

Kontrast luminancji na oświetlonych przejściach dla pieszych w warunkach miejskich

Piotr Tomczuk, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska

*Anna Wytrykowska, Biuro Zarządzania Ruchem Drogowym Urzędu Miasta St. Warszawy;
Wydział Inżynieryjny Uczelni Techniczno-Handlowej im. H. Chodkowskiej*

Marcin Chrzanowicz, Wydział Elektryczny, Politechnika Warszawska

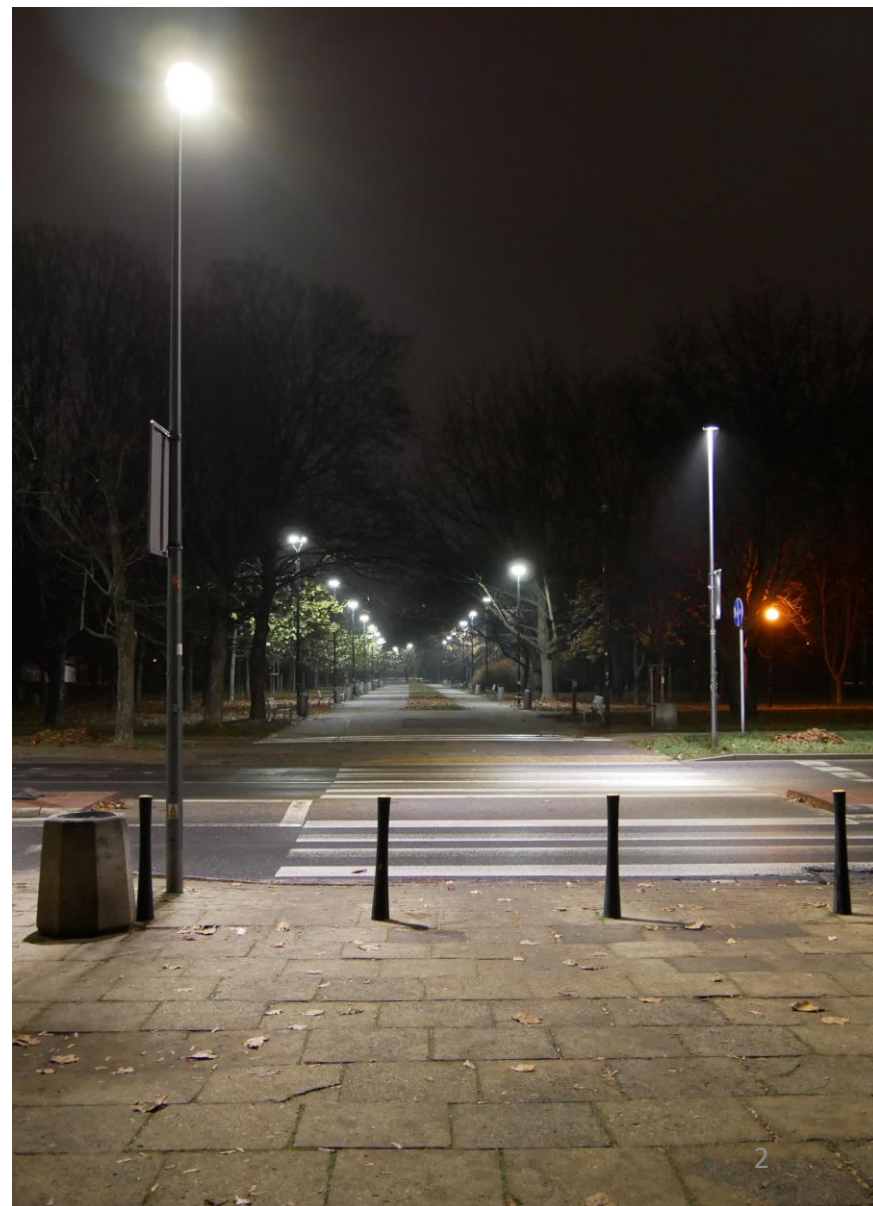
**KONGRES
BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2024**

Kraków, 13-15 marca 2024 r.

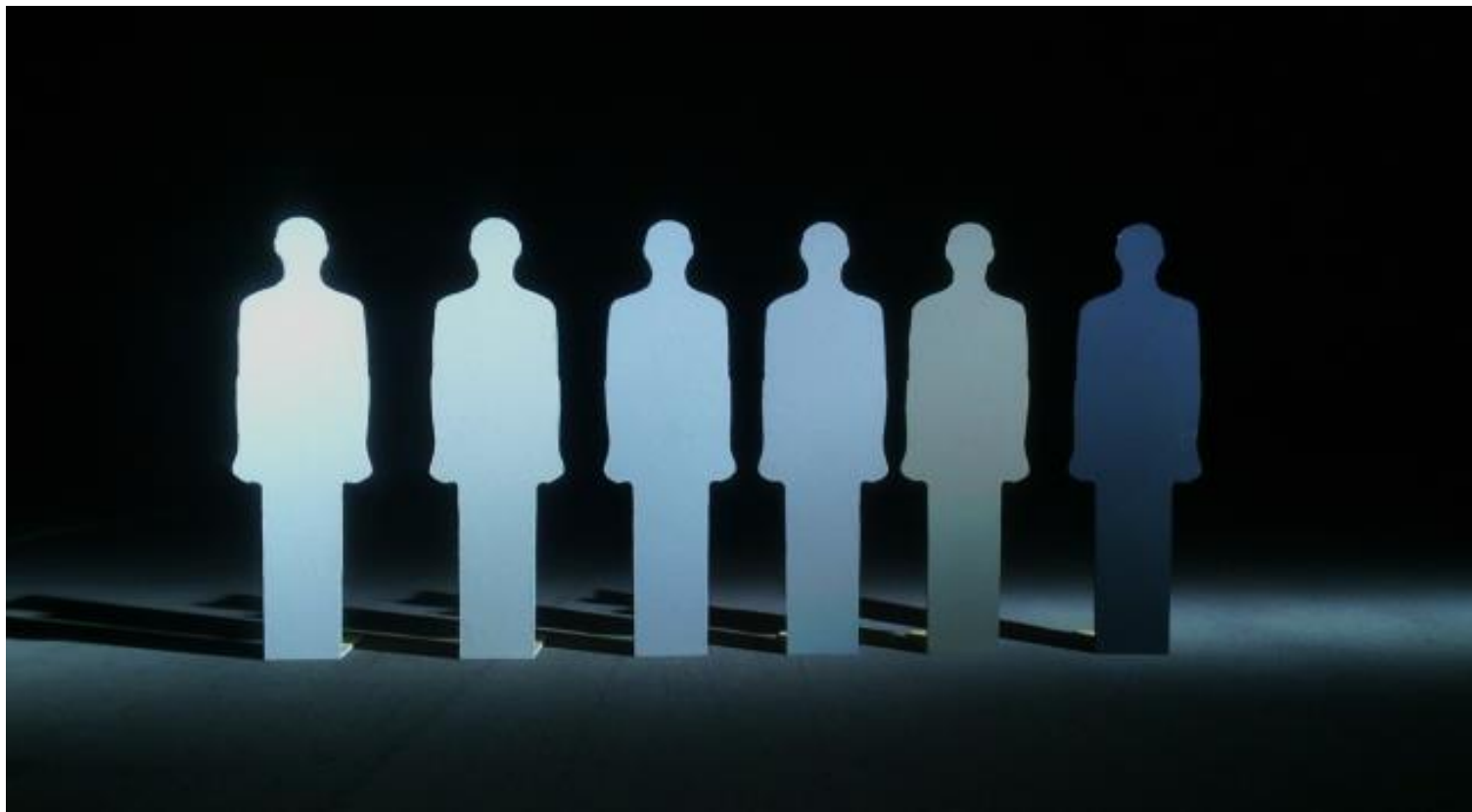
www.konferencjespecjalistyczne.pl

Cel badań

Określenie wartości kontrastu luminancji sylwetki pieszego z tłem wytworzonego poprzez oświetlenie zainstalowane na przejściach dla pieszych

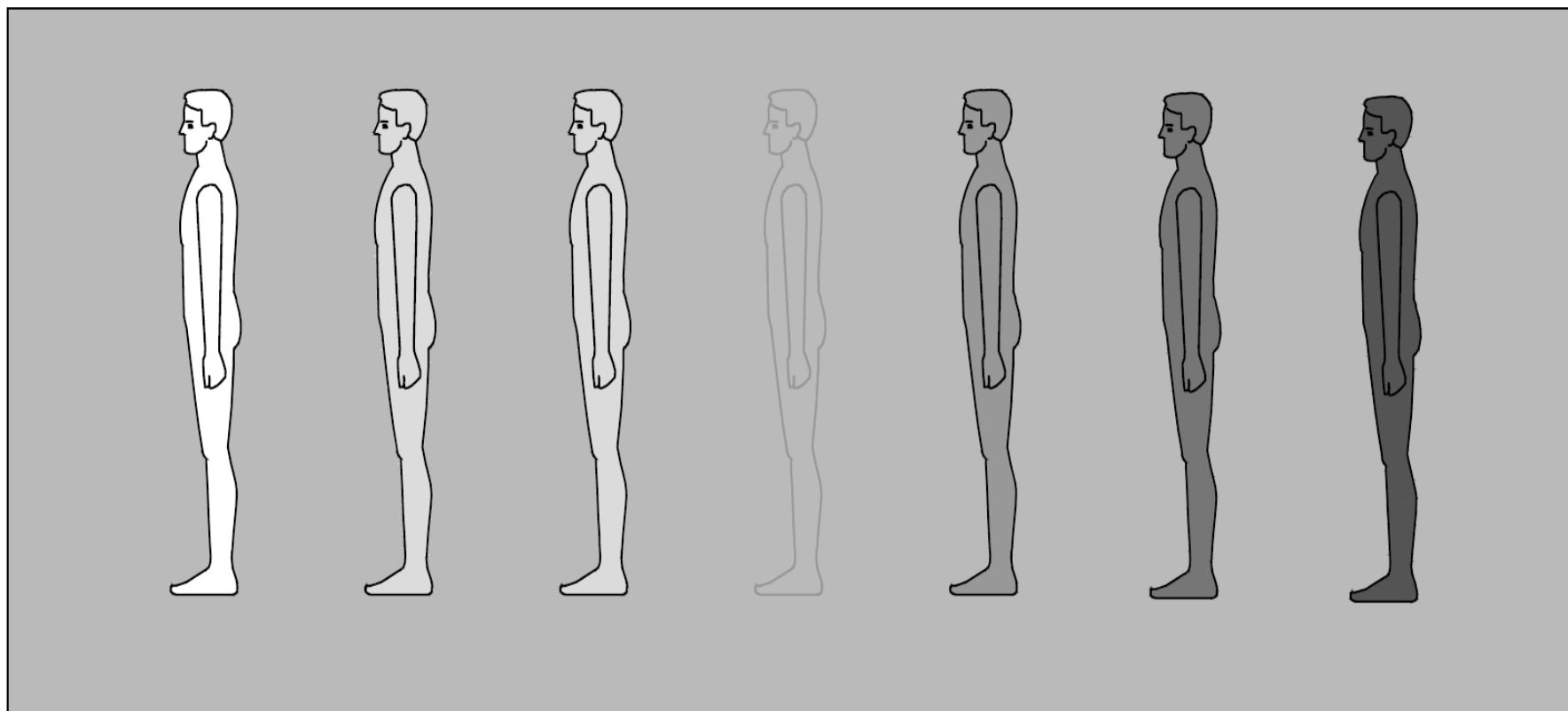


Przykłady luminancji sylwetki pieszego

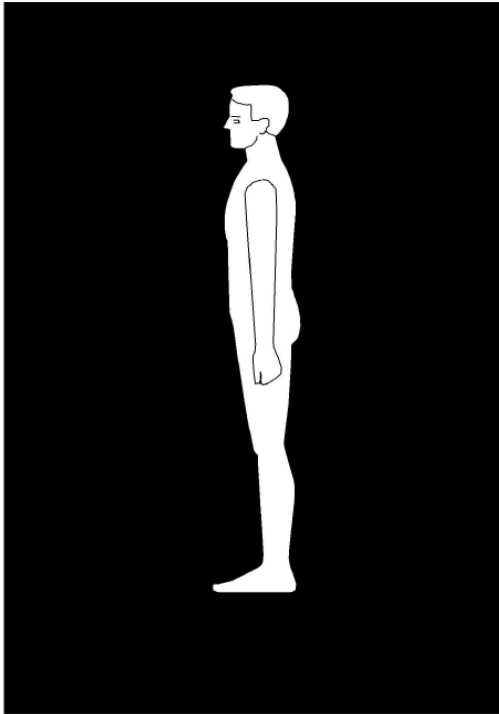


(od lewej: $\rho = 0,98$; $\rho = 0,76$; $\rho = 0,56$; $\rho = 0,36$; $\rho = 0,19$; $\rho = 0,02$)

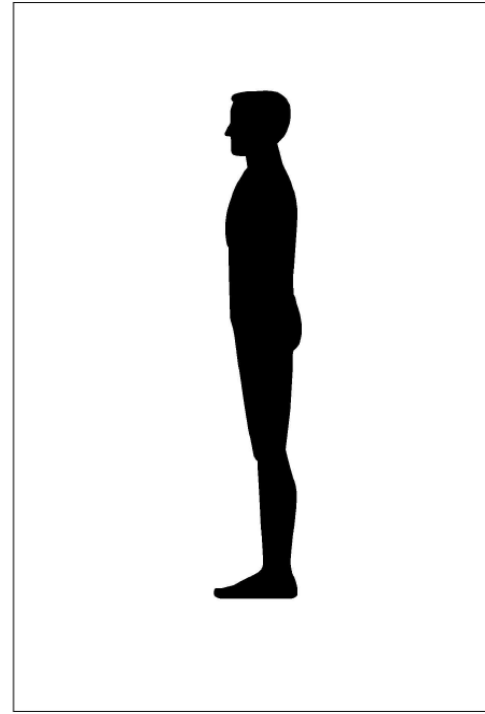
Kontrast luminancji sylwetki pieszego z tłem



