

mgr inż. Magda Słowik^{1*)}
prof. dr hab. inż. Henryk Nowak¹⁾

Semitransparentne systemy fotowoltaiczne zintegrowane z przeszkleniem jako element wspomagający zrównoważone budynki biurowe

Semi-transparent solar cells systems integrated with glazing as an element supporting sustainable office buildings

DOI: 10.15199/33.2019.01.08

Streszczenie. W artykule przedstawiono zintegrowanie semitransparentnych systemów fotowoltaicznych (STPV) z przeszkleniami budynków oraz poziom sprawności uzyskiwanej w przypadku różnych rodzajów ogniw. Scharakteryzowano aspekty komfortu termicznego oraz wizualnego, na które istotny wpływ mają opisane systemy oraz wyniki badań dotyczące preferencji użytkowników pomieszczeń biurowych w tym zakresie. Przedstawiono również informacje związane z poszczególnymi etapami produkcji elementów fotowoltaicznych i wynikający z nich poziom emisji zanieczyszczeń. Scharakteryzowano idee zrównoważonego rozwoju, wskazano potrzeby jej zastosowania w budownictwie i przedstawiono ogólne założenia projektowe. Opisano badania mające na celu poprawę stabilności, wydajności oraz odporności na czynniki zewnętrzne ogniw perowskitowych oraz działania zmierzające do usunięcia z ich struktury szkodliwego ołowiu, a także problem szczelności ogniw DSSC w przypadku zastosowania ciekłego elektrolitu.

Słowa kluczowe: ogniwa STPV; komfort wizualny; budownictwo zrównoważone; cykl życia ogniw PV.

Abstract. The article presents solutions for integrating semi-transparent photovoltaic systems (STPV) with building glazing. The level of efficiency for different types of solar cells was shown. The aspects of thermal and visual comfort which depends on described systems are characterized, and research results on the occupants preference of office space are shown. The article has been described the photovoltaic module production stages and the resulting level of emitted pollutants. The ideas of sustainable development were characterized and the reasons of their application in construction were pointed out. General project assumptions were presented. Research has been described aimed at improving stability, efficiency and resistance to external factors of perovskite cells and actions aimed at removing harmful lead from their structure. The problem of tightness of DSSC cells in the case of the use of liquid electrolyte is also presented.

Keywords: STPV cells; visual comfort; sustainable building; PV cells lifecycle.

W artykule przedstawiono rozwiązania pozwalające na wykorzystanie ogniw STPV zamontowanych na przeszklonych powierzchniach budynków biurowych do produkcji energii elektrycznej przy jednoczesnym zapewnieniu kontaktu wzrokowego z otoczeniem oraz dostępności naturalnego oświetlenia. Omówiono aspekty środowiskowe takiego rozwiązania, jego wpływ na komfort termiczny i wizualny we wnętrzach oraz wskazówki projektowe.

Sektor budownictwa jest zobligowany do wprowadzania i promowania rozwiązań wpisujących się w ideę zrównoważonego budownictwa, ze względu na istotny udział w gospodarce światowej.

¹⁾ Politechnika Wrocławska; Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Adres do korespondencji: magda.slowik@pwr.edu.pl

Mazurek-Wierzbička w [9] pokazuje, że budownictwo w Unii Europejskiej odpowiada za wytworzenie blisko 10% PKB i zatrudnienie ok. 7% obywateli, a ponadto przyczynia się do finalnego zużycia ok. 42% energii, zagospodarowania ok. 50% pozyskiwanych zasobów naturalnych oraz odpowiada za ok. 35% emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. W wymiarze ekonomicznym, głównym celem budownictwa zrównoważonego jest, jak wskazano w [9], ograniczenie zapotrzebowania na energię i materiały, które prowadzi do redukcji kosztów inwestycji. Wymiar ekologiczny związany jest z oddziaływaniem obiektu w całym cyklu jego życia na środowisko naturalne. Natomiast analiza dokonywana pod kątem wymiaru społecznego jest ukierunkowana na zapewnienie komfortu funkcjonowania użytkownikom obiektów oraz dbałość o ich zdro-

