

The Impact of Solar Power Facilities on Landscape

Eliza Kalbarczyk

Oddziaływanie
instalacji z zakresu
energetyki solarnej
na krajobraz

Keywords: helioenergetics, integrated installation, solar power tower, micro-installation

Introduction

Firstly, a rapid growth in the interest in solar power energy, observed from the beginning of the 21st century almost all over the world, resulted in increasingly common occurrences of solar power plants in the landscape. Secondly, it led to a growing diversity of technologies using solar energy [Jäger-Waldau 2007, Moe 2012, Montoya et al. 2014]. Over the last several years also Poland has seen a considerable increase in the installed power of solar facilities [Musiałkiewicz et al. 2014, Hektus, Kalbarczyk 2015]. Helioenergetics has some consequences for the components and state of the natural environment [Wiąckowski, Wiąckowska 1999, Tryjanowski, Łuczak 2013], in spite of the fact that it is viewed as one of the most environmentally-friendly ways of energy production [Tsoutsos et al. 2005, Dobrzańska et al. 2012, Armstrong et al. 2014]. It is also worth noting that the hitherto existing literature is dominated by the studies concerning the impact of wind energy on the landscape [Hektus, Kalbarczyk 2015, Raszka et al. 2016], and what is noticeable is the scarcity of such studies on the effect of solar power. For the purposes of this study, the following research hypothesis was formulated: along with the develop-

ment of investments in helioenergetics, as it has been recently observed, their impact on the landscape also increases. The aim of the work is to determine the effect of various solar installations on the landscape.

Material and Methods

The study includes an overview of the existing types of solar facilities on the basis of the available academic literature, specialist magazines and field research conducted in August 2016 on the island of Rügen (Germany). It examined the facilities different both in terms of their spatial dimension (small-scale systems – micro-installations and small installations; large solar power plants), and the method of assembly (free-standing on the ground, installed on the roof or facade of a building, building-integrated).

The assessment of the impact of the installations on the landscape was carried out according to the Author's division of the impact into four types: integrated, harmonious, disharmonious and dominant. The concept of harmonious and disharmonious effect refers to the human induced changes in the landscape that are well-known from landscape studies. According to Mazurski [2012], the harmoniousness of a facility in the ecological sense consists in its location and arrangement so that it will not disturb natural processes, and aesthetic *harmony* is the adaptation of a new facility to the

Słowa kluczowe: helioenergetyka, instalacja zintegrowana, wieża solarna, mikroinstalacja

Wprowadzenie

Gwałtowny rozwój zainteresowania energetyką solarną obserwowany od początku XXI w. niemal na całym świecie spowodował coraz powszechniejsze występowanie elektrowni solarnych w krajobrazie z jednej strony, z drugiej – zwiększającą się różnorodność stosowanych technologii wytwarzania energii ze słońca [Jäger-Waldau 2007, Moe 2012, Montoya i in. 2014]. W ostatnich kilku latach również w Polsce zauważono znaczny przyrost mocy zainstalowanych w energetykę solarną [Musiałkiewicz i in. 2014, Hektus, Kalbarczyk 2015]. Helioenergetyka pomimo iż uznawana jest za jedną z najbardziej przyjaznych środowisku przyrodniczemu [Wiackowski, Wiackowska 1999, Tryjanowski, Łuczak 2013], nie pozostaje bez wpływu na jego komponenty i stan [Tsoutsos i in. 2005, Dobrzańska i in. 2012, Armstrong i in. 2014]. Warto zauważyć, że w literaturze dominują opracowania dotyczące oddziaływania energetyki wiatrowej na krajobraz [Hektus, Kalbarczyk 2015, Raszka i in. 2016], odczuwalny jest niedostatek tego typu opracowań odnośnie oddziaływania krajobrazowego energetyki solarnej. Na potrzeby pracy sformułowano następującą hipotezę badawczą: wraz z rozwojem inwe-

stycji z zakresu helioenergetyki, jaki obserwowany jest w ostatnich latach, rośnie również ich oddziaływanie na krajobraz. Celem pracy było określenie wpływu różnych typów instalacji solarnych na krajobraz.