Zasadniczy podział wartości kontrastu luminancji

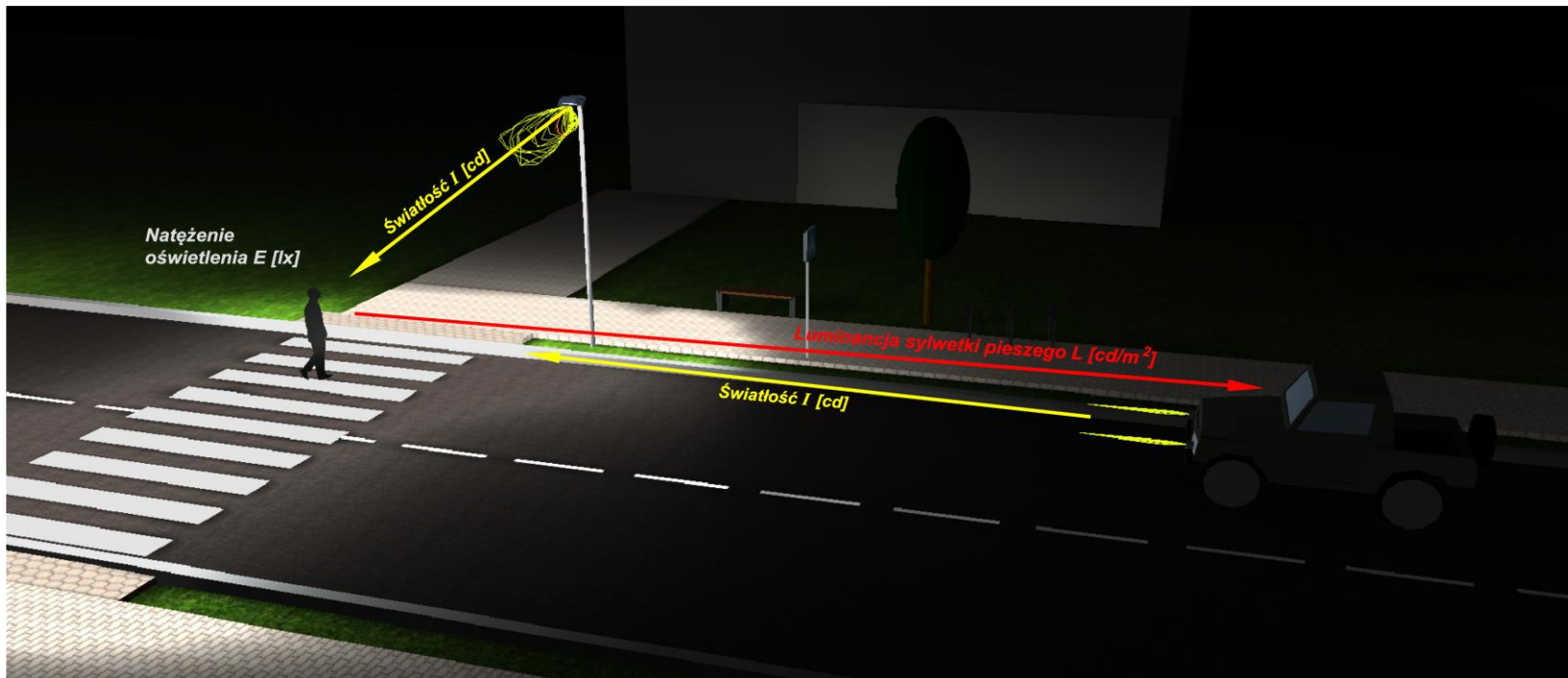


Kontrast dodatni



Kontrast ujemny

Wytwarzanie kontrastu luminancji

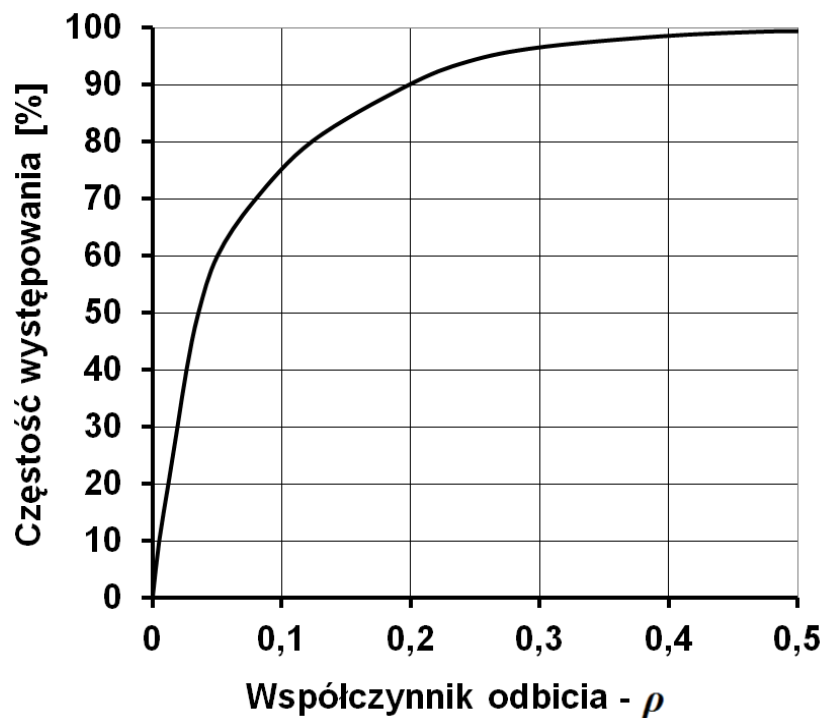


$$C = \frac{L_0 - L_T}{L_T} \quad \Rightarrow \quad L_0 = \frac{\rho \cdot E_V}{\pi} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{\left(\frac{\rho \cdot E_V}{\pi} - L_T \right)}{L_T}$$

gdzie:

ρ - całkowity współczynnik odbicia, E_V - natężenie oświetlenia na sylwetce pieszego [lx],
 C - kontrast, L_0 - luminancja obiektu [cd/m^2], L_T - luminancja tła (jezdni) [cd/m^2].

Wytwarzanie kontrastu luminancji



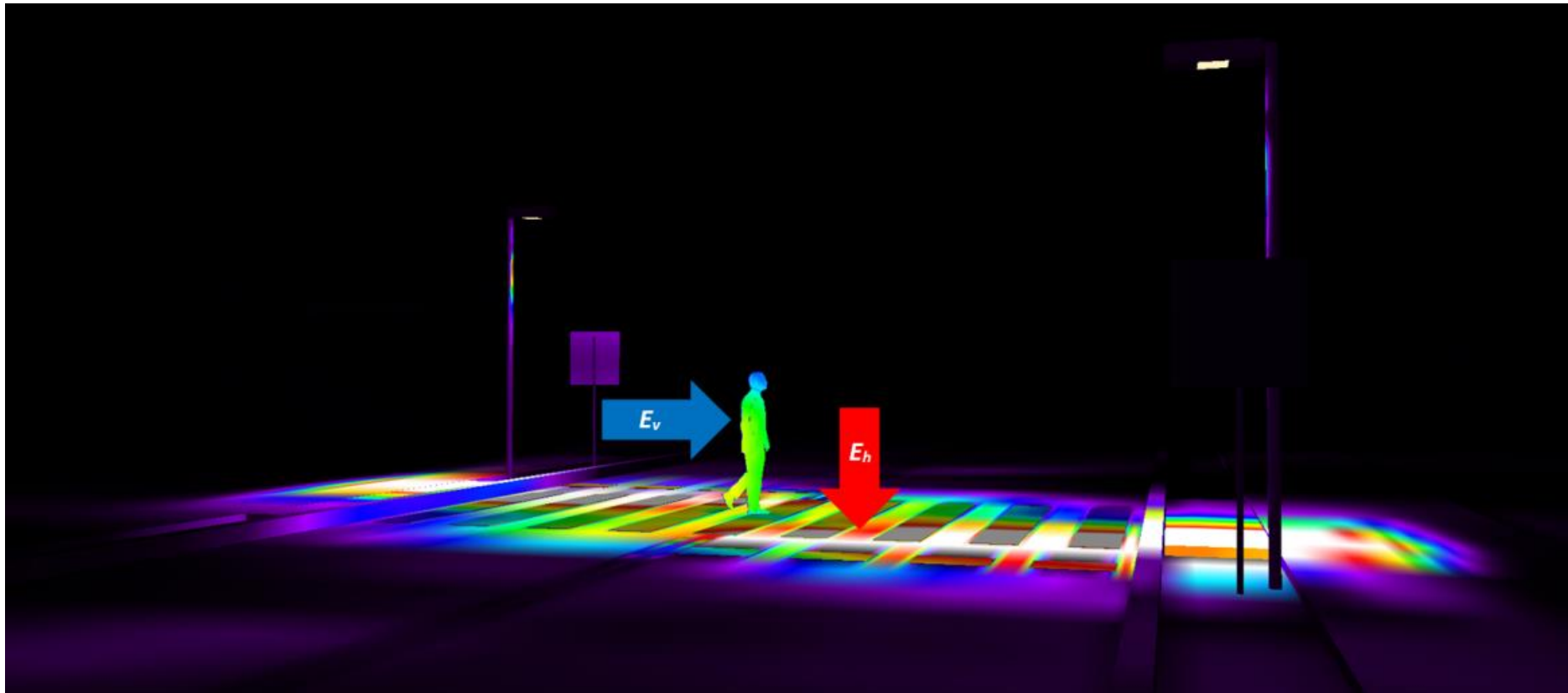
$$L_0 = \frac{\rho \cdot E_V}{\pi}$$

ρ - całkowity współczynnik odbicia materiału w jaki ubrany jest pieszy,

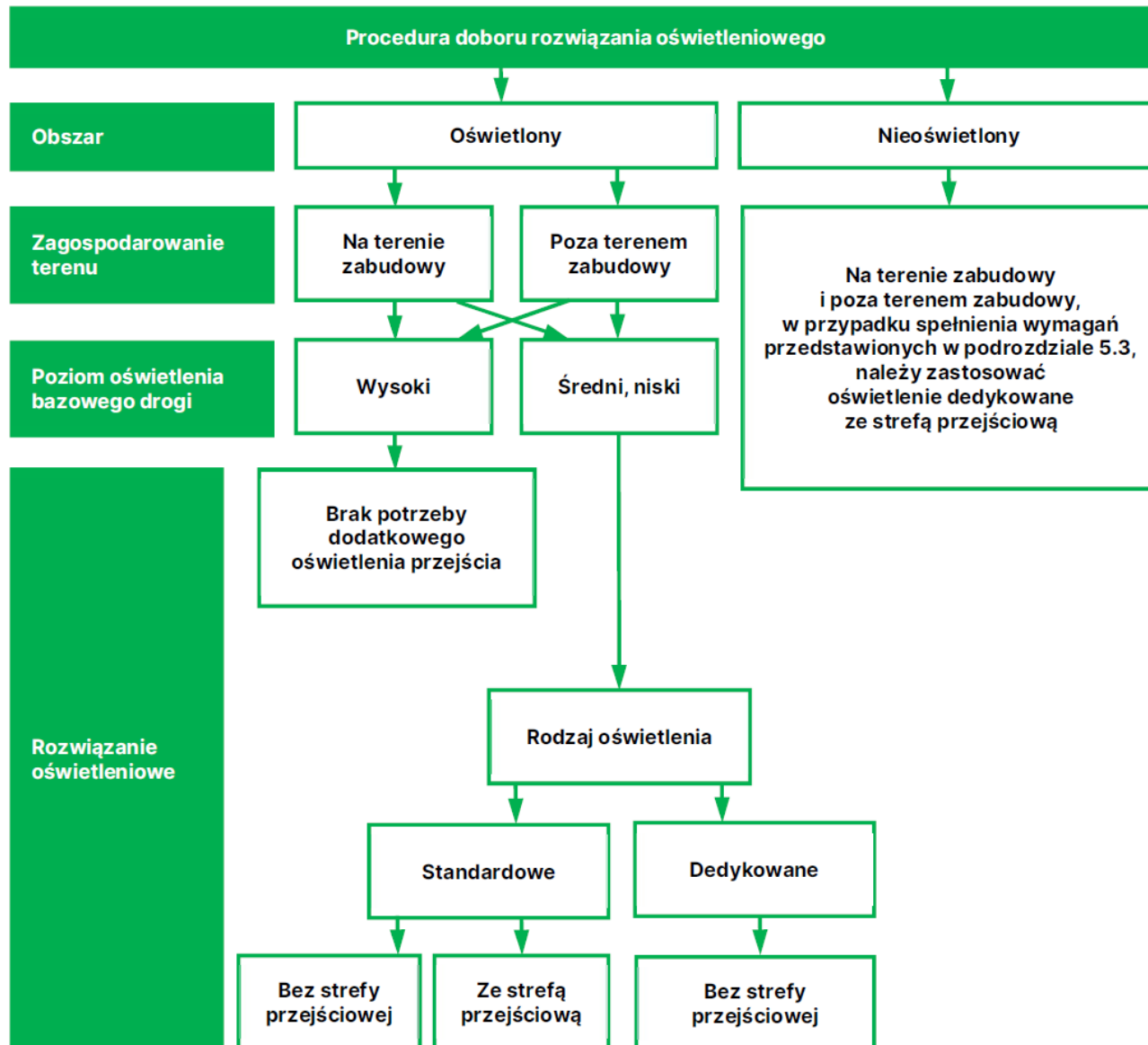
E_V - wartość składowej pionowej natężenia oświetlenia na sylwetce pieszego [lx],

L_0 - luminancja obiektu (pieszego) [cd/m²].

