy pojazdu, prędkości pojazdu, kąta uderzenia) oraz sztywności bariery ochronnej.**
4. **Częstość i wielkość uszkodzeń drogowych barier ochronnych na odcinku drogi zależy m.in. od gęstości łuków poziomych, odległości bariery od krawędzi jezdni, natężenia ruchu na odcinku drogi, udziału pojazdów ciężarowych rodzaju bariery oraz średniej prędkości dopuszczalnej na odcinku drogi.**
5. **W celu udoskonalenia modeli prawdopodobieństwa należy w kolejnych badaniach poszerzyć zakres i uzupełnić zbiór badań terenowych.**

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ.



HISTORIA MĄDROŚCIĄ
PRZYSZŁOŚĆ WYZWANIEM

KONGRES BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2025

Kraków, 12-14 marca 2025 r.

www.konferencjespecjalistyczne.pl