Materiał i metody

W pracy dokonano przeglądu istniejących typów instalacji solarnych na podstawie dostępnej literatury naukowej, czasopism branżowych oraz obserwacji terenowych przeprowadzonych w sierpniu 2016 r. na wyspie Rugia (Niemcy). Rozpatrywano instalacje zróżnicowane zarówno pod względem wymiaru przestrzennego (systemy małoskalowe – mikroinstalacje i małe instalacje, wielkoobszarowe elektrownie solarne), jak i sposobu montażu (wolno stojące na podłożu, montowane na dachu lub elewacji budynku, wbudowane w budynek).

Oceny wpływu typu instalacji na krajobraz dokonano według autorskiego podziału ich oddziaływania na cztery rodzaje: zintegrowane, harmonijne, dysharmonijne i dominujące. Pojęcie oddziaływania harmonijnego lub dysharmonijnego stanowi nawiązanie do znanych z badań krajobrazowych określeń zmian wywołanych w krajobrazie przez człowieka. Zdaniem Mazurskiego [2012] harmoniczność obiektu w sensie ekologicznym polega na takim jego usytuowaniu i urządzeniu, by nie zakłócał naturalnych procesów

przyrodniczych, a *harmonia estetyczna* to dopasowanie nowego obiektu do otoczenia. *Dysharmonia estetyczna* polega na stworzeniu obcości wizualnej, wprowadzeniu w krajobrazie pewnego niepokoju i zakłóceniu naturalnego piękna. Określenie oddziaływania jako dominujące zostało zainspirowane pojęciem *dominaty krajobrazowej*. Obiekty określane tym mianem wyróżniają się w krajobrazie i są widoczne w terenie z wielu kilometrów [Walczak 2007]. Ostatnie określenie oddziaływania instalacji, tj. zintegrowane, nawiązuje do nomenklatury stosowanej w energetyce odnawialnej i odnosi się do instalacji zespolonych z budynkami [Coonen 2001, Strong 2005, Norton i in. 2011, Peng i in. 2011, Siebert 2012]. Dane dotyczące powierzchni i roku powstania wybranych instalacji solarnych zaczerpnięto ze stron internetowych inwestorów.

Wyniki i dyskusja

Stosowane współcześnie rodzaje instalacji różnią się swoim wymiarem przestrzennym od systemów małoskalowych, takich jak mikroinstalacje czy małe instalacje, po wielkoobszarowe elektrownie solarne, a także sposobem montażu. Wyróżnia się instalacje wolnostojące na podłożu, montowane na dachu lub elewacji budynku, wbudowane w budowlę [Wiśniewski i in. 2012].

Fig. 1. Photovoltaic power station in Sarnia (Canada) visible on www.maps.google.com, available at 10.01.2017

Ryc. 1. Elektrownia fotowoltaiczna w Sarnii widoczna na www.maps.google.com, stan na 10.01.2017



surroundings. *Aesthetic disharmony* lies in creating a visual alien character, introducing to the landscape a certain disturbance and spoiling the natural beauty. Defining the impact as dominant was inspired by the notion of *landscape dominant*. A facility so defined stands out in the landscape and is visible from a distance of many kilometres [Walczak 2007]. The last remaining type of the impact, i.e. integrated one, is related to the terminology used in renewable energetics and refers to building-integrated installa-

tions [Coonen 2001, Strong 2005, Norton et al. 2011, Peng et al. 2011, Siebert 2012]. The data regarding the size and the year of establishment of selected solar power facilities come from the investors' websites.

Results and discussion

The facilities used at present are different both in size, from small-scale systems such as micro-installations or small installations to large solar plants, and in their

method of assembly: free-standing ones, mounted on the roof or facade of a building, and building-integrated ones [Wiśniewski et al. 2012].

Photovoltaic power stations are investments covering large areas [Biesiada 2015]. The demand for large areas results from fairly low energy efficiency of the present photovoltaic panels. Therefore, for an investment to be economically profitable, it is necessary to connect many installations of this type in one power network. According to Pająk [2013], building a photovoltaic farm with a capacity of 1 MW requires approx. 20,000 m². In addition, areas where solar power stations are located should not have a big height differences, as it would involve high expenditures related to levelling. According to the estimates, a photovoltaic power plant with a capacity of 1000 MW requires an area of 50,000,000 m² [Biesiada 2015].

