# Metoda oceny skuteczności dedykowanych rozwiązań oświetleniowych stosowanych na przejściach dla pieszych

**dr inż. Anna Wytrykowska, BZRD, m. st. Warszawa**

**dr hab. inż. Piotr Tomczuk, prof. uczelni, WT PW**

**dr inż. Marcin Chrzanowicz, EE PW**

**KONGRES**

**BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2023**

**Kraków, 1-3 marca 2023 r.**

**www.konferencjespecjalistyczne.pl**

# Cel badań



- dodatni poziom kontrastu luminancji sylwetki pieszego z tłem wpływa na ograniczenie liczby konfliktów w ruchu drogowym
- ocena wpływu poziomu kontrastu dodatniego na zachowania uczestników ruchu drogowego.
- ocena zasadności stosowania odpowiednich poziomów oświetlenia na przejściach dla pieszych oświetlonych za pomocą dedykowanych rozwiązań oświetleniowych.

# Motywacja podjęcia tematu



Oświetlenie przejść dla pieszych

Kontrast ujemny

- oświetlenie uliczne
- oświetlenie uliczne za pomocą opraw dodatkowych

**Kontrast dodatni**

- **oświetlenie dedykowane**

# Badania terenowe – założenia oraz przyjęte metody pomiarowe

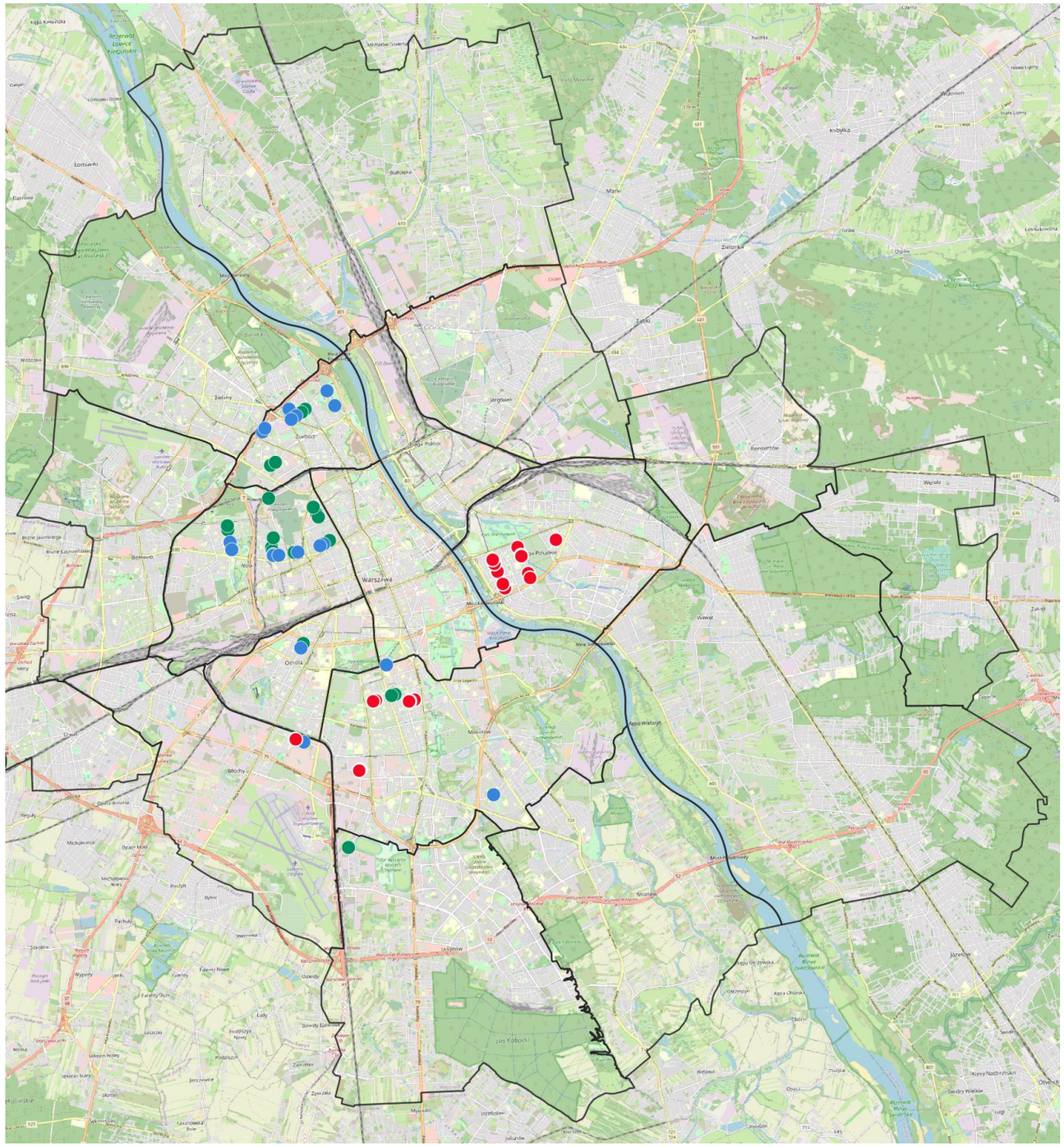


**Poligon badawczy:**

- 60 przejść dla pieszych
- niesterowanych sygnalizacją świetlną
- zlokalizowanych na drogach dwupasowych – dwukierunkowych
- zlokalizowanych w terenie zabudowanym

**Warunki prowadzenia pomiarów:**

- okres jesienno – zimowy
- w godzinach 19:00 – 22:00
- wtorek – czwartek
- przy suchej nawierzchni jezdni

