

Piotr Gradziuk*, Barbara Gradziuk, Anna Us***

* Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

**Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

TENDENCJE KSZTAŁTOWANIA SIĘ KOSZTÓW INWESTYCYJNYCH W SEKTORZE FOTOWOLTAICZNYM

PV POWER PLANTS SECTOR – INVESTMENT COSTS TRENDS

Słowa kluczowe: energia odnawialna, koszty inwestycyjne, sektor fotowoltaiczny, trendy

Key words: renewable energy sources, investment costs, PV power plants sector, trends

JEL codes: Q42, Q47

Abstrakt. Celem podjętych badań było określenie zmian oraz dynamiki kształtowania się kosztów inwestycyjnych w sektorze fotowoltaicznym. W latach 2011-2016 polski sektor fotowoltaiczny charakteryzował się bardzo wysoką dynamiką wzrostu. Moc zainstalowanych systemów fotowoltaicznych zwiększyła się z 1 MW do 187 MW, a ilość wytworzonej energii elektrycznej z około 0,01 GWh do 124 GWh. Do najważniejszych czynników dynamizujących rozwój tego sektora, oprócz liberalizacji prawa energetycznego oraz publicznych środków finansowych, należy zaliczyć spadek jednostkowych kosztów instalacji fotowoltaicznych, zarówno prosumenckich jak i komercyjnych. W 2018 roku średni koszt instalacji 1 kW systemu fotowoltaicznego wynosił od 4,0 do 6,4 tys. zł, przy średniej około 5 tys. zł. Wahania te wynikają m.in. z typu i jakości zastosowanych modułów PV, inwerterów, sposobu montażu, konkurencji na rynku lokalnym i sposobu wyboru oferty.

Wstęp

Wszystkie źródła energii (z wyjątkiem energii przyływów i odpływów mórz – 85 EJ/a, które powodowane są oddziaływaniem grawitacyjnym, głównie Księżyca oraz energii wnętrza ziemi – 672 EJ/a), biorą początek z pochłoniętego promieniowania słonecznego – $3,93 \cdot 10^6$ EJ/a [Odum 1996]. Ilość energii docierająca do Ziemi w ciągu roku aż tysiąckrotnie przewyższa światowe zapotrzebowanie energetyczne [Ney 1994]. Energia promieniowania słonecznego jest jednak rozproszona, trudna do bezpośredniego, wydajnego zastosowania w praktyce, ale metody jej transformacji są wciąż udoskonalane. Wizja, o której pisał Ryszard Manteuffel [1987], że „geniusz ludzki wynajdzie sposób korzystania bez ograniczeń z energii słonecznej” jest coraz bliższa spełnienia. Mimo że jej udział w strukturze światowego zużycia energii pierwotnej w 2016 roku wyniósł 0,55%, to w odniesieniu do 2007 roku pozyskanie energii elektrycznej z tego źródła zwiększyło się ponad czterdziestokrotnie [IREA 2017]. Kluczowymi powodami tak znacznego wzrostu wykorzystania energii słonecznej było subsydiowanie tego sektora energetyki oraz coraz niższe koszty i wyższa efektywność energetyczna instalacji fotowoltaicznych i solarnych. W Polsce tylko w 2013 roku w stosunku do roku poprzedniego ceny hurtowe paneli monokrystalicznych były niższe o 25, a polikrystalicznych o 38% [Rosolek i in. 2013]. Zbliżone tendencje zaobserwowano na rynku globalnym [Olchowik 2011, Feldman i in. 2015].

