

ANALIZA WYKORZYSTANIA ENERGII SYSTEMU BIPV DO ZASILANIA INSTALACJI OŚWIETLENIA WBUDOWANEGO W POMIESZCZENIU BIUROWYM

Angelika ZAJĄCZKOWSKA*, Dariusz HEIM

**Politechnika Łódzka, Katedra Inżynierii Środowiska
ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź, email: angelika.zaj@wp.pl; dariusz.heim@p.lodz.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono możliwości techniczno-budowlane, kryteria dotyczące wymagań w zakresie oświetlenia pomieszczeń w budynkach biurowych (zgodnie z normą PN-EN 12464:2012), a także wymagania energetyczne systemów oświetlenia wbudowanego (na podstawie normy PN-EN 15193:2010). Opisano sposób wykonania badań efektywności energetycznej paneli PV zintegrowanych z instalacją oświetleniową jako system całkowicie autonomiczny. Przyjęto wybrany sposób sterowania zapotrzebowaniem na energię elektryczną w zależności od warunków pogodowych. Wykonano analizę możliwości wykorzystania energii wyprodukowanej przez eksperymentalną fasadę fotowoltaiczną umieszczoną na zachodniej ścianie budynku Politechniki Łódzkiej. Założono, że energia wyprodukowana przez fasadę została przeznaczona m.in. na pokrycie zapotrzebowania energetycznego na potrzeby oświetlenia pomieszczenia biurowego. Analiza wykazała, że podczas dni słonecznych fasady fotowoltaiczne produkują energię elektryczną na poziomie przewyższającym zapotrzebowanie na energię do oświetlenia pomieszczenia biurowego. Stosowanie dodatkowego sterowania czasem pracy opraw oświetleniowych zmniejsza zużycie energii elektrycznej o około 50% w analizowanym okresie.

Słowa kluczowe: oświetlenie wbudowane, pomieszczenie biurowe, fasada fotowoltaiczna, energia elektryczna, efektywność energetyczna

1. WSTĘP

Dążenie do wysokiej efektywności energetycznej w sektorze budownictwa wiąże się nie tylko z istotnym zmniejszeniem zapotrzebowania na energię, ale również z jak największym wykorzystaniem źródeł odnawialnych w zaspokajaniu potrzeb energetycznych. Budynki biurowe charakteryzują się przeważnie istotnym udziałem energii elektrycznej w ogólnym bilansie energetycznym. Wynika to

ze specyfiki stosowanych systemów HVAC polegającej na wykorzystaniu kompaktowych urządzeń pełniących jednocześnie funkcję układów wentylacji, jak i obróbki ciepłej powietrza. W większości przypadków źródłem zarówno energii pomocniczej, jak i zarówno ciepła i chłodu, jest energia elektryczna. Ponadto budynki biurowe posiadają często energochłonne systemy oświetlenia sztucznego oraz urządzenia biurowe, niezbędne do użytkowania pomieszczeń zgodnie z ich przeznaczeniem. Tym samym zasadne wydaje się zastosowanie technologii odnawialnych źródeł energii (OZE) zapewniających budynkom biurowym przynajmniej częściowe pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną.

Rozważając dostępne i technicznie uzasadnione systemy OZE produkujące energię elektryczną, najatrakcyjniejszą w chwili obecnej alternatywą wydają się być panele fotowoltaiczne (PV) wytwarzające energię w wyniku fotoelektrycznej konwersji promieniowania słonecznego [1]. Nawet przy ograniczonej powierzchni terenu wokół budynku są to systemy łatwo integrowane z samym budynkiem [2]. Zapewnia to również produkcję energii z OZE „na miejscu”, co jest warunkiem niezbędnym przy ocenie bilansu energetycznego takiego budynku. Systemy zintegrowane z fasadą budynków [3] stanowią ciekawą alternatywę w odniesieniu do wysokich budynków biurowych, zlokalizowanych najczęściej w gęstej zabudowie centrów miast. Rozważając takie rozwiązanie należy jednak pamiętać, że zwiększenie powierzchni pokrytej panelami zmniejsza powierzchnie okien, a tym samym przeszkleń, czyli efektywną powierzchnię doświetlającą wnętrza budynku światłem dziennym. Autorzy pracy [4] dokonali analizy parametrycznej fasady PV w warunkach polskich uwzględniając zarówno aspekt związany z ilością produkowanej energii, jak i dostępu

* Autor korespondencyjny, e-mail: angelika.zaj@wp.pl

światła dziennego. Badania opisane w niniejszej pracy dotyczą wstępnej oceny wypracowanego rozwiązania fasady w warunkach rzeczywistych użytkownika pomieszczenia biurowego. Bezpośrednim celem analizy jest określenie czy przy odpowiednim sterowaniu parametrami wewnętrznymi oraz zarządzaniu energią wyprodukowaną przez fasadę PV możliwe jest pokrycie potrzeb energetycznych oświetlenia wbudowanego wybranych pomieszczeń przy różnych warunkach pogodowych.

