

Agata RACZAK*, Małgorzata ZALESIŃSKA*
Krzysztof WANDACHOWICZ*, Julita ZABŁOCKA*

OCENA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA ZANIECZYSZCZENIA ŚWIATŁEM ORAZ POPRAWY EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ INSTALACJI OŚWIETLENIOWEJ NA PRZYKŁADZIE OŚWIETLENIA SZKLARNI

Szklarnie są obiektami, w których bez odpowiedniej osłony ścian bocznych oraz sufitu, na skutek ucieczki strumienia świetlnego, duża ilość światła tracona jest bezpowrotnie. Ponadto przy nieosłoniętych przeszklonych powierzchniach szklarni zapewnienie odpowiednich warunków oświetleniowych do wzrostu roślin wymaga zastosowania większej liczby opraw oświetleniowych, powodując tym samym wzrost zużycia energii elektrycznej na cele oświetleniowe, a więc niższą efektywność energetyczną oświetlenia i większe koszty. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów rozkładów natężenia oświetlenia we wnętrzu oraz luminancji na zewnętrznych powierzchniach jednej ze szklarni w Wielkopolsce. Ponadto przedstawiono wyniki obliczeń zmian parametrów oświetleniowych po zastosowaniu specjalnych kurtyn ograniczających emisję światła na zewnątrz szklarni. Przeprowadzono ocenę poprawy efektywności energetycznej instalacji oświetleniowej w szklarni.

SŁOWA KLUCZOWE: zanieczyszczenie światłem, światło przeszkadzające, luna świetlna, efektywność energetyczna oświetlania, oświetlenie szklarni.

1. WSTĘP

Zjawisko zanieczyszczenia światłem jest znane ludzkości już od bardzo dawna i dotyczy zaburzenia nocnego ekosystemu, światłem sztucznym wykreowanym przez człowieka.

Najczęstszym źródłem zanieczyszczenia światłem jest ucieczka strumienia świetlnego poza oświetlane obszary na skutek niewłaściwie zaprojektowanego i niewłaściwie eksploatowanego oświetlenia. Niemniej jednak sam fakt korzystania z oświetlenia po zapadnięciu zmroku, zwłaszcza w dużych aglomeracjach miejskich i terenach uprzemysłowionych, powoduje sztuczne rozświetlenie terenu oraz atmosfery ziemskiej tworząc na niebie łunę świetlną nazywaną również

* Politechnika Poznańska

sztucznym brzaskiem lub smogiem świetlnym. Na rysunku 1 pokazano przykład łun świetlnych powstających nad obszarami miejskimi. Obszary na kuli ziemskiej oraz na terenie Polski, które są źródłem największego zanieczyszczenia światłem pokazano na rysunkach 2 i 3.



Rys. 1. Przykład łun świetlnych powstających nad obszarami miejskimi [1]



Rys. 2. Obszary na kuli ziemskiej będące źródłem największego zanieczyszczenia światłem [2]



Rys. 3. Obszary Polski będące największym źródłem zanieczyszczenia światłem [3]

Zanieczyszczenie światłem ma także swoje konsekwencje ekonomiczne i środowiskowe. Im więcej strumienia świetlnego trafia w niepożądane miejsca, tym większe jest zużycie energii elektrycznej i mniejsza efektywność energetyczna instalacji oświetleniowej, a tym samym większe koszty związane z funkcjonowaniem oświetlenia. Zwiększona jest także emisja gazów cieplarnianych, gdyż w większości krajów znaczna część energii elektrycznej nadal wytwarzana jest z paliw kopalnych.

Zanieczyszczenie światłem stało się problemem nie tylko wielkich aglomeracji, ale również mniejszych miast oraz wsi. Jednak w przypadku mniejszych miejscowości źródła zanieczyszczenia światłem są zwykle inne niż w przypadku dużych skupisk ludzkich.