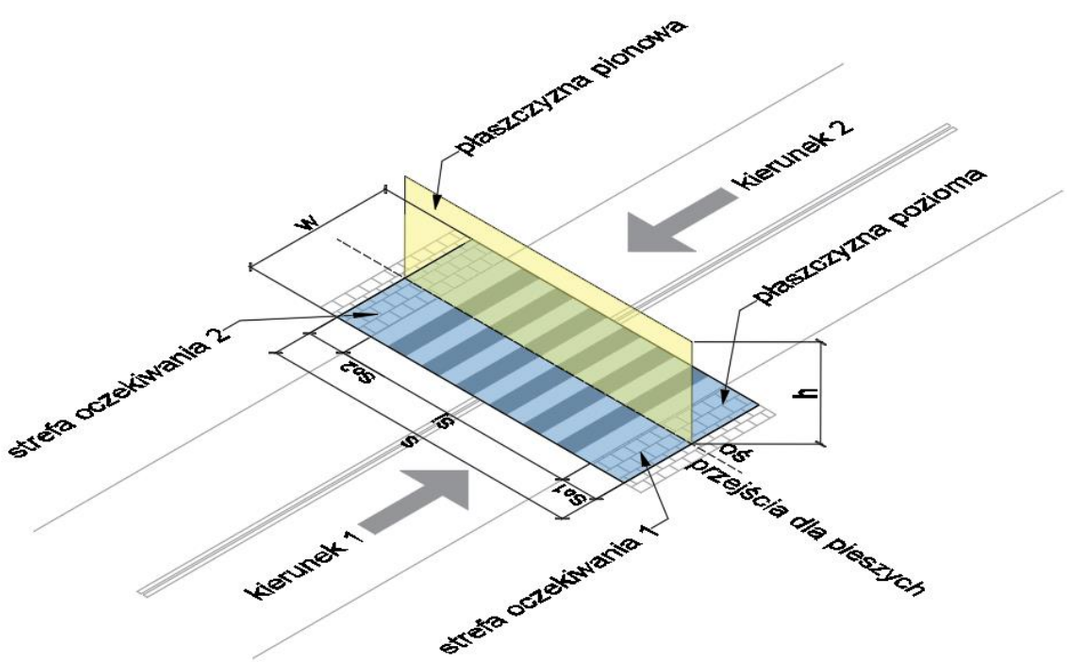


# Badania terenowe – założenia oraz przyjęte metody pomiarowe



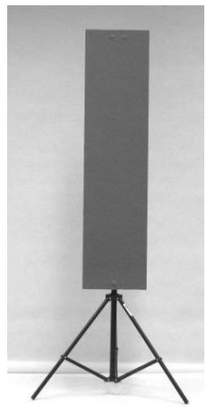
## Pomiar natężenia oświetlenia

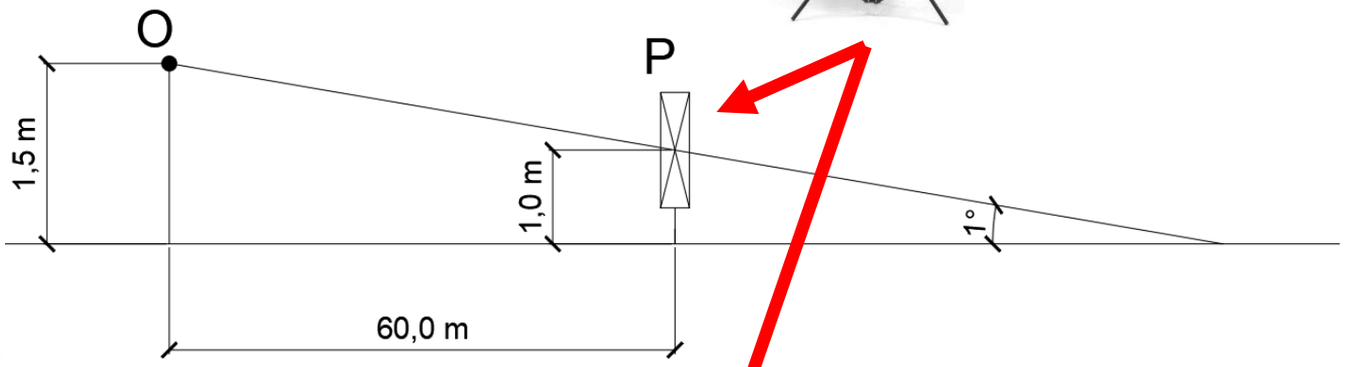
- minimalne natężenie oświetlenia
- maksymalne natężenie oświetlenia
- średnie natężenie oświetlenia
- równomierność rozkładu natężenia oświetlenia
- klasa oświetleniowa