wie i bezpieczeństwo [13]. Jak wskazano w [13], ze względu na konieczność zapewnienia efektywnego wykorzystania ogniw STPV zintegrowanych z przeszkleniem, należy maksymalnie wyeksponować fasadę południową obiektu i ograniczyć głębokość pomieszczenia w celu zapewnienia dostępu światła dziennego i jego przenikania na obrzeża pomieszczenia. Izolacyjność termiczna oraz zdolność przepuszczania promieniowania słonecznego takiej fasady powinny być dobrane na etapie projektowania w wyniku optymalizacji zysków energetycznych z uwzględnieniem pozostałych istotnych kryteriów.

Cykl życia ogniw fotowoltaicznych

Ogniwa fotowoltaiczne, które uważane są za rozwiązania proekologiczne, cieszą się bardzo dużym zainteresowa-

niem, gdyż pozwalają na wytworzenie energii elektrycznej z odnawialnego źródła. Często jednak pomija się fakt, że produkcja elementów ogniw, związana z procesem pozyskiwania czystego krzemu, jest energochłonna i negatywnie oddziałuje na środowisko [15,18]. Analizując zastosowanie ogniw STPV zintegrowanych z przeszkleniem jako elementu realizacji strategii zrównoważonego rozwoju, warto wspomnieć o rozbieżnościach w ocenie wpływu tego procesu na środowisko naturalne. Jak podaje Śliwińska i inni w [15], wynikają one z przyjmowania do obliczeń różnych metod otrzymywania czystego krzemu, różniących się energochłonnością i poziomem emisji zanieczyszczeń oraz ich alokacją. Żelazna w [18] przedstawiła ocenę cyklu życia ogniw fotowoltaicznych dla okolic Lublina przy użyciu metody Global Warming Potential z perspektywą stu lat (GWP100a). Wyniki obliczeń śladu węglowego [18], dotyczące poszczególnych elementów instalacji, przedstawiono w tabeli 1.

Interpretacja cyklu życia ogniw pozwala na wyciągnięcie wniosku, iż **zintegrowanie z budynkiem ogniw STPV zmniejsza emisję gazów cieplarnianych do atmosfery**. Wynika to m.in. z ograniczenia zużycia dodatkowych materiałów niezbędnych do zbudowania konstrukcji wsporczej, np. przez zastosowanie fotowoltaiki zintegrowanej

Tabela 1. Wyniki oceny metodą GWP100a elementów cyklu życia systemów fotowoltaicznych [18]

Table 1. The results of the GWP100a evaluation of the life-cycle elements of the photovoltaic systems [18]

Proces/Produkt	Wskaźnik GWP100a [kgCO ₂ eq]
Panel monokrystaliczny [m ²]	194,01
Panel polikrystaliczny [m ²]	154,75
Panel amorficzny [m ²]	74,09
Inwerter [kWp]	72,03
Instalacja [kWp]	16,53
Akumulator [kg]	10,3
Montaż na dachu [m ²]	19,06
Montaż na gruncie [m ²]	23,48
Serwisowanie, instalacja podłączona [kWp]	72,02
Serwisowanie, instalacja wyspowa [kWp]	593,29
Transport lądowy [tkm]	0,12
Transport morski [tkm]	0,01
Energia elektryczna, PL [kWh]	0,831