2. OŚWIETLENIE W BUDYNKACH BIUROWYCH

Oświetlenie pomieszczeń w budynkach biurowych musi spełniać kryteria określone w przepisach budowlanych, a także przepisach dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy. Za zapewnienie odpowiedniego oświetlenia w pomieszczeniach i na stanowiskach pracy odpowiedzialny jest pracodawca. Odpowiedni poziom światła wpływa na samopoczucie, komfort widzenia, efektywność pracy [5]. W pomieszczeniach, w których wykonywana jest praca stała należy zapewnić oświetlenie dzienne oraz oświetlenie elektryczne. Instalacje oświetleniowe powinny być tak zainstalowane by dawały oświetlenie ogólne, miejscowe, bądź złożone. Rodzaj oświetlenia zależy od indywidualnych potrzeb pracownika, rodzaju wykonywanej pracy oraz rozmieszczenia stanowisk pracy. Ważną rolę odgrywa tutaj również wymagany poziom natężenia oświetlenia. Miejsce pracy powinno być oświetlone możliwie równomiernie.

2.1. Oświetlenie dzienne

Pomieszczenia przeznaczone na pobyt ludzi powinny mieć zapewnione oświetlenie dzienne, dostosowane do przeznaczenia, kształtu i wielkości pomieszczenia, zapewniając bezpieczną i higieniczną pracę. Zgodnie z [6] w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi powierzchnia okien, liczona w świetle ościeżnic, do powierzchni podłogi powinna wynosić co najmniej 1:8 (w innych pomieszczeniach, w których oświetlenie dzienne wymagane jest ze względu na przeznaczenie stosunek ten powinien wynosić co najmniej 1:12). Trzeba mieć na uwadze również to, że intensywność światła dziennego jest zmienna w ciągu dnia, co wpływa bezpośrednio na zmienność oświetlenia stanowisk pracy wewnątrz budynków. Najlepszym wyborem jest więc zastosowanie dodatkowego oświetlenia uzupełniającego (PSALI – Permanent Supplementary Artificial Lighting) [7], które pomoże zapewnić minimalne wymagane natężenie oświetlenia w miejscu pracy.

2.2. Oświetlenie sztuczne

Rozporządzenie [6] określa, iż dopuszczalnym jest stosowanie oświetlenia sztucznego w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi w przypadku, gdy oświetlenie dzienne nie jest konieczne, czyli nie jest wskazane ze względów technologicznych, a także, gdy pomieszczenie zlokalizowane jest w części podziemnej budynku lub w części pozbawionej oświetlenia dziennego.

2.3. Kryteria dotyczące oświetlenia w budynkach biurowych. Norma PN-EN 12464-1:2012

W normie [8] przedstawione zostały kryteria dotyczące projektowania oświetlenia w pomieszczeniach wewnątrz budynków. Wyróżniono trzy charakterystyczne obszary:

- obszar zadania wzrokowego (obszar, w obrębie którego wykonywane jest zadanie wzrokowe),
- obszar bezpośredniego otoczenia (pas o szerokości min. 0,5 m w obrębie pola widzenia),
- obszar tła (pas o szerokości co najmniej 3 m bezpośrednio sąsiadujący w obrębie granic przestrzeni) [8].

Określone zostały wartości takich parametrów jak eksploatacyjne natężenie oświetlenia E_m , równomierność oświetlenia U_o , rozkład luminancji. Parametry te określono dla różnego rodzaju pomieszczeń w zależności od rodzaju wnętrza, zadań lub formy aktywności użytkowników.

Jak podaje norma [8], eksploatacyjne natężenie oświetlenia, czyli wartość, od której nie może być mniejsza wartość średniego natężenia oświetlenia w obszarze zadania, dla pomieszczeń biurowych, powinna wynosić:

- 200 lx – archiwa, magazyny,
- 300 lx – segregowanie i kopiowanie dokumentów, recepcja
- 500 lx – pisanie ręczne, obsługiwane klawiatury, czytanie, przetwarzanie danych, stanowiska pracy CAD, pokoje spotkań i konferencji.