Składowe natężenia oświetlenia



Dobór rozwiązania oświetleniowego – WR-D-41-4



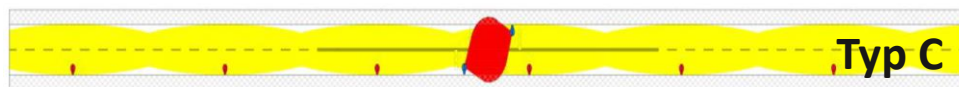
Dobór rozwiązania oświetleniowego – WR-D-41-4

Dobór rozwiązania oświetleniowego

Oświetlenie przejścia oprawami dedykowanymi

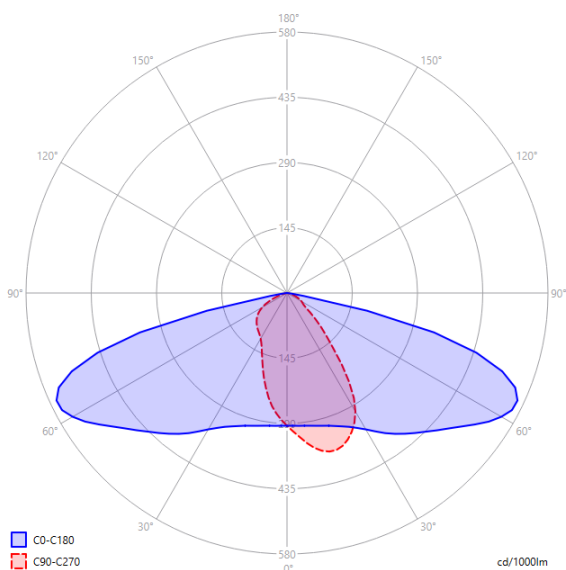
Oświetlenie przejścia oprawami standardowymi z zastosowaniem strefy przejściowej (klasy C)

Oświetlenie przejścia oprawami standardowymi (klasy M1 lub C0)

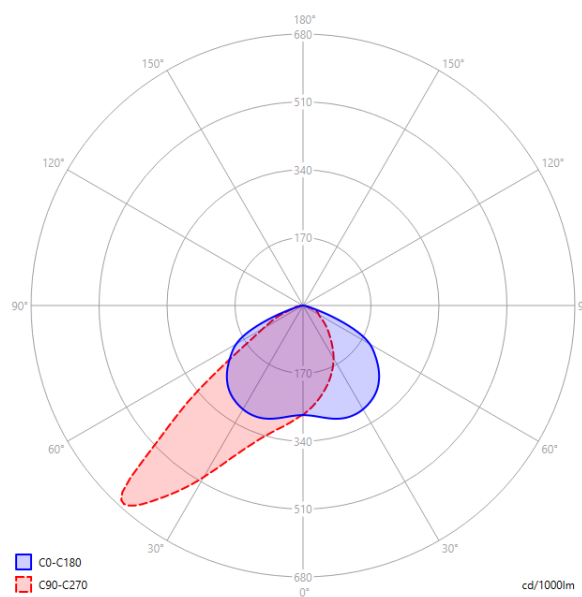


Dobór rozwiązania oświetleniowego - bryły

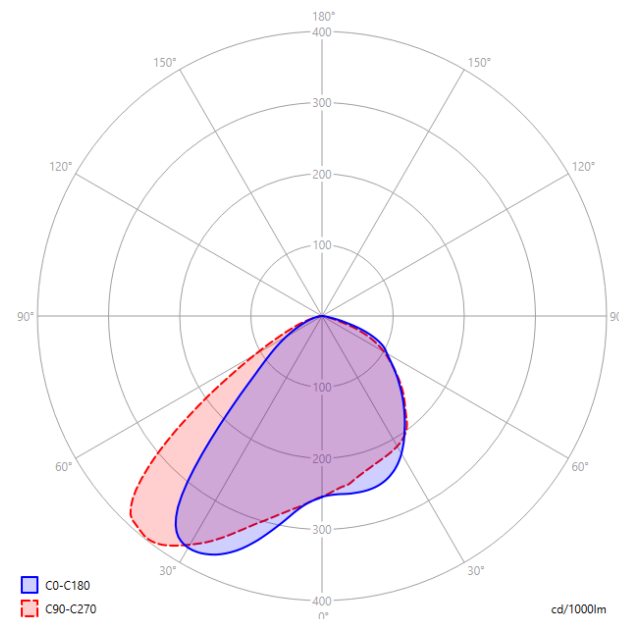
Typ A Uliczne



Typ B Dodatkowe



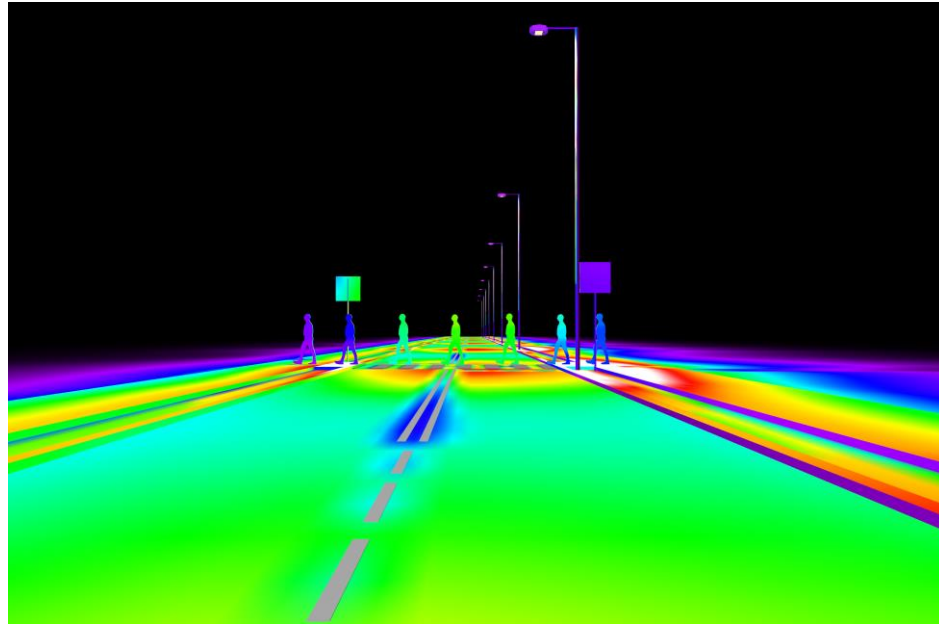
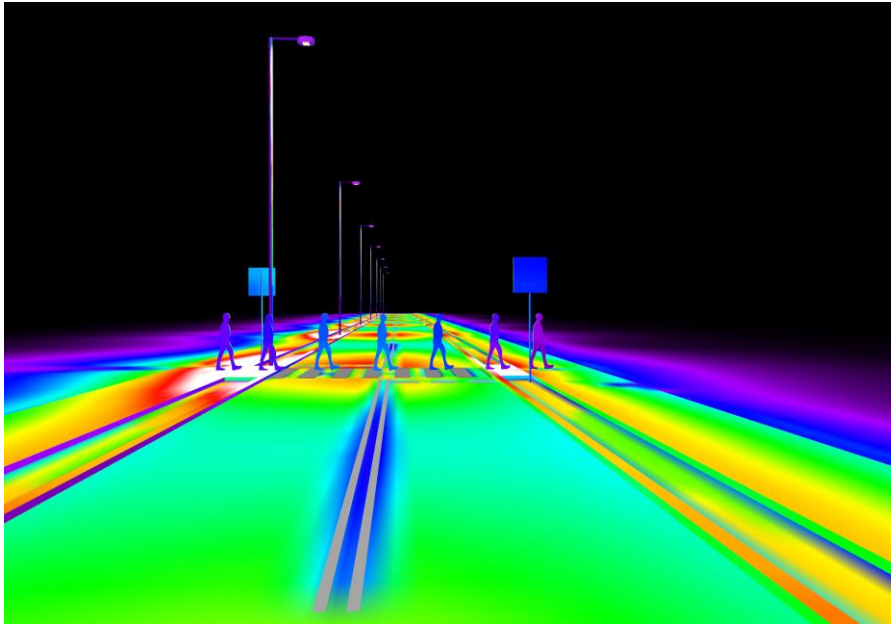
Typ C Dedykowane












Przykładowe bryły światłości opraw oświetleniowych

Typ A

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem ulicznym



Luminance [cd/m^2]

	2.00	cd/m^2
	1.75	cd/m^2
	1.50	cd/m^2
	1.25	cd/m^2
	1.00	cd/m^2
	0.75	cd/m^2
	0.50	cd/m^2
	0.25	cd/m^2
	0.00	cd/m^2

Typ A

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem ulicznym



Typ A Wymagania oświetleniowe

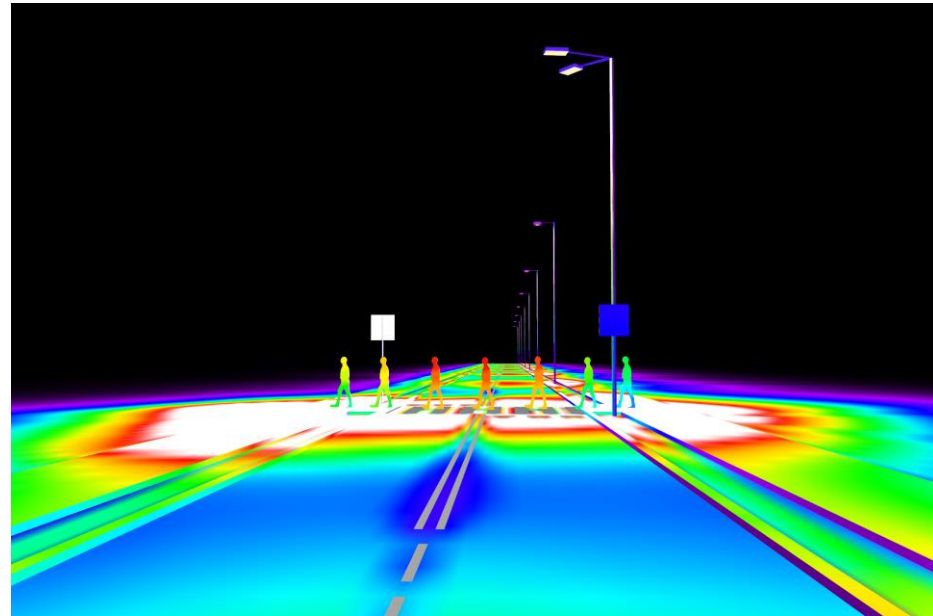
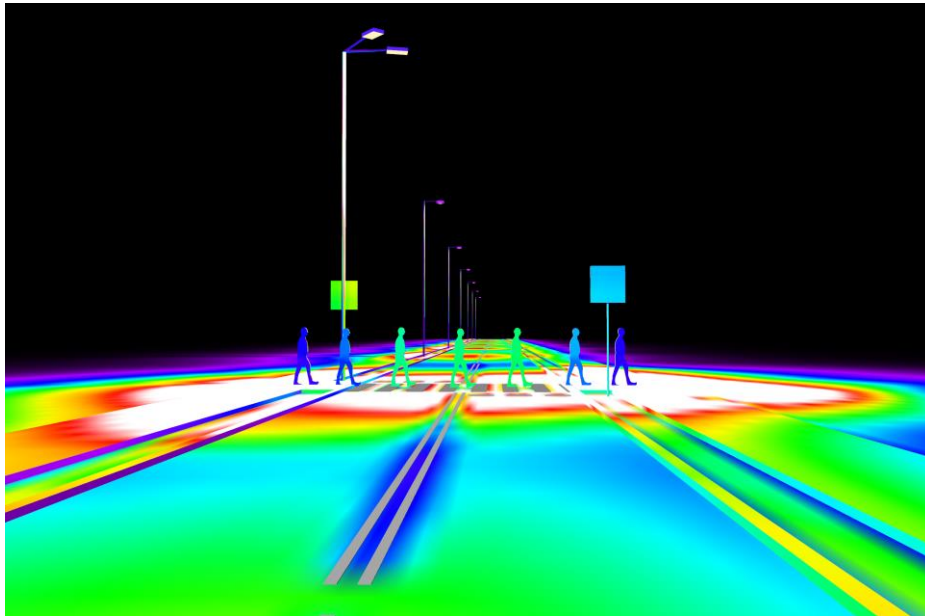
Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem ulicznym

Klasa oświetlenia M dotyczy wymagań wizualnych stawianych przez kierowców pojazdów silnikowych na drogach, z całym spektrum dopuszczalnej prędkości ruchu pojazdów. Do określenia granic poziomów w klasach oświetlenia (od M1 do M6) stosuje się parametry związane z luminancją.

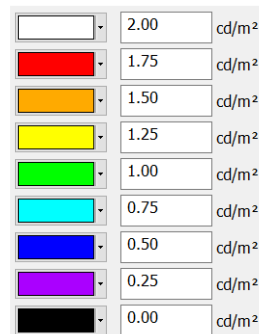
Poziom w klasie M	Luminancja suchej i mokrej jezdni drogi			Olśnienie	Oświetlenie otoczenia	
	Sucha nawierzchnia		Mokra nawierzchnia	Sucha nawierzchnia	Sucha nawierzchnia	
	L_{sr} [$cd \cdot m^{-2}$] (eksploat. min.)	U_o [-] (min.)	$U_L^{1)}$ [-] (min.)	$U_{ow}^{2)}$ [-] (min.)	$f_{TI}^{3)}$ [%] (max)	$R_{EI}^{4)}$ [-] (min.)
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50					
M3	1,00					
M4	0,75	0,35	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50		0,40			
M6	0,30		0,40			

Typ B

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dodatkowym



Luminance [cd/m^2]



Typ B

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dodatkowym



Typ B Wymagania oświetleniowe

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dodatkowym

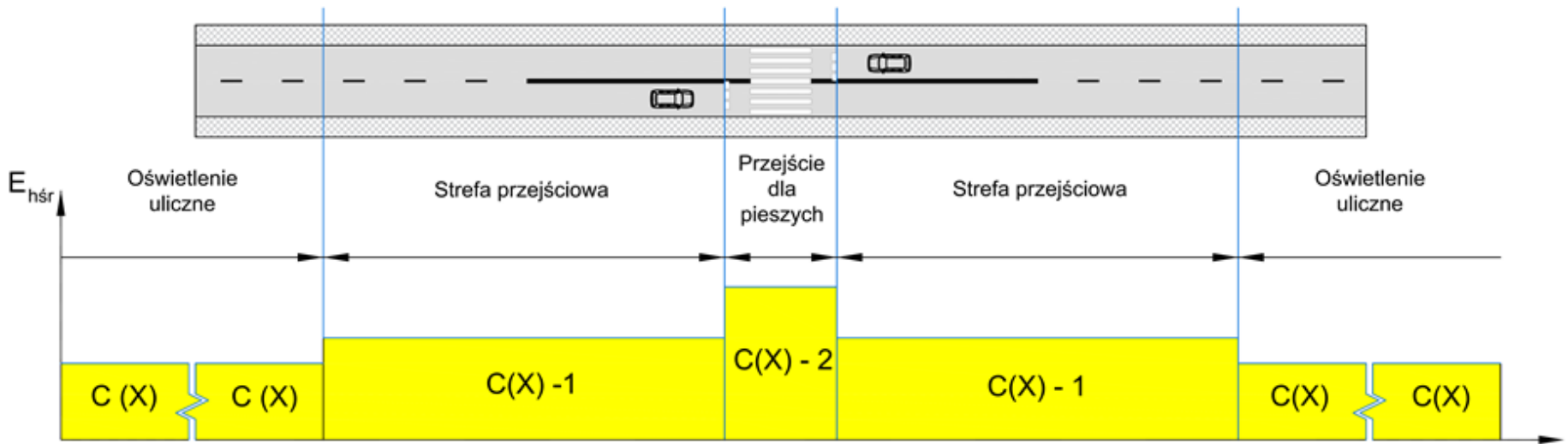
Klasa oświetlenia C dotyczy wymagań wizualnych stawianych przez pieszych i kierujących pojazdami w obszarach konfliktowych (skrzyżowaniach dróg, ulicach i parkingach handlowych, drogach dla pieszych, drogach dla pieszych i rowerów, drogach dla rowerów itp.) oraz obszarach o zwiększonym prawdopodobieństwie kolizji i wypadków z całym spektrum dopuszczalnej prędkości ruchu pojazdów. Do określenia granic w poziomach klas oświetlenia (od C0 do C5) stosuje się parametry natężenia oświetlenia.