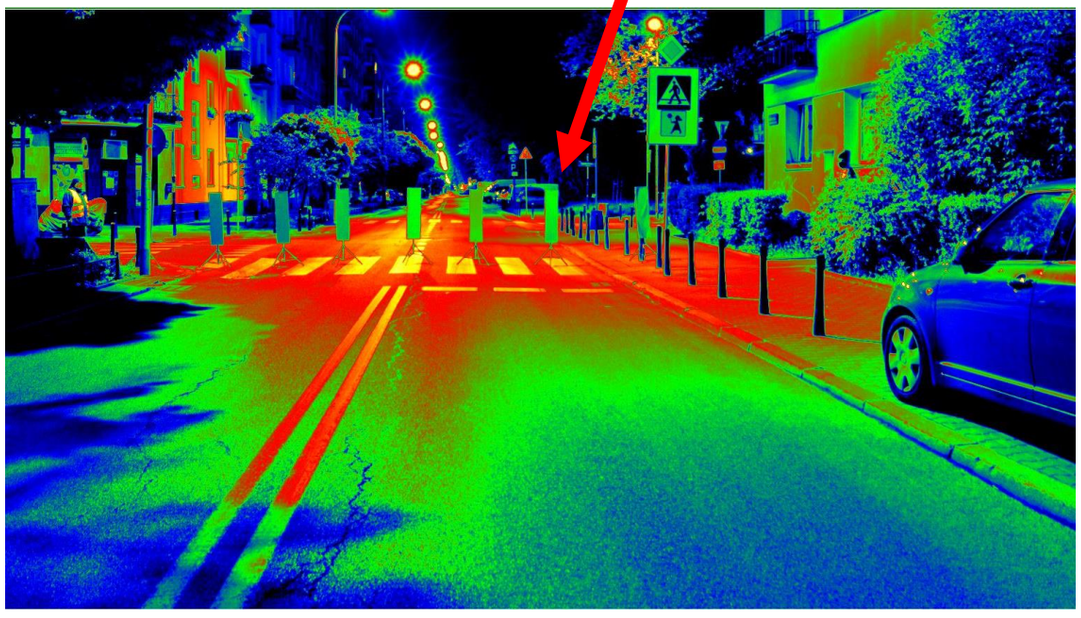



## Pomiar luminancji

- luminancja tła
- luminancja obiektu
- kontrastu luminancji





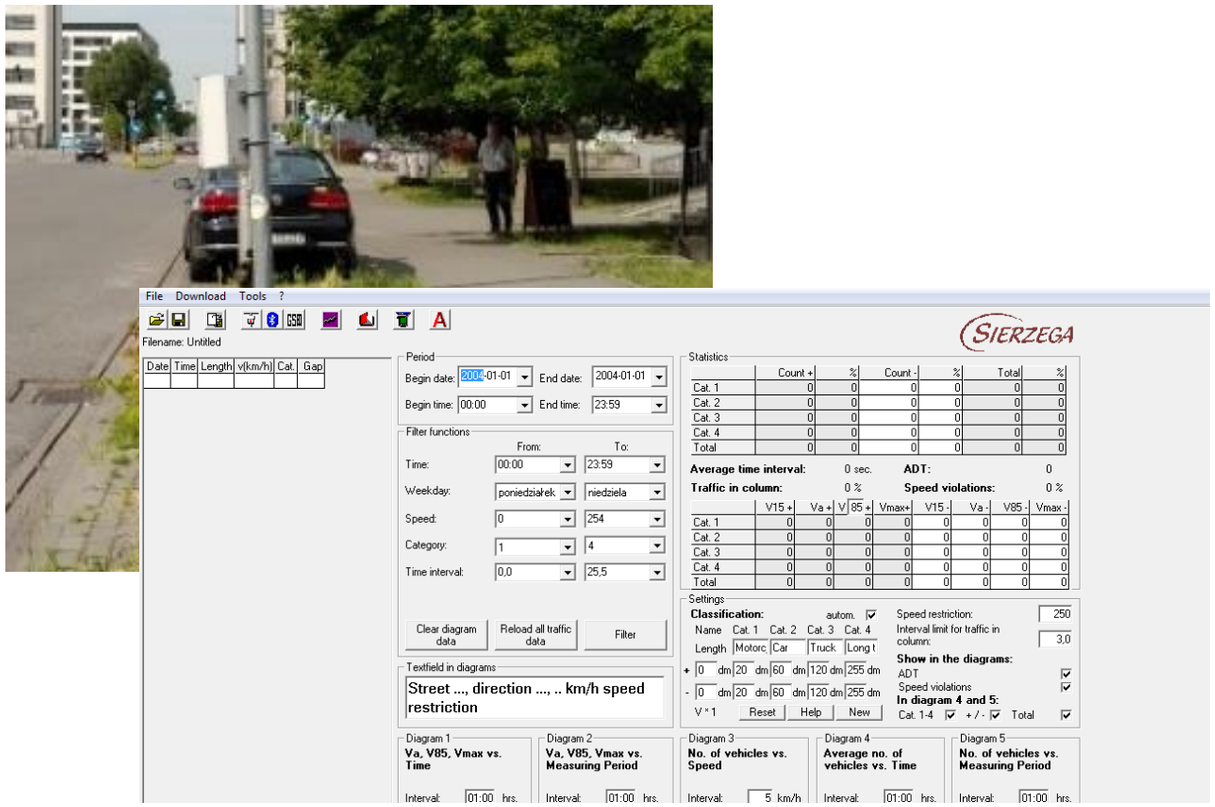



# Badania terenowe – założenia oraz przyjęte metody pomiarowe



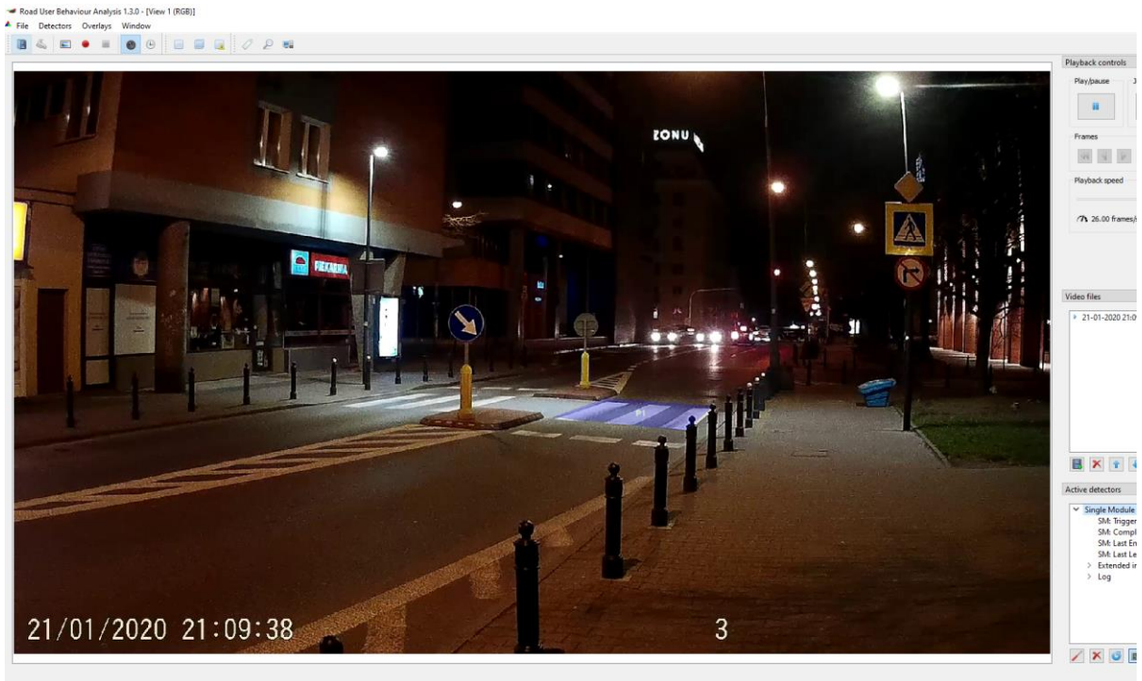
## Pomiar prędkości

- średnia prędkość pojazdów w odległości 10 m od przejścia dla pieszych




## Badanie konfliktów ruchowych

- subiektywna ocena sytuacji gdzie doszło do wzajemnego oddziaływania między pieszymi a kierowcami

