

Wykorzystanie światła szczątkowego do oświetlania ulic.
Zastosowania praktyczne.

dr inż. Magdalena Sielachowska

KONGRES
BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2024

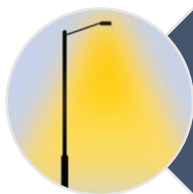
Kraków, 13-15 marca 2024 r.

www.konferencjespecjalistyczne.pl

Oświetlenie dróg – obecnie



Oprawy sodowe o mocy 50 – 400 W
Roczne zużycie energii: 3 TWh.



Temperatura barwowa: 2500 K
(barwa ciepła)



Roczne zużycie energii na potrzeby
oświetlenia dróg w Polsce: 7%.

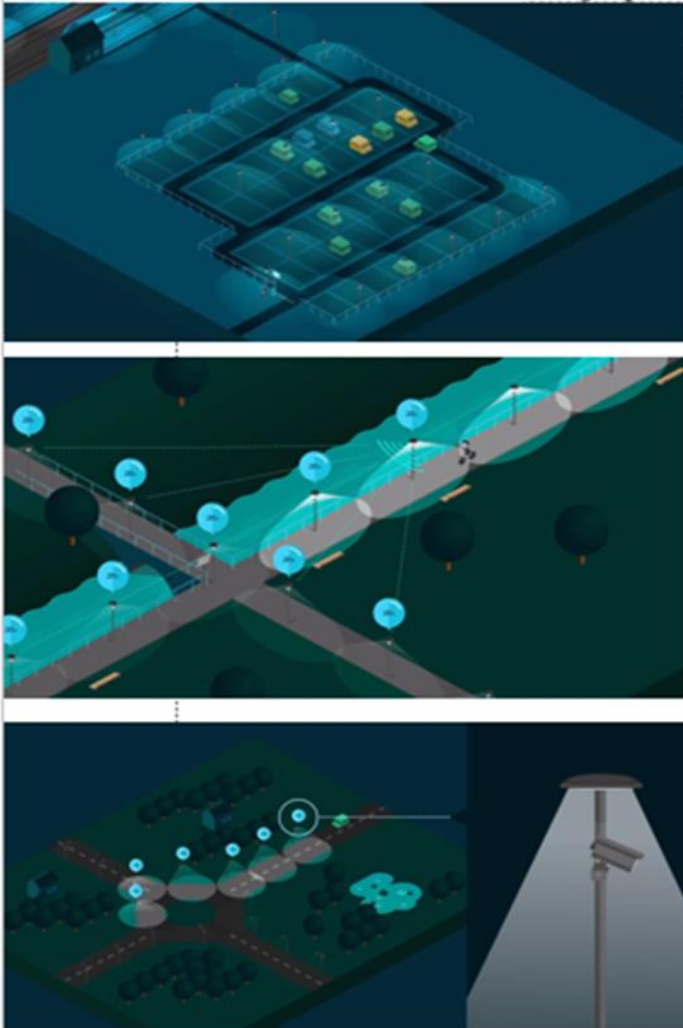


Wzrost zapotrzebowania i cen energii
elektrycznej po roku 2020.

Program „Rozświetlamy Polskę”



Dostępne rozwiązania – Technologia SMART

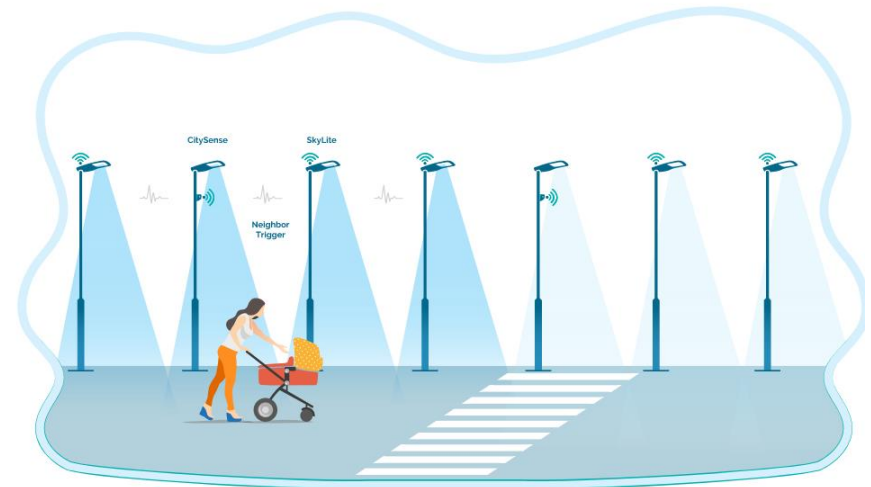


SMART LIGHTING:

- Energooszczędne oprawy LED.
- Urządzenia o wysokiej wydajności.
- Serwer centralny monitorujący pracę całej instalacji.
- Sterowniki obsługujące grupy opraw (najczęściej jednakowe sterowanie dla całego miasta).
- Sterowniki cyfrowe w oprawach (możliwość płynnej regulacji strumienia świetlnego).
- Możliwość sterowania strumieniem świetlnym (obecnie załączanie i wyłączanie opraw o zadanych godzinach).

Dostępne rozwiązania

Obecnie żadne z oferowanych rozwiązań nie uwzględniają bieżącego zapotrzebowania na oświetlenie w danym miejscu i czasie.



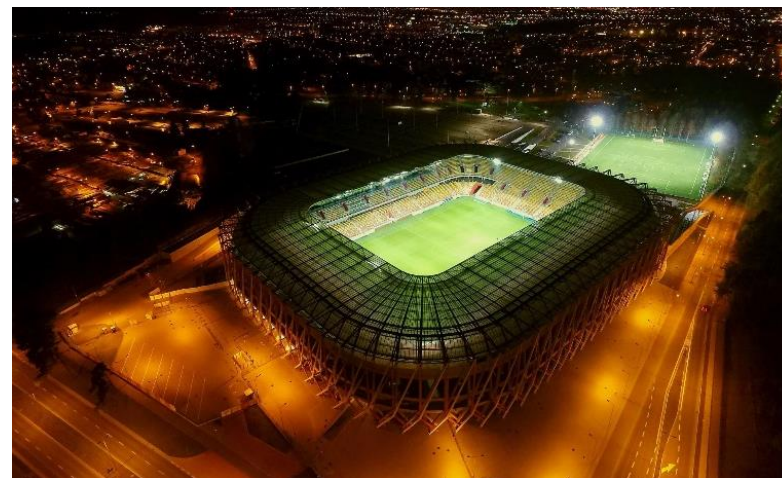
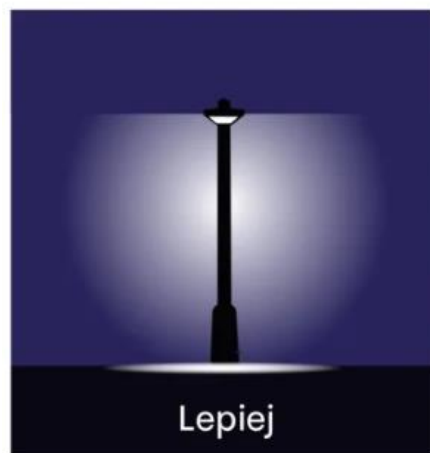
Większość z dostępnych rozwiązań opiera swoje działanie na podobnej budowie i funkcjonalności systemu oraz posiada zbliżony sposób komunikacji.

Brakuje możliwości wysterowania opraw w zależności od warunków atmosferycznych, tj. **temperatura otoczenia, stopień zamglenia, opady.**

Pomija się również bardzo istotną kwestię, jaką jest **zanieczyszczenie światłem i luminancja nieboskłonu.**

Zanieczyszczenie światłem

Pojęcie związane z nadmierną emisją strumienia świetlnego w górną półprzestrzeń i zanieczyszczeniem nocnego nieba światłem sztucznym.



Zanieczyszczenie światłem

Negatywne skutki jakie wywołuje zanieczyszczenie światłem.