The examples of large solar power stations include: Sarnia Photovoltaic Power Plant in Canada (Fig. 1), the largest such installation in the world in 2010, occupying 873,000 m²; the largest PV power station in China – Golmud of an area of approx. 25,500,000 m². The latter is situated at 2870 m above sea level, on the plateau of Tibetan Qinghai, with favourable conditions for solar power production, at a distance of about 15 km from the nearest human community [Biesiada 2015, Fernandez-Jimenez et al. 2015].

Elektrownie słoneczne to inwestycje zajmujące duże przestrzenie [Biesiada 2015]. Powodem zapotrzebowania na teren o dużej powierzchni jest dość mała efektywność energetyczna współczesnych paneli fotowoltaicznych, dlatego też aby inwestycja była opłacalna pod względem ekonomicznym, wymagane jest połączenie wielu tego typu urządzeń w jedną sieć energetyczną. Zdaniem Pająka [2013] do budowy farmy fotowoltaicznej o mocy 1 MW potrzeba ok. 20 000 m². Dodatkowo obszar, na którym lokalizuje się elektrownie słoneczne, nie powinien posiadać zbyt dużych deniwelacji, ponieważ niosą one za sobą duże koszty związane z wyrównywaniem terenu. Według szacunków w przypadku elektrowni PV moc 1000 MW wymaga zajęcia 50 000 000 m² [Biesiada 2015].

Przykładem wielkoobszarowych elektrowni solarnych mogą być: Sarnia Photovoltaic Power Plant w Kanadzie (ryc. 1), największa instalacja na świecie w 2010 r., zajmująca powierzchnię 873 000 m², czy największa w Chinach elektrownia fotowoltaiczna Golmud o powierzchni ok. 25 500 000 m². Ta ostatnia położona jest na wysokości 2870 m n.p.m., na płaskowyżu tybetańskiego Qinghai, gdzie występują korzystne warunki do rozwoju energetyki solarnej, w odległości ok. 15 km od najbliższej jednostki osadniczej [Biesiada 2015, Fernandez-Jimenez i in. 2015].

W południowej Bawarii (Niemcy), w odległości ok. 2 km od miasta

Pocking, na powierzchni 320 000 m² (32 ha) zlokalizowano Pocking Solar Park (ryc. 2). Teren, na którym zrealizowano inwestycję, jest równinny, pokryty zwartą, niską szatą roślinną, w najbliższym otoczeniu elektrowni znajdują się pola uprawne oraz obszary zalesione, dlatego elektrownia jest widoczna z dość dużej odległości i może wywoływać negatywne wrażenia estetyczne.

Pierwsza elektrownia solarna w Polsce powstała w 2011 r. w Wierchosławicach, w woj. małopolskim na powierzchni ponad 20 000 m², na terenie równinnym, w sąsiedztwie pól uprawnych oraz jeziora Niwka (ryc. 3). Teren na którym zlokalizowano inwestycję, nie był użytkowany rolniczo ze względu na duże nagromadzenie kabli energetycznych [Biesiada 2015].

Aktualnie największa w Polsce elektrownia PV Czernikowo powstała w 2015 r. w Wygodzie (gm. Czernikowo, woj. kujawsko-pomorskie), zajmuje powierzchnię 24 000 m² w równinnym, rolniczym terenie.

W badaniach krajobrazowych pojęcie *harmonii estetycznej* utożsamiane jest z dopasowaniem nowego obiektu do otoczenia, natomiast za *dysharmonijne* uznaje się wrażenia obcości wizualnej i wprowadzenie w krajobrazie pewnego niepokoju i zakłócenie naturalnego piękna [Mazurski 2012]. Uwzględniając powyższe definicje wielkoobszarowe elektrownie solarne, choć jako konstrukcje poziome nawiązują układem do ukształtowania powierzchni, moż-

Fig. 2. Photovoltaic power station in Pocking (Germany) visible on www.maps.google.com, 10.01.2017

Ryc. 2. Elektrownia fotowoltaiczna Pocking widoczna na www.maps.google.com, stan na 10.01.2017



na uznać za powodujące zaburzenie w odbiorze otoczenia, stanowiące element dysharmonijny, szczególnie w krajobrazie przyrodniczym.