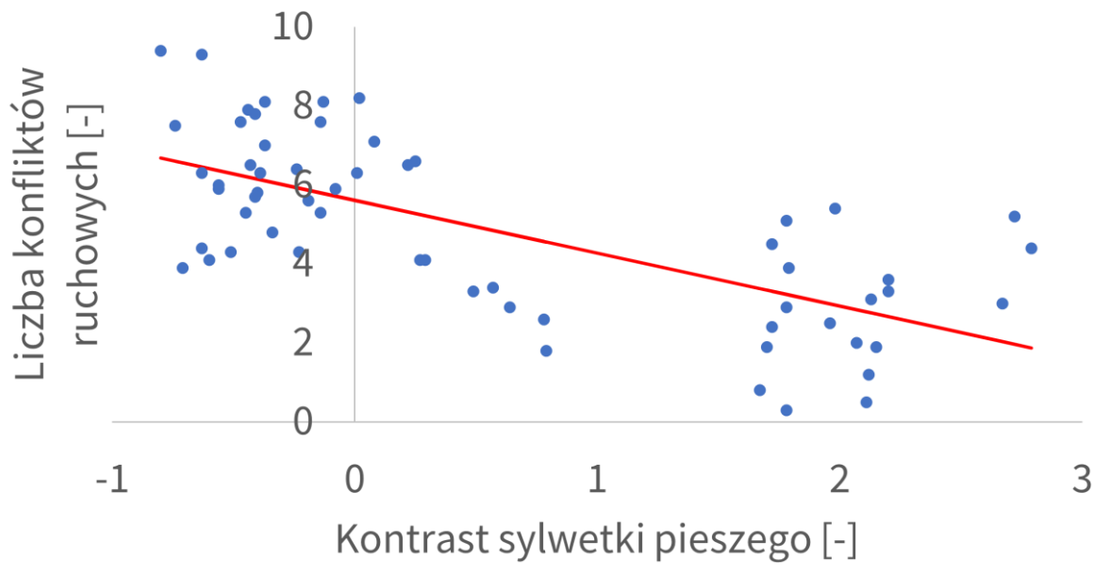


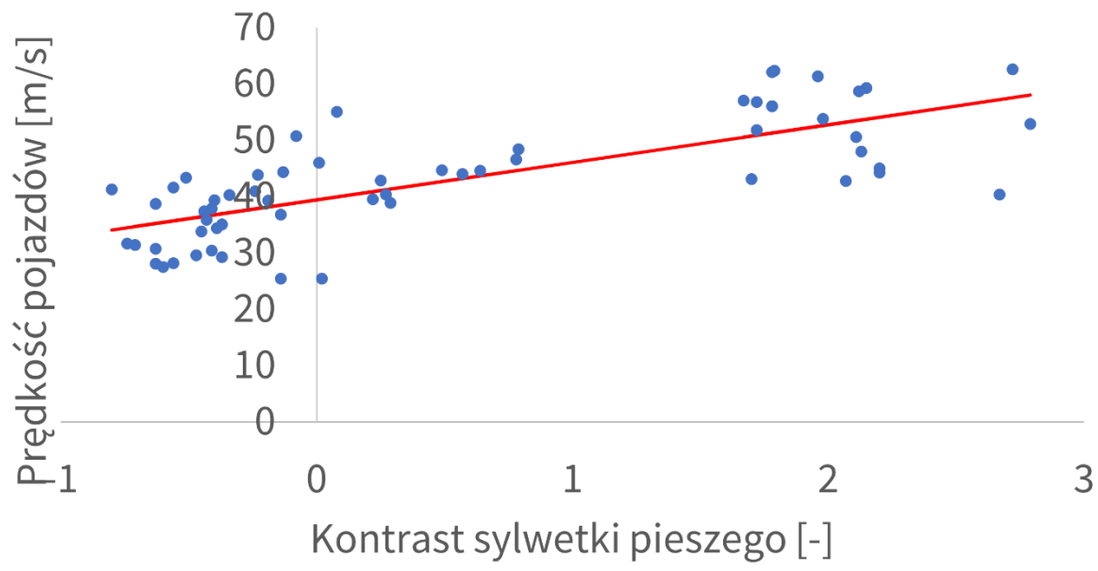
# Wyniki badań terenowych



Zestawienie wartości współczynnika korelacji dla danych relacji wraz z ich interpretacją

| Lp. | Opis analizowanej zależności | Współczynnik korelacji r Pearsona |
|---|---|---|
| 1. | **natężenie oświetlenia w płaszczyźnie pionowej - kontrast sylwetki pieszego** | 0,85 (korelacja b. silna) |
| 2. | **natężenie oświetlenia w płaszczyźnie pionowej - liczba konfliktów ruchowych** | -0,56 (korelacja silna) |
| 3. | **natężenie oświetlenia w płaszczyźnie pionowej - prędkość pojazdów** | 0,66 (korelacja silna) |
| 4. | **kontrast sylwetki pieszego – prędkość pojazdów** | 0,75 (korelacja b. silna) |
| 5. | **kontrast sylwetki – liczba konfliktów ruchowych** | -0,68 (korelacja silna) |
| 6. | **prędkość pojazdów - liczba konfliktów ruchowych** | -0,55 (korelacja silna) |



# Analiza rozkładu kontrastu



- luminancja średnia jezdni:

$$L_{śr} = E_{hśr} \cdot q$$

gdzie:
$L_{śr}$ – luminancja średnia jezdni [cd/m$^2$]
$E_{hśr}$ – natężenie oświetlenia w płaszczyźnie poziomej [lx],
$q$ – współczynnik luminancji [sr$^{-1}$]

- luminancja średnia pieszego:

$$L_O = \frac{\rho E_v}{\pi}$$

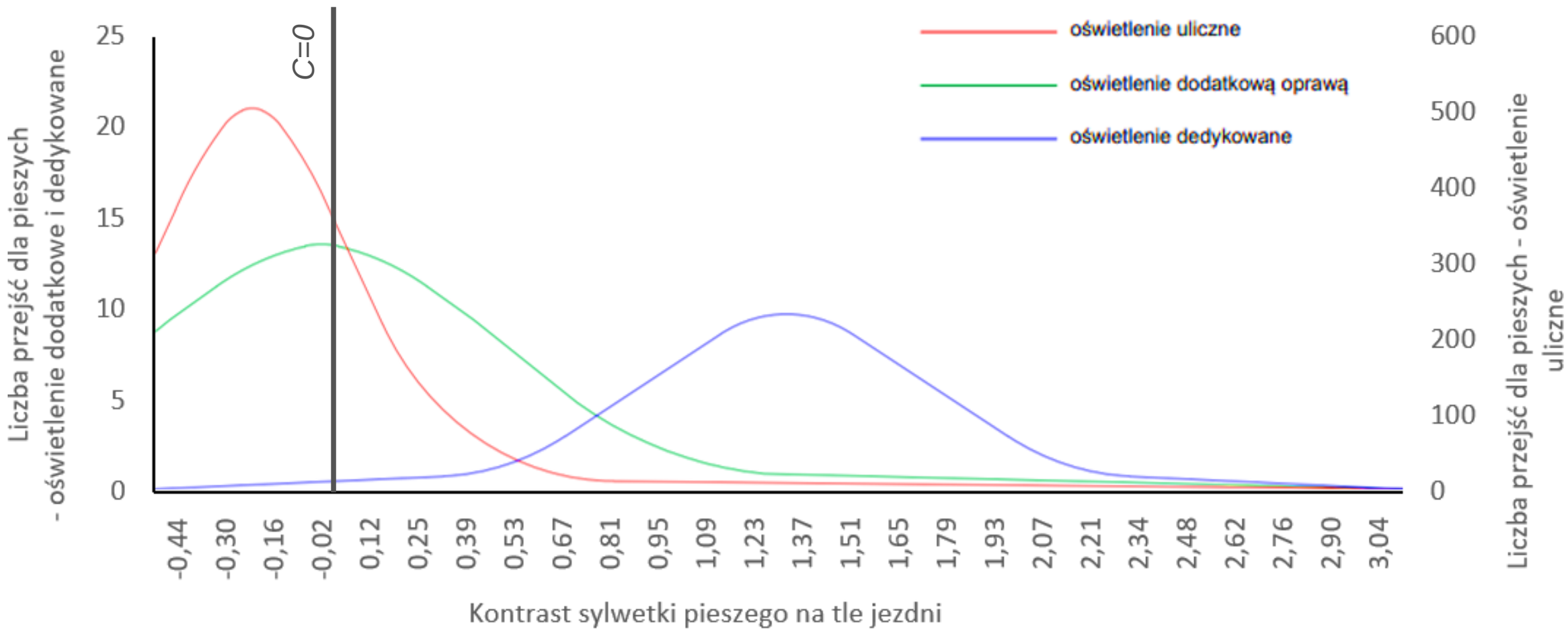
gdzie:
$L_O$ – luminancja obiektu [cd/m$^2$],
$\rho$ – całkowity współczynnik odbicia,
$E_v$ – natężenie oświetlenia w płaszczyźnie pionowej [lx].