Typowymi obiektami, będącymi źródłem zanieczyszczenia światłem na obszarach rolno – przemysłowych są szklarnie. Zwykle są to obiekty o dużych powierzchniach, dużej mocy instalacji oświetleniowej, działającej przez kilkanaście godzin w ciągu doby.

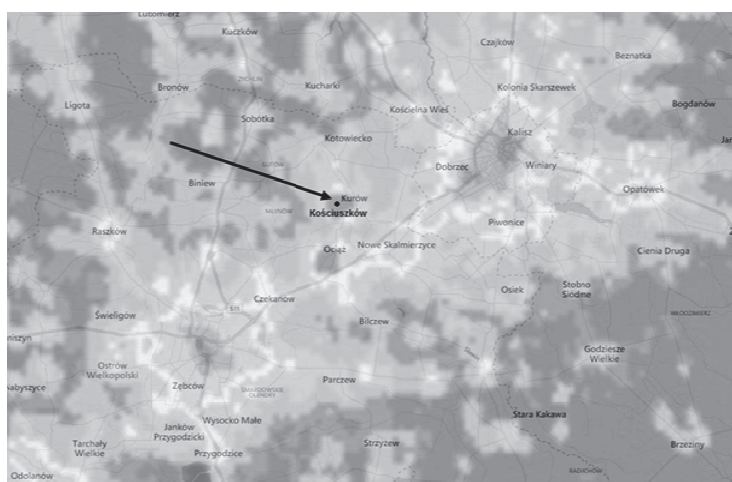
2. CEL I OPIS OBIEKTU BADAŃ

Celem badań była ocena wpływu kurtyn termoizolacyjno – cieniujących oraz kurtyn o niskim współczynniku przepuszczania na ograniczenie ucieczki strumienia świetlnego oraz analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej instalacji oświetleniowej szklarni.

Obiektem badań był kompleks szklarni wielonawowych o powierzchni 1.0 ha, znajdujących się na terenie wiejskim, w gminie Kościuszków. W dwóch identycznych szklarniach przez cały rok uprawiane są róże, które doświetlane są

przez 12 godzin na dobę. Obiekt nie posiadał kurtyn ograniczających ucieczkę strumienia świetlnego w trakcie doświetlania. Pod dachem, na całej jego powierzchni, zastosowano jedynie kurtyny termoizolacyjno – cieniujące, których podstawowym zadaniem było zapewnić 55% oszczędności energii cieplnej zimą oraz 45% cieniowania latem.

Na mapie zanieczyszczenia światłem (rys. 4), pokazano zanieczyszczenie powodowane przez badany obiekt, zaznaczony na rysunku strzałką, oraz dwa pobliskie miasta – Kalisz i Ostrów Wielkopolski.



Rys. 4. Mapa obrazująca zanieczyszczenie światłem w obszarze ok. 10km od szklarni [4]

Do doświetlenia roślin użyto łącznie 1008 opraw oświetleniowych typu Low Bay z wysokoprężnymi lampami sodowymi o mocy 600 W, co daje ponad 600 kW mocy zainstalowanej. Oprawy w każdej ze szklarni rozmieszczone były równomiernie w 28 rzędach po 18 sztuk. Oprawy oświetleniowe zawieszono nad całą doświetlaną powierzchnią na wysokości ok. 3,5 m.