Material i metodyka badań

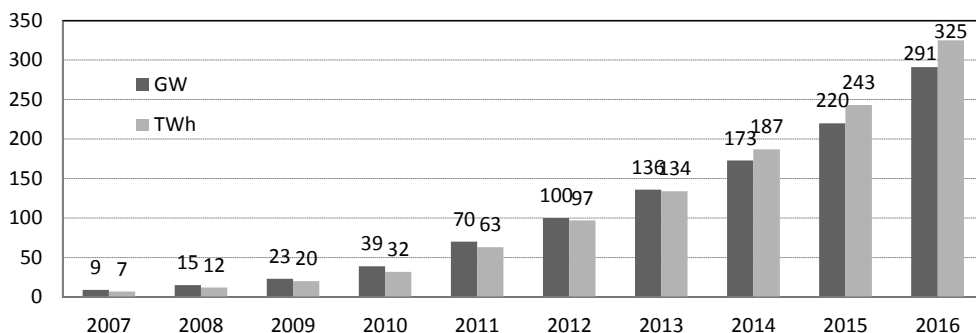
Celem podjętych badań była ocena rozwoju sektora fotowoltaicznego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem nakładów inwestycyjnych. Przeprowadzono analizę rozwoju sektora fotowoltaicznego w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem kosztów inwestycyjnych. W ocenie posłużono się wskaźnikiem kosztów inwestycyjnych (zł) odniesionych do 1 kW zainstalowa-

nej mocy, przy czym wyróżniono obiekty do 40 kW (tzw. prosumenckie) i powyżej 40 kW, w których na wytwarzanie energii elektrycznej wymagana jest koncesja. Badaniami objęto 55 projektów prosumenckich (ich wnioskodawcami były jednostki samorządu terytorialnego, ale grupę docelową stanowiły przede wszystkim gospodarstwa domowe, stąd też liczba obserwacji wyniosła 1063 o łącznej zainstalowanej mocy 6,1 MW) i 48 (45,1 MW) komercyjnych, które były współfinansowane ze środków europejskich, głównie w ramach regionalnych programów operacyjnych (perspektywa 2007-2013 i 2014-2020) a także Narodowego oraz Wojewódzkich Funduszy Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Zakres badań obejmował lata 2011-2018. Do charakterystyki sektora fotowoltaicznego wykorzystano bazy danych GUS, Eurostatu oraz raporty International Renewable Energy Agency (IREA) i literaturę fachową.

Charakterystyka sektora fotowoltaicznego

Chociaż efekt fotoelektryczny został odkryty na początku XX wieku, to w praktyce zaczęto go wykorzystywać w latach 50. ubiegłego wieku, głównie w projektach związanych z kosmonautyką. Na cele cywilne po raz pierwszy ogniwa fotowoltaiczne zastosowano w 1963 roku, przez Sharp Corporation do zasilania latarni morskiej. Ale dynamiczny rozwój tego sektora rozpoczął się dopiero w pierwszej dekadzie XXI wieku. Głównych przyczyn należy upatrywać w najwyższych w historii realnych cenach ropy naftowej (wg cen z 2016 rok), które w latach 2008-2011 wahały się od 110 do 120 USD/bbl [BP 2017]. Ponadto w XXI wieku jednym z kluczowych wyzwań cywilizacyjnych stała się intensyfikacja działań na rzecz ograniczenia tempa zmian klimatycznych, m.in. przez przekierowanie aktywności gospodarczej na ścieżkę rozwoju mniej zależną (lub docelowo niezależną) od tradycyjnych źródeł energii, jakimi są paliwa kopalne. W niektórych krajach zachętą do pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych było subsydiowanie tego sektora energetyki [Hansen i in. 2003].

Na świecie w latach 2007-2016 zainstalowana moc w elektrowniach fotowoltaicznych zwiększyła się z 9 do 291 GW. W tym samym okresie ilość wytworzonej energii elektrycznej wzrosła z 7 do 325 TWh (rys. 1). Z danych przedstawionych na rysunku można wnosić, że poprawie uległa produktywność ogniw fotowoltaicznych mierzona ilością wytworzonej energii na jednostkę zainstalowanej mocy z 0,778 TWh/GW w 2007 roku do 1,117 TWh/GW w 2016 roku. Do największych producentów energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych w 2016 roku należały Chiny (16,5%), Niemcy (16,0%), Japonia (14,4%) i USA (12,8%). Spośród państw UE, energia słoneczna największe znaczenie ma w Grecji, Hiszpanii i na Cyprze, gdzie jest nie tylko jednym z najważniejszych źródeł energii odnawialnej, ale także pokrywa



Rysunek 1. Zainstalowana moc (GW) i wytworzona energia elektryczna (TWh) na świecie w latach 2007-2016