- **kontrast sylwetki pieszego:**

$$\mathbf{C} = \frac{\boldsymbol{L_O - L_T}}{\boldsymbol{L_T}}$$

# Analiza rozkładu kontrastu



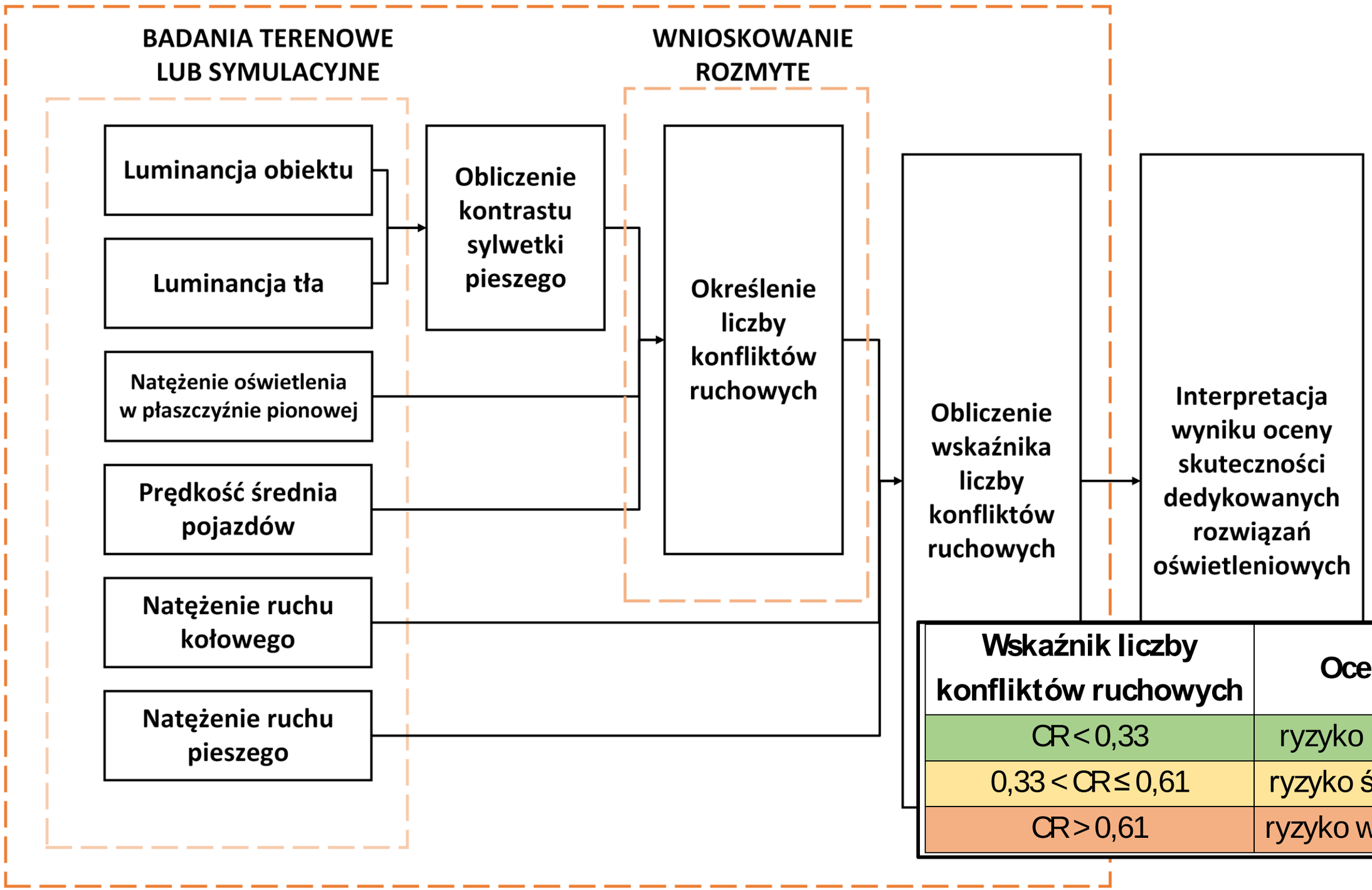



**Rozkład częstości występowania kontrastu sylwetki pieszego**

w poszczególnych przedziałach w zależności od rodzaju zastosowanego oświetlenia

# Metoda oceny skuteczności dedykowanych rozwiązań oświetleniowych

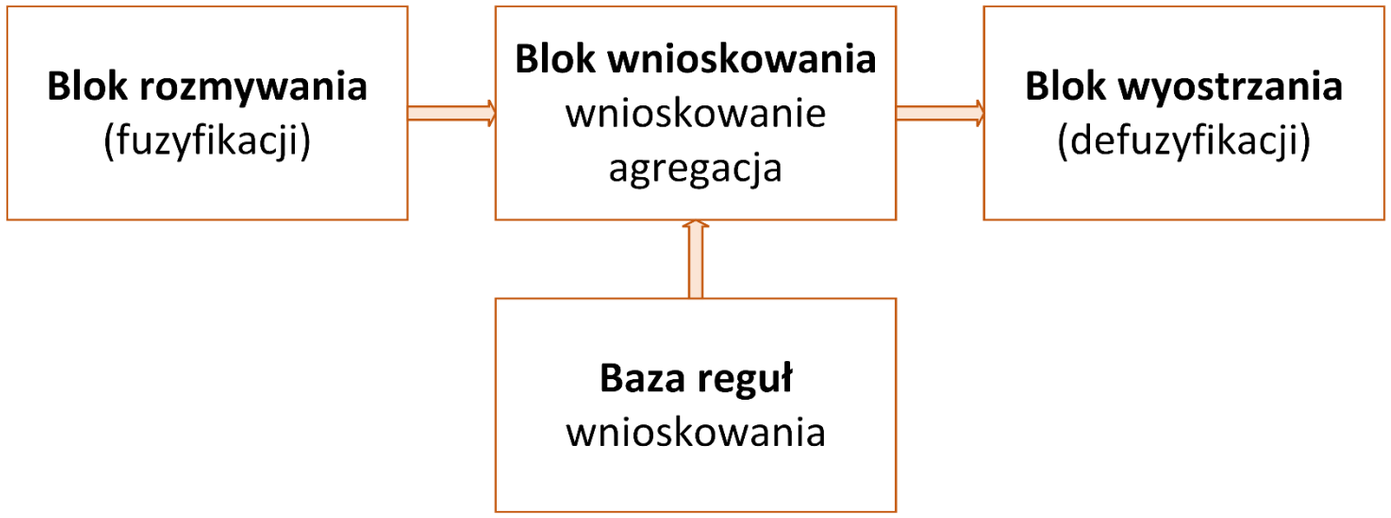





| Wskaźnik liczby konfliktów ruchowych | Ocena |
|---|---|
| CR < 0,33 | ryzyko niskie |
| 0,33 < CR ≤ 0,61 | ryzyko średnie |
| CR > 0,61 | ryzyko wysokie |