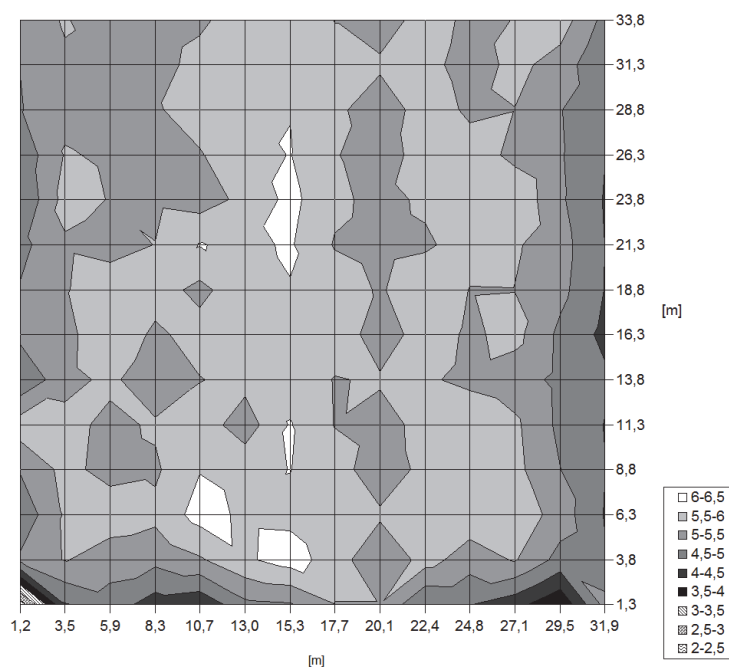
3. PROCEDURA POMIAROWA ORAZ WYNIKI POMIARÓW TERENOWYCH

W opisanym powyżej obiekcie wykonano pomiary rozkładu natężenia oświetlenia we wnętrzu oraz rozkładu luminancji na zewnętrznych powierzchniach bocznych oraz w bezpośrednim otoczeniu szklarni. Pomiary wykonano zarówno przy odsłoniętych, jak i zaciągniętych kurtynach termoizolacyjno – cieniujących.

Ze względu na podział kompleksu szklarni na dwie identyczne części, zarówno pod względem powierzchni, jak i rozmieszczenia, rodzaju i liczby opraw oświetleniowych oraz dwie osie symetrii w każdej ze szklarni, pomiary wykona-

no tylko na $\frac{1}{4}$ powierzchni jednego z obiektów. Na badanej powierzchni zastosowano siatkę pomiarową o wymiarze oczka 2,5 m x 2,4 m. Natężenie oświetlenia zmierzono na wysokości najwyższej rośliny ok. 1,6 m.

Rozkład luminancji zmierzono miernikiem luminancji o jednostopniowym polu widzenia. Pomiary wykonano w 20 punktach rozłożonych po równo na dwóch ścianach szklarni – wzdłuż krótszego boku o długości 70 m oraz na połowie dłuższego boku, również na długości 70 m. Ze względu na ograniczenia spowodowane ogrodzeniem oraz zabudowaniami, pomiary wzdłuż krótszego boku zostały wykonane w odległości 7 m od ściany szklarni, natomiast pomiary wzdłuż dłuższego boku zostały wykonane w odległości 10 m. W tych samych odległościach została również zmierzona luminancja bliskiego otoczenia szklarni – luminancja tła szklarni. Na podstawie zmierzonych rozkładów natężenia oświetlenia i luminancji, wyznaczono wartości średnie natężenia oświetlenia – E_{av} oraz luminancji L_{av} , a także kontrast luminancji szklarni do luminancji tła. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1. Rozkład natężenia oświetlenia na wysokości 1,6m przy odsłoniętych kurtynach pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Wyznaczony rozkład natężenia oświetlenia na $\frac{1}{4}$ powierzchni szklarni, na wysokości 1,6 m, przy odsłoniętych kurtynach (wartości podano w klx)

Tabela 1. Wyniki pomiarów terenowych.