Poziom w klasie C	Poziome natężenie oświetlenia	
	E_{sr} [lx] (utrzymywane minimum)	U_o [-] (minimum)
C0	50,00	0,40
C1	30,00	
C2	20,00	
C3	15,00	
C4	10,00	
C5	7,50	

Typ B Wymagania oświetleniowe

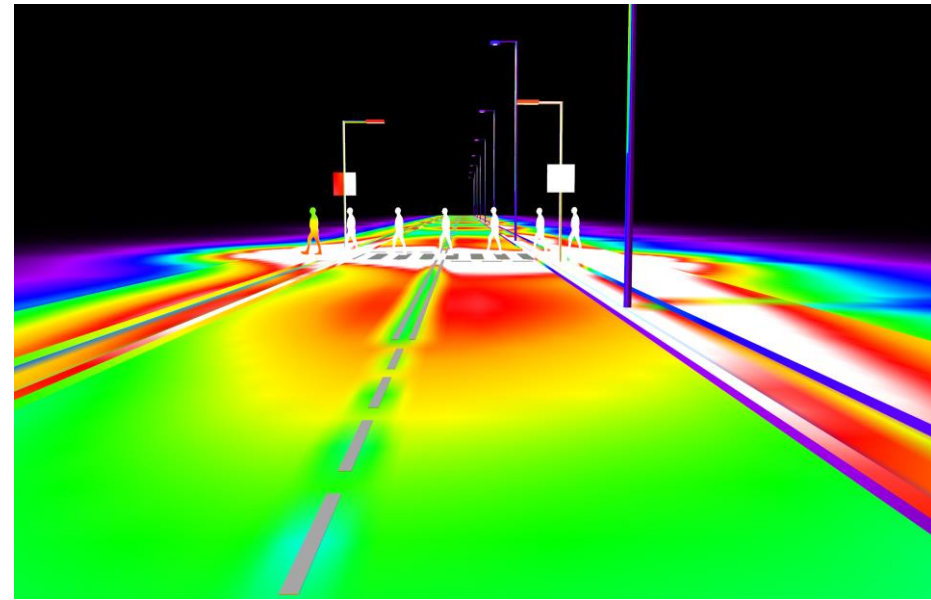
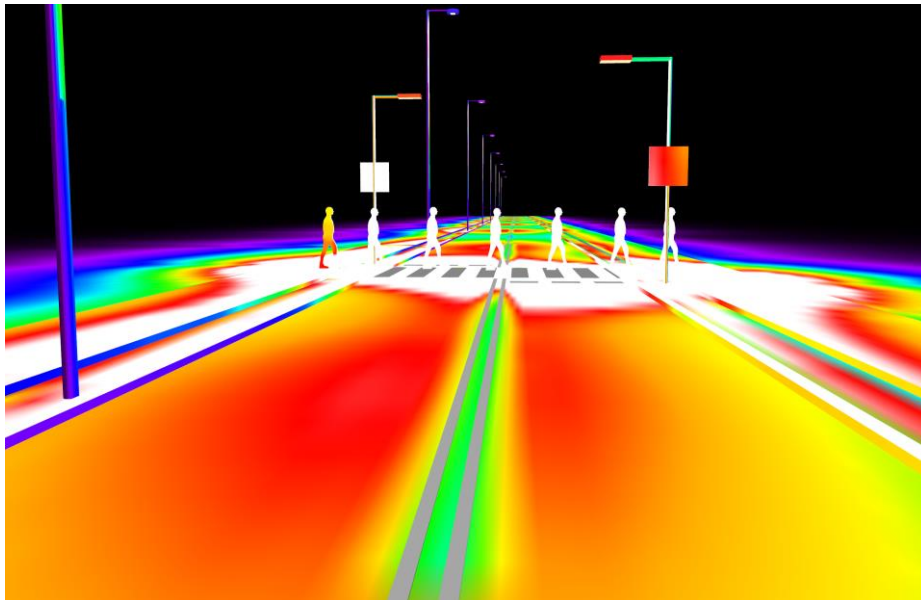
Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dodatkowym

Strefa przejściowa w obszarze oświetlonym












Typ C

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dedykowanym



Luminance [cd/m^2]

	2.00	cd/m^2
	1.75	cd/m^2
	1.50	cd/m^2
	1.25	cd/m^2
	1.00	cd/m^2
	0.75	cd/m^2
	0.50	cd/m^2
	0.25	cd/m^2
	0.00	cd/m^2

Typ C

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dedykowanym



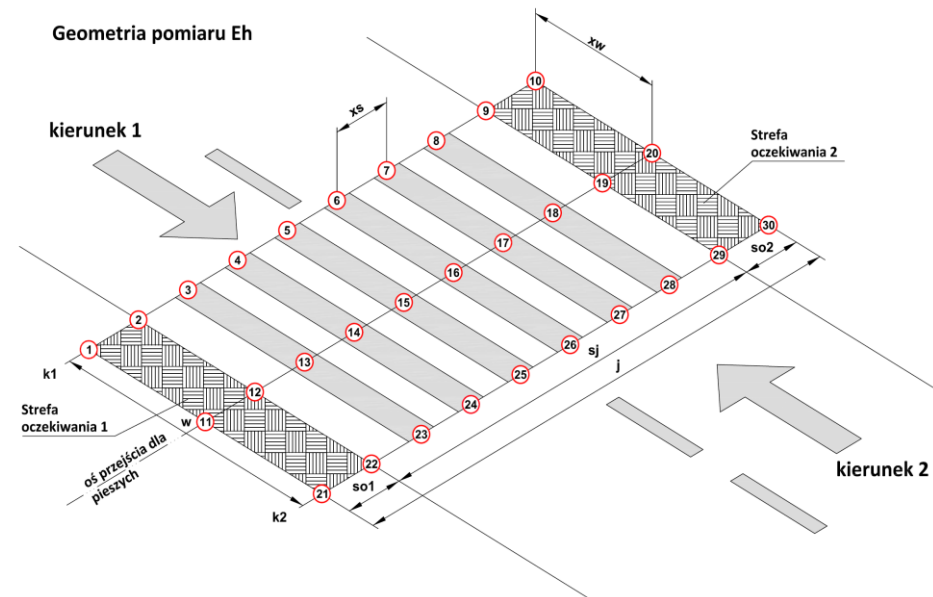
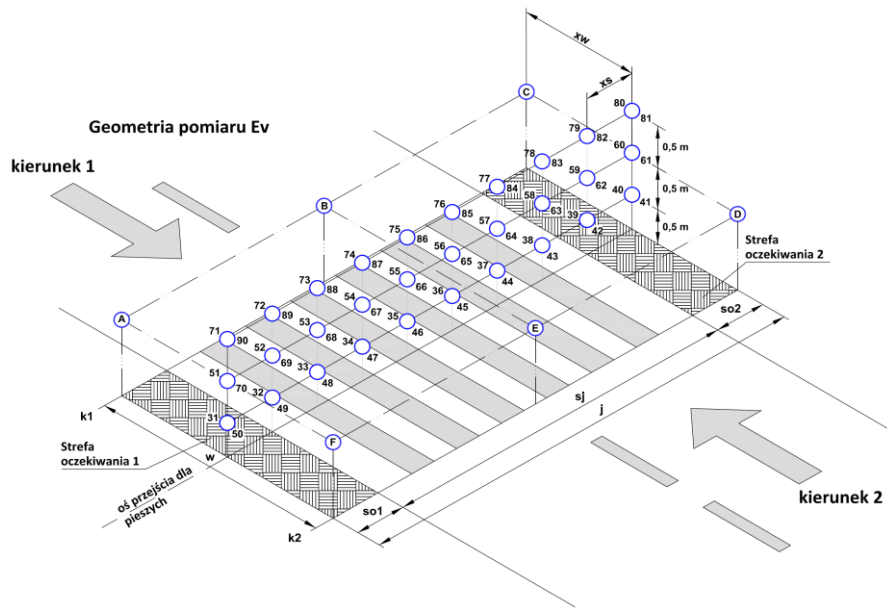
Typ C Wymagania oświetleniowe

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dedykowanym

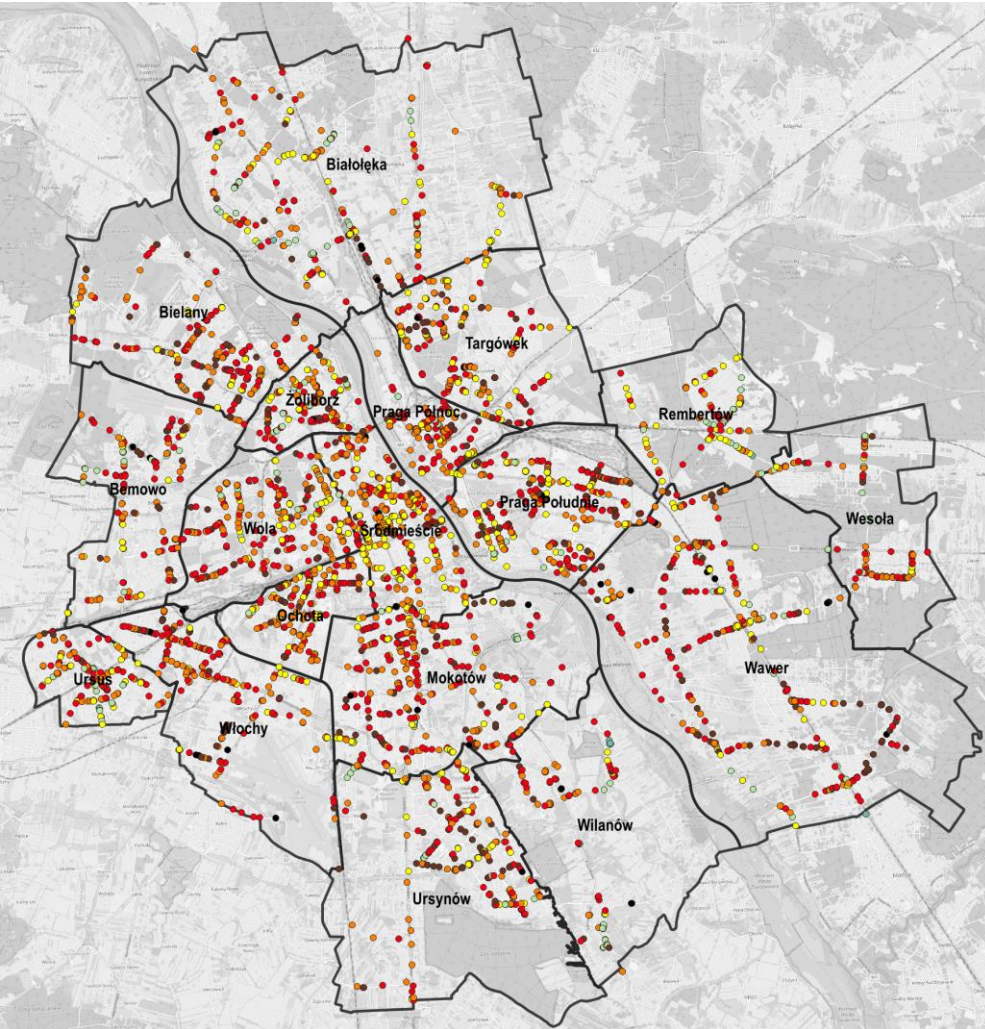
Oświetlenie jezdni		Oświetlenie przejścia dla pieszych					
		Poziom w klasie PC	Płaszczyzny pomiarowe				Punkty A, B, C, D, E, F
Pionowa			Pozioma				
Wartości przed i za przejściem	Wartości przed i za przejściem		$E_{v, \acute{s}r}$ [lx] (eksploat. min.)	U_{ov} [-] (min.)	$E_{h, \acute{s}r}$ [lx] (eksploat. min.)	U_{oh} [-] (min.)	
Poziom w klasie M	$L_{\acute{s}r}$ [cd·m ⁻²] (eksploat. min.)						
M1	2,00	Brak konieczności stosowania rozwiązań dedykowanych					
M2	1,50	PC1	75,00	0,35	75,00	0,40	5,00
M3	1,00	PC2	50,00	0,35	50,00	0,40	4,00
M4	0,75	PC3	35,00	0,35	35,00	0,40	4,00
M5	0,50	PC4	25,00	0,35	25,00	0,40	3,00
M6	0,30	PC5	15,00	0,35	15,00	0,40	2,00