Tabela 1. Wartości natężenia oświetlenia w polu zadania i jego otoczeniu [5]

Table 1. Illumination values in the task area and its surroundings [5]

Natężenie oświetlenia ($E_{m\ pz}$) w polu zadania	Natężenie oświetlenia ($E_{m\ bp}$) w polu bezpośredniego otoczenia pola zadania	Natężenie oświetlenia ($E_{m\ dp}$) w polu dalszego planu - tła
lx		
≥ 750	500	150
500	300	100
300	200	75
200	150	75
150	$E_{m\ pz}$ w polu zadania	50
100	$E_{m\ pz}$ w polu zadania	30
≤ 50	$E_{m\ pz}$ w polu zadania	20
przy $U_o \geq 0,70/0,60/0,40$	przy $U_o \geq 0,40$	przy $U_o \geq 0,10$

Należy pamiętać, że od natężenia oświetlenia w obszarze zadania są uzależnione wartości tego parametru w bliskim i dalszym otoczeniu tego obszaru. Możliwe jest określenie zależności między omawianymi wielkościami, których określone wartości przedstawiono w tabeli 1.

Zaleca się, aby natężenie oświetlenia na głównych powierzchniach wnętrza tj. na ścianach wynosiło minimum 50 lx, na suficie minimum 30 lx, przy równomierności oświetlenia $U_o \geq 0,10$. Dla pomieszczeń zamkniętych zalecanym jest, aby wartości te były większe, odpowiednio w przypadku ścian $E_m > 75$ lx oraz sufitów $E_m > 50$ lx.

W celu osiągnięcia równomiernego oświetlenia pomieszczeń należy uwzględnić współczynniki rozproszenia światła w zależności od rodzaju powierzchni. Zakresy wartości tych współczynników określone zostały w [8] i wynoszą odpowiednio dla: sufitu $0,7 \div 0,9$, ścian $0,5 \div 0,8$, podłogi $0,2 \div 0,4$, dużych przedmiotów (maszyn, mebli itp.) $0,2 \div 0,7$.

2.4. Wymagania energetyczne systemów oświetlenia wbudowanego w pomieszczeniach biurowych. Norma PN-EN 15193:2010

Przy projektowaniu oświetlenia pomieszczeń biurowych ważnym jest, aby możliwie maksymalnie wykorzystać nie tylko światło dzienne, ale i sztuczne. Dobrym rozwiązaniem jest sterowanie źródłami oświetlenia, tak by dostosowywać je do wymagań użytkowników.

W zależności od rodzaju budynku, określone zostały także maksymalne wartości mocy jednostkowej oświetlenia wbudowanego odniesione do jednostkowego pola powierzchni pomieszczenia [9]. Uwzględniając klasy jakości oświetlenia, czyli stopień spełniania kryteriów oświetlenia określonych szczegółowo w normie [9], dla budynków biurowych wartości te wynoszą odpowiednio:

Klasa 1. - Podstawowe spełnienie kryteriów oświetlenia – 15 W/m².

Klasa 2. - Dobre spełnienie wymagań kryteriów oświetlenia – 20 W/m².

Klasa 3. - Pełne spełnienie wymagań kryteriów oświetlenia – 25 W/m².

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi normami i rozporządzeniami należy zapewnić odpowiednie natężenie oświetlenia w miejscach wykonywania pracy wzrokowej, a przy tym nie przekraczać maksymalnych mocy opraw oświetleniowych określonych powyżej.

3. MOŻLIWOŚCI ZASILANIA BUDYNKÓW BIUROWYCH ENERGIĄ POCHODZĄCĄ Z SYSTEMÓW BIPV

Ogniwa fotowoltaiczne zapewniają bezpośrednią konwersję energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. BIPV (ang. *Building Integrated Photovoltaics*) to systemy fotowoltaiczne bezpośrednio zintegrowane

z budynkiem. Idea ta polega na zastosowaniu elementów fotowoltaicznych, jako elementu składowego tradycyjnych komponentów budowlanych służących na przykład, jako pokrycia dachowe, okna, inne szklane elementy znajdujące się na elewacji lub dachu. Instalacje te mają pełnić funkcje elementów, które zastępują dotychczasowe rozwiązania, np. stanowią pokrycie dachowe w miejsce tradycyjnych materiałów poszyc, a przy tym wpływają korzystnie na estetykę zewnętrzną budynku.

Systemy BIPV występują w zróżnicowanej formie, jako moduły nieprzezroczyste, półprzezroczyste i przezroczyste, a także, jako cienki film fotowoltaiczny. W przypadku budynków biurowych panele PV można montować na płaszczyźnie ściany budynku (pionowo), pod kątem jako nadwieszenie zacięniące, które jest zintegrowane z fasadą budynku, a także na dachach płaskich lub pochyłych. Warto dodać, że ogniwa zainstalowane pod kątem na ścianie budynku generują większe zyski energetyczne niż w przypadku instalacji poziomych lub pionowych, co wynika z korzystniejszego kąta padania promieniowania słonecznego.