- ASTRONOMIA: **Wzrost jasności nocnego nieba**. Zjawisko to znane jako łuna miejska zmniejsza widoczność obiektów astronomicznych, co **utrudnia lub uniemożliwia obserwacje astronomiczne**.
- KULTURA I SZTUKA: **Degradacja obrazu nieba w świadomości społecznej**. Rozgwieżdżone niebo od zawsze inspirowało i kształtowało człowieka. Wpływało na sztukę, filozofię, religię, literaturę i naukę. Współcześnie jest ono niedostępne dla dużej części społeczeństwa.
- ZDROWIE I EKOLOGIA: **Zaburzenie naturalnego cyklu dobowego flory i fauny**. Badania naukowe wskazują, że ciemność jest konieczna dla funkcjonowania systemów biologicznych. Zanieczyszczenie światłem, zmieniając naturalny cykl dobowy obecności i braku światła, negatywnie wpływa na istotne zachowania i procesy organizmów żywych, w tym człowieka.
- BEZPIECZEŃSTWO: **Obniżanie komfortu i bezpieczeństwa w nocy**. Oświetlenie zewnętrzne nieodpowiednio skierowane lub zbyt jasne powoduje zjawisko olśnienia, prowadząc do słabszej widoczności otoczenia a tym samym powodując spadek bezpieczeństwa w ruchu drogowym.
- EKONOMIA: Straty finansowe i podnoszenie poziomu tradycyjnych form zanieczyszczenia środowiska. **Zbyt jasne lub źle skierowane światło oznacza straty energii elektrycznej**.



Zanieczyszczenie światłem

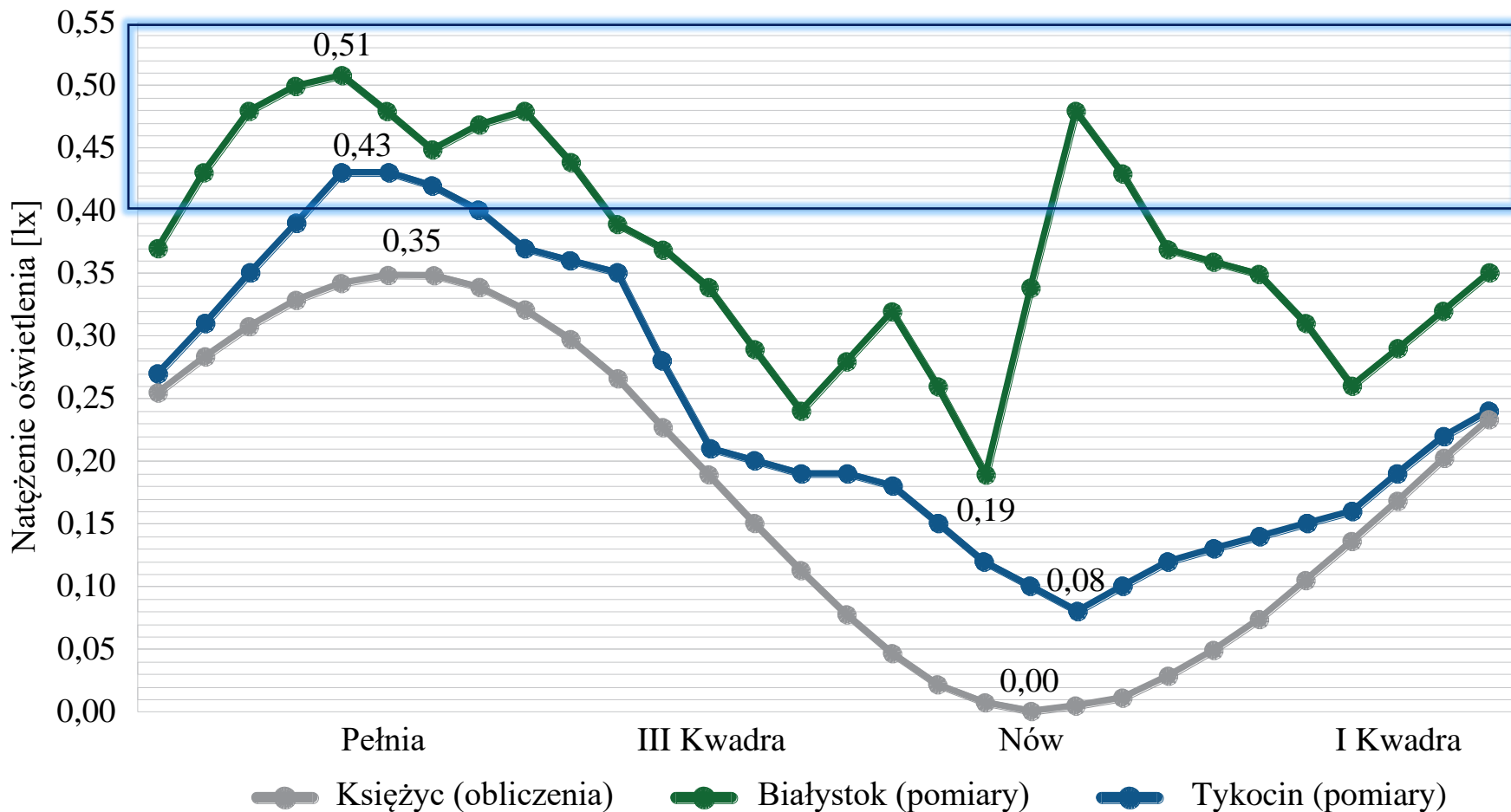
Zanieczyszczenie światłem jest zjawiskiem niepożądanym, jednak nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie tego efektu.



Zanieczyszczenie światłem

Zanieczyszczenie świetlne dla obszarów o różnym zaludnieniu: porównanie Białostok, Tykocin, światło Księżyca.

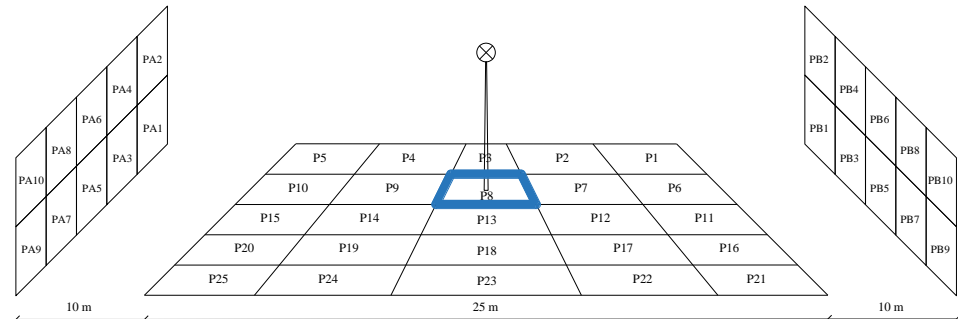
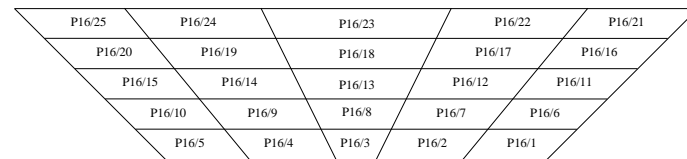
Łuna świetlna