z budynkiem (BIPV – *Building Integrated Photovoltaics*). Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest brak zajmowania dodatkowej powierzchni terenu w przeciwieństwie do instalacji wspornych [15]. Trzeba również wspomnieć o zagrożeniach, jakie niesie stosowanie obecnie dostępnych ogniw perowskitowych, które zawierają ołów. W tym przypadku istotna jest dyrektywa unijna [3], która wskazuje na długotrwałe zagrożenie związane z ciągłym narażeniem na niski poziom toksycznych metali ciężkich i ogranicza zawartość ołowiu w każdym jednorodnym materiale w urządzeniach elektrycznych do 0,1% masy maksymalnej. Autorzy w [1] podkreślają, że w przypadku wszystkich halogenowych materiałów perowskitowych, o wykazanej zadowalającej efektywności, wartość ta jest większa niż 10%. Prowadzone są liczne badania mające na celu uwolnienie perowskitów od szkodliwego ołowiu. Jedną z koncepcji zakłada wykorzystanie izoelektronowych pierwiastków z grupy IV, ale takie rozwiązania mają problemy ze stabilnością i najefektywniejsze z zastosowaniem cyny zaproponowane przez Zhao uzyskało wydajność ok. 8% [1]. Trwają również prace, w których proponowane jest zastąpienie dwuwartościowych kationów z IV grupy kombinacją jednowartościowych i trójwartościowych oraz stworzenie z nich podwójnych perowskitów o podobnej strukturze. Jak przedstawiono w [1], spośród 64. potencjalnych związków tylko 11 jest teoretycznie stabilnych i odpowiednich do zastosowania w ogniwach fotowoltaicznych, jednak otwarte pozostaje pytanie, czy będzie je można skutecznie syntezować i jakie będą rezultaty ich zastosowania.

Jakość środowiska wewnętrznego i preferencje użytkownika

Jednym z głównych założeń zrównoważonego budownictwa jest zapewnienie komfortowych warunków do pracy i odpoczynku we wnętrzach budynków. W procesie projektowania aspekt ten jest uwzględniany głównie przez realizację wytycznych dotyczących komfortu termicznego, wizualnego, akustycznego oraz jakości powietrza. Systemy STPV

zintegrowane z przeszklzeniami w budynku najistotniej wpływają na dostępność promieniowania słonecznego we wnętrzach, a tym samym na zyski z nim związane.

Komfort termiczny zapewniany jest w pomieszczeniach przez kontrolę czterech podstawowych parametrów mikroklimatu: temperatury powietrza; jego prędkości; wilgotności względnej oraz średniej temperatury promieniowania [13, 16]. Dyskomfort termiczny [13] jest najczęstszą przyczyną skarg użytkowników pomieszczeń, a usunięcie przyczyny problemu wiąże się z kosztami. Zastosowanie systemów STPV pozwala na ograniczenie przegrzewania pomieszczeń wynikającego ze znacznego przeszklenia obiektów [11] i pozyskanie dodatkowej energii na wspomaganie systemów klimatyzacji.

Jak przedstawiono w [6], uzyskanie poczucia zadowolenia z warunków oświetlenia w pomieszczeniu wymaga zapewnienia źródła światła o odpowiednich parametrach. W tym celu należy spełnić wymagania zawarte w aktach prawnych dotyczące takich wielkości, jak: natężenie i równomierność oświetlenia; rozkład luminancji; oślnienie (oślepienie); kierunkowość światła; oddawanie barw i barwy postrzeganej. Istotnym elementem funkcjonowania człowieka w pomieszczeniach jest dostępność naturalnego oświetlenia, które charakteryzuje się najlepszym natężeniem i znakomitą zdolnością oddawania barw, brakiem migotania, ciągłym widmem promieniowania oraz nie zaburza działania zegara biologicznego [13]. Potwierdzeniem tego faktu są preferencje użytkowników przedstawione w [4], gdzie zdaniem Cuttle’a 86% respondentów preferuje oświetlenie naturalne, natomiast Wells w swoich badaniach wykazał, że 98% ankietowanych uważa za bardzo istotny element komfortu zapewnienie kontaktu wzrokowego z otoczeniem [4]. Celedyn w [2], odwołując się do prac Bonda i Sosnowchik, stwierdziła, że iluminacja pomieszczeń powinna odbywać się przez oświetlenie naturalnym światłem rozproszonym i należy je wspomóc miejscowo rozlokowanymi we wnętrzu źródłami światła sztucznego. Podkreśliła także istotne znaczenie kontaktu wzrokowego ze środowiskiem zewnętrznym.