Instalacja BIPV generuje energię elektryczną, która może być wykorzystywana do zasilania różnych odbiorników wewnątrz budynków, ale nie tylko. Emituje również ciepło, które powstaje podczas fototermicznej konwersji energii promieniowania słonecznego. Dodatkowo szklane moduły (systemy semitransparentne) częściowo przepuszczają promieniowanie słoneczne do pomieszczeń wewnątrz budynku. Stosując ogniwa, jako elementy zacięniące można dodatkowo dostosować ilość promieniowania docierającego do pomieszczeń, tak by uniknąć ich przegrzania.



Rys. 1. Wieżowiec Q22 [10]

Fig. 1. Skyscraper Q22 [10]

W Polsce powstaje coraz więcej obiektów (zarówno budynków jednorodzinnych, jak i biurowych) wykorzystujących systemy zintegrowanej instalacji fotowoltaicznej. Przykładem takich realizacji jest np. warszawski 155-metrowy biurowiec Q22, w przypadku

którego zastosowano technologię BIPV. 308 modułów fotowoltaicznych o maksymalnej mocy zainstalowanego systemu wynoszącej 76 kW produkuje prąd, ale również jest elementem zacieniającym, zmniejszającym nagrzewanie wnętrza budynku, a także źródłem ciepła, pozwalającym na samoczynne podgrzewanie i odśnieżanie modułów. Budynek posiada wiele innowacyjnych technologicznie rozwiązań. Otrzymał również certyfikat ekologiczny BREEAM Interim Excellent [10].

4. OPIS INSTALACJI I POMIESZCZENIA

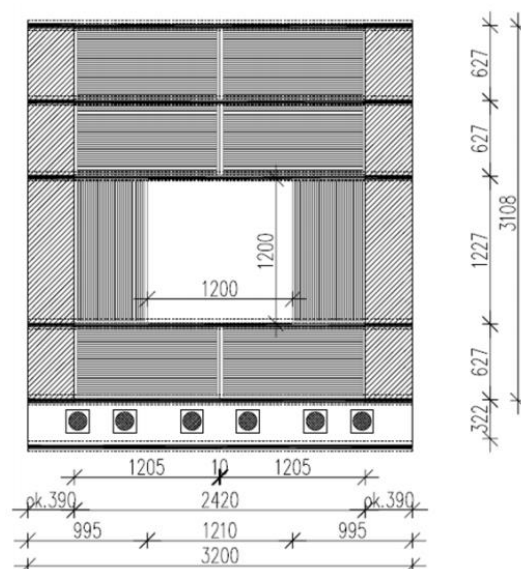
Przedmiotem badań jest eksperymentalna fasada fotowoltaiczna zlokalizowana na czwartym piętrze budynku Politechniki Łódzkiej, na elewacji zachodniej. Energia wyprodukowana przez fasadę jest przeznaczona m.in. na pokrycie zapotrzebowania energetycznego na potrzeby oświetlenia w pomieszczeniu biurowym.

Do budowy instalacji wykorzystano panele CIS (ang. *Cooper Indium Diselenide*), wykonane z selenu, miedzi i indu. Są to panele cienkowarstwowe o sprawności nieprzekraczającej średnio 12%. Charakteryzuje je estetyczny wygląd, a przede wszystkim dobre wykorzystanie promieniowania rozproszonego, co jest ogromną zaletą w przypadku paneli montowanych na elewacji budynku.

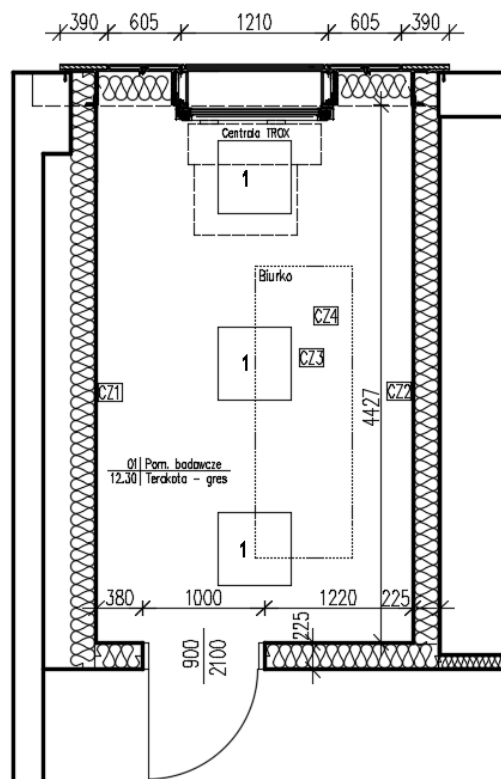
Rys. 2 przedstawia widok na ścianę badawczą. Układ paneli został dostosowany do konstrukcji istniejącego budynku. Instalacja fotowoltaiczna składa się z ośmiu paneli PV, które znajdują się wokół otworu okiennego o powierzchni 1,44 m² (powierzchnia szyby wynosi 1m²). Każdy z paneli przy maksymalnej wydajności ma maksymalną moc równą 80 Wp, napięcie 35 V, natężenie prądu 2,3 A.