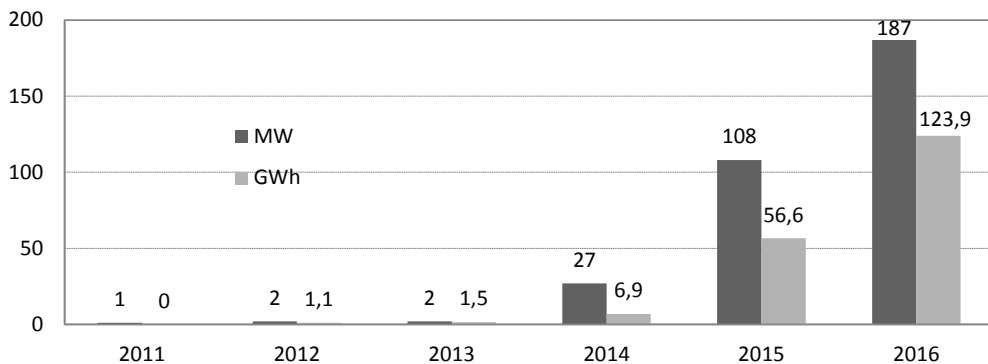
Figure 1. Solar PV Global Capacity (GW) and electricity generated (TWh), 2007-2016

Źródło: opracowanie własne na podstawie [IREA 2017, s. 56-57]

Source: own study based on [IREA 2017, p. 56-57]

zapotrzebowanie na energię finalną od 2,1 do 3,2%. Wśród innych państw energia słoneczna największe znaczenie odgrywa w Niemczech, jej udział w strukturze pozyskania energii ze źródeł odnawialnych wyniósł około 10% i był dwukrotnie wyższy od energetyki wodnej, a porównywalny z biopaliwami ciekłymi [Gradziuk 2016].

W Polsce pierwsze instalacje fotowoltaiczne były uruchomione w celach dydaktycznych (szkoła podstawowa w Falenicy w 2000 roku, moc 1 kW) lub naukowych (Politechnika Warszawska – 2008 rok, moc 53 kW). Kamieniem milowym w rozwoju polskiego sektora energetyki fotowoltaicznej było uruchomienie komercyjnej 1 MW farmy w Wierchosławicach oraz prosumenckiej instalacji o mocy 21,16 kW w Roztoczańskim Centrum Naukowo-Dydaktycznym „Zwierzyniec – Biały Słup”. Oba obiekty oddano do użytku w 2011 roku. W tym samym okresie prosumenckie systemy fotowoltaiczne zrealizowano także na Politechnice Wrocławskiej (15,21 kW) i WSPiA Rzeszów (20 kW), a komercyjne m.in. w Nowej Rudzie (311 kW), Łodzi (82 kW), Bydgoszczy (80,5) i Jaworznie (71 kW). Szczególnie dynamiczny rozwój tego sektora nastąpił w latach 2014-2016 (rys. 2), gdy nastąpiło znaczące zwiększenie dostępności środków finansowych na promocję stosowania energii z odnawialnych źródeł energii (OZE). Środki te były przede wszystkim alokowane w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko” (POIiŚ), regionalnych programów operacyjnych (RPO), Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) a także narodowego oraz wojewódzkich funduszy ochrony środowiska i gospodarki wodnej [P. Gradziuk, B. Gradziuk 2017]. Z informacji uzyskanych w Ministerstwie Energii, według stanu na 31 grudnia 2016 rok w Polsce do sieci podłączonych było 16 173 mikroinstalacji (o mocy < 40 kW) oraz 172 obiekty komercyjne o łącznej mocy 92,095 MW. Z tego okresu w próbie badawczej uwzględniono 993 mikroinstalacje (6,1%) oraz 33 projekty komercyjne (19,2%).