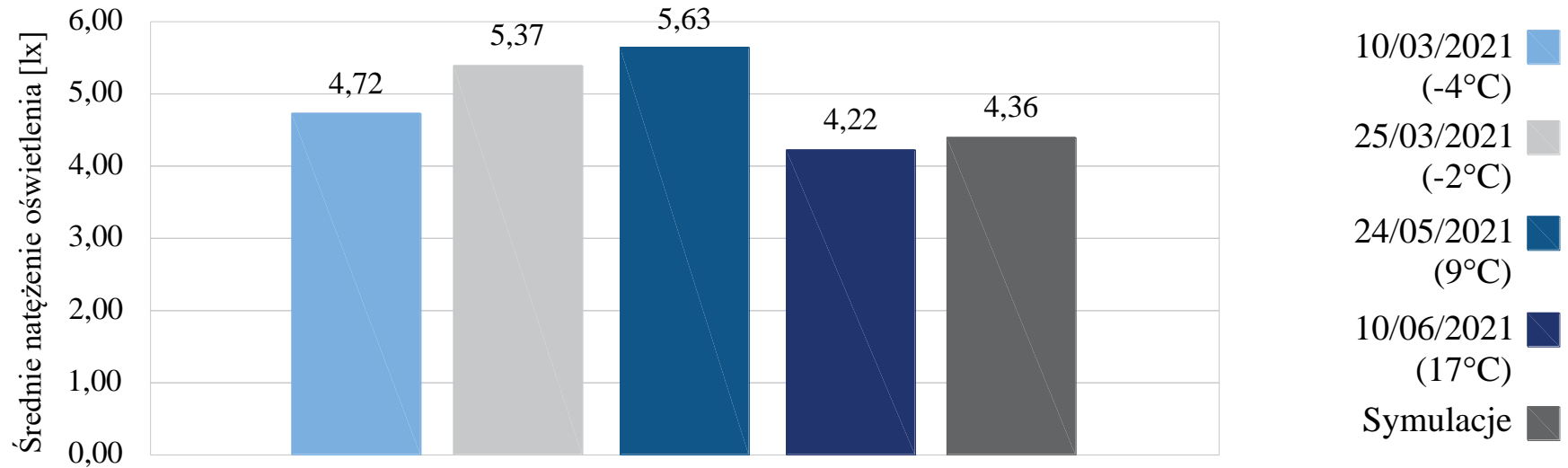
Obliczone wartości natężenia oświetlenia pochodzące od Księżyca oraz wartości zmierzone dla terenów o różnej gęstości zaludnienia we wrześniu 2017 roku

Zanieczyszczenie świetlne pochodzące od opraw oświetlenia drogowego

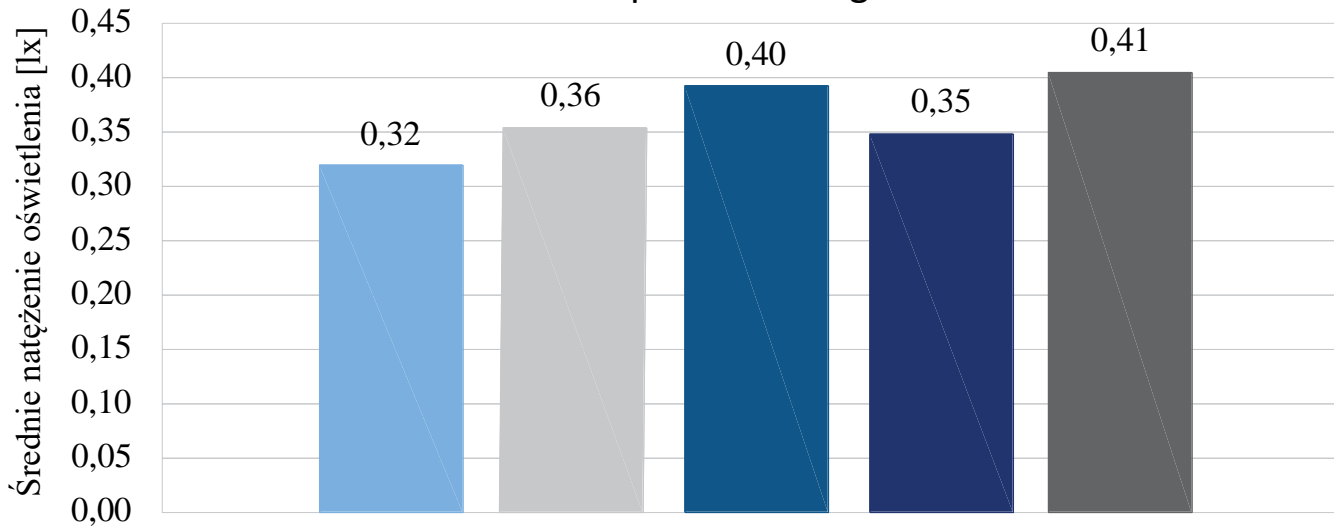
Data	10/03/2021	25/03/2021	24/05/2021	10/06/2021
Godzina	20:00	22:00	22:00	23:00
Warunki	sucho	sucho	sucho	sucho
Temperatura [°C]	-4	-2	9	17
Temperatura punktu rosy [°C]	-5	2	7	15
Wilgotność [%]	80	85	70	85
Ciśnienie [hPa]	1022	1021	995	1015
Gęstość powietrza [kg/m ³]	1,286	1,262	1,209	1,188
Mgła [frakcje]	0	0	0	0
Wiatr [m/s]	1	2	1	2
Zachmurzenie [oktanty]	0	0	0	3
	bezchmurnie	bezchmurnie	bezchmurnie	zachmurzenie małe



Zanieczyszczenie świetlne pochodzące od opraw oświetlenia drogowego



Średnie wartości natężenia oświetlenia na powierzchni gruntu



Średnie wartości natężenia oświetlenia na wysokości 16 m

Zmiana strumienia w zależności od temperatury otoczenia

Wraz ze wzrostem temperatury otoczenia, wartość natężenia oświetlenia spada w granicach od 190 do 225 luksów, czyli średnio o 13% - wyznaczenie współczynnika korekcyjnego.

$$\frac{\phi_v}{\phi_{v,ref}}(T_{amb}, I_{fo}) = A_0(T_{amb} - T_{ref}) + A_1$$

gdzie:

ϕ_v [lm] – strumień świetlny LED

$\phi_{v,ref}$ [lm] – strumień świetlny w warunkach odniesienia

T_{amb} [°C] – temperatura otoczenia

T_{ref} [°C] – temperatura odniesienia, 25°C

A_0 [–] – stała reprezentująca nachylenie

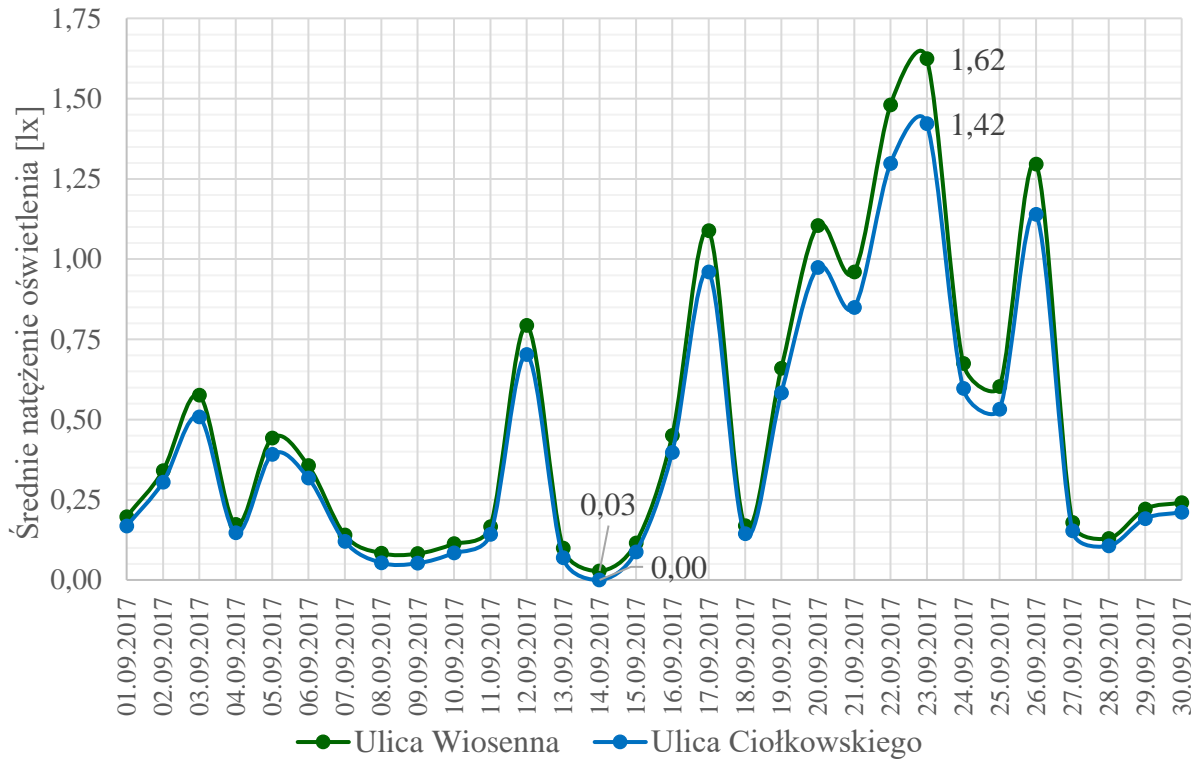
A_1 [–] – stała

Współczynnik korekcyjny ε_T oprawy oświetleniowej ES - SYSTEM model RAPID

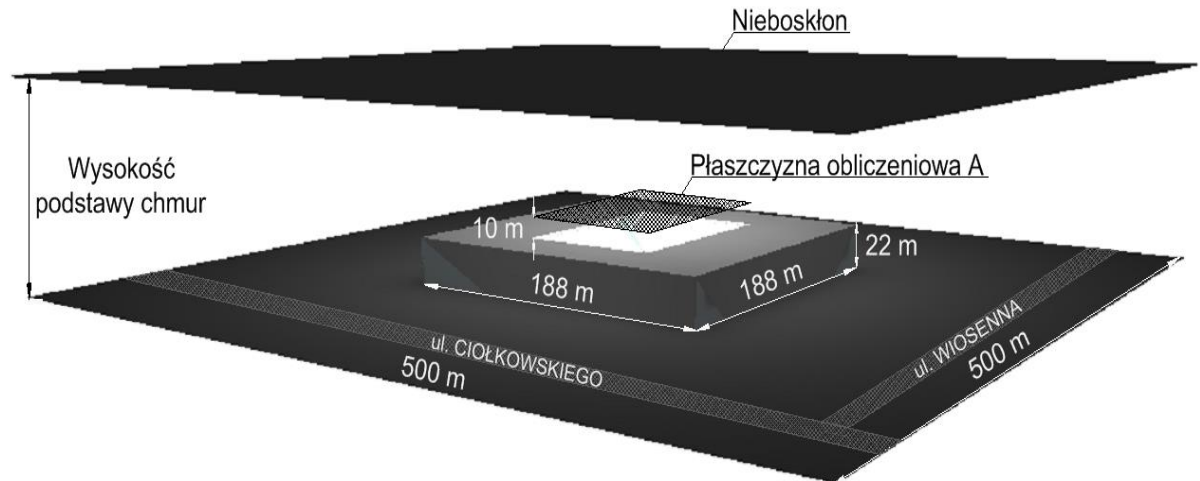
TEMPERATURA [°C]	WSPÓŁCZYNNIK KOREKCYJNY ε_T
–20°C	1,0717
–15°C	1,0671
–10°C	1,0637
–5°C	1,0594
0°C	1,0523
5°C	1,0369
10°C	1,0271
15°C	1,0179
20°C	1,0086
25°C	1,0000
30°C	0,9865
35°C	0,9732
40°C	0,9612
45°C	0,9526
50°C	0,9440



Zanieczyszczenie świetlne pochodzące od Stadionu Miejskiego w Białymstoku



Średnie wartości natężenia oświetlenia na drogach dojazdowych do stadionu we wrześniu 2017 roku



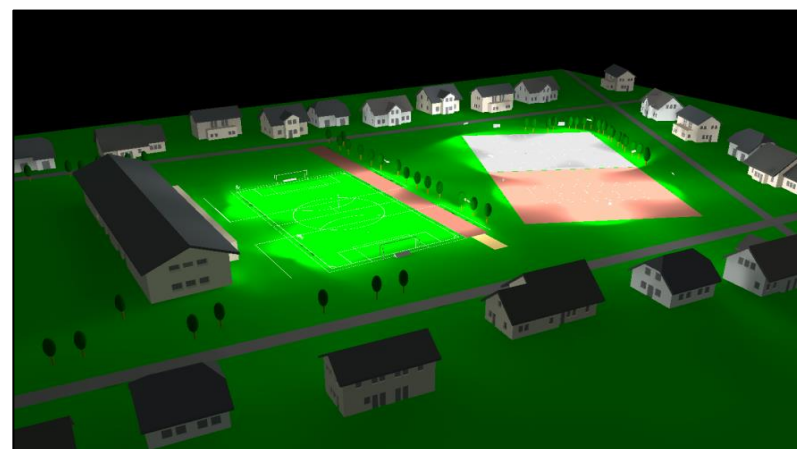
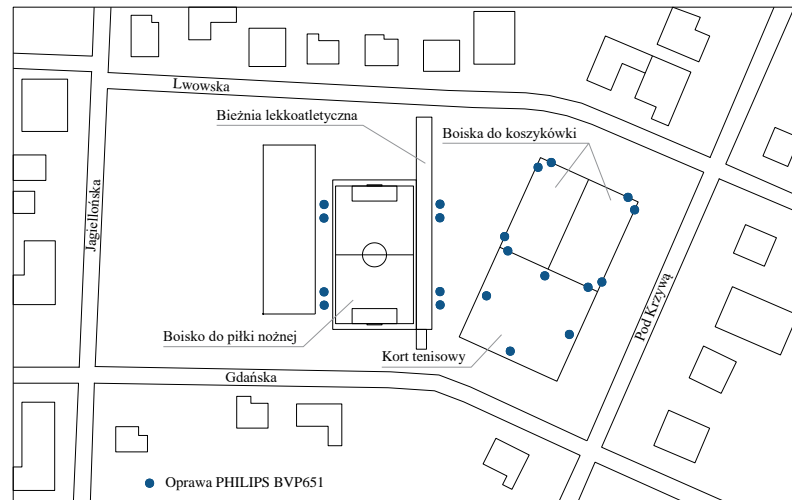
Zanieczyszczenie świetlne pochodzące od Szkoły Sportowej w Białymstoku

WIOSNA – trawa, współczynnik odbicia 0,3

Wysokość podstawy chmur	E [lx]			
	ulica Gdańska	ulica Lwowska	ulica Jagiellońska	ulica Pod Krzywą
0 m	1,50	0,78	0,02	1,92
100 m	1,96	1,22	0,28	2,43
200 m	1,60	0,87	0,09	2,02
300 m	1,53	0,81	0,04	1,95
400 m	1,51	0,79	0,02	1,94
500 m	1,50	0,78	0,02	1,93