Energia produkowana przez fasadę zanim zostanie wykorzystana przez odbiorniki przechodzi przez układ urządzeń, takich jak mierniki prądu stałego, regulatory ładowania, akumulatory i falownik. Następnie, gdy prąd stały przetworzony zostanie na prąd zmienny może być on wykorzystywany do zasilania odbiorników w pomieszczeniu badawczym.

Rzut pomieszczenia badawczego przedstawiony został na rys. 3. W pomieszczeniu tym znajdują się trzy oprawy typu LED (oznaczone na rys. kwadratami z cyfrą 1), będące źródłem oświetlenia sztucznego. Zamontowane są one na wysokości 2,62 m. Moc pojedynczej oprawy wynosi 36 W. W pomieszczeniu znajduje się również centrala wentylacyjna z rekuperacją.



Rys. 2. Wizualizacja eksperymentalnej fasady [11]
Fig. 2. Visualisation of the experimental façade [11]



Rys. 3. Rzut pomieszczenia badawczego, z lokalizacją opraw oświetleniowych oraz czujników
Fig. 3. Horizontal cross section of experimental room with location of the lighting fittings and sensors

5. WYNIKI BADAŃ DLA WYBRANYCH, CHARAKTERYSTYCZNYCH DNI ROKU

W pracy wykorzystano dane z liczników energii elektrycznej oraz dane przedstawiające ilość energii elektrycznej produkowanej przez panele PV. Wykorzystano również informacje dotyczące parametrów komfortu z czujników zlokalizowanych w różnych miejscach pomieszczenia eksperymentalnego, dzięki którym uzyskano wartości natężenia oświetlenia na wybranych płaszczyznach poziomych i pionowych. Lokalizacja czujników została przedstawiona na rys. 3, gdzie oznaczono je symbolami: CZ1, CZ2, CZ3, CZ4.

Badania przeprowadzono w wytypowanych dniach marca, tj. od 13.03.2017r. do 16.03.2017r. w godzinach 9÷17. W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę dni roku wybranych do przeprowadzenia badań, a także opisano rodzaj sterowania oświetleniem sztucznym w pomieszczeniu badawczym.

Tabela 2. Charakterystyka wybranych dni roku oraz rodzaj sterowania oświetleniem sztucznym w pomieszczeniu badawczym.

Table 2. Characteristics of selected days of the year and type of control artificial lighting in the experimental room.

Data przeprowadzania badań	Stan pogodowy w określonym dniu	Rodzaj sterowania oświetleniem sztucznym
13.03.2017	Dzień pochmurny	Automatyczne*
14.03.2017	Dzień słoneczny	Automatyczne*
15.03.2017	Dzień słoneczny	Ręczne**
16.03.2017	Dzień pochmurny	Ręczne**

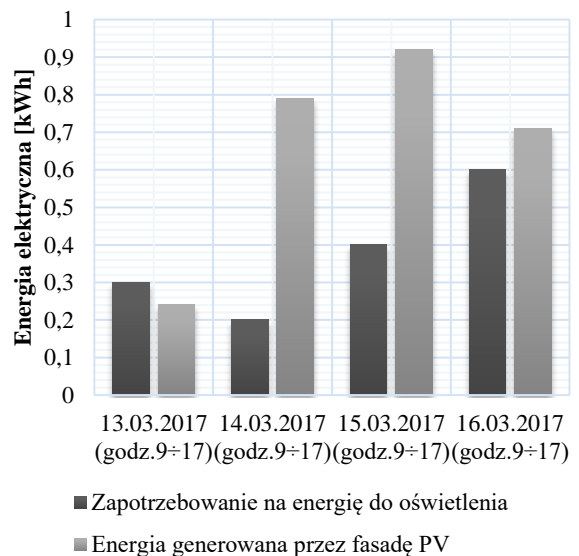
* Automatyczne sterowanie oświetleniem — dzięki wykorzystaniu czujników obecności oświetlenie włącza się automatycznie, gdy wykryje ruch w pomieszczeniu. Wyłączenie opraw następuje automatycznie po 10 min. niewykrywania ruchu w pomieszczeniu.

** Ręczne sterowanie oświetleniem — osoba przebywająca w pomieszczeniu samodzielnie włącza i wyłącza oprawy, zgodnie ze swoimi upodobaniami i potrzebami. Oprawy zaprogramowane są tak, że świecą z największym natężeniem, gdy są włączone.