Rysunek 2. Zainstalowana moc (GW) i wytworzona energia elektryczna (TWh) w Polsce w latach 2011-2016
Figure 2. Solar PV Capacity (GW) and electricity generated (TWh) in Poland 2011-2016

Źródło: opracowanie własne na podstawie [GUS 2017]

Source: Own study based on [GUS 2017]

Wyniki badań

Jednym z głównych czynników determinujących rozwój sektora OZE są koszty inwestycyjne. Jak do tej pory pozyskiwana tą drogą energia jest w większości zastosowań droższa od konwencjonalnej. Pogląd ten m.in. wyrazili w swoich rozważaniach Augustyn Woś i Józef Zegar [2002], jednocześnie konstatując, że czas pracuje na rzecz odnawialnych zasobów, a proces ten na razie powolny, zostanie przyśpieszony przez rozwój nowych technologii. Tezę tą potwierdzają wyniki przeprowadzonych badań (tab. 1).

Tabela 1. Koszty inwestycyjne instalacji fotowoltaicznych w Polsce w latach 2011-2018

Table 1. Investment costs of photovoltaic installations in Poland, 2011-2018

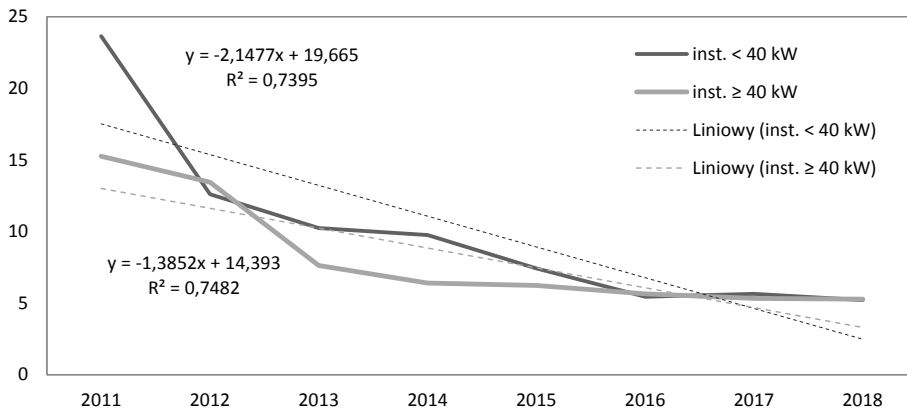
Rok/ Year	Instalacje o mocy < 40 kW/ Power installations < 40 kW				Instalacje o mocy 40 kW i większej/ Power installations 40 kW and more			
	liczba/ number	koszt instalacji 1 kW [tys. zł]/ installation cost [thous. PLN]			liczba/ number	koszt instalacji 1 kW [tys. zł]/ installation cost [thous. PLN]		
		min.	max.	średni/ average		min.	max.	średni/ average
2011	3	19,4	34,7	23,8	5	8,6	20,7	11,8
2012	2	8,7	16,5	14,8	2	11,0	12,4	11,7
2013	2	8,5	12,0	9,4	3	6,8	8,1	7,7
2014	7	5,7	10,3	8,6	11	5,5	7,2	6,3
2015	13	5,4	11,8	7,2	7	5,7	7,3	6,2
2016	6	4,5	6,2	4,7	5	5,0	6,4	5,6
2017	11	4,4	7,2	5,6	5	4,5	5,9	5,2
2018	8	4,0	5,4	5,1	10	4,6	6,4	5,4

Źródło: obliczenia własne

Source: own study

W latach 2011-2018 nastąpiło znaczące obniżenie kosztów inwestycyjnych w sektorze fotowoltaiki. W grupie projektów prosumenckich średnie koszty w 2018 roku były niższe blisko pięciokrotnie od odnotowanych w 2011 roku. Spadkową tendencją charakteryzowały się również koszty inwestycyjne dla instalacji komercyjnych, z tym że ich tempo było na znacznie niższym poziomie (rys. 3). Główną przyczyną tego zróżnicowania wynikała ze znaczących dysproporcji tych kosztów w roku bazowym, na korzyść instalacji o większej mocy. Uzyskane wyniki co do tendencji zmian są zbieżne z zaprezentowanymi w Raportach pt. „Rozwój polskiego rynku fotowoltaicznego w latach 2010-2020” [Polska PV 2016] oraz „Rynek fotowoltaiki w Polsce” [2017], a także opracowaniami zagranicznymi [IREA 2012, Feldman i in. 2015, Mayer i in. 2015].