Znacznie rzadsze są konstrukcje typu wieża solarna. Przykładem takiej konstrukcji może być Ivanpah Solar Electric Generating System (ISEGS) na pustyni Mojave, uruchomiona w 2014 roku. W elektrowni tej heliostaty (lustra koncentrujące



Fig. 3. Photovoltaic power station in Wierchosławice (Poland) visible on www.maps.google.com, 10.01.2017

Ryc. 3. Elektrownia solarna w Wierchosławicach widoczna na www.maps.google.com, stan na 10.01.2017

In southern Bavaria (Germany) at a distance of approx. 2 km from the town of Pocking, on 320,000 m² (32 ha), there is located Pocking Solar Park (Fig. 2). The land where this facility is situated is flat, covered with dense, low vegetation. In the closest vicinity of the plant there are cultivated fields and forests and, therefore, the solar park can be seen from a large distance and may result in negative aesthetic impressions.

The first photovoltaic power station in Poland was established in 2011 in Wierzchosławice in Małopolska Province on more than 20,000 m², on a flat terrain, near cultivated fields and lake Niwka (Fig. 3).

The land where the facility is located has not been cultivated agriculturally due to a high concentration of power cables [Biesiada 2015].

The presently largest photovoltaic power station in Poland, Czernikowo, was established in 2015 in Wygoda, in the commune of Czernikowo, in Kujawy-Pomerania Province. It covers 24,000 m² of flat, agricultural land.

In landscape studies the notion of aesthetic *harmony* is associated with the adaptation of a new facility to the surroundings. *Disharmonious* impressions, on the other hand, are those which create a visual inconsistency and introduce to the landscape a cer-

tain disturbance and spoil the natural beauty [Mazurski 2012]. Considering the above definitions, large solar power stations, despite the fact that as horizontal structures they reflect the land relief, may be seen as a disturbance in the reception of the surroundings, and constitute a disharmonious element, which is particularly conspicuous in natural landscape.

Structures such as solar power towers are much less common. An example of such a facility is Ivanpah Solar Electric Generating System in the Mojave desert, established in 2014. At this power station heliostats (mirrors focusing sunlight) are located on 1.600.000 m² around three towers

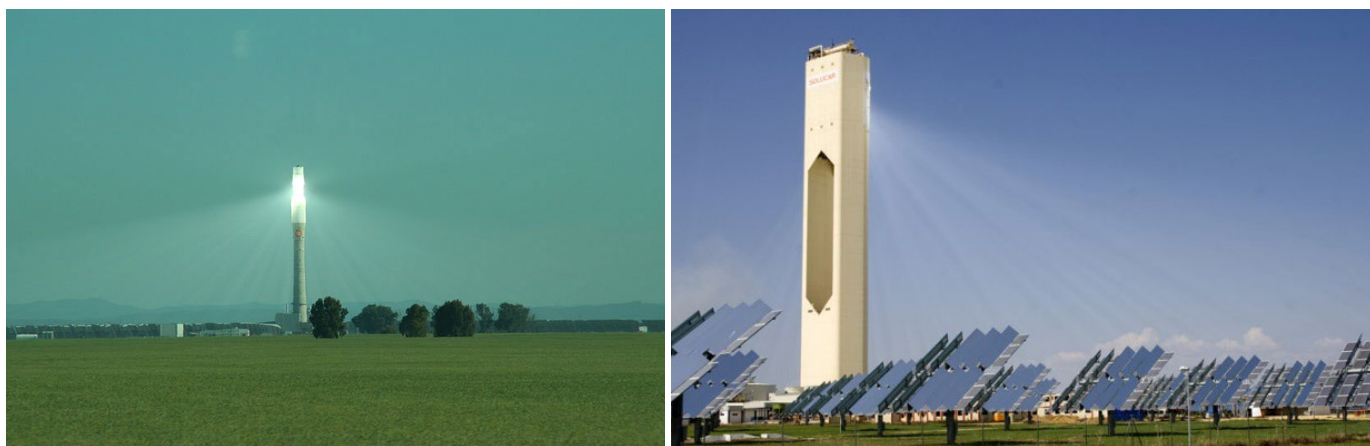


Fig. 4. Gemasolar Thermosolar Plant, Torresol Energy (left) and PS10 Solar Power Plant, Abengoa (right), near Seville in Spain
Source: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19871310> (left), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2821733> (right), as of 10.01.2017

Ryc. 4. Gemasolar Thermosolar Plant, Torresol Energy (po lewej) i PS10 Solar Power Plant, Abengoa (po prawej), okolice Sewilli w Hiszpanii
Źródło: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19871310> (fot. po lewej), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2821733> (fot. po prawej), dostęp 10.01.2017