5.1. Energia do zasilania oświetlenia oraz energia generowana przez eksperymentalną fasadę PV

Analiza wykorzystania energii produkowanej przez eksperymentalną fasadę fotowoltaiczną zorientowaną na zachód polegała na porównaniu ilości energii wytwarzanej przez tę fasadę podczas wytypowanych charakterystycznych dni marca, dwóch dni słonecznych i dwóch dni pochmurnych, do ilości energii potrzebnej

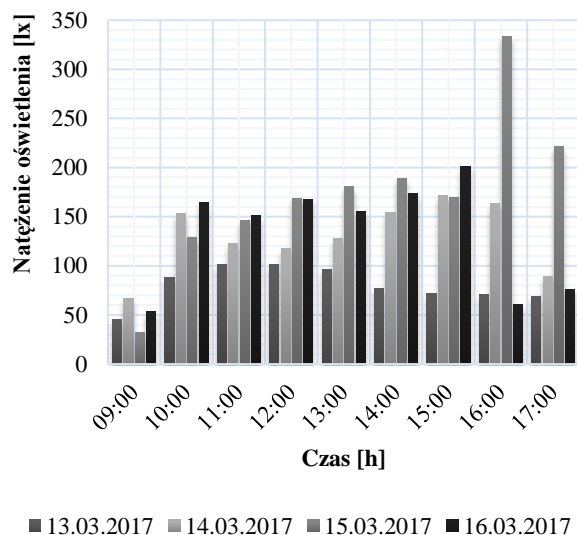
w tym samym czasie w pomieszczeniu eksperymentalnym do zasilania oświetlenia. Porównanie to przedstawiono na rys. 4. Analiza ta miała na celu sprawdzenie efektywności systemu BIPV oraz możliwości wykorzystania energii generowanej przez ten system do zasilania takich odbiorników jak np. oprawy oświetleniowe, uwzględniając również rodzaj sterowania oświetleniem sztucznym.



Rys. 4. Zapotrzebowanie na energię do oświetlenia w pomieszczeniu badawczym oraz energia generowana przez fasadę fotowoltaiczną w trakcie wybranych dni roku Fig. 4. Energy demand for lighting and energy generated by photovoltaic facade during selected days of the year

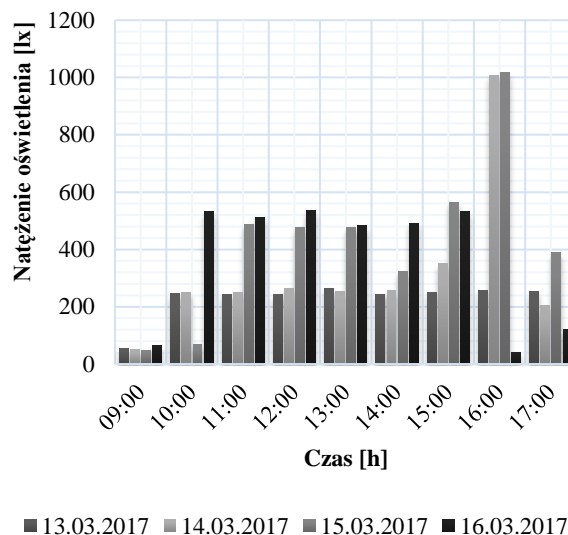
5.2. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniu badawczym

Pomiar natężenia oświetlenia w pomieszczeniu biurowym odbywał się przy pomocy czujników zlokalizowanych w różnych punktach pomieszczenia – dwa czujniki na dwóch przeciwległych ścianach (prostopadłych do okna – płaszczyzna pionowa), po jednym na biurku (płaszczyzna pozioma) i na monitorze komputerowym (płaszczyzna pionowa). Czujnik znajdujący się z boku monitora skierowany był w stronę okna. Dane te zbierano w tych samych dniach i godzinach jak wyżej opisano, tj. od 13.03.2017r. do 16.03.2017r. w godzinach 9÷17 i przy założeniu takiego sterowania oświetleniem, jak podano w tabeli 2. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 5, 6, 7, 8 odpowiednio dla każdego punktu pomieszczenia.