Typ C Wymagania oświetleniowe

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dedykowanym



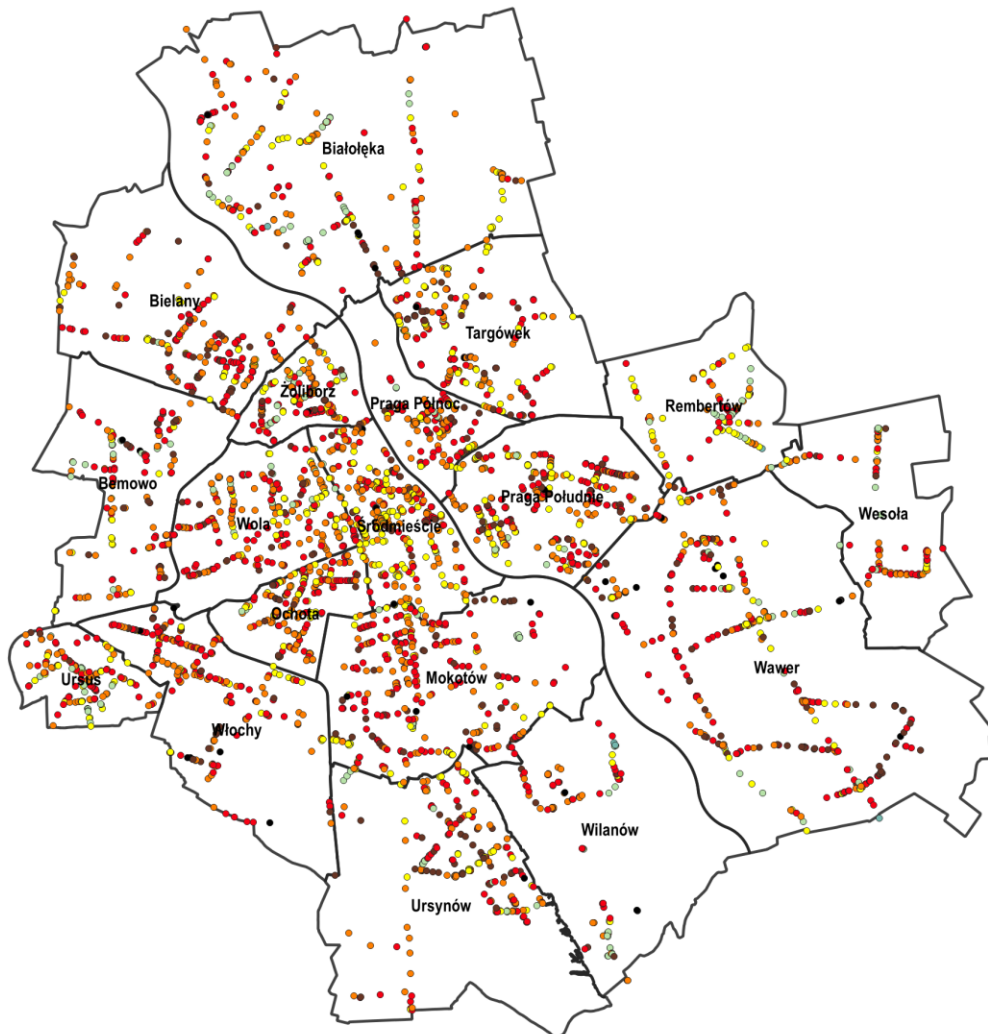
Wybór przejść do badań



- Przejścia audytowane przez ZDM (Warszawa).
- Typ oświetlenia:
 - A – uliczne 3584,
 - B – dodatkowe 265,
 - C – dedykowane 275.
- Przekrój jezdni (dwupasowa, dwukierunkowa).
- Geometria przejścia (wymiary i wyspa azylu).
- Niesterowane sygnalizacją świetlną.
- W terenie zabudowanym.
- Zbliżona struktura i natężenie ruchu drogowego (kołowego i pieszego).

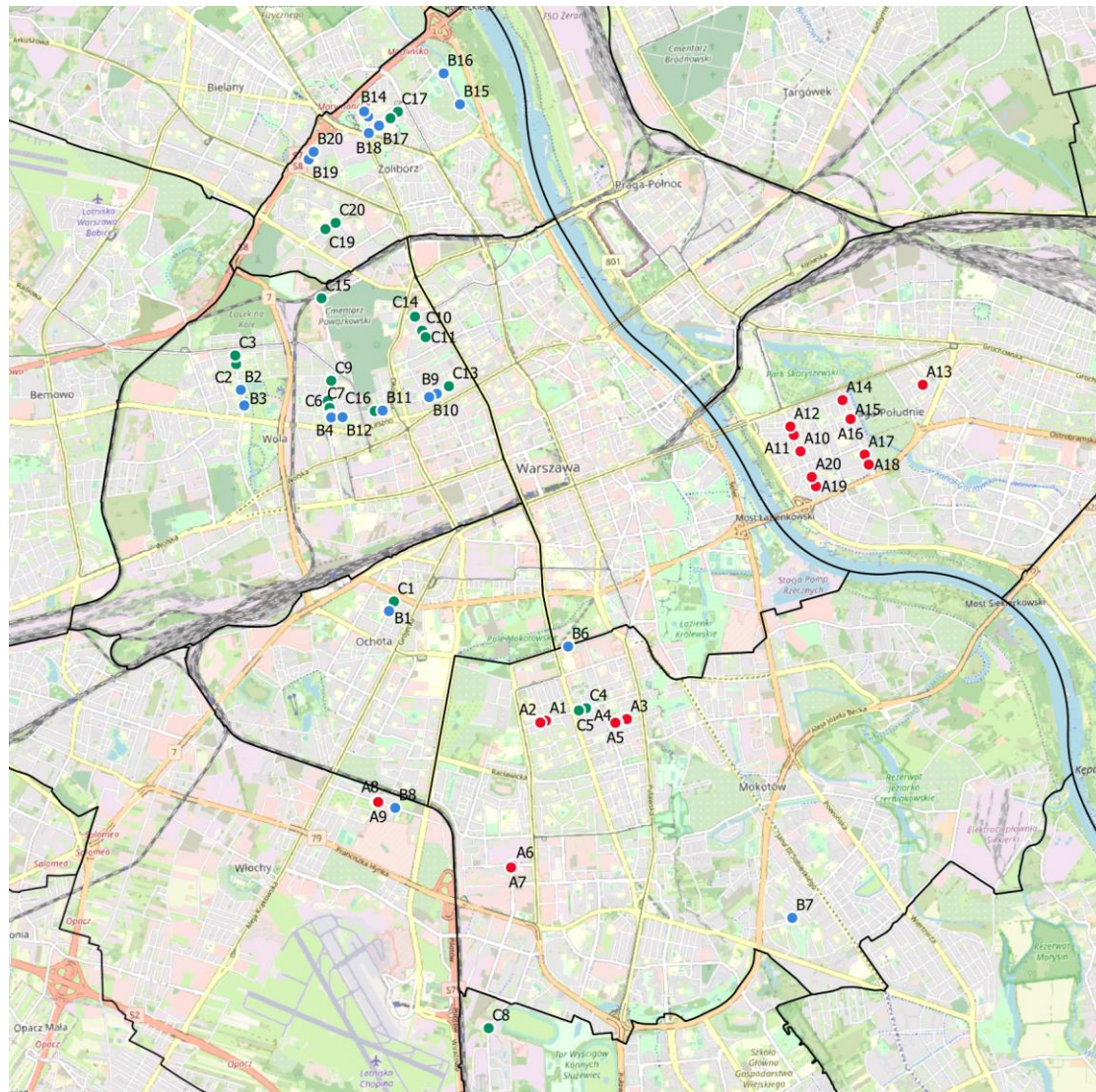
Wybór przejść do badań

Audyt BRD i oświetlenia 4093 przejść dla pieszych, realizowany w latach 2016 – 2020



Śródmieście – 373 (2016)
Praga – Południe – 356 (2016)
Ochota – 208 (2016)
Bielany – 246 (2017)
Targówek – 220 (2017)
Mokotów – 355 (2017)
Ursynów – 234 (2017)
Bemowo – 162 (2019)
Żoliborz – 181 (2019)
Praga – Północ – 164 (2019)
Włochy – 240 (2019)
Wawer – 399 (2019)
Białołęka – 255 (2020)
Wola – 299 (2020)
Rembertów – 108 (2020)
Ursus – 161 (2020)
Wesoła – 112 (2020)
Wilanów – 117 (2020)

Poligon badawczy



Typ oświetlenia (60 lokalizacji 3 x 20)

Typ A – oświetlenie uliczne (różne rozwiązania i oprawy).

Typ B – dodatkowe (oświetlenie przejścia dla pieszych podwójnymi oprawami zainstalowanymi na wysięgniku typu V).

Typ C – dedykowane (oświetlenie przejścia dla pieszych dwoma oprawami o podwójnie asymetrycznej bryle światłości).

Aparatura (pomiar oświetlenia)

Sprzęt podstawowy:

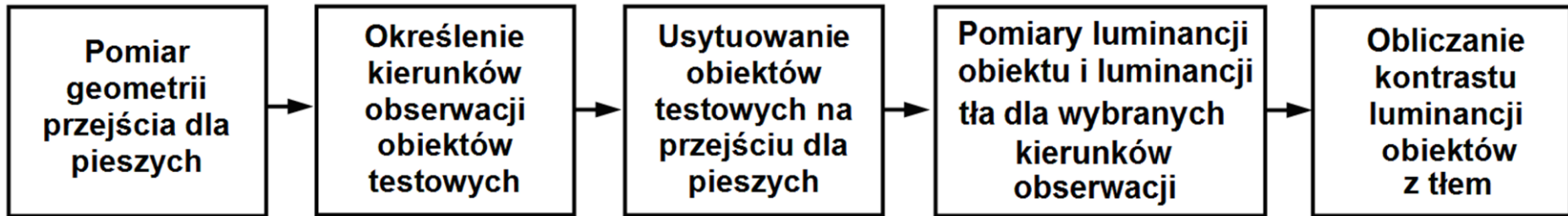
- miernik luminancji + zestaw pomiarowy,
- miernik natężenia oświetlenia + uchwyt.

Sprzęt uzupełniający:

- dalmierz laserowy,
- taśma miernicza / koło pomiarowe,
- koszulki, materiały odblaskowe,
- aparat fotograficzny,
- protokoły i podkładki do pisania,
- spektrometr / kolorymetr.



Wyznaczenie wartości kontrastu luminancji



$$C = \frac{L_T - L_B}{L_B}$$

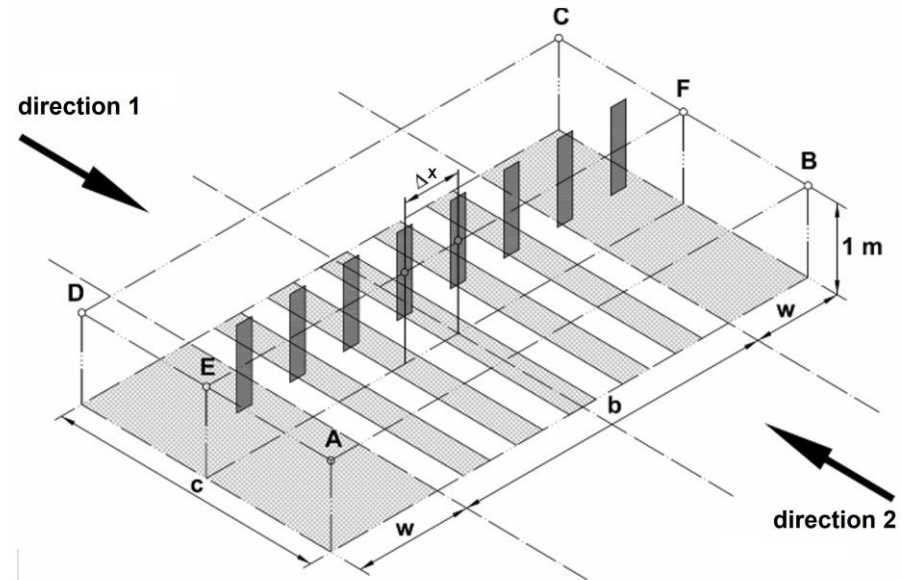
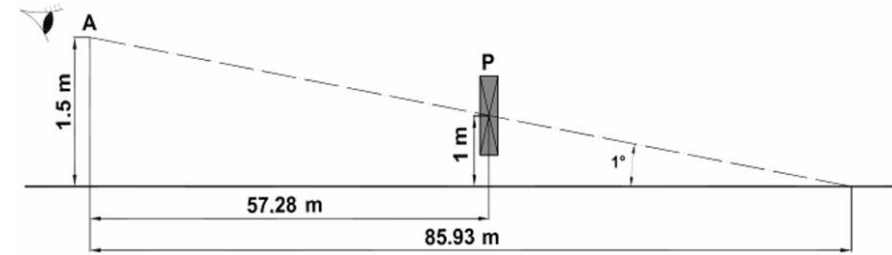
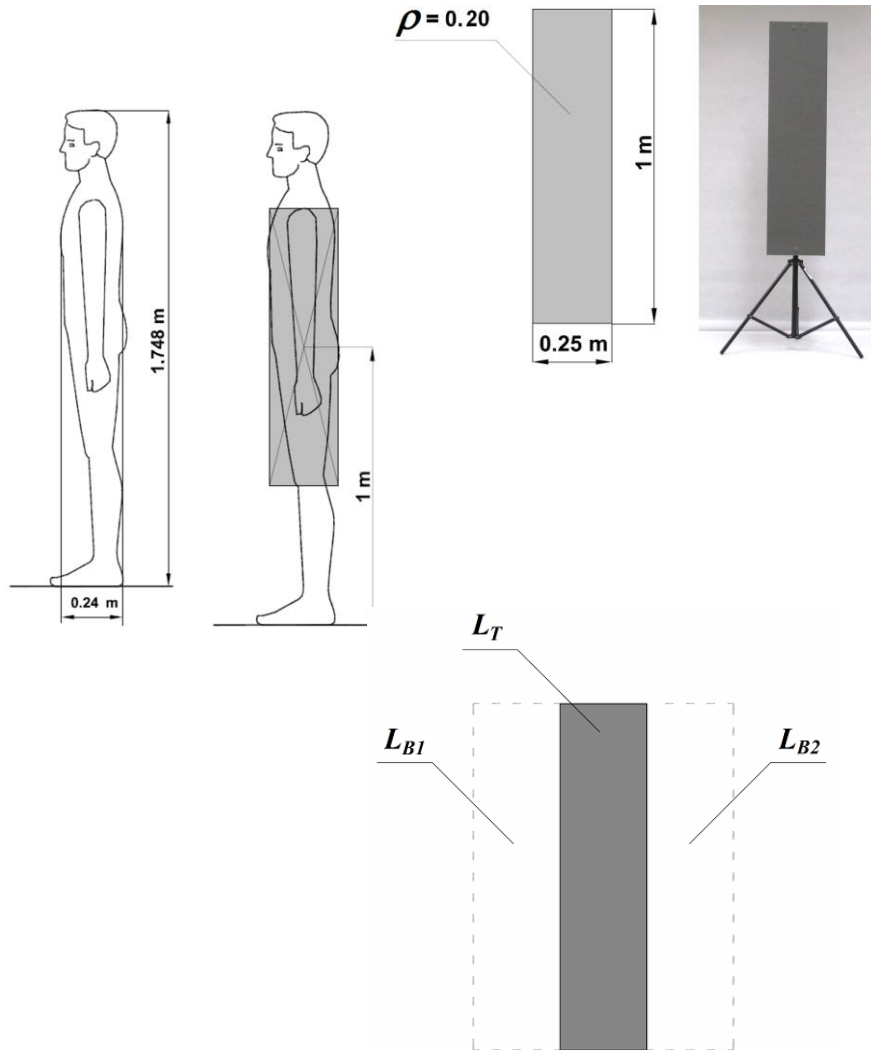
gdzie:

C – kontrast luminancji sylwetki pieszego z tłem,

L_T – luminancja obiektu (pieszego),

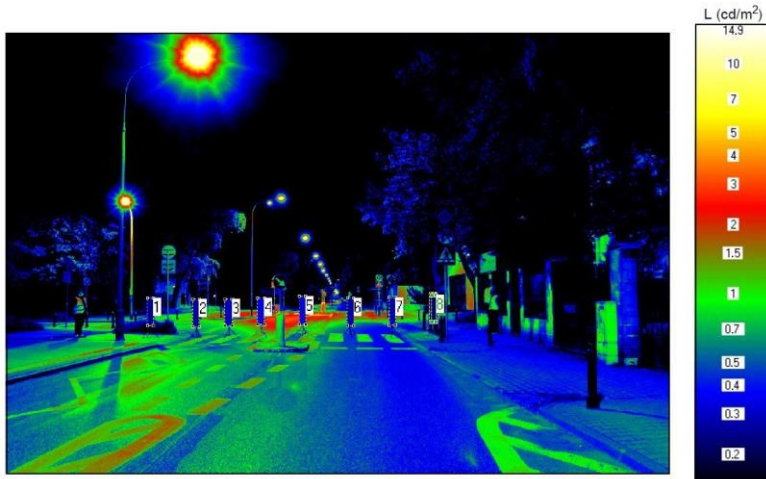
L_B – luminancja tła (jezdni).

Wyznaczenie wartości kontrastu luminancji



Typ A

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem ulicznym

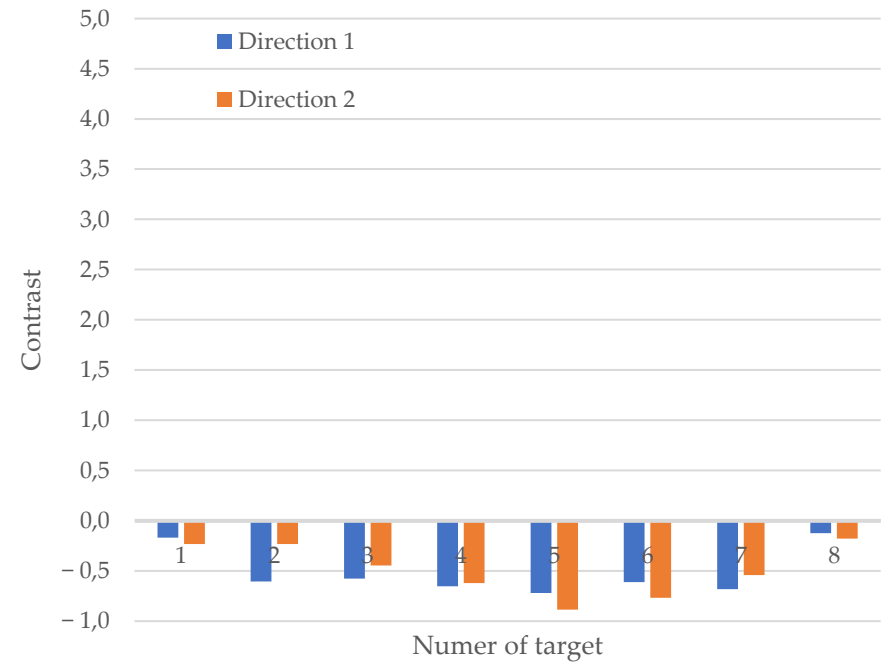
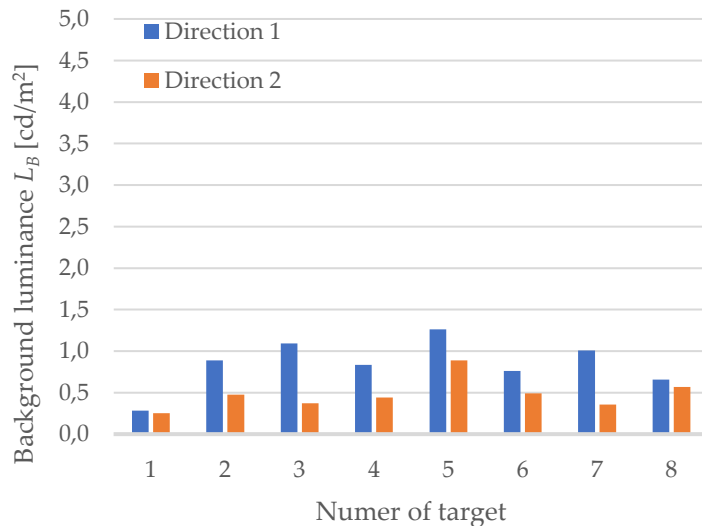
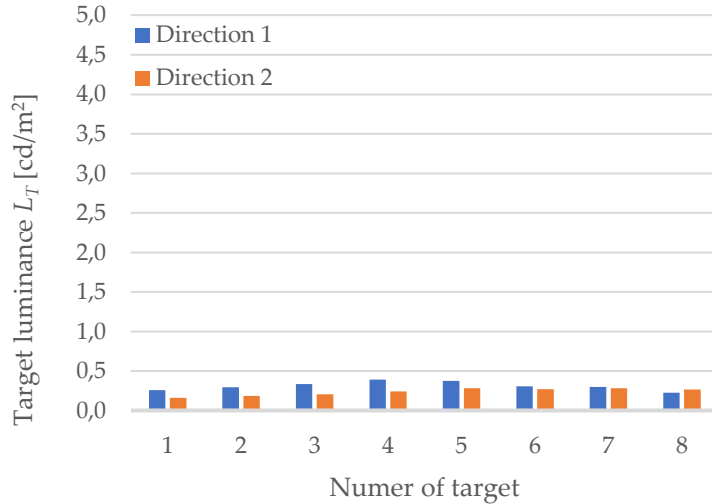


Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem ulicznym

Number of Target	Direction 1			Direction 2		
	Target Luminance L_T [cd/m ²]	Background Luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target Luminance L_T [cd/m ²]	Background Luminance L_B [cd/m ²]	Contrast
1	0.257	0.310	-0.170	0.162	0.210	-0.231
2	0.297	0.752	-0.605	0.185	0.241	-0.232
3	0.334	0.788	-0.576	0.205	0.370	-0.445
4	0.392	1.126	-0.651	0.243	0.643	-0.621
5	0.374	1.332	-0.719	0.283	2.459	-0.885
6	0.309	0.798	-0.613	0.271	1.170	-0.768
7	0.299	0.937	-0.681	0.281	0.615	-0.543
8	0.226	0.258	-0.125	0.265	0.323	-0.179
average	0.311	0.787	-0.517	0.237	0.754	-0.686

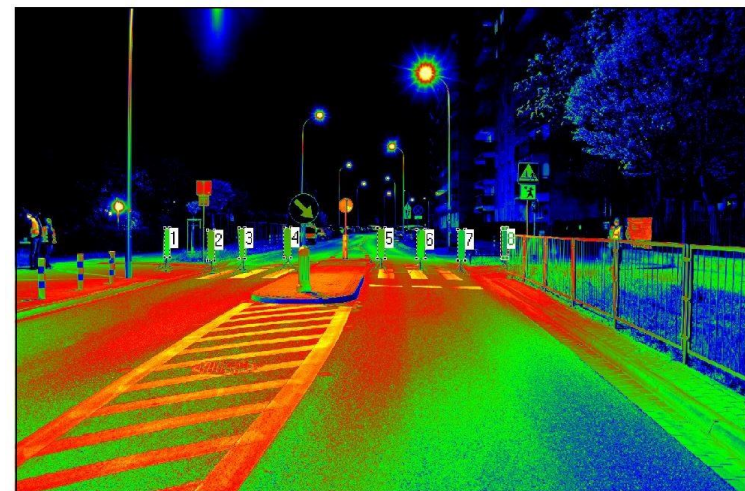
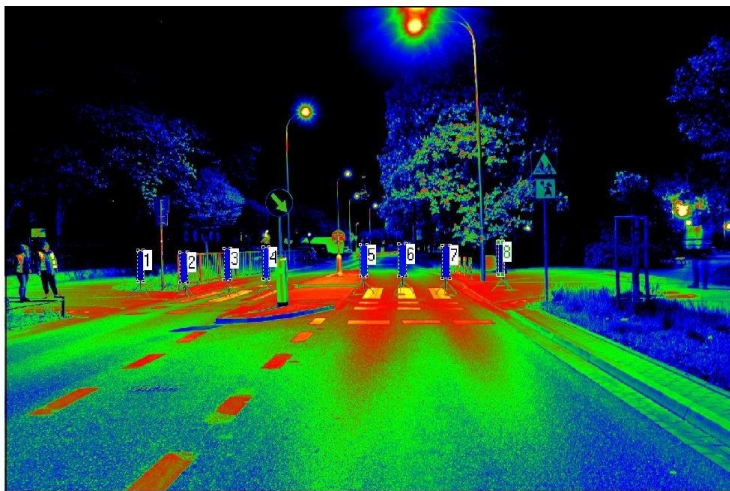
Typ A

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem ulicznym



Typ B

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dodatkowym



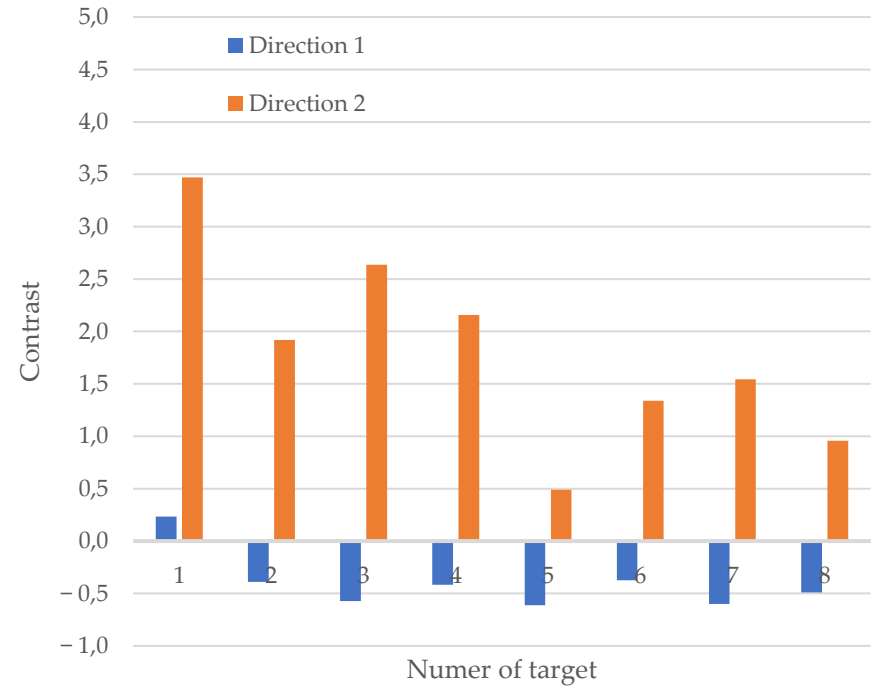
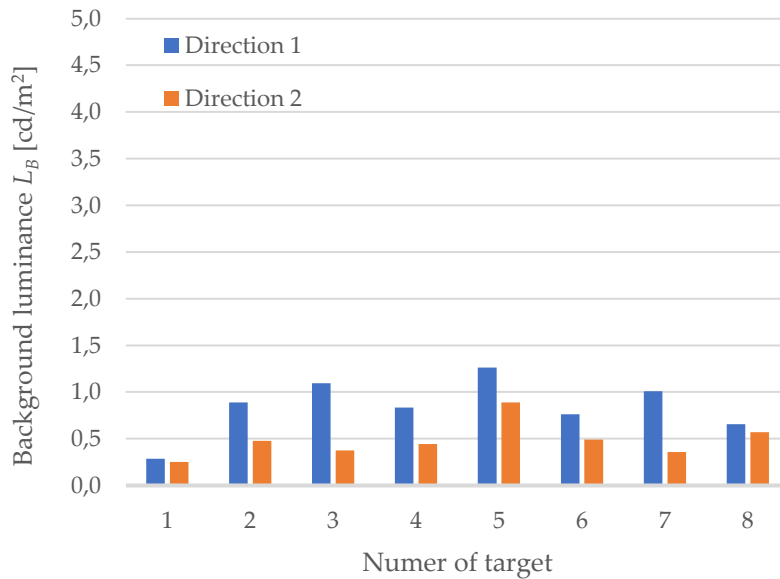
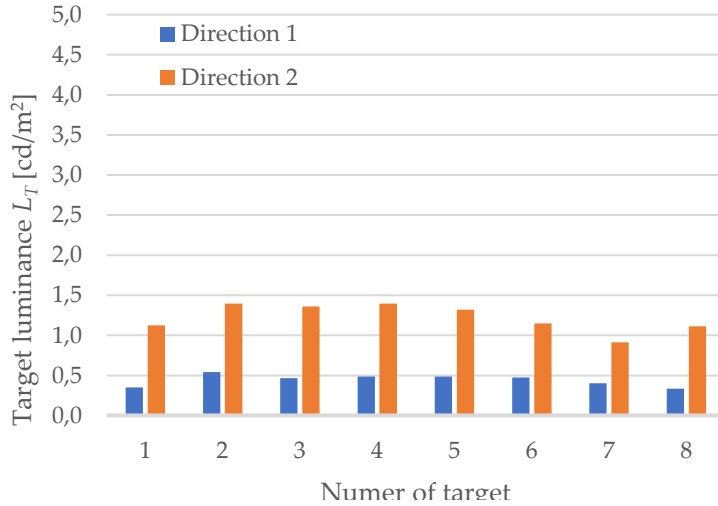
Typ B