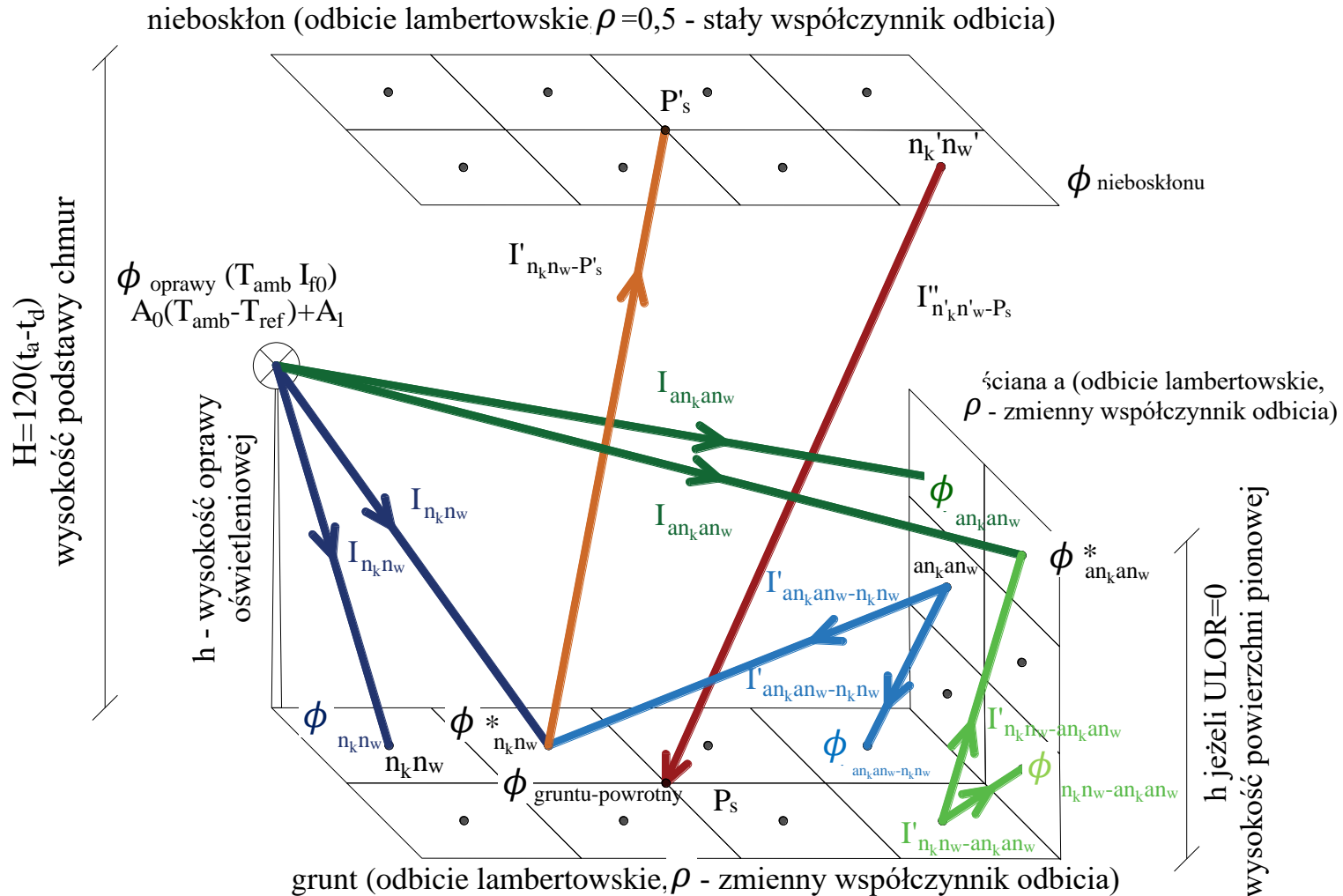
ZIMA – śnieg, współczynnik odbicia 0,8

Wysokość podstawy chmur	E [lx]			
	ulica Gdańska	ulica Lwowska	ulica Jagiellońska	ulica Pod Krzywą
0 m	1,52	0,79	0,02	1,96
100 m	2,13	1,35	0,37	2,59
200 m	1,66	0,92	0,12	2,09
300 m	1,57	0,83	0,05	2,00
400 m	1,55	0,81	0,03	1,98
500 m	1,54	0,80	0,02	1,97



Modelowanie strumienia świetlnego

Modelowanie strumienia świetlnego w przestrzeni otwartej dla dowolnego obszaru z uwzględnieniem okolicznych budynków i warstwy chmur



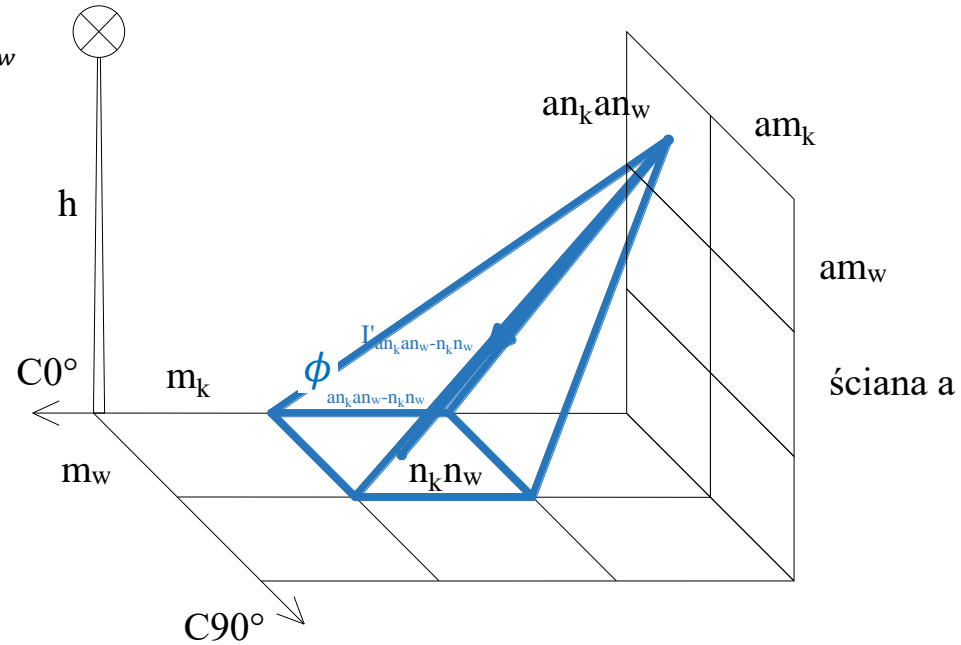
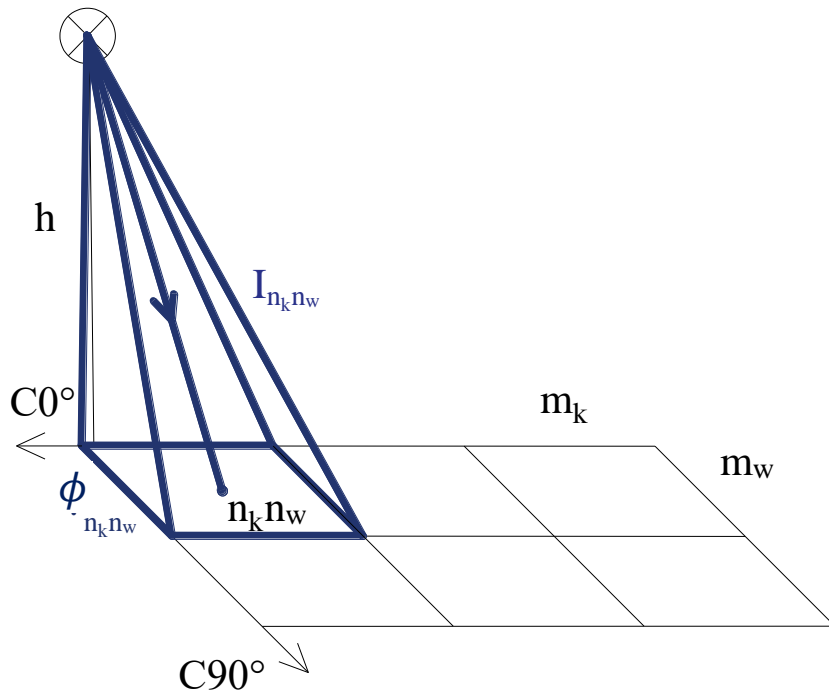
Modelowanie strumienia świetlnego

Wyznaczanie wartości strumienia świetlnego na powierzchni gruntu

$$\Phi_{n_k n_w}^* = \Phi_{n_k n_w} + \sum \Phi_{an_k an_w - n_k n_w} + \sum \Phi_{bn_k bn_w - n_k n_w}$$