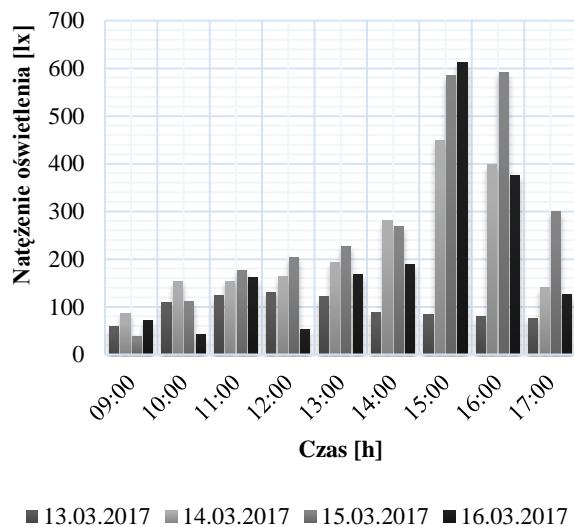
Rys. 5. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniu badawczym mierzone przez czujnik znajdujący się na lewej ścianie względem drzwi (CZ1)

Fig. 5. Light intensity in the experimental room measured by the sensor located on the left wall relative to the door (CZ1)



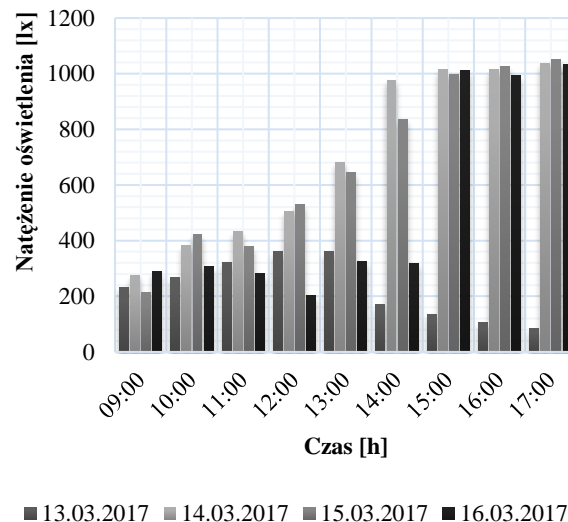
Rys. 7. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniu badawczym mierzone przez czujnik znajdujący się na biurku (CZ3)

Fig. 7. Light intensity in the experimental room measured by the sensor located on the desk (CZ3)



Rys. 6. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniu badawczym mierzone przez czujnik znajdujący się na prawej ścianie względem drzwi (CZ2)

Fig. 6. Light intensity in the experimental room measured by the sensor located on the right wall relative to the door (CZ2)



Rys. 8. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniu badawczym mierzone przez czujnik znajdujący się na monitorze komputerowym (CZ4)

Fig. 8. Light intensity in the experimental room measured by the sensor located on the computer monitor (CZ4)

6. ANALIZA

Analiza możliwości wykorzystania energii produkowanej przez fasady fotowoltaiczne do zasilania instalacji oświetlenia wbudowanego w pomieszczeniu biurowym wykazała, że podczas dni słonecznych, tj. 14.03.2017r. oraz 15.03.2017r. ilość energii generowanej przez eksperymentalną fasadę znacznie przewyższała zapotrzebowanie na energię do zasilania opraw oświetleniowych. Natomiast w przypadku dni pochmurnych, tj. 13.03.2017r. oraz 16.03.2017r. energia wygenerowana przez fasadę PV i energia potrzebna do oświetlenia pomieszczenia eksperymentalnego była na porównywalnym poziomie. Zauważyć można, że jedynie w przypadku pierwszego dnia badań fasada nie pokryła zapotrzebowania na energię do oświetlenia. Rozpatrując zapotrzebowanie na energię pod kątem rodzaju sterowania oprawami zauważyć można znacznie wyższe zużycie energii w przypadku sterowania ręcznego. Wykorzystując sterowanie automatyczne oświetleniem można ograniczyć zużycie energii elektrycznej nawet o połowę w porównaniu do zużycia energii podczas ręcznego sterowania oświetleniem przez użytkowników. W przypadku trzeciego dnia pomiarów, gdy dzień był słoneczny, a oświetlenie sterowane było ręczne, ilość energii wygenerowanej przez fasadę PV była znacznie wyższa niż zapotrzebowanie.

Biorąc pod uwagę dane uzyskane z czujników mierzących m.in. natężenie oświetlenia zauważyć można, że czujnik znajdujący się na biurku, a więc w polu zadania, wskazywał wysokość natężenia oświetlenia średnio w przedziale 200÷600 lx. Najwyższe wartości wystąpiły w dniach, kiedy oświetlenie sztuczne sterowane było ręcznie, a oprawy świeciły cały czas tak samo jasno, bez względu na obecność pracowników w pomieszczeniu. Za włączanie i wyłączanie opraw odpowiedzialny był użytkownik pomieszczenia. Również czujnik zlokalizowany na monitorze znajdował się w polu zadania. W tym przypadku wartości te wahały się od 250 do nawet 1200 lx. Były to najwyższe ze wskazań, na co bezpośredni wpływ miała lokalizacja czujnika – w odległości 1,6m od okna. W przypadku czujników znajdujących się na ścianach, czyli w polu bezpośredniego otoczenia względem pola pracy, natężenie oświetlenia było zdecydowanie niższe niż w przypadku czujników w polu zadania, przez większość czasu w granicach 100÷300 lx.