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dodatkowym

Number of Target	Direction 1			Direction 2		
	Target Luminance L_T [cd/m ²]	Background Luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target Luminance L_T [cd/m ²]	Background Luminance L_B [cd/m ²]	Contrast
1	0.350	0.284	0.232	1.125	0.252	3.470
2	0.543	0.888	-0.389	1.396	0.478	1.920
3	0.468	1.095	-0.573	1.360	0.374	2.638
4	0.486	0.835	-0.417	1.398	0.443	2.157
5	0.488	1.264	-0.614	1.321	0.887	0.489
6	0.476	0.760	-0.374	1.147	0.490	1.340
7	0.403	1.010	-0.601	0.912	0.359	1.542
8	0.334	0.656	-0.491	1.114	0.569	0.958
average	0.443	0.849	-0.403	1.222	0.481	1.538

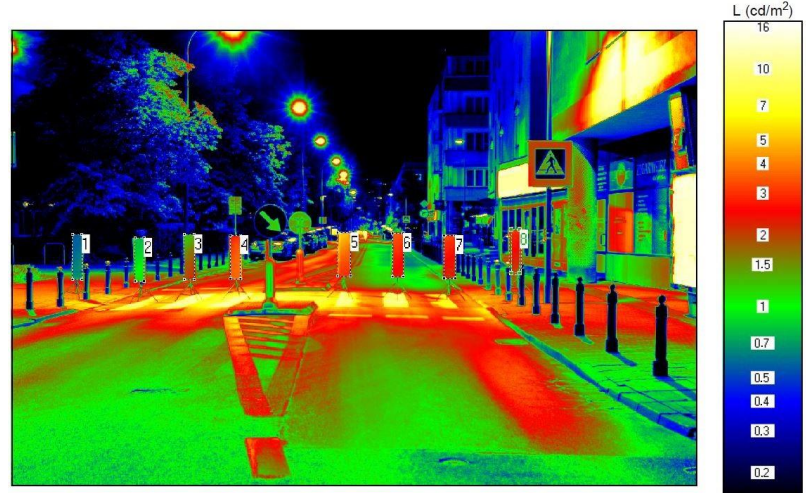
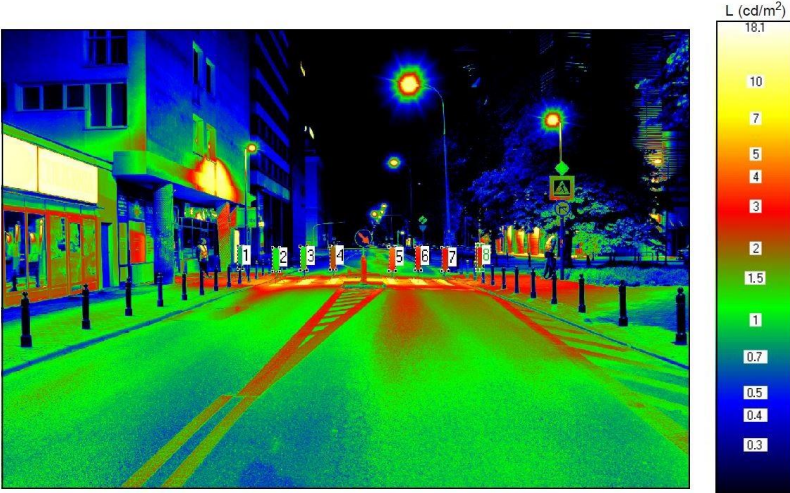
Typ B

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dodatkowym



Typ C

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dedykowanym



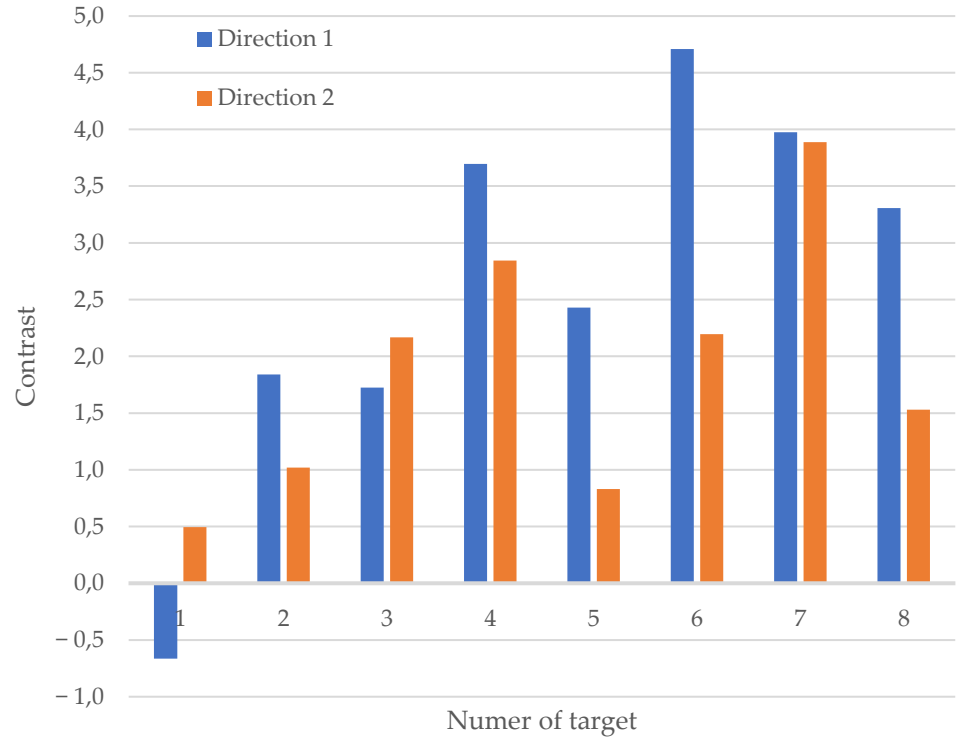
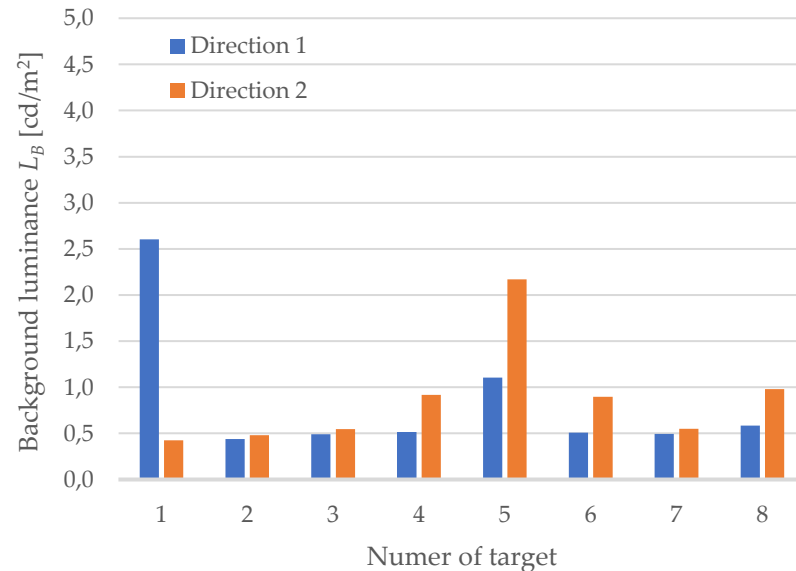
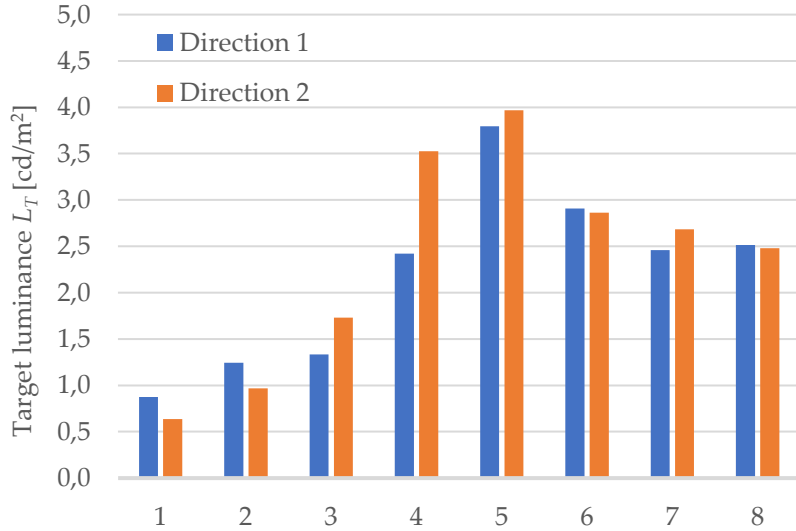
Typ C

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dedykowanym

Number of Target	Direction 1			Direction 2		
	Target Luminance L_T [cd/m ²]	Background Luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target Luminance L_T [cd/m ²]	Background Luminance L_B [cd/m ²]	Contrast
1	0.875	2.603	-0.664	0.637	0.426	0.494
2	1.243	0.437	1.841	0.967	0.479	1.018
3	1.335	0.490	1.726	1.729	0.546	2.168
4	2.420	0.515	3.696	3.526	0.917	2.843
5	3.795	1.106	2.430	3.968	2.169	0.829
6	2.909	0.510	4.707	2.863	0.896	2.195
7	2.459	0.494	3.976	2.685	0.549	3.887
8	2.514	0.584	3.306	2.479	0.980	1.529
average	2.194	0.842	2.627	2.357	0.870	1.708

Typ C

Oświetlenie przejść dla pieszych oświetleniem dedykowanym



Wyniki dla kierunków 1 i 2

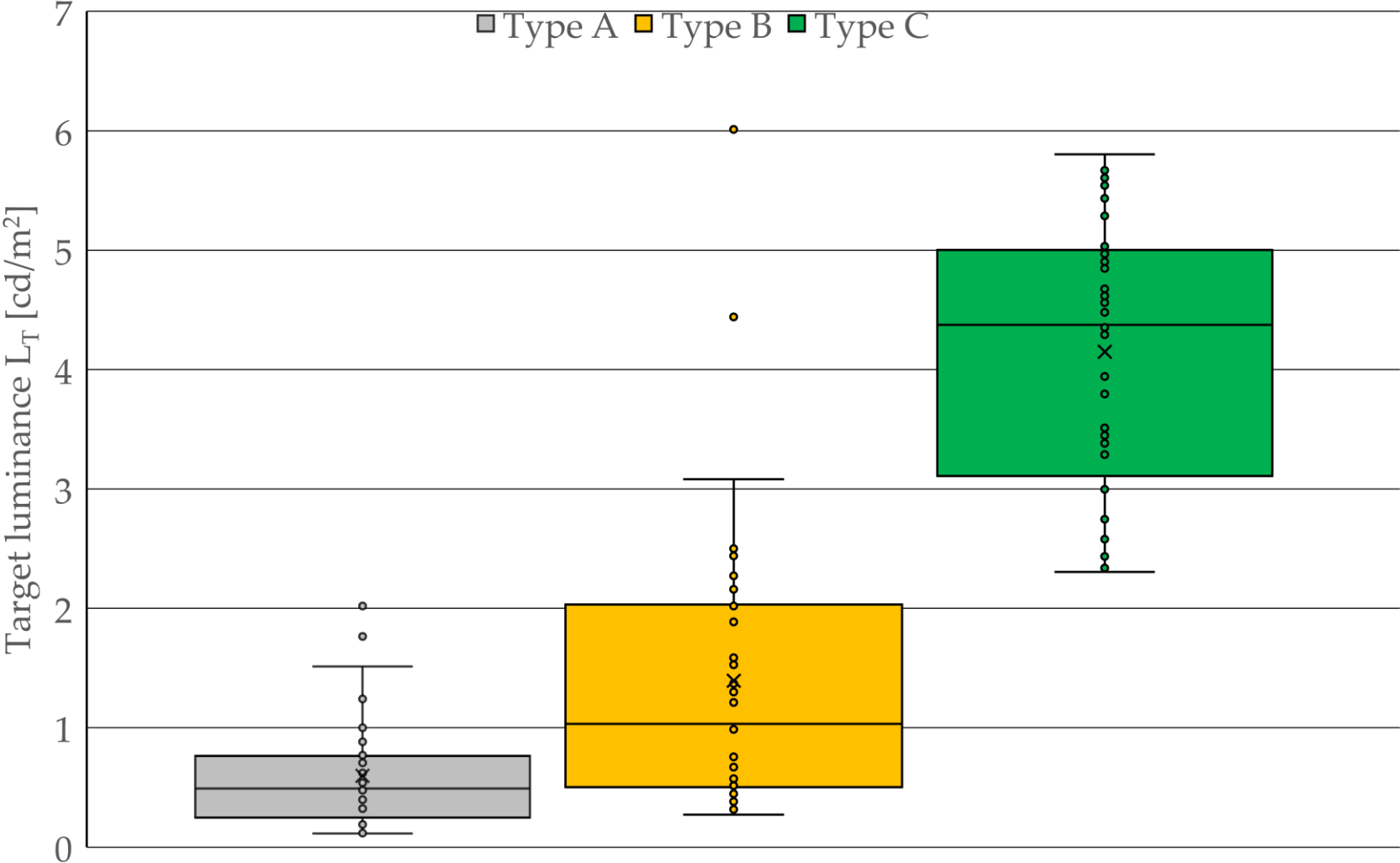
Direction 1									
No.	Type A			Type B			Type C		
	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast
1	0.16	0.23	-0.30	0.76	1.64	-0.54	2.58	0.56	3.59
2	0.32	0.33	-0.01	3.08	1.74	0.77	2.30	0.66	2.49
3	0.33	0.43	-0.22	2.27	1.78	0.28	2.75	0.80	2.43
4	0.50	0.46	0.10	0.67	2.66	-0.75	3.05	0.84	2.61
5	0.37	0.49	-0.25	0.62	2.77	-0.78	5.61	0.90	5.20
6	0.11	0.57	-0.80	0.99	1.33	-0.26	4.68	0.91	4.11
7	0.15	0.60	-0.76	1.89	1.34	0.41	3.38	0.94	2.59
8	0.71	0.69	0.02	1.59	1.34	0.18	4.66	1.00	3.67
9	0.48	0.75	-0.37	0.76	1.35	-0.43	3.94	1.00	2.95
10	0.74	0.88	-0.15	0.43	1.35	-0.68	4.39	1.05	3.19
11	0.51	1.07	-0.52	0.34	1.35	-0.75	4.65	1.19	2.92
12	0.43	1.17	-0.63	2.16	1.41	0.53	4.90	1.25	2.93
13	0.82	1.27	-0.35	2.44	1.49	0.64	5.80	1.43	3.05
14	0.62	1.38	-0.55	0.40	1.02	-0.61	3.45	0.86	3.03
15	1.03	1.52	-0.33	2.02	1.02	0.97	3.05	0.84	2.61
16	0.44	1.54	-0.71	2.50	1.03	1.43	4.97	0.90	4.49
17	1.24	1.81	-0.31	2.04	1.05	0.94	3.82	0.91	3.17
18	1.76	2.30	-0.23	0.45	1.07	-0.58	3.38	0.94	2.59
19	0.40	3.07	-0.87	0.27	1.05	-0.74	5.29	1.21	3.38
20	1.51	1.47	0.03	1.30	1.05	0.23	5.54	1.30	3.28