Przegląd rozwiązań

Zastosowanie systemów STPV zintegrowanych z przeszkleniem wymaga indywidualnego podejścia do konkretnego projektu, gdyż jego efektywność i prognozowane korzyści w znacznym stopniu zależą od warunków nasłonecznienia, orientacji, sprawności modułów, możliwości zacienienia, stopnia transparentności ogniw i zestawów szybowych dla promieniowania słonecznego oraz ich pochylenia, głębokości pomieszczenia, rodzaju instalacji wewnętrznych w budynku, świadomości użytkownika pomieszczeń oraz wielu innych [12, 13].

Ważnym i często podnoszonym elementem analizy zastosowania systemów fotowoltaicznych w danych warunkach klimatycznych jest ich efektywność (tabela 2). Najpopularniejsze **ogniwa krzemowe** uzyskują wg [5] zróżnicowaną sprawność: monokrystaliczne 26,7%, polikrystaliczne 22,3%, a amorficzne 10,5%. **Cienkowarstwowe**, bazujące na innych związkach półprzewodnikowych, takich jak CdS, CdTe, CuInSe₂ (CIS), osiągają sprawność ok. 20% [5, 12], a ich nagrzewanie w czasie pracy jest zredukowane, co sprzyja integracji z fasadami budynków [12]. Dla porównania, sprawność elektrowni węglowych w Polsce wynosi 32,9 – 49,7% [8], a po uwzględnieniu strat przesyłowych i dystrybucyjnych 20 – 25% [12].

Typowym rozwiązaniem ogniw STPV zintegrowanych z przeszkleniem jest zastosowanie krzemowych

Tabela 2. Sprawność ogniw fotowoltaicznych zmierzonych przy natężeniu oświetlenia 1000 W/m² i temperaturze 25°C na podstawie [5]

Table 2. The photovoltaic cell efficiency measured at a lighting intensity of 1000 W/m² and a temperature of 25°C based on the [5]

Rodzaj ogniwa	Sprawność [%]
Krzemowe monokrystaliczne	26,7
Krzemowe multikrystaliczne	22,3
Z krzemu amorficznego	10,5
Heterozłączone GaIn/GaAs/Si	35,9
Ogniwo pięcioletkowe grup III-V	38,8
GaAs	28,8
InP	24,2
CIGS	22,9
CdTe	21,0
Perowskitowe	20,9
Barwnikowe DSSC	11,9
Organiczne	11,2

modułów monokrystalicznych i zapewnienie wymaganego stopnia transparentności przez odpowiedni układ siatki elementów na szybach. Ograniczają one jednak kontakt wzrokowy użytkownika ze środowiskiem zewnętrznym oraz powodują nierównomierne zacienienie pomieszczenia, wywołując efekt szachownicy (fotografia). Zwiększenie efektywności takiego rozwiązania możliwe jest przez zastosowanie elementów bifacjalnych (dwustronnych), gdy warunki we wnętrzu sprzyjają odbiciu promieniowania i jego absorpcji na tylnej stronie ogniwa.



Fotowoltaiczne świetliki w budynku Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach

*[źródło ML SYSTEM S.A. www.mlssystem.pl]
Solar photovoltaic skylights at Katowice School of Technology*

Konkurencyjnym rozwiązaniem jest moduł fotowoltaiczny, który dzięki obecności cienkowarstwowego ogniwa z krzemu amorficznego generuje energię elektryczną, a 10% przepięzności zapewnia dostęp naturalnego oświetlenia oraz kontakt wzrokowy z otoczeniem [19]. Zestaw taki charakteryzuje się współczynnikiem przenikania ciepła 1,1 [W/(m²K)] [19]. W analogicznym rozwiązaniu zestawy szybowe z nadrukowanymi ogniwami DSSC można indywidualnie projektować z uwzględnieniem wymaganego stopnia transparentności oraz koloru [20]. Jak opisano w [14], obecnie trwają prace nad poprawą szczelności takich ogniw w przypadku zastosowania ciekłego elektrolitu oraz zastąpieniem go związkami stałymi. Materiały nieorganiczne ze względu na negatywny wpływ na stabilność są pomijane, a uwaga naukowców zwrócona jest głównie na materiały organiczne i polimery, ze względu na możliwość uzyskania szerokiego spektrum ich właściwości.