Z przeprowadzonych badań wynika, że od 2016 roku w obu typach obiektów (średnia zainstalowana moc wyniosła 5,7 kW i 939,5 kW) koszty te pozostają na zbliżonym poziomie, a w latach 2016 i 2018 były nawet niższe w obiektach prosumenckich. Uzyskane rezultaty różnią się od tych zaprezentowanych w raporcie „Rynek fotowoltaiki w Polsce” [IEO 2017], gdzie średni jednostkowy koszt systemu PV dla mniejszych inwestorów (5-10 kW) oszacowano na około 6,8 tys. zł brutto. Na tej podstawie autorzy raportu dowodzili, że tak wysokie ceny świadczą o braku w tym segmencie rynku masowego, a cena ta znacząco spada wraz ze wzrostem mocy systemu (do około 5,3 tys. zł/kW w przypadku 1 MW farmy fotowoltaicznej). Różnice w ocenach tych kosztów wynikają z odmiennego podejścia do procesu badawczego. W przypadku raportu IEO [2017] szacunków dokonano na podstawie uzyskanych odpowiedzi na zapytanie ofertowe skierowane do 11 firm będących instalatorami systemów PV z całego kraju. W prowadzonych badaniach podstawą analiz były rzeczywiste poniesione koszty. Z uwagi, że znaczną część inwestycji zrealizowano w ramach programów współfinansowanych ze środków publicznych i występował obowiązek stosowania ustawy Prawo zamówień publicznych, podstawowym kryterium wyboru oferty była cena. Na podstawie dostępnych dokumentacji przetargowych ustalono, że średnia różnica między oferowanymi cenami najniższymi i najwyższymi wynosiła 33,4%. W systemie zamówień publicznych zrealizowano także większość badanych instalacji prosumenckich, bo chociaż wnioskodawcami były jednostki samorządu terytorialnego, to grupę docelową stanowiły przede wszystkim gospodarstwa domowe. Stosunkowo niskie koszty instalacji prosumenckich wynikały z liberalizacji prawa energetycznego w zakresie przyłączenia mikroinstalacji. Po zmianach prawa koszty przyłączenia takiej instalacji w pełni ponoszą operatorzy systemów dystrybucyjnych.



Rysunek 3. Modele trendu kosztów inwestycyjnych instalacji fotowoltaicznych w Polsce w latach 2011-2018
 Figure 3. Models of the investment costs trend of photovoltaic installations in Poland in 2011-2018

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Podsumowanie

W latach 2011-2016 polski sektor fotowoltaiczny charakteryzował się bardzo wysoką dynamiką wzrostu. Moc zainstalowanych systemów fotowoltaicznych zwiększyła się z 1 MW do 187 MW, a ilość wytworzonej energii elektrycznej z około 0,01 GWh do 124 GWh. Do najważniejszych czynników dynamizujących rozwój tego sektora, oprócz liberalizacji prawa energetycznego oraz publicznych środków finansowych, należy zaliczyć spadek jednostkowych kosztów instalacji fotowoltaicznych, zarówno prosumenckich jak i komercyjnych. W 2018 roku średni koszt instalacji 1 kW systemu fotowoltaicznego wynosił od 4,0 do 6,4 tys. zł, przy średniej około 5 tys. zł. Wahanie te wynikały m.in. z typu i jakości zastosowanych modułów PV, inwerterów, sposobu montażu, konkurencji na rynku lokalnym i sposobu wyboru oferty.