$$\Phi_{n_k n_w} = I_{n_k n_w} \cdot \omega_{n_k n_w} \cdot \varepsilon_T$$

$$I_{n_k n_w} = I_{LDT} (C\alpha_{n_k n_w}, \gamma_{n_k n_w}) \cdot \Phi_C$$



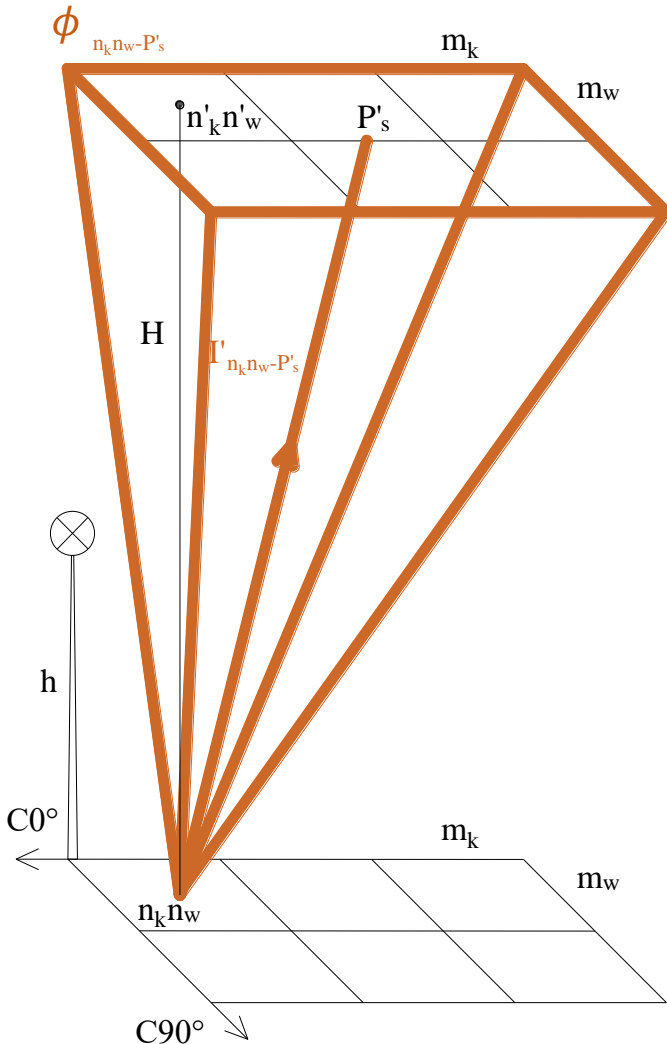
$$\Phi_{an_k an_w - n_k n_w} = I'_{an_k an_w - n_k n_w} \cdot \omega_{an_k an_w - n_k n_w}$$

$$I'_{an_k an_w - n_k n_w} = \Phi_{an_k an_w}^* \frac{\rho_{n_k n_w}}{\pi} \cos \beta_{n_k n_w - n_k n_w}$$

$$\Phi_{an_k an_w}^* = \Phi_{an_k an_w} + \sum \Phi_{n_k n_w - an_k an_w}$$

Modelowanie strumienia świetlnego

Wyznaczanie wartości strumienia świetlnego na powierzchni nieboskłonu



$$\Phi_{niebosklonu} = D^{Tm} \cdot \sum \Phi_{n_k n_w - P'_s} = D^{Tm} \cdot \sum I'_{n_k n_w - P'_s} \cdot \omega_{n_k n_w - P'_s}$$

gdzie:

D – przepuszczalność atmosfery idealnej $D = 0,906$

T – współczynnik zamglenia

m – długość drogi optycznej promieniowania

$$I'_{n_k n_w - P'_s} = \Phi_{n_k n_w}^* \cdot \frac{\rho_{n_k n_w}}{\pi} \cdot \cos \beta_{n_k n_w - P'_s}$$

$$H = 120 \cdot (t_a - t_d)$$

gdzie:

H [m] – wysokość podstawy chmur

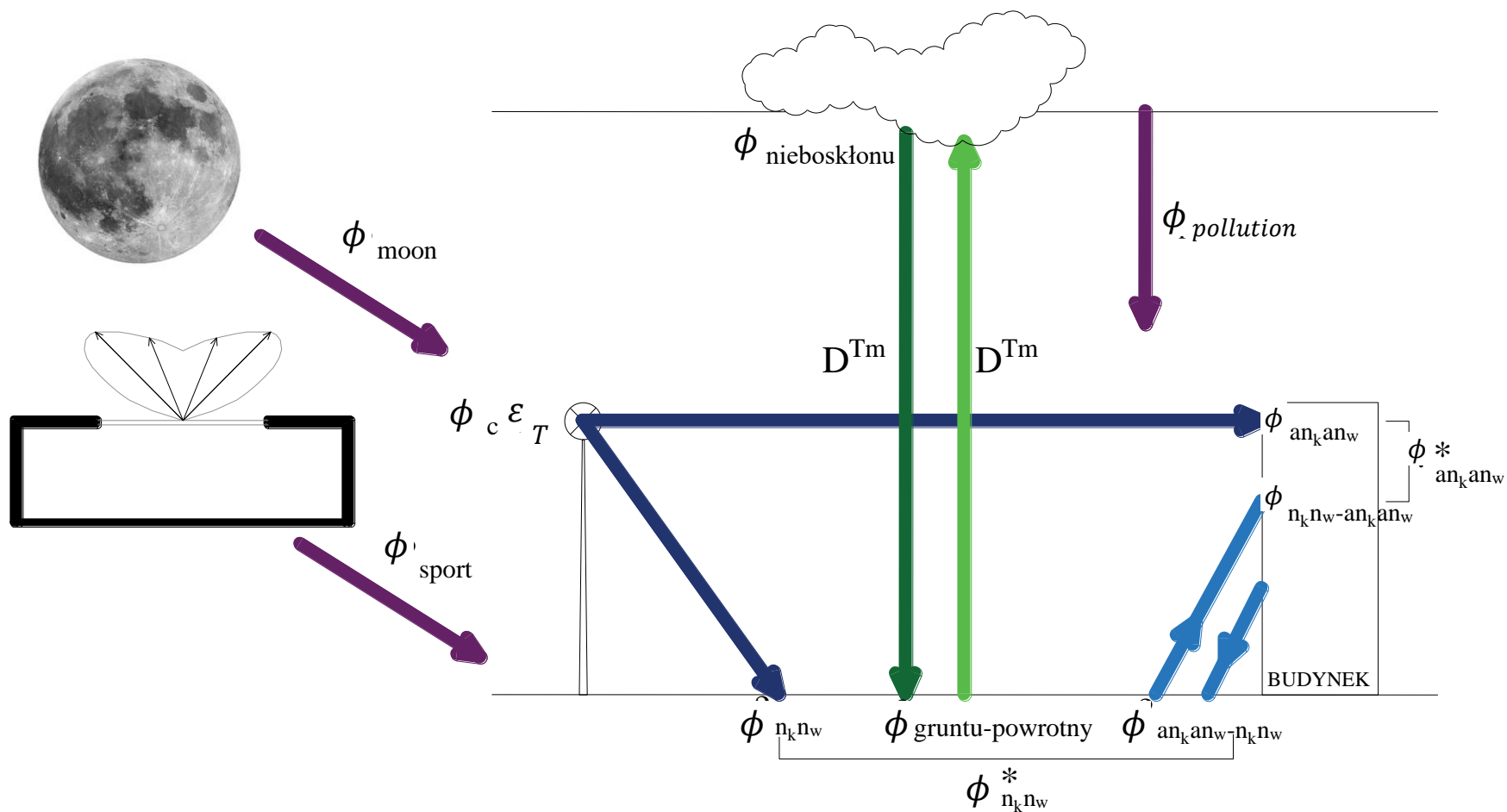
t_a [°C] – temperatura powietrza

t_d [°C] – temperatura punktu rosy

Bilans strumienia świetlnego

Rzeczywista wartość strumienia świetlnego na powierzchni gruntu jest sumą strumieni cząstkowych

$$\Phi_{n_k n_w}^{**} = \Phi_{n_k n_w} + \sum \Phi_{an_k an_w - n_k n_w} + \sum \Phi_{bn_k bn_w - n_k n_w} + \Phi_{n_k n_w}^{GP} + \Phi_{moon} + \Phi_{pollution} + \Phi_{sport}$$



Bilans strumienia świetlnego

Efektom prac nad stworzeniem bilansu strumienia świetlnego w przestrzeni otwartej jest wyprowadzenie współczynnika korekcyjnego kms.