Ciekawym pomysłem jest szkło SunGuard PVGU z systemem Phytogoras.

Jak omówiono w [21, 22], ogniwa fotowoltaiczne zostały w tym przypadku umieszczone pomiędzy dwiema szybami i ustawione prostopadłe do nich. Zestaw taki charakteryzuje się współczynnikiem przenikania ciepła 1,1 W/(m²K) i współczynnikiem całkowitej przepuszczalności promieniowania słonecznego 14% przy 49% transmisji światła widzialnego, a sprawność modułu jest wg producenta na poziomie 12% [22].

Ostatnio dużą popularnością cieszą się **perowskity**, z których produkować można moduły fotowoltaiczne. W tym przypadku stosuje się te wytworzone sztucznie, gdyż mają one dużą zdolność pochłaniania światła [23], która pozwala na zbudowanie ogniw o sprawności 20,9% [6]. Jak przedstawiono w [23], ogniwa te są lżejsze, cieńsze, częściowo transparentne i bardziej elastyczne niż krzemowe oraz pozwalają dopasować kolor i rozmiar modułu do indywidualnych potrzeb odbiorcy [24]. Perowskity poza licznymi zaletami mają również wady. Prace nad poprawą stabilności, odporności na zawilgocenie i efektywności ogniw perowskitowych dotyczą zarówno materiału, jak i budowy ogniwa. Jak pokazano w [17], zastosowanie CH(NH₂)₂PbI₃ (FAPbI₃) zamiast CH₃NH₃PbI₃ (MAPbI₃) poprawia stabilność termiczną i efektywność ogniwa, a zastąpienie kationów organicznych nieorganicznymi zwiększa ich odporność na działanie temperatury. Optymalną efektywność i stabilność termiczną uzyskuje się jednak przez odpowiedni dobór mieszanki kationów i halogenków w związkach perowskitowych. Prowadzone badania potwierdziły, że wprowadzenie B⁺ zwiększa stabilność w środowisku wilgotnym, nie zmniejszając jednocześnie efektywności ogniwa. Poprawę parametrów ogniwa można uzyskać przez zastosowanie NH₄I zamiast TiO₂, poddanie TiO₂ działaniu Na lub dodanie do niego płatków grafenowych.

Warta uwagi jest także idea połączenia szyby pokrytej przezroczystym koncentratorem luminescencyjnym z wysoko sprawnymi ogniwami fotowoltaicznymi umieszczonymi na jej krawędziach. Promieniowanie padające na płytkę lub folię polimerową z centrami luminescencyjnymi, którymi mogą być organiczne barwniki lub nieorganiczne

nanomateriały [7], wzbudza je do świecenia. Światło przez nie wyemitowane, dzięki zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia, transportowane jest do ogniwa i absorbowane. Atutem takiego rozwiązania jest pełna transparentność oraz możliwość pochłaniania promieniowania padającego pod prawie dowolnym kątem [25]. W [10] przedstawiono takie rozwiązanie bazujące na kropkach kwantowych zbudowanych z selenku kadmu, absorbującego światło i siarczku kadmu, emitującego promieniowanie. Takie połączenie zaowocowało zmniejszeniem strat przy powtórnej absorpcji.

Warto wspomnieć, że na stronie internetowej [26] zaprezentowano ideę szyby produkującej prąd. Zastosowano w niej kropki kwantowe, czyli sztucznie stworzone struktury półprzewodnikowe o wielkości nanometrów, mające zdolność absorpcji i emisji promieniowania.