Literatura/Bibliography

- BP. 2017. BP Statistical Review of World Energy. London: BP.
- Feldman David, Galen Barbose, Robert Margolis, Mark Bolinger, Donald Chung, Run Fu, Joachim Seel, Carolyn Davidson, Ryan Wiser. 2015. *Photovoltaic system pricing trends historical, recent, and near-term projections*. SunShot, U.S. Department of Energy.
- Hansen Jorgen, Camilla Jensen, Erik Madsen. 2003. The establishment of the Danish windmill industry – was it worthwhile? *Review of World Economics* 139 (2): 324-347, doi: 10.1007/Bf02659748.
- Gradziuk Piotr. 2016. Znaczenie rolnictwa i obszarów wiejskich dla poprawy sytuacji ekologicznej i struktury energetycznej kraju [W] *Polska wieś 2016. Raport o stanie wsi*, (Significance of agriculture and the rural areas for the improvement of the ecological situation and power supply system of Poland [In] Polish village 2016. Report on the state of the village) ed. J. Wilkin i I. Nurzyńska, 179-208. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR.
- Gradziuk Piotr, Gradziuk Barbara. 2017: Próba oceny absorpcji środków z funduszy europejskich na rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii w woj. lubelskim. (The attempt of evaluation of absorption of the European Funds for the development of use of renewable energy sources in Lubelskie Province). *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich* 104 (3): 95-105.
- IEO (Instytut Energetyki Odnawialnej). 2017. *Rynek fotowoltaiki w Polsce* (Photovoltaic market in Poland). Warszawa: Instytut Energetyki Odnawialnej.
- IREA (International Renewable Energy Agency). 2012. Renewable energy technologies: costs analysis series. *Solar Photovoltaics* 1 (4/5): 1-45.

- IREA (International Renewable Energy Agency). 2017. *Renewable energy statistics*. Abu Dhabi: United Arab Emirates.
- Manteuffel-Szoegé Ryszard. 1987. *Filozofia rolnictwa* (Philosophy of agriculture). Warszawa: PWN.
- Mayer Johannes, Simon Philipps, Noha Hussein, Thomas Schlegl, Charlotte Senkpiel. 2015. *Current and Future Cost of Photovoltaics*. Berlin: Agora Energiewende.
- Ney Roman. 1994. Energia odnawialna (Renewable energy). *Nauka* 3: 43-66.
- Odum Howard Thomas. 1996. *Environmental accounting – energy and environmental decision making*. New York: Wiley&Sons.
- Olchowik Jan M. 2011. Trendy rozwoju fotowoltaiki w Europie i na świecie (Trends in photovoltaic development in Europe and in the world). *Fotowoltaika* 1: 9-11.
- Polska PV (Stowarzyszenie Branży Fotowoltaicznej). 2016. *Rozwój polskiego rynku fotowoltaicznego w latach 2010-2020* (Photovoltaic market development in Poland 2010-2020). Stowarzyszenie Branży Fotowoltaicznej – Polska PV. Globenergia: Kraków.
- Renewable Energy. 2015. *Not a toy*. *The Economist*, April 11th-17th 2015: 55-56.
- Rosolek Konrad, Anna Santorska, Aneta Więcka. 2013. Polski rynek PV w liczbach (Polish PV market in numbers). *Czysta Energia* 10: 28-30.
- Woś Augustyn, Józef Zegar. 2002 *Rolnictwo społecznie zrównoważone* (The socially sustainable agriculture). Warszawa: IERiGŻ-PIB.

Summary

Between 2011 and 2016 photovoltaic sector in Poland was characterised by continuous and dynamic growth. The country's cumulative installed PV power increased from 1 MW up to 187 MW, whereas the amount of PV-generated electricity expanded from approximately 0.01 GWh to 124 GWh. The most important factors influencing this sector's growth are liberalisation of Polish energy law and financial resources, as well as continuing decline in photovoltaic installation costs, for both commercial and non-commercial prosumers. In 2018, the average cost of installing 1kW of photovoltaic system was between 4000 PLN and 6400 PLN (with average 5000 PLN). Such price fluctuations are caused by the quality of PV modules and inverters, changes to assembly techniques, competition in local markets and selection methods.

Adres do korespondencji

dr hab. Piotr Gradziuk (orcid.org/0000-0003-0825-6281)
Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska
e-mail: p.gradziuk@dydaktyka.pswbp.pl

dr Barbara Gradziuk (orcid.org/0000-0002-6920-0604)
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Wydział Agrobioinżynierii, Katedra Zarządzania i Marketingu
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, tel. (81) 461 00 61 w. 196
e-mail: barbara.gradziuk@up.lublin.pl

mgr Anna Us (orcid.org/0000-0002-7630-417X)
Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska (83) 344 99 00 w. 264
e-mail: a.us@dydaktyka.pswbp.pl