Direction 2									
No.	Type A			Type B			Type C		
	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast
1	0.12	0.25	-0.52	2.04	1.10	0.86	2.43	0.70	2.48
2	0.19	0.45	-0.58	0.32	1.83	-0.82	2.34	0.83	1.82
3	0.12	0.44	-0.74	0.57	1.02	-0.44	3.00	1.02	1.94
4	0.45	0.36	0.26	6.01	2.10	1.86	3.00	0.90	2.33
5	0.54	0.42	0.28	4.44	1.90	1.34	4.35	0.91	3.78
6	0.45	0.55	-0.19	1.21	1.10	0.10	3.29	1.01	2.25
7	0.21	0.61	-0.65	0.62	1.71	-0.64	5.43	0.91	4.97
8	0.62	0.65	-0.05	1.04	1.11	-0.06	4.29	1.11	2.87
9	0.22	0.74	-0.70	1.53	2.10	-0.27	4.62	1.10	3.20
10	0.32	0.80	-0.60	2.27	0.60	2.79	4.56	1.06	3.30
11	0.74	0.94	-0.21	1.03	0.50	1.05	5.01	0.95	4.28
12	0.77	1.21	-0.36	0.56	1.72	-0.68	4.85	1.72	1.82
13	0.64	1.12	-0.43	0.47	1.42	-0.67	5.63	1.42	2.97
14	1.02	1.41	-0.28	2.02	0.60	2.37	3.51	0.60	4.85
15	1.00	1.53	-0.35	0.38	1.12	-0.66	3.00	1.12	1.68
16	0.88	1.43	-0.38	0.32	1.32	-0.76	4.48	1.32	2.39
17	0.15	1.80	-0.92	0.52	1.32	-0.61	3.80	1.32	1.88
18	0.19	2.24	-0.91	1.53	0.90	0.70	5.43	0.90	5.04
19	2.02	3.03	-0.33	1.37	0.80	0.71	5.67	0.80	6.09
20	0.55	1.61	-0.62	0.50	1.61	-0.69	5.03	1.61	2.13

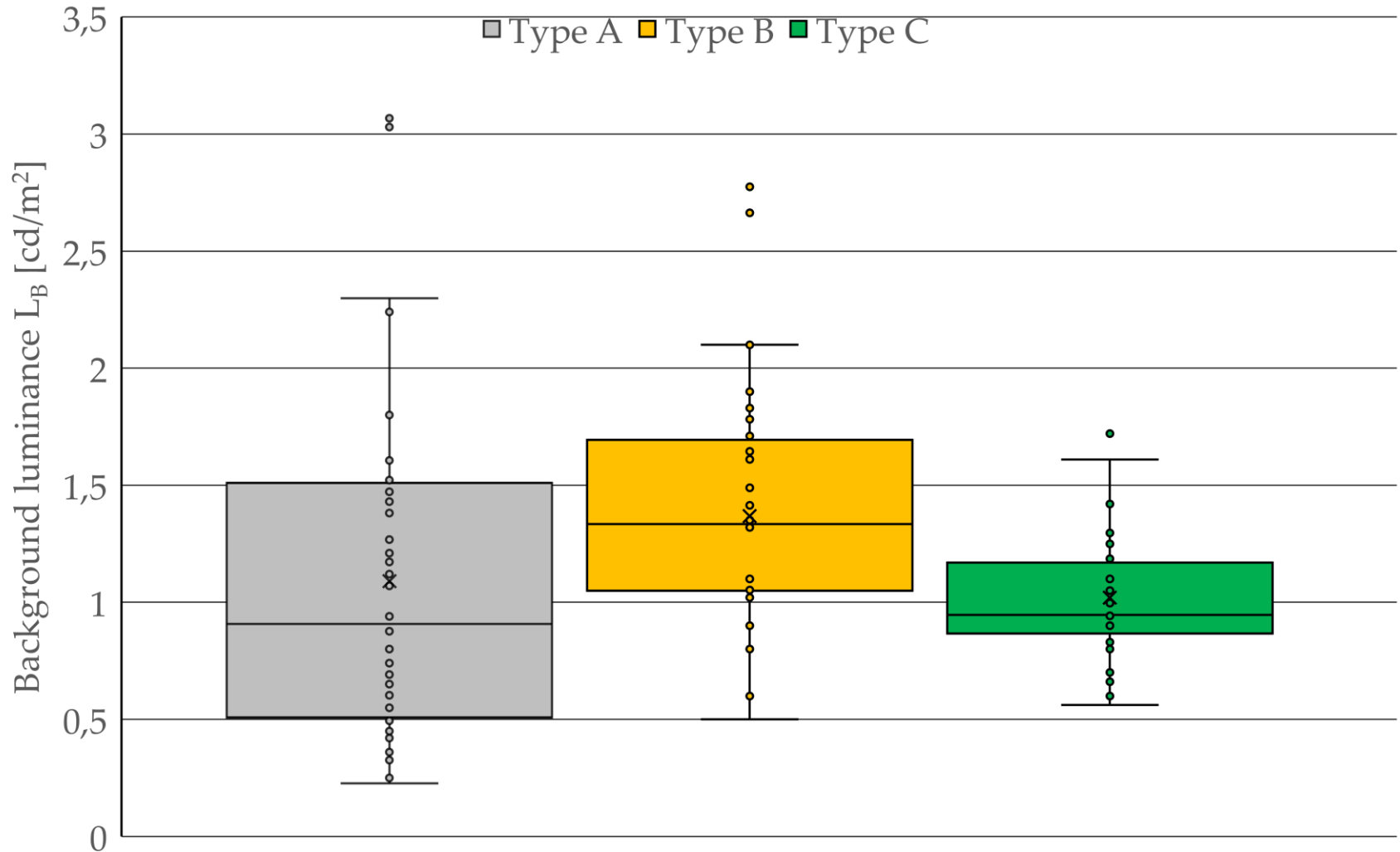
Podsumowanie wyników

	Type A			Type B			Type C		
	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast	Target luminance L_T [cd/m ²]	Background luminance L_B [cd/m ²]	Contrast
min	0.11	0.23	-0.92	0.27	0.50	-0.82	2.30	0.56	1.68
max	2.02	3.07	0.28	6.01	2.77	2.79	5.80	1.72	6.09
średnia	0.60	1.09	-0.39	1.39	1.37	0.14	4.15	1.02	3.16
mediana	0.49	0.91	-0.36	1.03	1.33	-0.16	4.37	0.95	2.96
kwantyl 1	0.34	0.57	-0.62	0.56	1.03	-0.60	3.31	0.91	2.51
kwantyl 2	0.75	1.48	-0.22	2.02	1.66	0.73	4.98	1.14	3.61

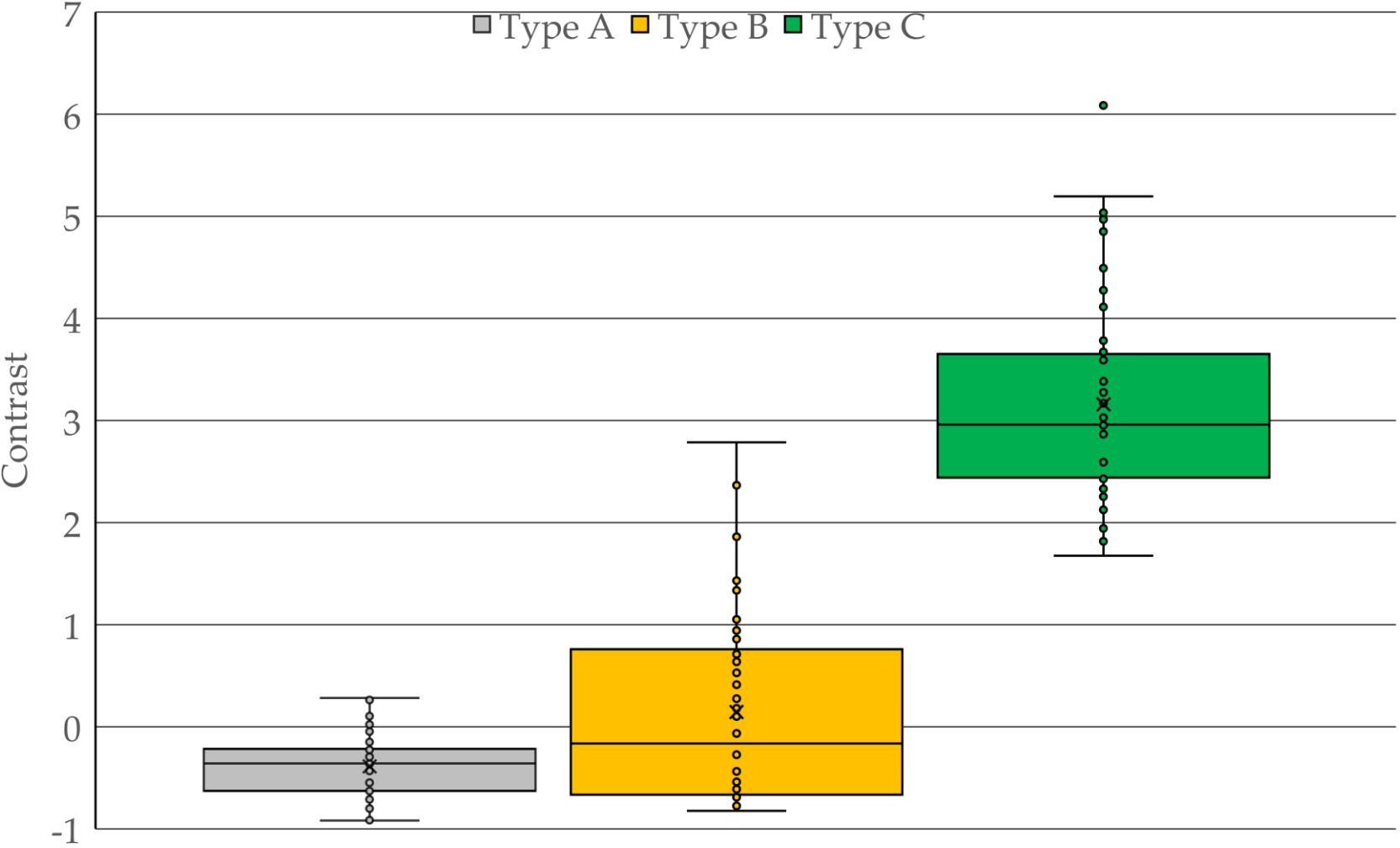
Luminancja obiektu



Luminancja tła



Kontrast luminanciji



Kontrastowy wskaźnik mocy

$$E_{CI\ avg} = \frac{P_{avg}}{|C_{avg}|}$$

$E_{CI\ avg}$ – średnia wartość kontrastowego wskaźnika mocy [W],

P_{avg} – średnia moc czynna opraw oświetleniowych [W],

$|C_{avg}|$ – wartość bezwzględna średniego kontrastu.

Średnie moce opraw i uzyskane wskaźniki energetyczne:

Typ A - 96 W

$$E_{CI\ avg} = 232.1\ W$$

Typ B - 136 W

$$E_{CI\ avg} = 177.8\ W$$

Typ C - 73 W

$$E_{CI\ avg} = 23.1\ W$$



Wnioski

- Poziom kontrastu na przejściach dla pieszych oświetlonych za pomocą rozwiązania dodatkowego (typ B) jest niejednoznaczny i zależy od lokalizacji słupa oświetleniowego, opraw i kierunku obserwacji pieszych.
- Rozwiązanie typu B rozświetla otoczenie, obniżając poziom luminancji tła i realizowanego kontrastu luminancji. Dla nowych inwestycji nie zaleca się stosowania tego rozwiązania, a w przypadku konieczności zastosowania powinno być realizowane łącznie ze strefą przejściową.
- Sylwetki pieszych oświetlonych rozwiązaniem dedykowanym (typ C) posiadają ponad pięciokrotnie wyższy poziom luminancji niż w przypadku oświetlenia oświetleniem drogowym (typ A).
- Potwierdzono badaniami terenowymi skuteczność realizacji dodatniego ($C > 3$) kontrastu luminancji na przejściach dla pieszych oświetlonych za pomocą rozwiązania dedykowanego (typ C). Rozwiązanie to sprawdza się na ulicach oświetlonych w niskich i średnich klasach oświetleniowych.

Dziękujemy za uwagę

Kontrast luminancji na oświetlonych przejściach dla pieszych w warunkach miejskich

Piotr Tomczuk, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska

*Anna Wytrykowska, Biuro Zarządzania Ruchem Drogowym Urzędu Miasta St. Warszawy;
Wydział Inżynieryjny Uczelni Techniczno-Handlowej im. H. Chodkowskiej*

Marcin Chrzanowicz, Wydział Elektryczny, Politechnika Warszawska

**KONGRES
BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2024**

Kraków, 13-15 marca 2024 r.

www.konferencjespecjalistyczne.pl