Pomiary	Natężenie oświetlenia we wnętrzu szklarni E_{av} [klx]	Luminancja zewnętrznych boków szklarni L_{av} [cd/m ²]		Luminancja tła szklarni L_{av} [cd/m ²]		Kontrast luminancji szklarni do luminancji tła C [-]
		Dłuższy bok	Krótszy bok	Dłuższy bok	Krótszy bok	
Bez kurtyn termoizolacyjno – cieniujących	5,36	109,6	116,8	1,4	1,3	84:1
		113,2		1,35		
Z kurtynami termoizolacyjno – cieniującymi	5,61	116,9	136,6	1,2	0,9	115:1
		126,5		1,1		

4. ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Kurtyny termoizolacyjno – cieniujące mają za zadanie izolować zimą ciepło w szklarni, zmniejszając straty energii cieplnej, a latem ograniczać zbyt mocne promieniowanie słoneczne, które może być szkodliwe dla roślin. Mimo, iż przeznaczenie kurtyn jest zupełnie inne, można jednak było zauważyć zmiany w natężeniu oświetlenia oraz poziomie luminancji szklarni i jej otoczenia. W przypadku zasłoniętych kurtyn wystąpił wzrost natężenia oświetlenia o ok 4,5%. Uzyskano także obniżenie luminancji tła nad szklarnią o ok. 20% w stosunku do luminancji przy odsłoniętych kurtynach. Jednocześnie, ze względu na ograniczenie światła przeszkadzającego, wystąpiło zjawisko niepożądane, jakim był wzrost luminancji ścian bocznych szklarni o ok. 10,5%. Tym samym nastąpił wzrost kontrastu luminancji szklarni w stosunku do bezpośredniego jej otoczenia, spowodowany wzrostem natężenia oświetlenia wewnątrz szklarni. Analizując wyniki pomiarów można również zauważyć, że średnia wartość luminancji ścian szklarni jest niższa wzdłuż dłuższego boku, niż wzdłuż krótszego. Mogło to być spowodowane ułożeniem opraw, a tym samym rozkładem natężenia oświetlenia na powierzchni wewnętrznej ścian szklarni.

Na podstawie uzyskanych wyników można było stwierdzić, że kurtyny termoizolacyjno – cieniujące nie przyczyniły się w istotny sposób do ograniczenia światła przeszkadzającego pochodzącego od szklarni. Miały natomiast niewielki wpływ na wzrost natężenia oświetlenia wewnątrz szklarni, a tym samym możliwe byłoby zmniejszenie liczby opraw oświetleniowych lub zastosowanie źródeł światła o niższych mocach, a więc zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.

W celu ograniczenia ucieczki światła na zewnątrz, a tym samym poprawy efektywności energetycznej oświetlenia szklarni, niezbędne byłoby zastosowa-

nie dodatkowych kurtyn o bardzo niskim współczynniku przepuszczania, a najlepiej nieprzepuszczających strumienia świetlnego. Rozwiązania takie są już stosowane w ogrodnictwie, także w Polsce. Niemniej jednak autorzy nie mieli możliwości wykonania pomiarów terenowych w takich szklarniach, dlatego też, w celu dalszej analizy, posłużono się symulacjami komputerowymi wykonanymi w programie DIALux Evo 6.1.

5. OCENA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA ZANIECZYSZCZENIA ŚWIATŁEM ORAZ POPRAWY EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ OŚWIETLANIA SZKLARNI – SYMULACJE KOMPUTEROWE