Fig. 5. ALM Brand in Copenhagen – thin-film BIPV panels

Source: Mahlum, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2928250> (left), Politikaner, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alm._Brand_Bank_Headquarter_in_Copenhagen_MG_0056.JPG (right), as of 10.01.2017

Ryc. 5. Budynek ALM Brand w Kopenhadze – cienkowarstwowe panele fotowoltaiczne BIPV

Źródło: Mahlum, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2928250> (fot. po lewej), Politikaner, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alm._Brand_Bank_Headquarter_in_Copenhagen_MG_0056.JPG (fot. po prawej), dostęp 10.01.2017



promienie słoneczne) umieszczone są na powierzchni 1 600 000 m² wokół trzech, znajdujących się w centrum wież, o wys. 140 metrów. Podobną konstrukcję stanowi Farma Gemasolar w Andaluzji, której 2650 termostatów zajmuje powierzchnię 2 100 000 m², a także Planta Solar 10, pierwsza farma solarna w tej technologii produkująca energię na cele komercyjne (ryc. 4). Powstała w 2004 roku w okolicach Sewilli farma składa się z wieży o wysokości 115 m oraz 624 mobilnych luster. Kolejną utworzono w tej samej okolicy w 2009 r., PS20, zbudowano ją z 165 m wieży i 1255 luster. Oddziaływanie tego typu konstrukcji

potęgują efekty świetlne wywołane skupianiem promieni słonecznych. Unikatową instalacją był komin solarny o wysokości 195 m, działający w Hiszpanii, 150 km na południe od Madrytu, w latach 80. XX wieku. Konstrukcja pracowała około 8 lat, lecz z powodu „niestabilności kolumny wywołanej przez wiry” została rozebrana w 1989 roku [Mills 2004].

Zasięg wizualnego oddziaływania pionowych elektrowni solarnych obejmuje odległości wielu kilometrów, dodatkowo jest on wzmocniony przez efekty świetlne.

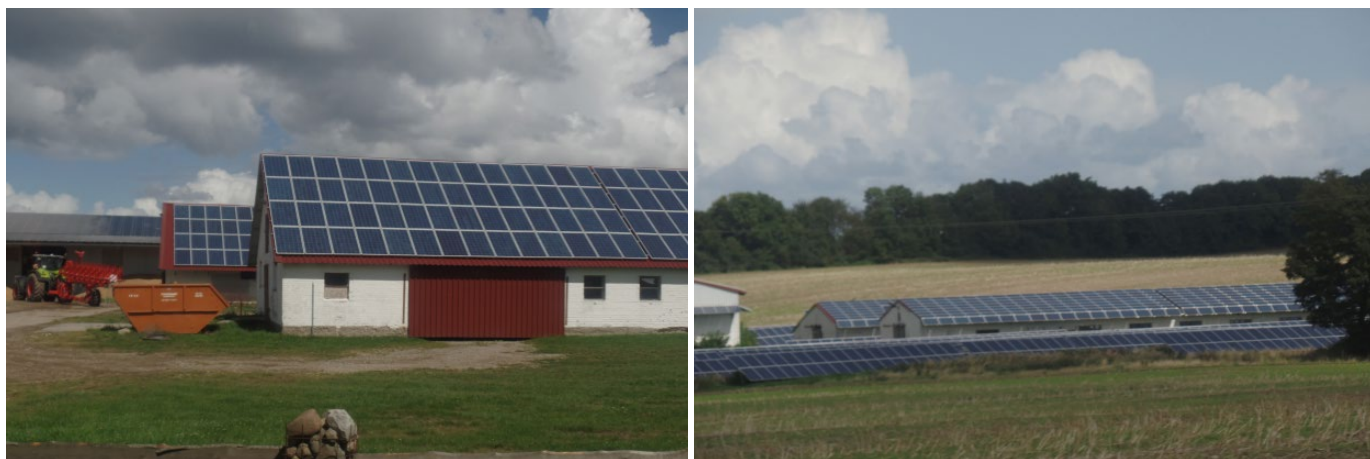
Obiekty wyróżniające się w krajobrazie i widoczne w terenie z wielu kilometrów określane są mianem

dominaty krajobrazowej [Walczak 2007]. Oddziaływanie wizualne zarówno wież, jak kominów solarnych można uznać za dominujące w krajobrazie.