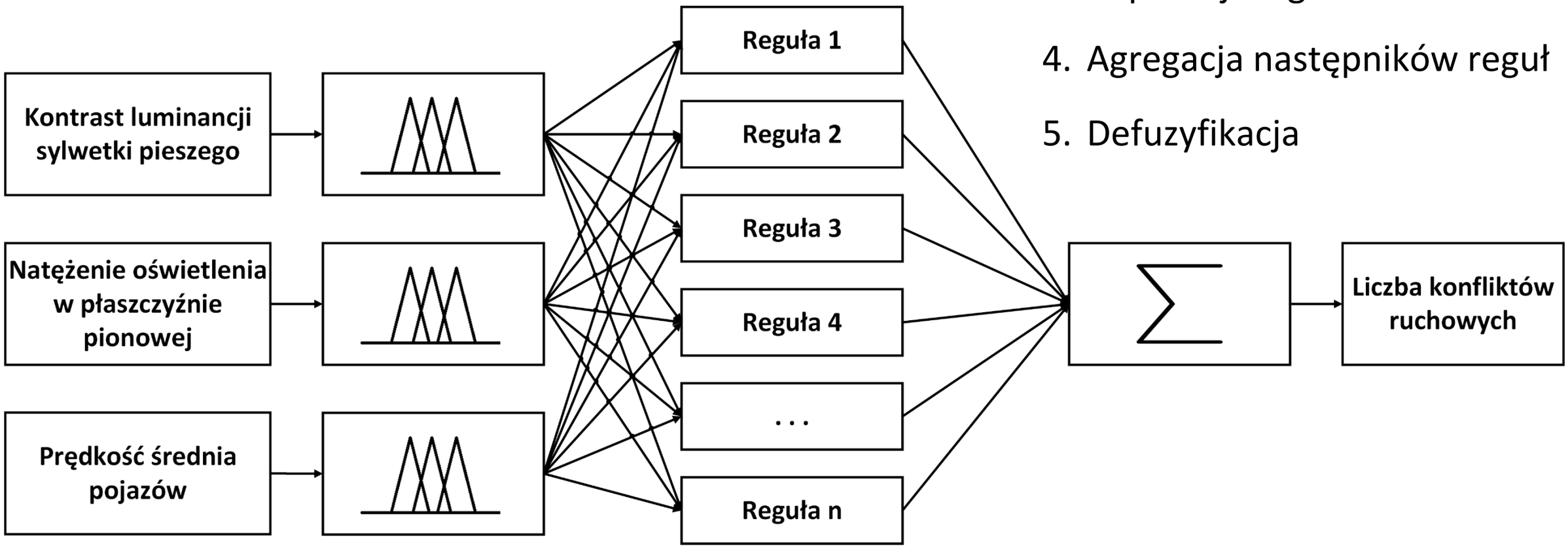
# Struktura modelu wnioskowania rozmytego






**Działanie modelu Mamdaniego:**

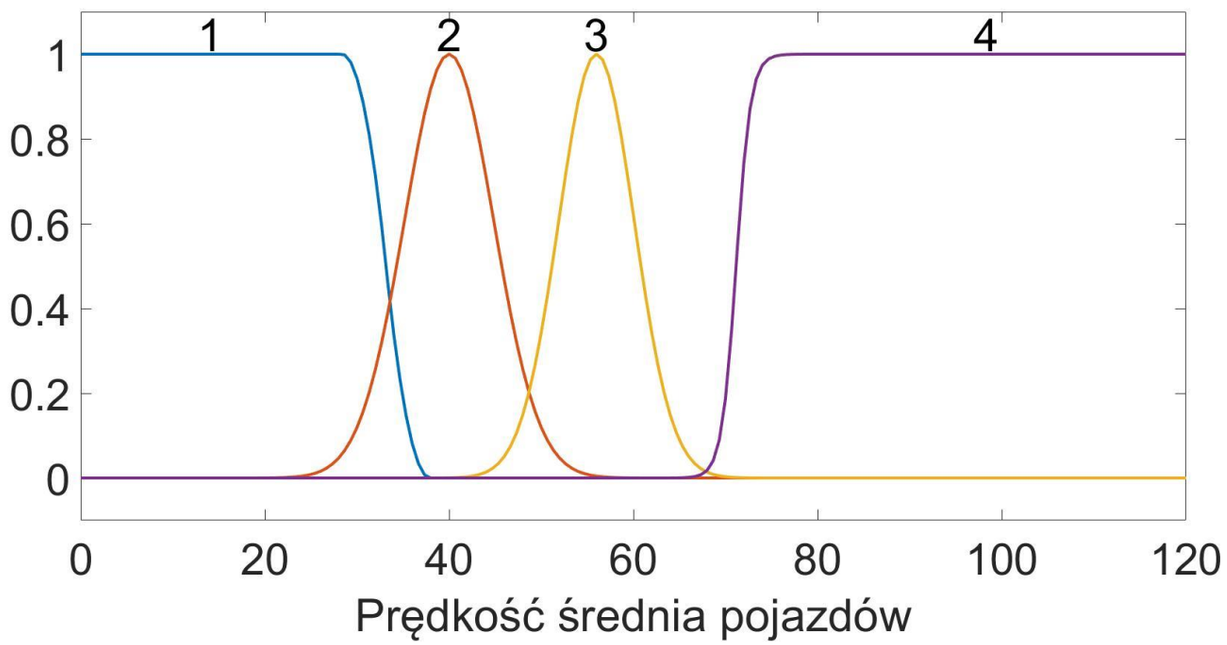
1. Fuzyfikacja (rozmywanie) danych wejściowych
2. Określenie reguł wnioskowania rozmytego
3. Implikacja logiczna
4. Agregacja następników reguł
5. Defuzyfikacja