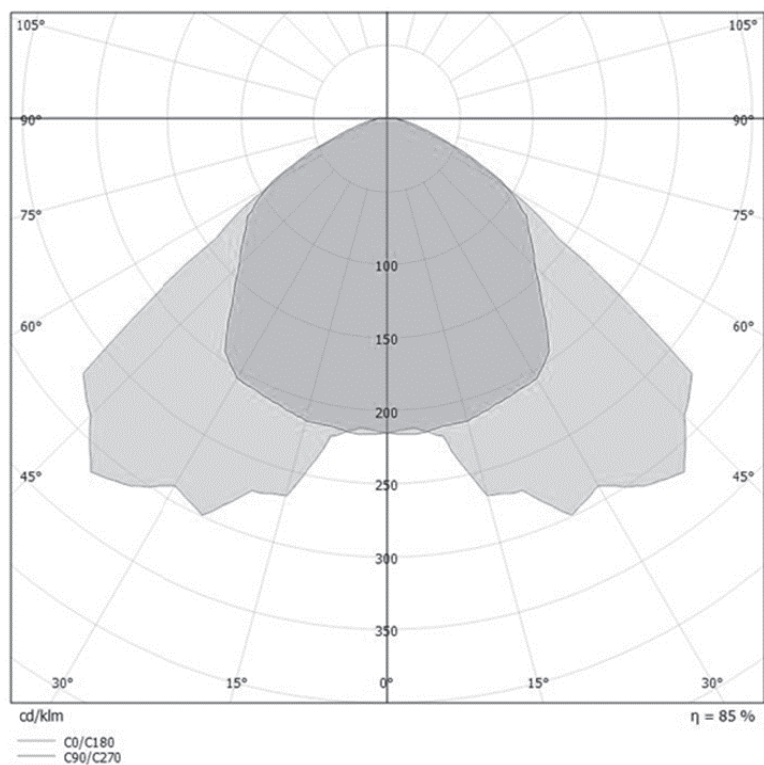
5.1. Założenia projektowe i wyniki obliczeń

Dla celów dalszej analizy stworzony został model szklarni o wymiarach 70 m x 70 m x 4 m, w którym na ścianach i suficie zastosowano materiał o parametrach szkła stosowanego przy budowie szklarni, czyli o współczynniku przepuszczania 90%. Do oświetlenia modelu zastosowano 504 oprawy Low Bay, stosowane w oświetleniu szklarni, o krzywej światłości pokazanej na rysunku 6.

Za źródła światła przyjęto wysokoprężne lampy sodowe o strumieniu świetlnym równym 90 000 lm, mocy 600 W oraz temperaturze barwowej 2100 K. Oprawy umieszczono na wysokości 3,5 m. Rozkłady natężenia oświetlenia wykonano na powierzchni poziomej, na wysokości 1,6m stosując taką samą siatkę pomiarową, jaką zastosowano w trakcie badań terenowych. Dodatkowo dokonano również obliczeń rozkładów natężenia na powierzchniach wewnętrznych bocznych ścian szklarni. Obliczenia wykonano dla nowej instalacji oświetleniowej, bez uwzględnienia wpływu czasu eksploatacji oraz wpływu środowiska na pracę opraw oświetleniowych.

Przeanalizowano 2 przypadki oświetlenia szklarni. Pierwszy przypadek zakładał oświetlenie szklarni tą samą liczbą opraw oświetleniowych, jaka jest stosowana w rzeczywistości oraz zastosowanie na wszystkich przeszkleniach kurtyn o niskim współczynniku przepuszczania strumienia świetlnego. Kurtynami były plandeki wykonane z materiału o współczynniku przepuszczania strumienia świetlnego wynoszącym 3%. Drugi przypadek zakładał zastosowanie tych samych kurtyn, ale zmniejszono liczbę opraw oświetleniowych, tak aby uzyskać ten sam poziom natężenia oświetlenia na wysokości 1,6 m. Przypadek ten przeanalizowano ze względu na ocenę możliwości oszczędności energii elektrycznej, przy zachowaniu zbliżonego poziomu natężenia oświetlenia na wysokości 1,6 m, a więc zbliżonych warunków dla wzrostu roślin.

Wyniki wykonanych symulacji zamieszczono w tabeli 2.



Rys. 6. Krzywa światłości oprawy zastosowanej w modelu szklarni [5]

Tabela 2. Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych.