W 1999 roku w Nowym Jorku oddano do użytku budynek 4 Times Square. Pomiędzy 37 a 43 piętrem na ścianie południowej i zachodniej elewację stanowią ogniwa fotowoltaiczne zasilające budynek w energię elektryczną. W przypadku tego typu konstrukcji instalacje energetyczne są zintegrowane z budynkami i dla przeciętnego użytkownika przestrzeni mogą być praktycznie niedostrzegalne. Badania prowadzone nad przezroczystymi ogniwami PV [Carroll

Fig. 6. PV systems in the agricultural landscape of Ruegen, Germany (photo by E. Kalbarczyk, August 2016)

Ryc. 6. Systemy PV w krajobrazie rolniczym wyspy Rugia, Niemcy (fot. E. Kalbarczyk, sierpień 2016)



of the height of 140 m placed in the centre. Similar examples include: Gemasolar in Andalucia, a facility whose 2.650 thermostats occupy the area of 2.100.000 m², and also Planta Solar 10, the first solar farm generating energy for commercial purposes in this technology (Fig. 4). Established in 2004 near Seville, the farm consists of a 115-metre tall tower and 624 mobile mirrors. Another one, created in the same region in 2009, PS20, comprises 165-metre tall tower and 1.255 mirrors. The impact of such structures is intensified by light effects created through focusing sunlight. A unique facility was a solar chimney of a height of 195 m, built in the 1980s in Spain, 150 km south of Madrid. The structure operated for around 8 years, but due to its

instability caused by vortices it was dismantled in 1989 [Mills 2004].

The range of the visual impact of vertical solar power stations reaches a distance of many kilometres and is additionally intensified by reflexive effects. The structures which stand out in the landscape and are visible from a distance of many kilometres are defined as *landscape dominants* [Walczak 2007]. The visual impact of both solar towers and chimneys can be considered dominant.

In 1999 in New York the 4 Times Square building was brought into use. Between the 37th and 43rd floors on the southern and western walls, the facade consists of photovoltaic cells which feed the building with electricity. In the case of such structures, power installations are building-integrated and for an average user of the

public space they are almost indiscernible. The research on transparent PV cells [Carroll et al. 2005, Gomez de Arco et al. 2010, Jakubowska et al. 2011, Janczak et al. 2013, Sibiński et al. 2013] will enable the development of technologies integrated with buildings in which transparent cells are mounted on window panes or replace them (Fig. 5).

Modern PV panels, of a transparent or nearly transparent coating, incorporated in the body of the building or constituting a part of the building, may be seen as integrated into the landscape of a big city.

Distributed systems are the most commonly installed small-scale systems and micro-installations, mainly solar collectors or less frequently PV panels, mounted on the roofs or facades of buildings, including single-

i in. 2005, Gomez de Arco i in. 2010, Jakubowska i in. 2011, Janczak i in. 2013, Sibiński i in. 2013] umożliwią rozwój technologii zintegrowanej z budynkami, w której transparentne ogniwa montowane są na szybach lub zastępują je w oknach (ryc. 5).

Nowoczesne panele PV, o powłoce przezroczystej lub niemal przezroczystej, wkomponowane w bryłę lub stanowiące część budynku można uznać za zintegrowane z krajobrazem wielkomiejskim.

Instalacje rozproszone to najczęściej montowane systemy małoskalowe i mikroinstalacje, którymi są najczęściej kolektory słoneczne, rzadziej panele PV, umieszczane na dachach lub fasadach budynków, w tym domów jednorodzinnych. Instalacje te są widoczne dopiero z niewielkiej odległości od budynku i zazwyczaj nie wykraczają poza jego bryłę. Przykładem instalacji zainstalowanych na dachach budynków są systemy w gospodarstwach rolnych na wyspie Rugia (Niemcy). Instalacje te zamontowano na całej powierzchni dachów o wystawie południowej, ale również na podłożu w bezpośrednim sąsiedztwie budynków (ryc. 6).

Zgodnie z przywoływanym wcześniej określeniem harmonii estetycznej [Mazurski 2012] tego typu instalacje można uznać za dopasowane do otoczenia, a więc uzasadnione będzie określenie ich wizualnego oddziaływania jako harmonijne.