Docelowa skorygowana wartość strumienia świetlnego oprawy:

$$\Phi'_c = k_{MS}(\varepsilon, D^{Tm}) \cdot \Phi_c - \sum (\Phi_{moon}, \Phi_{pollution}, \Phi_{sport})$$

$$\begin{aligned} k_{MS} &= (2 - \varepsilon) - \varepsilon \cdot \left[\left(I_{LDT}(CY_{an_k an_w}) \cdot \omega_{an_k an_w} + I_{LDT}(CY_{n_k n_w}) \cdot \omega_{n_k n_w} \cdot \frac{\rho_{n_k n_w}}{\pi} \cdot \cos \beta_{n_k n_w - an_k an_w} \cdot \omega_{n_k n_w - an_k an_w} \right) \cdot \frac{\rho_{an_k an_w}}{\pi} \cdot \cos \beta_{an_k an_w - n_k n_w} \right. \\ &\cdot \omega_{an_k an_w - n_k n_w} - \varepsilon \cdot \left[\left(I_{LDT}(CY_{bn_k bn_w}) \cdot \omega_{bn_k bn_w} + I_{LDT}(CY_{n_k n_w}) \cdot \omega_{n_k n_w} \cdot \frac{\rho_{n_k n_w}}{\pi} \cdot \cos \beta_{n_k n_w - bn_k bn_w} \cdot \omega_{n_k n_w - bn_k bn_w} \right) \cdot \frac{\rho_{bn_k bn_w}}{\pi} \cdot \cos \beta_{bn_k bn_w - n_k n_w} \right. \\ &\cdot \omega_{bn_k bn_w - n_k n_w} - \frac{(D^{Tm})^2}{\pi^2} \cdot \varepsilon \cdot \rho_{niebosktonu} \cdot \cos \beta_{n_k n_w - P'} \cdot \cos \beta_{nieboskton - grunt} \cdot \omega_{n_k n_w - P'} \cdot \omega_{nieboskton - grunt} \\ &\cdot \left[I_{LDT}(CY_{n_k n_w}) \cdot \omega_{n_k n_w} + \left[\left(I_{LDT}(CY_{an_k an_w}) \cdot \omega_{an_k an_w} + I_{LDT}(CY_{n_k n_w}) \cdot \omega_{n_k n_w} \cdot \frac{\rho_{n_k n_w}}{\pi} \cdot \cos \beta_{n_k n_w - an_k an_w} \cdot \omega_{n_k n_w - an_k an_w} \right) \cdot \frac{\rho_{an_k an_w}}{\pi} \right. \right. \\ &\cdot \cos \beta_{an_k an_w - n_k n_w} \cdot \omega_{an_k an_w - n_k n_w} + \left[\left(I_{LDT}(CY_{bn_k bn_w}) \cdot \omega_{bn_k bn_w} + I_{LDT}(CY_{n_k n_w}) \cdot \omega_{n_k n_w} \cdot \frac{\rho_{n_k n_w}}{\pi} \cdot \cos \beta_{n_k n_w - bn_k bn_w} \cdot \omega_{n_k n_w - bn_k bn_w} \right) \cdot \frac{\rho_{bn_k bn_w}}{\pi} \right. \\ &\cdot \left. \left. \cos \beta_{bn_k bn_w - n_k n_w} \cdot \omega_{bn_k bn_w - n_k n_w} \right] \right] \end{aligned}$$

Współczynnik korekcyjny uwzględnia cztery czynniki: **zmianę temperatury otoczenia, tłumienie atmosfery, strumień świetlny odbity od budynków i niebosktonu.**

Poprawa efektywności energetycznej

Stadion Miejski w Białymstoku

Ulica	Ciołkowskiego	Wiosenna
Ilość opraw	80	76
Moc instalacji P [W]	2400	2280
Pole pomiarowe A [m ²]	1250	1125
Średnie natężenie oświetlenia E [lx]	20	20
$E_{\text{grunt-powrotny}}$	0,0080	0,0076
E_{moon}	0,1775	0,1775
$E_{\text{pollution}}$	0,29	0,29
E_{sport}	0,49	0,42
Moc instalacji po korekcji		
P [W]	2400,00	2280,00
$P(\varepsilon_{8,7^{\circ}\text{C}})$	2336,68	2219,84
$P(\varepsilon, \phi_{GP})$	2335,77	2219,02
$P(\varepsilon, \phi_{GP}, \phi_{\text{moon}})$	2315,76	2200,02
$P(\varepsilon, \phi_{GP}, \phi_{\text{moon}}, \phi_{\text{pollution}})$	2283,81	2169,66
$P(\varepsilon, \phi_{GP}, \phi_{\text{moon}}, \phi_{\text{pollution}}, \phi_{\text{sport}})$	2231,78	2127,15