Analizowany przypadek		Liczba zastosowanych opraw oświetleniowych w jednym obiekcie (szt.)	Natężenie oświetlenia		
			Składowa pozioma	Składowa pionowa	
				Dłuższy bok	Krótszy bok
		E_{av} [klx]	E_{av} [klx]	E_{av} [klx]	
1	Model szklarni, bez kurtyn	504	6,42	2,20	2,29
2	Model szklarni z kurtynami o $\tau=3\%$	504	7,34	2,48	3,74
3	Model szklarni z kurtynami o $\tau=3\%$ oraz zmniejszoną liczbą opraw oświetleniowych	459	6,53	2,27	2,74

5.2. Analiza otrzymanych wyników

Wykonane symulacje komputerowe wykazały, że zastosowanie kurtyn o dużo niższym współczynniku przepuszczenia (3%) niż w przypadku kurtyn termoizolacyjno – cieniujących, pozwoliłoby na zwiększenie średniego natężenia oświetlenia o około 14% i zdecydowane ograniczenie światła wychodzącego na zewnątrz przez przeszklone powierzchnie szklarni, a tym samym zmniejszenie emisji światła przeszkadzającego. Jeżeli powierzchnia kurtyny byłaby barwy czarnej od strony szyby, to można by uzyskać zmniejszenie luminancji zewnętrznych powierzchni szklarni nawet do poziomu kilku cd/m^2 , a więc około dwudziestokrotne względem stanu obecnego. Różnice w natężeniu oświetlenia pomiędzy wartościami zmierzonymi i wyznaczonymi w trakcie symulacji najprawdopodobniej były następstwem spadku strumienia świetlnego i zmiany kształtu bryły fotometrycznej opraw oświetleniowych w trakcie funkcjonowania oświetlania.

Przeprowadzona symulacja komputerowa wykazała także potencjalną możliwość oszczędności energii elektrycznej poprzez zastosowanie mniejszej liczby opraw oświetleniowych do uzyskania tego samego poziomu natężenia oświetlenia, jak w przypadku oświetlania szklarni bez stosowania kurtyn ograniczających ucieczkę strumienia świetlnego.

Zakładając, że stosując takie kurtyny w szklarni, w której wykonywano pomiary, można uzyskać identyczny przyrost natężenia oświetlenia, średnie natężenie oświetlenia w obiekcie wynosiłoby 6,11 klx. Można również założyć, że byłaby możliwość zrezygnowania z takiej samej ilości opraw oświetleniowych, jak w przypadku symulacji komputerowej. Obniżając liczbę opraw, można zaoszczędzić przynajmniej 27 kW w jednej części szklarni, zatem w całym obiekcie moc zainstalowana może być o 54 kW mniejsza. Na terenie, na którym znajduje się badany obiekt, dostawcą energii elektrycznej jest Energa. Właściciele szklarni korzystają z taryfy dwustrefowej, oświetlając obiekt w godzinach strefy pozaszczytowej/ nocnej. W obliczeniach przyjęto zatem grupę taryfową C22a, wg której cena netto za kWh wynosi 0,3660 zł [6]. Szklarnia jest oświetlana 12 godzin w ciągu doby, zatem koszt oświetlenia przy obecnym stanie ponad 600 kW wynosi 219,60 zł dziennie, a w skali roku 80 154 zł. Stosując kurtyny zmniejszające ucieczkę strumienia świetlnego, można zaoszczędzić 19,76 zł dziennie, co daje w skali roku oszczędności na poziomie 7 200 zł. Wyliczona oszczędność wyznaczona została tylko przy uwzględnieniu stawki sieciowej za 1 kWh. Nie uwzględniono opłat dodatkowych. Jeżeli w analizie uwzględnić wszystkie składniki kosztu energii elektrycznej, to zysk z pewnością były większy.