W świetle przeprowadzonych badań można zauważyć, że sformułowana hipoteza badawcza

o rosnącym, wraz z rozwojem inwestycji z zakresu helioenergetyki, ich oddziaływaniu na krajobraz potwierdziła się tylko w przypadku wielkoobszarowych elektrowni solarnych. W kolejnych latach powstają elektrownie o coraz większej mocy i zajmowanej powierzchni, co wzmacnia ich oddziaływanie krajobrazowe. Jednocześnie rozwój technologii transparentnych ogniw PV zespolonych z budynkami powoduje ograniczenie, a nawet całkowite wyeliminowanie widoczności tego typu instalacji i zmniejsza ich oddziaływanie na krajobraz.

Wnioski

1. Budowane obecnie instalacje solarne mają zróżnicowany wpływ na otaczający krajobraz.
2. Oddziaływanie najczęściej spotykanych współcześnie instalacji solarnych na krajobraz można podzielić na: harmonijne – w przypadku niewielkich instalacji w krajobrazie kulturowym, zintegrowane – w przypadku paneli transparentnych, zespolonych z budynkami, dysharmonijne – w przypadku wielkopowierzchniowych instalacji poziomych oraz dominujące – w przypadku instalacji pionowych typu wieża solarna.
3. Elektrownie solarne są instalacjami zajmującymi znaczne powierzchnie terenu i wraz z obserwowanym rozwojem helio-

- energetyki ich oddziaływanie na krajobraz staje się coraz silniejsze.
4. Przedstawiona ocena oddziaływania instalacji solarnych może być wykorzystana podczas przeprowadzania oceny krajobrazowej nowych inwestycji z tego zakresu.

Eliza Kalbarczyk

Zakład Ekonometrii Przestrzennej
Instytut Geografii Społeczno-Ekonomicznej
i Gospodarki Przestrzennej
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Literature – Literatura

1. Armstrong A., Waldron S., Whitaker J., Ostle N.J., 2014. Wind farm and solar park effects on plant-soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. *Global Change Biology*, 20, 1699–1706.
2. Biesiada A., 2015. Warunki lokalizacji elektrowni słonecznych w Polsce i na świecie. Poznań, WNGiG UAM (praca mgr, mscr).
3. Carroll D.L., Czerw R., Webster S., 2005. Polymer-nanotube composites for transparent, conducting thin films. *Synthetic Metals*, 155 (3), 694–697.
4. Coonen S., 2001. Building integrated photovoltaics. ORNL Solar Summit OCT 24 BIPV.
5. Dobrzańska B., Dobrzański G., Kiełczewski D., 2012. Ochrona środowiska przyrodniczego. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
6. Gomez de Arco L., Zhang Y., Schlenker C.W., Ryu K., Thompson M. E., Zhou C., 2010. Continuous, highly flexible, and transparent graphene films by chemical vapor deposition for organic photovoltaics. *ACS Nano*, 4, 2865–2873.

family houses. Such installations are only visible at a short distance from the building and do not normally go beyond its body. An example of the installations mounted on the roofs of buildings are the systems in agricultural farms on the island of Ruegen (Germany). These installations are mounted on entire surfaces of south-facing roofs, and also on the ground in the immediate vicinity of the buildings (Fig. 6).

In accordance with the above-mentioned term of aesthetic harmony [Mazurski 2012], such installations can be viewed as fitted to the surroundings. Thus, it is justified to classify their visual effect as harmonious.

In the context of the conducted research it can be noted that the formulated research hypothesis about the impact of solar facilities on the landscape, which grows with an increase in investments in helioenergetics, has been confirmed only in the case of large solar power stations. In subsequent years, more power plants with bigger capacities and larger occupied areas are built, which increases their impact on the landscape. At the same time, the development of the technologies of building-integrated transparent PV cells results in limiting, or even the total elimination, of the visibility of such installations and reduces their impact on the landscape.

Conclusions

1. The currently built solar power facilities have a diverse effect on the surrounding landscape.
2. The impact of the most common ones can be divided into: harmonious – in the case of small installations in cultural landscape, integrated – for transparent, building-integrated panels, disharmonious – for large horizontal installations, and dominant – for vertical installations such as solar towers.
3. Solar power stations are facilities which occupy large areas and, along with the observed development of helioenergetics, their impact on the landscape becomes increasingly strong.
4. The presented assessment of the impact of solar facilities may be used for the purposes of landscape evaluation for new investments of this type.