# Zdefiniowanie danych wejściowych



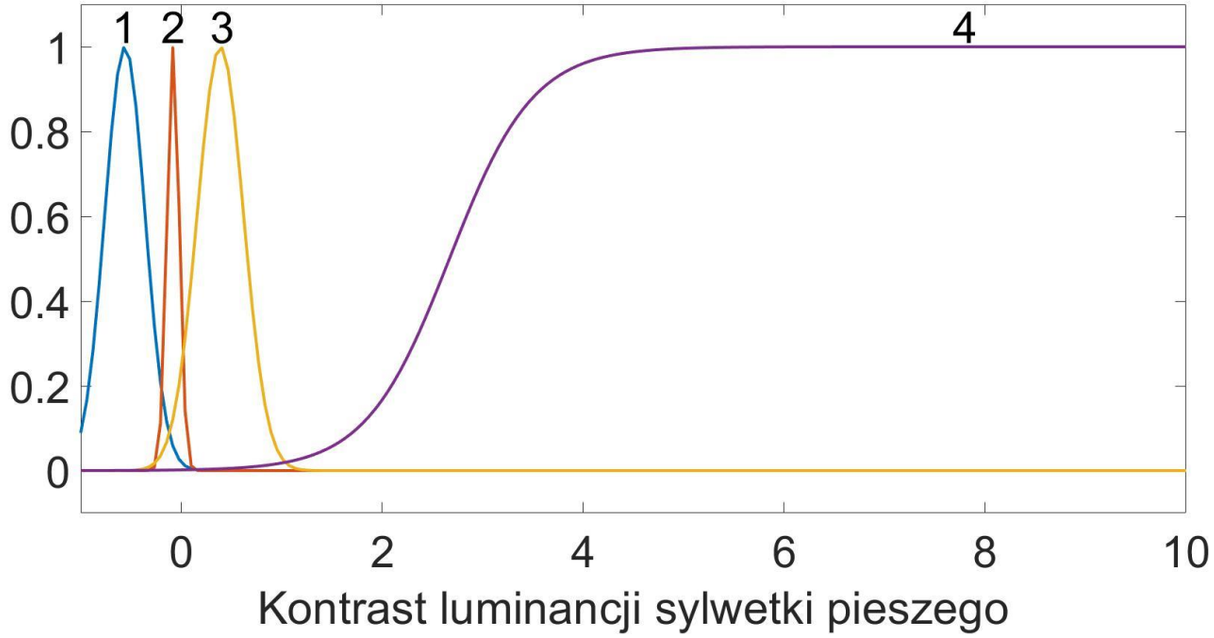
- Dla każdej zmiennej zastosowano **funkcję Gaussa** oraz **funkcję jednostronnie otwartą** typu sigmoidalnego dla przedziałów skrajnych
- Parametry funkcji przynależności oraz przedziały zmienności dobrane zostały na podstawie **wyników badań terenowych** oraz **wyników audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego** realizowanego przez Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie



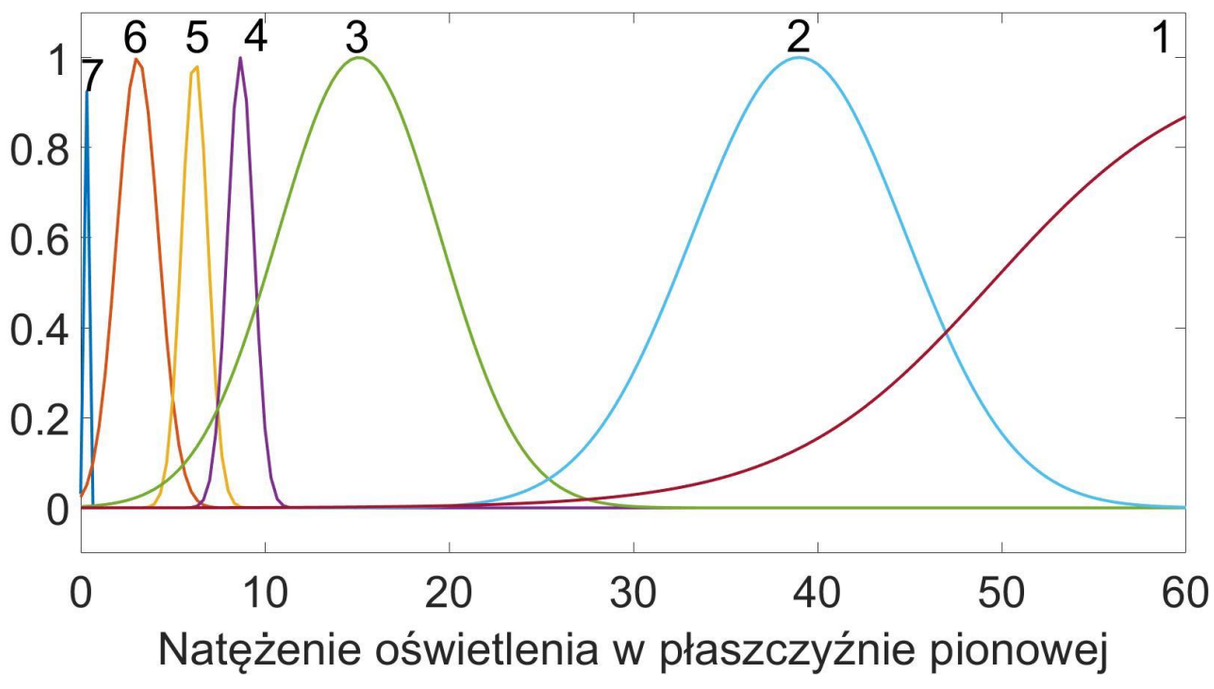

| Oznaczenie na rys. | Opis funkcji | Przedział zmienności | $c$ [%] | $\delta$ [%] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | bezpieczna | $0 < v_{śr} < 35$ | 27 | 1,65 |
| 2 | umiarkowanie bezpieczna | $30 < v_{śr} < 55$ | 40 | 4,85 |
| 3 | niebezpieczna | $50 < v_{śr} < 75$ | 56 | 4,1 |
| 4 | krytyczna | $v_{śr} > 70$ | 74 | 2,41 |

# Zdefiniowanie danych wejściowych






| Oznaczenie na rys. | Opis funkcji | Przedział zmienności | $c$ [%] | $\delta$ [%] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | akceptowalny | -1 < C < -0,05 | -0,56 | 0,2 |
| 2 | nieakceptowalny | -0,1 < C < 0,1 | -0,08 | 0,06 |
| 3 | dobry | 0,05 < C < 1,5 | 0,39 | 0,23 |
| 4 | bardzo dobry | C > 1 | 2,67 | 2,4 |




| Oznaczenie na rys. | Opis funkcji | Przedział zmienności | $c$ [%] | $\delta$ [%] |
|---|---|---|---|---|
| 7 | nieakceptowalne | $E_v < 0,5$ | 0,30 | 0,11 |
| 6 | minimalne | $0,5 \le E_v < 5$ | 3,09 | 1,13 |
| 5 | dopuszczalne | $5 \le E_v < 7,5$ | 6,20 | 0,71 |
| 4 | niskie | $7,5 \le E_v < 10$ | 8,68 | 0,71 |
| 3 | dostateczne | $10 \le E_v < 30$ | 15,11 | 4,41 |
| 2 | dobre | $30 \le E_v < 50$ | 39,32 | 5,82 |
| 1 | bardzo dobre | $E_v \ge 50$ | 69,51 | 17,01 |

# Zdefiniowanie reguł oceny



$$IF\ (E_v\ jest\ A_1)\ AND/OR\ (C\ jest\ B_1)\ AND/OR\ (v_{śr}\ jest\ C_1)\ THEN\ (LC\ jest\ D_1)$$

gdzie:

$E_v$, $C$, $v_{śr}$ – są danymi wejściowymi,

$A_1$, $B_1$, $C_1$, $D_1$ – są zbiorami rozmytymi,

$LC$ – jest zmienną wyjściową modelu lingwistycznego.