6. PODSUMOWANIE

Oświetlone szklarnie są wyraźnym źródłem zanieczyszczenia światłem. Ich uciążliwość wiąże się z całą pewnością z poziomem luminancji obiektów. Szklarnie usytuowane są na obrzeżach miast i wsiach, przeważnie w strefach E2 [7], gdzie jest niski poziom jaskrawości. Wydawać by się mogło, że luminancja szklarni jest przynajmniej czterokrotnie niższa w porównaniu do dopuszczalnych wartości w przypadku znaków (400 cd/m^2 dla strefy E2). Należy jednak zwrócić uwagę na powierzchnię obiektów szklarniowych. Jest ona dużo większa niż znaków, o których jest mowa w normie [7] i w porze nocnej są one widoczne ze znacznych odległości. Usytuowanie takich obiektów w pobliżu drogi odwraca uwagę kierowców i może stwarzać sytuacje zagrożące życiu. Ponadto przeszklony dach szklarni umożliwia również ucieczkę strumienia świetlnego w górną półprzestrzeń, tworząc widoczną łunę nad obiektem.

Przeprowadzone pomiary natężenia oświetlenia we wnętrzu szklarni wykazały, że powszechnie stosowane kurtyny termoizolacyjno – cieniujące, nie nadają się do ograniczenia blasku szklarni. Spowodowane jest to zbyt wysokim współczynnikiem przepuszczania strumienia świetlnego. Osłonięcie tylko powierzchni sufitu, powoduje zwiększenie poziomu luminancji na ścianach obiektu, co może być jeszcze bardziej uciążliwe dla pobliskich mieszkańców. Stosując zatem kurtyny, powinno się pamiętać o osłonięciu również powierzchni ścian bocznych szklarni. Zastosowanie kurtyń o dużo mniejszym współczynniku przepuszczania strumienia świetlnego, skutkuje nie tylko ochroną ciemnego nieba, ale również przekłada się na zyski finansowe i poprawę efektywności energetycznej szklarni.

Prezentowane w artykule wyniki badań oraz symulacje komputerowe są częścią pracy inżynierskiej autorstwa Agaty Raczak pt.: Ocena światła przeszkadzającego powodowanego przez oświetlenie szklarni [8].

LITERATURA

- [1] http://lightpollution.pk.edu.pl/Konkurs/Finalisci/Bobak_1.jpg (24.01.2018).
- [2] <http://www.wygasz.edu.pl/index.php/zanieczyszczenie-swiatlem.html> (31.08.2017).
- [3] <http://dzikiezycie.pl/archiwum/2013/listopad-2013/zanieczyszczenie-swietlne-nie-nowy-problem-rozmowa-z-tomaszem-sieczorem> (24.01.2018).
- [4] <https://www.lightpollutionmap.info/> (31.01.2017).
- [5] http://lumsearch.com/en/article/WdH9XPGHRiqeUUmXMo_nFg?_Y=1289.
- [6] <https://www.energa.pl/dla-firmy/oferta-taryfowa-dla-firmy/male-i-srednie-firmy>, (01.2017r.).
- [7] PN – EN 12464 – 2 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy; część 2: Miejsca pracy na zewnątrz.

- [8] Agata Raczak: Ocena światła przeszkadzającego powodowanego przez oświetlenie szklarni, Politechnika Poznańska, Poznań 2017, Promotor dr inż. M. Zalesińska.

**ASSESSMENT OF POSSIBILITIES OF LIMITATION OF LIGHT POLLUTION
AND IMPROVEMENT OF LIGHTING INSTALATION ENERGY EFFICIENCY
ON EXAMPLE OF GREEN LIGHTING**

Greenhouses are objects in which, without the proper protection of the walls and the ceiling, as a result of the escape of the luminous flux, a large amount of light is lost forever. In addition, in the case of glass surfaces of the greenhouse, ensuring adequate lighting conditions for plant growth requires the use of more luminaires, causing the same increase in energy consumption for lighting purposes, and thus lower energy efficiency of lighting and higher costs. The paper presents the results of measurements of illuminance distribution in the interior and luminance on the external surfaces of the greenhouses placed in Wielkopolska. In addition, the results of calculation of changes in lighting parameters are presented after the use of special curtains limiting light emissions outside the greenhouse. The assessment of the energy efficiency improvement of the lighting installation in the greenhouse was carried out.

(Received: 31.01.2018, revised: 05.03.2018)