Ciołkowskiego

Wiosenna

2400 W

2280 W



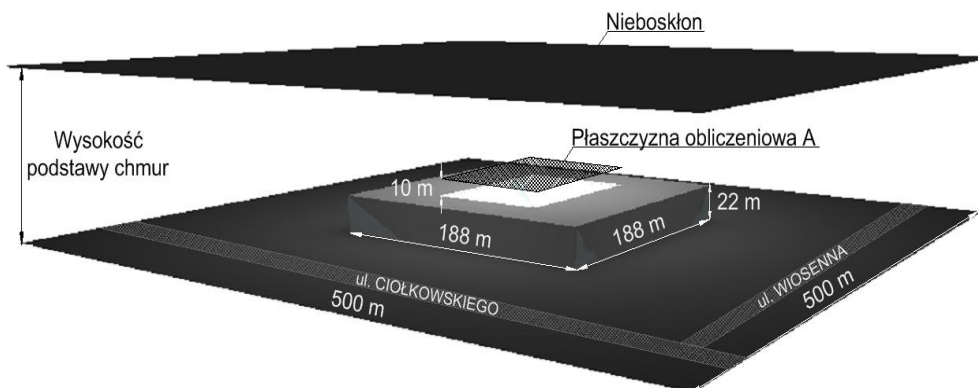
7%



7%

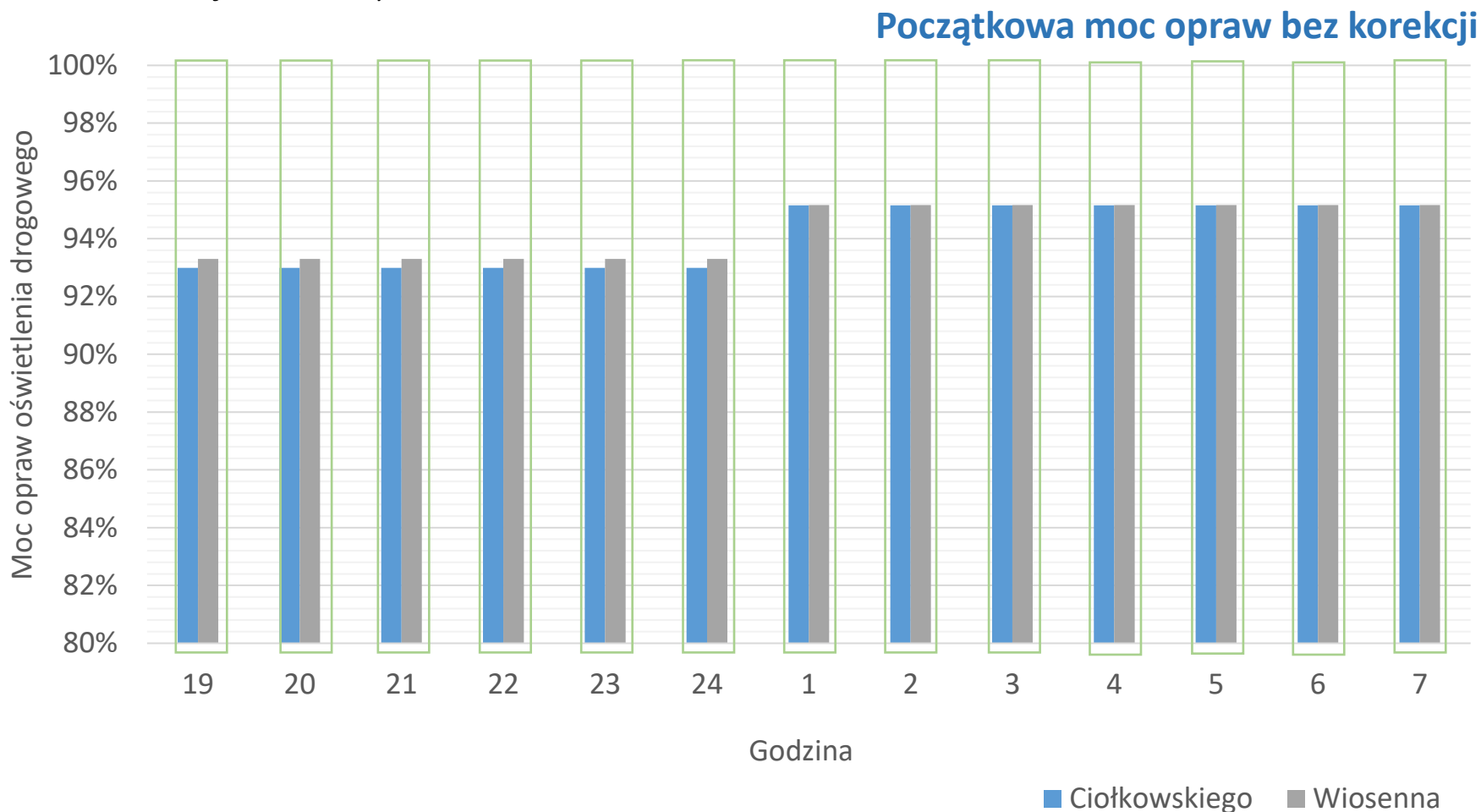
2232 W

2127 W



Poprawa efektywności energetycznej

Stadion Miejski w Białymstoku



Ograniczenie zużycia energii na oświetlenie dróg w okolicy Stadionu Miejskiego w Białymstoku

Poprawa efektywności energetycznej

Szkoła Sportowa w Białymstoku

Ulica	Gdańska	Jagiellońska	Lwowska	Pod Krzywą
Ilość opraw	9	6	9	6
Moc instalacji P [W]	270	180	270	180
Pole pomiarowe A [m ²]	2000	1000	2000	1000
Średnie natężenie oświetlenia E [lx]	10	13	10	13
$E_{\text{grunt-powrotny}}$	0,0009	0,0006	0,0009	0,0006
E_{moon}	0,1775	0,1775	0,1775	0,1775
$E_{\text{pollution}}$	0,24	0,24	0,24	0,24
E_{sport}	1,62	0,09	0,89	2,05
Moc instalacji po korekcji				
P [W]	270	180	270	180
$P(\varepsilon_{8,7^{\circ}\text{C}})$	262,88	175,25	262,88	175,25
$P(\varepsilon, \phi_{GP})$	262,85	175,24	262,85	175,24
$P(\varepsilon, \phi_{GP}, \phi_{\text{moon}})$	258,39	172,94	258,39	172,94
$P(\varepsilon, \phi_{GP}, \phi_{\text{moon}}, \phi_{\text{pollution}})$	252,59	169,93	252,59	169,93
$P(\varepsilon, \phi_{GP}, \phi_{\text{moon}}, \phi_{\text{pollution}}, \phi_{\text{sport}})$	219,34	168,83	233,17	147,91

Gdańska

270 W



19%

219 W

Jagiellońska

180 W



6%

169 W

Lwowska

270 W



14%

233 W

Pod Krzywą

180 W



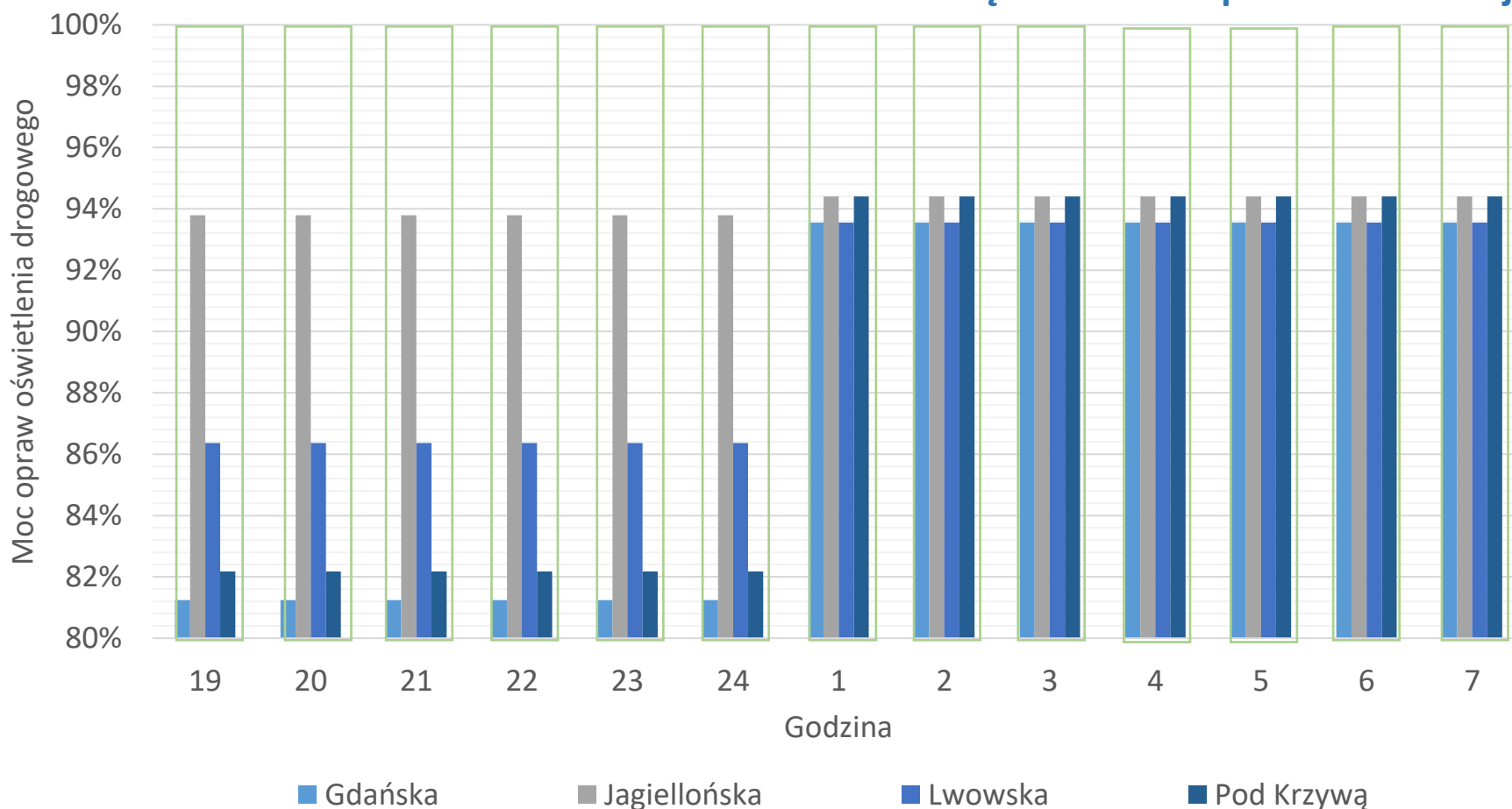
18%

148 W

Poprawa efektywności energetycznej

Szkoła Sportowa w Białymstoku

Początkowa moc opraw bez korekcji



Ograniczenie zużycia energii na oświetlenie dróg w okolicy Szkoły Sportowej w Białymstoku

Dziękuję za uwagę

dr inż. Magdalena Sielachowska

KONGRES
BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2024

Kraków, 13-15 marca 2024 r.

www.konferencjespecjalistyczne.pl

PLANY BADAWCZE

STEROWANIE OŚWIETLENIEM ZEWNĘTRZNYM

Analiza zmiany strumienia świetlnego oprawy w czasie opadów deszczu, śniegu, podczas zamglenia, zbadanie wpływu wilgotności i zapylenia atmosfery.



METODA POMIAROWA WYKORZYSTUJĄCA UVA



Znalezienie sposobu na wykonanie pomiarów w niższych temperaturach, podczas opadów deszczu, śniegu, zamglenia.

Określenie procedury pomiarowej tak, aby metoda była możliwa do wykorzystania niezależnie od obszaru i panujących warunków.