If (**kontrast is 1**) and (**predkosc_pojazdow is 3**) and (**natezenie_oswietlenia is EV4**) then (**liczba_konfliktów is 4**);

If (**kontrast is 2**) and (**predkosc_pojazdow is 4**) and (**natezenie_oswietlenia is EV5**) then (**liczba_konfliktów is 5**);

If (**kontrast is 2**) and (**predkosc_pojazdow is 1**) and (**natezenie_oswietlenia is EV6**) then (**liczba_konfliktów is 5**);

If (**kontrast is 3**) and (**predkosc_pojazdow is 2**) and (**natezenie_oswietlenia is brak**) then (**liczba_konfliktów is 5**);

If (**kontrast is 3**) and (**predkosc_pojazdow is 4**) and (**natezenie_oswietlenia is EV1**) then (**liczba_konfliktów is 2**);

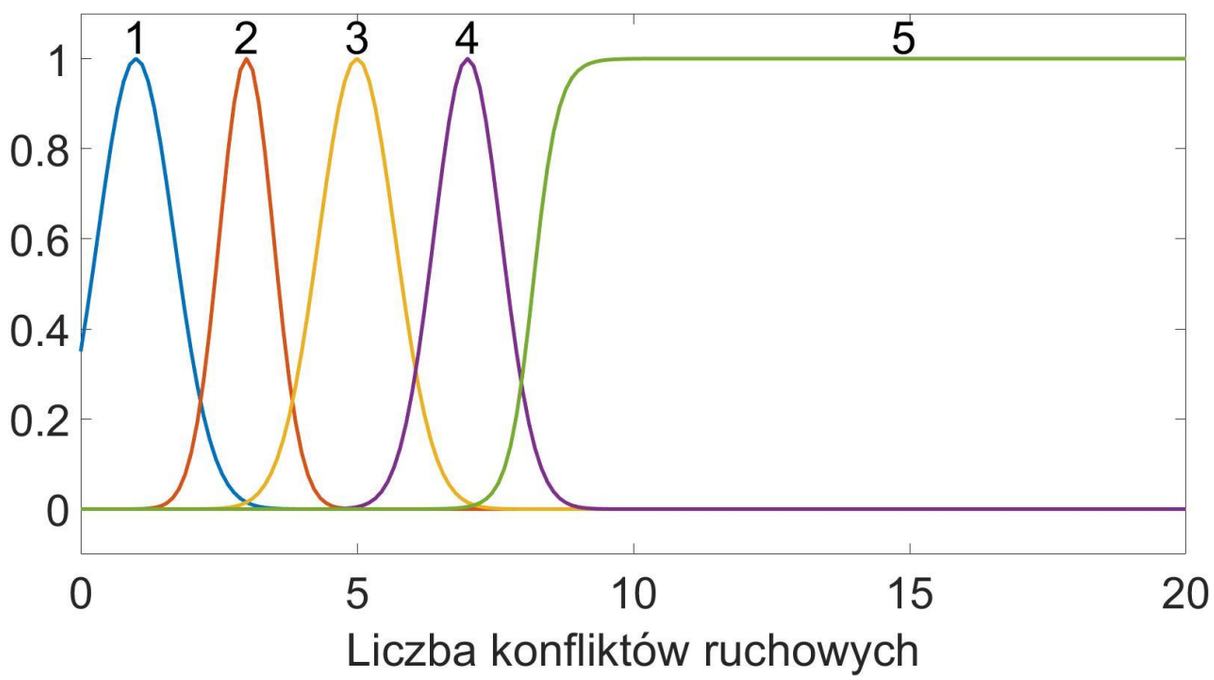
If (**kontrast is 4**) and (**predkosc_pojazdow is 3**) and (**natezenie_oswietlenia is EV2**) then (**liczba_konfliktów is 2**);

If (**kontrast is 4**) and (**predkosc_pojazdow is 1**) and (**natezenie_oswietlenia is EV3**) then (**liczba_konfliktów is 2**);

# Zdefiniowanie danej wyjściowej



- Dla zmiennej wyjściowej zastosowano **funkcję Gaussa** oraz **funkcję jednostronnie otwartą** typu sigmoidalnego dla przedziałów skrajnych
- Parametry funkcji przynależności oraz przedziały zmienności dobrane zostały na podstawie **wyników badań terenowych** oraz **wyników audytu bezpieczeństwa ruchu drogowego** realizowanego przez Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie




| Oznaczenie na rys. | Opis funkcji | Przedział zmienności | $c$ [%] | $\delta$ [%] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | bardzo mało | 0 < LC < 2 | 1 | 0,67 |
| 2 | mało | 2 < LC < 4 | 3 | 0,49 |
| 3 | średnio | 4 < LC < 6 | 5 | 0,69 |
| 4 | dużo | 6 < LC > 8 | 7 | 0,61 |
| 5 | bardzo dużo | LC > 8 | 9 | 0,69 |

# Podsumowanie i wnioski



- opracowanie **zależności pomiędzy warunkami oświetleniowymi, a podstawowymi miarami bezpieczeństwa ruchu drogowego**
- opracowanie i analiza **zmian kontrastu luminancji** w zależności od zastosowanego rozwiązania oświetleniowego
- opracowanie, w oparciu o wiedzę ekspercką oraz badania własne, **modelu wnioskowania rozmytego do określenia liczby konfliktów ruchowych** na podstawie danych szczegółowych o oświetleniu przejść dla pieszych
- **opracowanie** i zweryfikowanie **autorskiej metody oceny skuteczności dedykowanych rozwiązań oświetleniowych stosowanych na przejściach dla pieszych**

# Podsumowanie i wnioski



Zarówno dla wyniki badań terenowych oraz badań symulacyjnych wykazały silną zależność między kontrastem a liczbą konfliktów ruchowych. Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazały na mniejszą liczbę konfliktów na przejściach dla pieszych oświetlonych za pomocą opraw dedykowanych.

Głównymi zaletami zaproponowanej metody są:

- **jednoznaczny** i **prosty** w interpretacji **wynik** oceny
- **uwzględnienie** zależności między **warunkami oświetleniowymi a brd**
- możliwość wykorzystania metody, w celu ustalenia wartości kontrastu dla **projektowanego rozwiązania oświetleniowego**
- możliwość **dostosowania metody** do zmian w wymaganiach formalno – prawnych
- możliwość **rozbudowy metody** o dodatkowe miary oceny
- możliwość wykorzystania metody w **kompleksowych badaniach brd**

# Kierunki dalszych badań



- Przeprowadzenie **badań terenowych na dużej próbie statystycznej**
- Obserwacja **zmian prędkości średniej pojazdów**
- Przeprowadzenie **badań okulograficznych**
- **Rozszerzenie badań** na inne rodzaje przejść dla pieszych
- Uwzględnienie **różnych warunków oświetleniowych**
- Uwzględnienie **innych czynników związanych z oceną bezpieczeństwa ruchu** drogowego

# Metoda oceny skuteczności dedykowanych rozwiązań oświetleniowych stosowanych na przejściach dla pieszych

**dr inż. Anna Wytrykowska, BZRD, m. st. Warszawa**

**dr hab. inż. Piotr Tomczuk, prof. uczelni, WT PW**

**dr inż. Marcin Chrzanowicz, EE PW**

**KONGRES**

**BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2023**

**Kraków, 1-3 marca 2023 r.**

**www.konferencjespecjalistyczne.pl**