Podsumowanie

Zintegrowanie semitransparentnych ogniw fotowoltaicznych (STPV) z przeszklaniem budynków biurowych pozwala na produkcję energii elektrycznej ze źródła odnawialnego z wykorzystaniem biernych elewacji i ograniczenie problemu przegrzewania pomieszczeń o dużym stopniu przeszklania. Systemy takie zapewniają również dostęp naturalnego oświetlenia oraz kontakt wzrokowy ze środowiskiem zewnętrznym, a o ich jakości decyduje przyjęte rozwiązanie. Należy jednak pamiętać, że jednoznaczna ocena wpływu omawianych systemów na komfort wizualny, termiczny oraz bilans energetyczny budynku jest bardzo trudna. Każdy projekt wymaga indywidualnego podejścia, w którym uwzględnione zostaną warunki nasłonecznienia w danej lokalizacji, parametry przeszklania, geometria wnętrza budynku, charakterystyka wybranego systemu STPV oraz inne. Tylko rzetelnie sporządzony bilans ekonomiczny i energetyczny tak zaprojektowanego rozwiązania może stanowić podstawę do jego oceny.

W artykule przedstawiono także maksymalną sprawność różnego rodzaju ogniw i skonfrontowano ją z osiągnięciami elektrowni węglowych w Polsce. Pokazano problemy związane ze stabilnością, efektywnością oraz odpornością

na działania czynników zewnętrznych przedstawianych rozwiązań, a także negatywne oddziaływanie systemów fotowoltaicznych na środowisko w czasie ich wytwarzania oraz próby usunięcia szkodliwego ołowiu ze struktur perowskitów. Przewaga układów STPV zintegrowanych z przeszklaniem nad wolno stojącymi systemami PV wynika z mniejszego zużycia materiałów. Efekty z zastosowania opisanych systemów STPV zależą głównie od indywidualnie przyjętego i zoptymalizowanego rozwiązania projektowego. Nie ulega wątpliwości, że przeszklenie zintegrowane z ogniwami STPV ma wpływ na całoroczny bilans energetyczny budynków o różnym przeznaczeniu. W najbliższym czasie planujemy przeprowadzenie badań pozwalających określić zakres i skuteczność stosowania opisanych rozwiązań w budynkach.

Literatura

- [1] Abate Antonio. 2017. „Perovskite Solar Cells Go Lead Free”. *Joule* 1 (4): 659 – 664. DOI: 10.1016/j.joule.2017.09.007.
- [2] Celadyn Magdalena. 2017. *Zrównoważone środowisko wnętrza biurowego*. Kraków. Wydział Architektury Wnętrz Akademia Sztuk Pięknych im. Jana Matejki.
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2011/65/UE z 8 czerwca 2011 r. w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym.
- [4] Galasiu Anca D., Jennifer A Veitch. 2006. „Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review”. *Energy and buildings* 38: 728 – 742. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.03.001.
- [5] Green Martin A., Yoshihiro Hishikawa, Ewan D. Dunlop, Dean H. Levi, Jochen Hohl-Ebinger, Ho Baillie Anita W. Y. 2018. „Solar cell efficiency tables (version 52)”. *Progress in Photovoltaic* 26: 427 – 436. DOI: 10.1002/pip.3040.
- [6] Heim Dariusz, Eliza Szczepańska Rosiak. 2013. *Walidacja metody TDI oceny oświetlenia wnętrza światłem dziennym*. Łódź. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej.
- [7] Jeremiasz Olgierd, Jerzy Sarnecki, Wojciech Nikiel, Marian Teodorczyk, Artur Wnuk, Roman Kozłowski, Grzegorz Gawlik. 2010. „Luminescencyjne koncentratory energii promieniowania słonecznego w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni”. *Elektronika: konstrukcje technologie, zastosowania* 51 (5): 83 – 86.
- [8] Kasztelewicz Zbigniew, Michał Patyk. 2015. „Nowoczesne i sprawne elektrownie węglowe w Polsce”. *Polityka Energetyczna* 18 (4): 45 – 60.
- [9] Mazur-Wierzbicka Ewa. 2014. „Ekoinnowacje – istotny element zrównoważonego budownictwa”. *Handel Wewnętrzny* 5 (352): 138 – 148.