Eliza Kalbarczyk

Department of Spatial Econometric
Institute of Socio-Economic Geography
and Spatial Management
Faculty of Geographical and Geological
Sciences
Adam Mickiewicz University in Poznan

7. Fernandez-Jimenez L.A., Mendoza-Villena M., Zorzano-Santamaria P., Garcia-Garrido E., Lara-Santillan P., Zorzano-Alba E., Places A., 2015. Site selection for new PV power plants based on their observability. *Renewable Energy*, 78, 7–15.
8. Jakubowska M., Słoma M., Młodziak A., 2011. Printed transparent electrodes containing carbon nanotubes for elastic circuits applications with enhanced electrical durability under severe conditions. *Materials Science and Engineering: B*, 176 (4), 358–362.
9. Jäger-Waldau A., 2007. Photovoltaics and renewable energies in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1414–1437.
10. Hektus P., Kalbarczyk E., 2015. Zróżnicowanie przestrzenne rozwoju inwestycji z zakresu energetyki odnawialnej w Polsce w kontekście potencjalnego oddziaływania na krajobraz. *Architektura Krajobrazu*, 3, 62–71.
11. Janczak D., Słoma M., Wróblewski G., Jakubowska M., Młodziak A., 2013. Grafenowe elektrody transparentne dla drukowanych ogniw fotowoltaicznych. *Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania*, 54 (5), 35–37.
12. Mazurski K.R., 2012. Pojęcie krajobrazu i jego ocena. Proksenia, Kraków.
13. Mills D., 2004. Advances in solar thermal electricity technology. *Solar Energy*, 76 (1–3), 19–31.
14. Moe E., 2012. Vested interests, energy efficiency and renewables in Japan. *Energy Policy*, 40, 260–273.
15. Montoya F.G., Aguilera M.J., Manzano-Agugliaro F., 2014. Renewable energy production in Spain: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 509–531.
16. Musiałkiewicz Ł., Grzejszczak P., Skoczek S., Kosiarski K., Michalczyk P., Michalak, K., 2014. Raport o rynku energii elektrycznej i gazu ziemnego w Polsce w 2014 r. RWE Polska, Wyd. Mediapolis.
17. Norton B., Eames P.C., Mallick T.K., Huang M.J., McCormack S.J., Mondol J.D., Yohanis Y.G., 2011. Enhancing the performance of building integrated photovoltaics. *Solar Energy*, 85 (8), 1629–1664.
18. Pająk P., 2013. Opinia ekspercka dotycząca podstawowych założeń budowy i funkcjonowania farmy fotowoltaicznej. www.szczecbrzeszyn.pl/wp-content/.../06/opinia_farma-foto_2013.pdf
19. Peng C., Ying H., Zhishen W., 2011. Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. *Energy and Buildings*, 43 (12), 3592–3598.
20. Raszka B., Kalbarczyk E., Kasprzak K., Kalbarczyk R., 2016. Ochrona i zarządzanie krajobrazem kulturowym. Wyd. UP we Wrocławiu, Wrocław.
21. Sibiński M., Znajdek K., Górski M., 2013. Zastosowanie warstwy ZnO:Al w charakterze transparentnej elektrody emiterowej w ogniwach słonecznych. *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (7), 300–303.
22. Siebert B., 2012. Building integrated photovoltaics. IABSE Congress Report, 18 (15), 1065–1072.
23. Strong S., 2005. Building integrated photovoltaics. *Solar Design Associates*, 11.
24. Tryjanowski P., Łuczak A., 2013. Wpływ elektrowni słonecznych na środowisko przyrodnicze. *Czysta energia*, 1 (137), 21–24.
25. Tsoutsos T., Fratreskaki N., Gekas V., 2005. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33, 289–296.
26. Walczak M., 2007. Analiza krajobrazowa w planach ochrony parków krajobrazowych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 30, 61–72.
27. Wiąckowski S., Wiąckowska I., 1999. Globalne zagrożenia środowiska. WSP, Kielce.
28. Wiśniewski G. (red.), Więcka A., Dziamski P., Kamińska M., Rosolek K., Santorska A., 2012. Małoskalowe odnawialne źródła energii i mikroinstalacje. Kolektory słoneczne, systemy fotowoltaiczne, małe elektrownie wiatrowe. Wyd. Fundacja im. Heinricha Bölla, Biuro Regionalne Europa Centralna, Warszawa.