7. WNIOSKI

W pracy przedstawiono wyniki pracy fasady PV wbudowanej w zachodnią ścianę eksperymentalną w trakcie wybranych czterech dni marca, różniących się warunkami pogodowymi oraz rodzajem sterowania oświetleniem sztucznym w pomieszczeniu biurowym. Zaprezentowano analizę możliwości wykorzystania energii

produkowanej przez fasadę, jako źródła zasilania na potrzeby oświetlenia sztucznego w pomieszczeniu badawczym.

Zaobserwowano, że energia produkowana przez fasady PV jest wystarczająca na pokrycie zapotrzebowania na potrzeby zasilania opraw oświetleniowych w pomieszczeniu biurowym, w przypadku dni słonecznych, gdy stosowane jest zarówno sterowanie automatyczne, jak ręczne. Zauważyć można także, że znaczna nadprodukcja energii wystąpiła w przypadku dni słonecznych. W przypadku dnia pochmurnego, gdy wykorzystywano oświetlenie sztuczne sterowane automatycznie ilość produkowanej energii elektrycznej przez eksperymentalne fasady PV była niewystarczająca by pokryć zapotrzebowanie na potrzeby oświetlenia.

Można więc zauważyć, że inwestycja w instalację BIPV może okazać się opłacalna, ponieważ produkcja energii w większości przypadków pokrywa zapotrzebowanie na energię, a więc ogranicza koszty związane z wykorzystaniem energii z sieci. Stosując dodatkowo automatyczne oświetlenie zaprogramowane zgodnie z preferencjami użytkownika, można dodatkowo obniżyć zużycie energii na oświetlenie.

ANALYSIS OF USE BIPV ENERGY FOR POWER SUPPLY OF BUILDING LIGHTING IN THE OFFICE SPACE

Summary: The paper presents the technical and construction possibilities, criteria for the requirements of the lighting of rooms in the office buildings as well as the energy requirements of built-in lighting systems. Described how to perform energy efficiency research of PV panels integrated into the lighting system as a completely autonomous system. An analysis of the use of energy produced by the experimental photovoltaic façade on the western side of the building of the Technical University of Lodz was carried out. It was assumed that the energy produced by the façade was intended among others to cover the energy demand for the lighting of the office space. The analysis showed that during sunny days the photovoltaic facades generate electricity at the level that exceeds the energy demand for illuminating an office room. The use of additional lighting time control reduces the electricity consumption by about 50% over the period considered.

Literatura

- [1] Jędrzejczuk H., Chwieduk B. *Analiza energetyczna i ekonomiczna instalacji fotowoltaicznej w wybranym budynku jednorodzinny*. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, Tom VII nr 4, 2015, s. 5-10
- [2] Nowak H., Włodarczyk D., Nowak Ł., Śliwińska E., Staniec M. *Efektywność aktywnych i pasywnych systemów słonecznych w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej w Polsce*. Czasopismo Techniczne. Budownictwo, 2010, R. 107, z.4, s. 143-152

- [3] Knera D., Heim D. *Application of a BIPV to cover net energy use of the adjacent office room*. Management of Environmental Quality: An International Journal Vol. 27 No. 6, 2016, pp. 649-662
- [4] Heim D., Knera D., Szczepańska-Rosiak E. *Functionality of active external wall – optional glazing / BIPV ratio taking into account total indoor illuminance*. Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, Dec. 7-9, 2015, pp. 2639-2646
- [5] Ujma A. *Warunki oświetlenia pomieszczeń i ich związek z jakością energetyczną budynku*. Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjalnie Energetycznym 2 (16) 2015, 114-127, Politechnika Częstochowska
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U.2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.)
- [7] Heim D., Szczepańska E. Oświetlenie uzupełniające, rozdział 6 w monografii: Komputerowa analiza oświetlenia dziennego i ocena parametrów komfortu wizualnego w pomieszczeniach (red. Dariusz Heim), Politechnika Łódzka, Łódź, 2007
- [8] PN-EN 12464-1:2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
- [9] PN-EN 15193:2010. Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia
- [10] <http://www.echo.com.pl/press-room/informacje-dla-mediow/fotowoltaika-w-q22-4279/>
- [11] Knera D., Heim D. *Energy efficiency of experimental BIPV facade in high temperatures*. Sustainable Built Environment. Conference 2016 in Hamburg. Strategies, Stakeholders, Success factors. 7th – 11th March 2016. Conference Proceedings, 1364-1373