[10] Meinerdi Francesco, Annalisa Colombo, Kirill A. Velizhanin, Roberto Simonutti, Luca Beverina, Ranjani Viswanatha, Victor Klimov, Sergio Brovelli. 2014. „Large-area luminescent solar concentrators based on ‘Stokes-shift-engineered’ nanocrystals in a mass-polymerized PMMA matrix”. *Nature Photonics* 8: 392 – 399. DOI: 10.1038/nphoton.2014.54.

[11] Nowak Henryk, Łukasz Nowak, Elżbieta Śliwińska. 2016. „The impact of different solar passive systems on energy saving in public buildings and occupants thermal and visual comfort”. *Journal of Building Physics* 40 (2): 177 – 197. DOI: 10.1177/1744259115597705.

[12] Nowicki Maciej. 2012. *Nadchodzi era słońca*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN;

[13] Praca zbiorowa pod redakcją Szymona Firłaga. 2018. *Zrównoważone budynki biurowe*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.

[14] Szindler Magdalena, Marek Szindler. 2018. „Barwnikowe ogniwa fotowoltaiczne z polielektrolitem”. *Przegląd Elektrotechniczny* 8 (94): 32 – 34. DOI: 10.15199/48.2018.08.09.

[15] Śliwińska Anna, Krystyna Czaplicka-Kolarz. 2009. „Wybrane aspekty metodologii analizy cyklu życia odnawialnych źródeł energii”. *Czasopismo techniczne Politechniki Krakowskiej Środowisko* 106 (11): 131 – 145.

[16] Śliwowski Lech. 2000. *Mikroklimat wewnątrz i komfort cieplny ludzi w pomieszczeniach*. Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

[17] Qin Kui, Dong Binghai, Wang Shimin. 2018. „Improving the stability of metal halide perovskite solar cells from material to structure”. *Journal of Energy Chemistry* 000 (2018): 1 – 10. DOI: 10.1016/j.jchem. 2018.08.004.

[18] Żelazna Agnieszka. 2016. *Ocena zrównoważoności systemów solarnych oparta na analizie cyklu życia*. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN vol. 125.

[19] www.talev.fr/photovoltaique/integration-verriere/ASITHRU.pdf (dostęp 14.11.2018).

[20] www.mlsystem.pl/dssc/ (dostęp 15.11.2018).

[21] www.e-okna.pl/a/szklo-okienne-z-ogniwami-fotowoltaicznymi-10825.html (dostęp 14.11.2018).

[22] www.guardianglass.com/cs/groups/sungardeurope/documents/web_content/stg_031856.pdf (dostęp 14.11.2018).

[23] www.ekologia.pl/wywiady/czy-perowskity-zrewolucjonizuja-rynek-energetyki-solarnej-wywiad-z-olga-malinkiewicz,21525.html (dostęp 14.11.2018).

[24] www.skanska.pl/o-skanska/media/informacje-prasowe/215371/Skanska-i-Saule-Technologies-wprowadzaja-nowe-zrodlo-energii-do-budynkow-oparte-o-ogniwa-perowskitowe (dostęp 14.11.2018).

[25] www.newloks.int.pan.wroc.pl/strona-glowna/koncentratory-sloneczne (dostęp 14.11.2018).

[26] www.mlsystem.pl/szyby-ktore-daja-prad-ewolucja-energetyczna-dzieki-kropkom-kwantowym/ (dostęp 14.11.2018).

Przyjęto do druku: 29.11.2018 r.